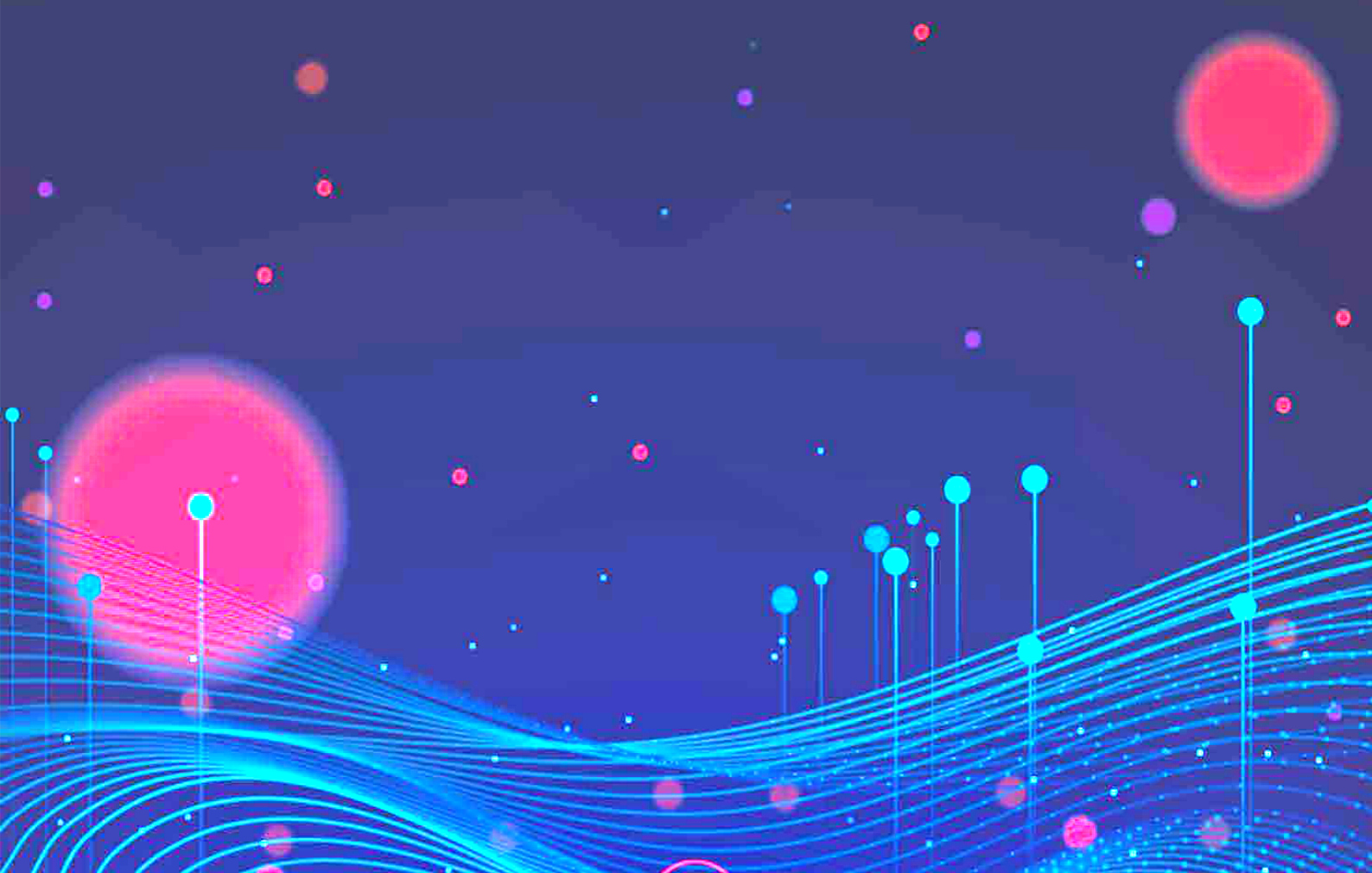


Сырямкин В.И., В.Н. Шумилов

**Синтез искусственного
носителя интеллекта:
информационно-биологический
подход**

Монография



В. И. Сырямкин
В. Н. Шумилов

**Синтез искусственного носителя интеллекта:
информационно-биологический подход**

УДК 572.788:004.8
ББК 28.706.991.7+16.632
Ш96

Рецензенты:

Гончаров В. И., д-р тех. наук, профессор;
Солдатов А. Н., д-р физ. мат. наук, профессор, Заслуженный изобретатель РФ;
Соломонов В. И., д-р физ-мат. наук

Отв. Редактор:

Сырямкин В. И., д-р тех. наук, профессор Заслуженный работник Высшей Школы РФ

Шумилов В. Н.

Ш96 Синтез искусственного носителя интеллекта : Информационно-биологический подход / В. Н. Шумилов, В. И. Сырямкин.

ISBN 978-5-4499-1936-6

В книге сформулированы принципы функционирования нервной системы (НС), мозга, дана оценка информационной ёмкости мозга. Предложен механизм, обеспечивающий работу НС за счёт образования в ней следов событий, запоминания факта сочетания событий путём образования парных связей между одновременно возбуждёнными нейронами. Эти связи впоследствии обеспечивают опережающую реакцию организма на последовательности причинно обусловленных событий и тем самым полезность запоминания для выживания организма. Механизмы НС обеспечивают обучение (запоминание), переучивание (на основе перманентного запоминания и забывания), результативную реакцию на события и позволяют мозгу работать без переключений режимов «обучение / функционирование». При сравнительно малом количестве нейронов в НС (или мозге) на основе поступающих сигналов-раздражителей обеспечивается одноступенчатое прогнозирование. По мере роста количества нейронов появляется прогноз на основе прогноза, прогнозирование становится многоступенчатым, появляется мышление.

Приведена схема электрическая принципиальная модели мозга и составляющих его логических элементов, а также дана структура синтезированного искусственного носителя интеллекта на основе биолого-электрической модели человеческого мозга и нейро-нечетких информационных технологий.

Для всех интересующихся вопросами функционирования нервной системы, мозга.

УДК 572.788:004.8
ББК 28.706.991.7+16.632



Сырямкин Владимир Иванович
доктор технических наук, профессор, Заслуженный
работник Высшей Школы РФ, Лауреат Премии
Правительства в области образования.
Директор Центра (превосходства) «Интеллектуальные
технические системы» и заведующий кафедрой
«Управление качеством» национального
исследовательского Томского государственного
университета, Академик РАЕН, МАНВШ и МАИ
Опубликовал более 500 научных работ (в т. ч. 120
патентов и авторских свидетельств)



Шумилов Владимир Николаевич
Киевский национальный университет имени
Тараса Шевченко
Научный сотрудник лаборатории «Системы
технического зрения» Национального
исследовательского Томского государственного
университета. Опубликовал более 50 научных работ

Предисловие

Искусственный интеллект. Определения. Состояние проблемы

Созданию искусственного интеллекта (ИИ) разные страны уделяют большое внимание. Подсчитано, что внедрение технологий ИИ обеспечит к 2025 году удвоение темпов роста ВВП ведущих государств мира (США, КНР, Англии, Германии, Японии, России, Республика Корея) и удвоение мирового ВВП на 15-20 трлн. долларов. Кроме экономической составляющей мировой экономики присутствует и другое применение ИИ – обеспечение безопасности государства. Поэтому научные исследования по созданию ИИ ведутся во многих странах мира.

Рассмотрим различные определения ИИ.

В общем таких обобщающих определений ИИ имеются несколько, например, научное направление, автоматические программные системы моделирующие (выполняющие интеллектуальную деятельность человека или предложенное английским математиком Аланом Тьюрингом, «когда любые вычислительные машины сравниваются по интеллекту с человеком» [174]. Очевидно, что эти определения ИИ неточны. Например, любые бытовые автоматические системы (робот пылесос, стиральная машина) не соответствуют интеллекту человека, а самые сложные компьютерные программы (шахматные) не обладают объемом вычислений, сравнимый с мозгом человека и работают строго по алгоритму, придуманному человеком. Поэтому различные компьютерные программы, имитирующие те или иные функции человека — это не искусственный интеллект. В настоящее время создание искусственного интеллекта является актуальной проблемой. Современная наука под ИИ понимает свойство искусственных систем решать интеллектуальные задачи, для которых отсутствует алгоритм решения. ИИ – обладает способностями мозга человека решать интеллектуальные задачи путем приобретения, запоминания и целенаправленного преобразования знаний и использования этих знаний для управления средой. Интеллектуальная задача – это задача, связанная с отысканием алгоритма решения задач некоторого класса, «то есть точного предписания (инструкции) о выполнении в определенном порядке последовательности операций для решения любой задачи данного класса» [174]. В мире пока еще не создан ИИ в соответствии с вышеуказанными определениями и требованиями. ИИ имеет большие потребности для решения актуальных задач, например в системах технического зрения (СТЗ), системах управления, диагностики, мониторинга и охраны объектов.

ГОЛОВНОЙ МОЗГ ЧЕЛОВЕКА

ГОЛОВНОЙ МОЗГ ЧЕЛОВЕКА [175, 193, 197], орган, координирующий и регулирующий все жизненные функции организма и контролирующий поведение. Все наши мысли, чувства, ощущения, желания и движения связаны с работой мозга, и если он не функционирует, человек переходит в вегетативное состояние: утрачивается способность к каким-либо действиям, ощущениям или реакциям на внешние воздействия. Центральная нервная система (ЦНС) состоит из головного и спинного мозга. Она связана с различными частями тела периферическими нервами – двигательными и чувствительными. Головной мозг – симметричная структура, как и большинство других частей тела. При рождении его вес составляет примерно 0,3 кг, тогда как у взрослого он – ок. 1,5 кг. При внешнем осмотре мозга внимание прежде всего привлекают два больших полушария, скрывающие под собой более глубокие образования. Поверхность полушарий покрыта бороздами и извилинами, увеличивающими поверхность коры (наружного слоя мозга). Сзади помещается мозжечок, поверхность которого более тонко

изрезана. Ниже больших полушарий расположен ствол мозга, переходящий в спинной мозг. От ствола и спинного мозга отходят нервы, по которым к мозгу стекается информация от внутренних и наружных рецепторов, а в обратном направлении идут сигналы к мышцам и железам. От головного мозга отходят 12 пар черепно-мозговых нервов.

Клетки ЦНС называются нейронами; их функция – обработка информации. В мозгу человека от 5 до 20 млрд. нейронов. В состав мозга входят также глиальные клетки, их примерно в 10 раз больше, чем нейронов. Глия заполняет пространство между нейронами, образуя несущий каркас нервной ткани, а также выполняет метаболические и другие функции. Нейрон, как и все другие клетки, окружен полупроницаемой (плазматической) мембраной. От тела клетки отходят два типа отростков – дендриты и аксоны. У большинства нейронов много ветвящихся дендритов, но лишь один аксон. Дендриты обычно очень короткие, тогда как длина аксона колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров. Тело нейрона содержит ядро и другие органеллы, такие же, как и в других клетках тела (см. рис П1)

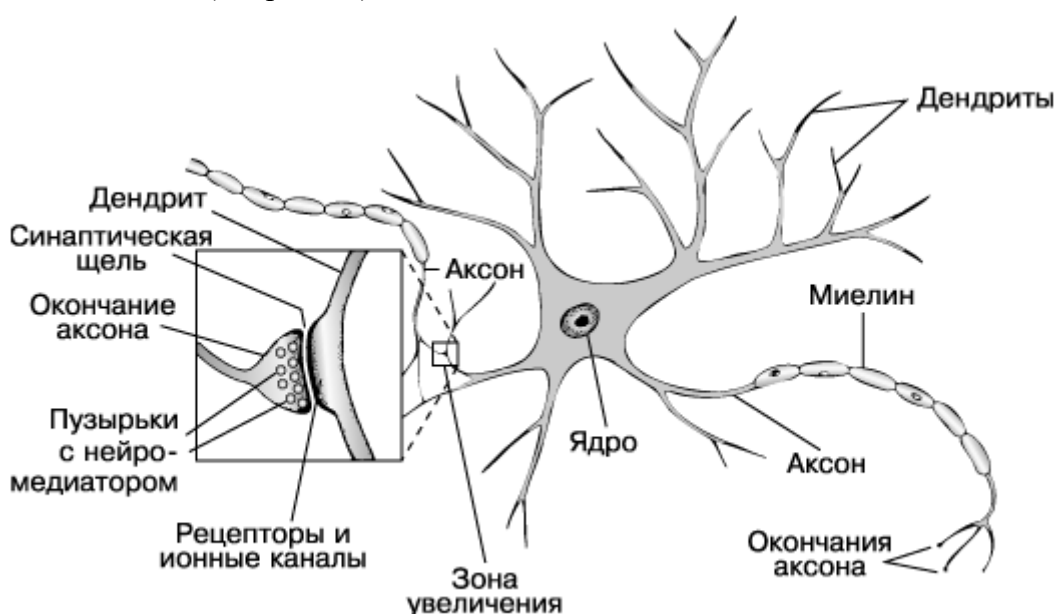


Рис. П1

Передача информации в мозгу, как и нервной системе в целом, осуществляется посредством нервных импульсов. Они распространяются в направлении от тела клетки к концевому отделу аксона, который может ветвиться, образуя множество окончаний, контактирующих с другими нейронами через узкую щель – синапс; передача импульсов через синапс опосредована химическими веществами – нейромедиаторами.

Нервный импульс обычно зарождается в дендритах – тонких ветвящихся отростках нейрона, специализирующихся на получении информации от других нейронов и передаче ее телу нейрона. На дендритах и, в меньшем числе, на теле клетки имеются тысячи синапсов; именно через синапсы аксон, несущий информацию от тела нейрона, передает ее дендритам других нейронов.

В окончании аксона, которое образует пресинаптическую часть синапса, содержатся маленькие пузырьки с нейромедиатором. Когда импульс достигает пресинаптической мембраны, нейромедиатор из пузырька высвобождается в синаптическую щель. Окончание аксона содержит только один тип нейромедиатора, часто в сочетании с одним или несколькими типами нейромодуляторов (см. ниже Нейрохимия мозга).

Нейромедиатор, выделившийся из пресинаптической мембраны аксона, связывается с рецепторами на дендритах постсинаптического нейрона. Мозг использует

разнообразные нейромедиаторы, каждый из которых связывается со своим особым рецептором.

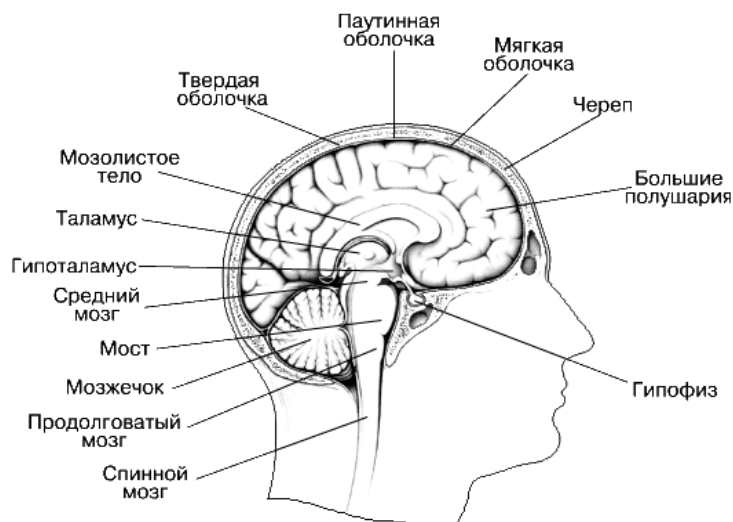
С рецепторами на дендритах соединены каналы в полупроницаемой постсинаптической мембране, которые контролируют движение ионов через мембрану. В покое нейрон обладает электрическим потенциалом в 70 милливольт (потенциал покоя), при этом внутренняя сторона мембраны заряжена отрицательно по отношению к наружной. Хотя существуют различные медиаторы, все они оказывают на постсинаптический нейрон либо возбуждающее, либо тормозное действие. Возбуждающее влияние реализуется через усиление потока определенных ионов, главным образом натрия и калия, через мембрану. В результате отрицательный заряд внутренней поверхности уменьшается – происходит деполяризация. Тормозное влияние осуществляется в основном через изменение потока калия и хлоридов, в результате отрицательный заряд внутренней поверхности становится больше, чем в покое, и происходит гиперполяризация.

Функция нейрона состоит в интеграции всех воздействий, воспринимаемых через синапсы на его теле и дендритах. Поскольку эти влияния могут быть возбуждающими или тормозными и не совпадать по времени, нейрон должен исчислять общий эффект синаптической активности как функцию времени. Если возбуждающее действие преобладает над тормозным и деполяризация мембраны превышает пороговую величину, происходит активация определенной части мембраны нейрона – в области основания его аксона (аксонного бугорка). Здесь в результате открытия каналов для ионов натрия и калия возникает потенциал действия (нервный импульс).

Этот потенциал распространяется далее по аксону к его окончанию со скоростью от 0,1 м/с до 100 м/с (чем толще аксон, тем выше скорость проведения). Когда потенциал действия достигает окончания аксона, активируется еще один тип ионных каналов, зависящий от разности потенциалов, – кальциевые каналы. По ним кальций входит внутрь аксона, что приводит к мобилизации пузырьков с нейромедиатором, которые приближаются к пресинаптической мембране, сливаются с ней и высвобождают нейромедиатор в синапс.

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Головной мозг можно условно разделить на три основные части: передний мозг, ствол мозга и мозжечок. В переднем мозгу выделяют большие полушария, таламус, гипоталамус и гипофиз (одну из важнейших нейроэндокринных желез). Ствол мозга состоит из продолговатого мозга, моста (варолиева моста) и среднего мозга.



БОЛЬШИЕ ПОЛУШАРИЯ – самая большая часть мозга, составляющая у взрослых примерно 70% его веса. В норме полушария симметричны. Они соединены между собой массивным пучком аксонов (мозолистым телом), обеспечивающим обмен информацией.

Каждое полушарие состоит из четырех долей: лобной, теменной, височной и затылочной. В коре лобных долей содержатся центры, регулирующие двигательную активность, а также, вероятно, центры планирования и предвидения. В коре теменных долей, расположенных позади лобных, находятся зоны телесных ощущений, в том числе осязания и суставно-мышечного чувства. Сбоку к теменной доле примыкает височная, в которой расположены первичная слуховая кора, а также центры речи и других высших функций. Задние отделы мозга занимает затылочная доля, расположенная над мозжечком; ее кора содержит зоны зрительных ощущений.

Области коры, непосредственно не связанные с регуляцией движений или анализом сенсорной информации, именуется ассоциативной корой. В этих специализированных зонах образуются ассоциативные связи между различными областями и отделами мозга и интегрируется поступающая от них информация. Ассоциативная кора обеспечивает такие сложные функции, как научение, память, речь и мышление.

ПОДКОРКОВЫЕ СТРУКТУРЫ. Ниже коры залегает ряд важных мозговых структур, или ядер, представляющих собой скопление нейронов. К их числу относятся таламус, базальные ганглии и гипоталамус. Таламус – это основное сенсорное передающее ядро; он получает информацию от органов чувств и, в свою очередь, переадресует ее соответствующим отделам сенсорной коры. В нем имеются также неспецифические зоны, которые связаны практически со всей корой и, вероятно, обеспечивают процессы ее активации и поддержания бодрствования и внимания. Базальные ганглии – это совокупность ядер (т.н. скорлупа, бледный шар и хвостатое ядро), которые участвуют в регуляции координированных движений (запускают и прекращают их).

Гипоталамус – маленькая область в основании мозга, лежащая под таламусом. Богато снабжаемый кровью, гипоталамус – важный центр, контролирующий гомеостатические функции организма. Он вырабатывает вещества, регулирующие синтез и высвобождение гормонов гипофиза (см. также ГИПОФИЗ). В гипоталамусе расположены многие ядра, выполняющие специфические функции, такие, как регуляция водного обмена, распределения запасаемого жира, температуры тела, полового поведения, сна и бодрствования.

СТВОЛ МОЗГА расположен у основания черепа. Он соединяет спинной мозг с передним мозгом и состоит из продолговатого мозга, моста, среднего и промежуточного мозга.

Через средний и промежуточный мозг, как и через весь ствол, проходят двигательные пути, идущие к спинному мозгу, а также некоторые чувствительные пути от спинного мозга к вышележащим отделам головного мозга. Ниже среднего мозга расположен мост, связанный нервными волокнами с мозжечком. Самая нижняя часть ствола – продолговатый мозг – непосредственно переходит в спинной. В продолговатом мозгу расположены центры, регулирующие деятельность сердца и дыхание в зависимости от внешних обстоятельств, а также контролирующие кровяное давление, перистальтику желудка и кишечника.

На уровне ствола проводящие пути, связывающие каждое из больших полушарий с мозжечком, перекрещиваются. Поэтому каждое из полушарий управляет противоположной стороной тела и связано с противоположным полушарием мозжечка.

МОЗЖЕЧОК расположен под затылочными долями больших полушарий. Через проводящие пути моста он связан с вышележащими отделами мозга. Мозжечок осуществляет регуляцию тонких автоматических движений, координируя активность различных мышечных групп при выполнении стереотипных поведенческих актов; он также постоянно контролирует положение головы, туловища и конечностей, т.е. участвует в поддержании равновесия. Согласно последним данным, мозжечок играет весьма существенную роль в формировании двигательных навыков, способствуя запоминанию последовательности движений.

ДРУГИЕ СИСТЕМЫ. Лимбическая система – широкая сеть связанных между собой областей мозга, которые регулируют эмоциональные состояния, а также обеспечивают научение и память. К ядрам, образующим лимбическую систему, относятся миндалевидные тела и гиппокамп (входящие в состав височной доли), а также гипоталамус и ядра т.н. прозрачной перегородки (расположенные в подкорковых отделах мозга).



ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА

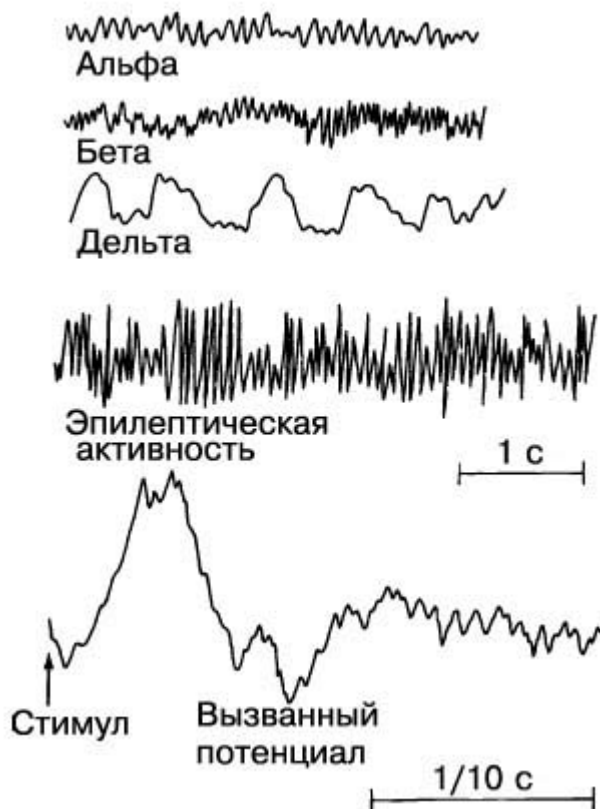
С помощью электродов, размещенных на поверхности головы или введенных в вещество мозга, можно зафиксировать электрическую активность мозга, обусловленную разрядами его клеток. Запись электрической активности мозга с помощью электродов на поверхности головы называется электроэнцефалограммой (ЭЭГ). Она не позволяет записать разряд отдельного нейрона. Только в результате синхронизированной активности тысяч или миллионов нейронов появляются заметные колебания (волны) на записываемой кривой.

При постоянной регистрации на ЭЭГ выявляются циклические изменения, отражающие общий уровень активности индивида. В состоянии активного бодрствования ЭЭГ фиксирует низкоамплитудные неритмичные бета-волны. В состоянии расслабленного бодрствования с закрытыми глазами преобладают альфа-волны частотой 7–12 циклов в секунду. О наступлении сна свидетельствует появление высокоамплитудных медленных волн (дельта-волн). В периоды сна со сновидениями на ЭЭГ вновь появляются бета-волны, и на основании ЭЭГ может создаться ложное впечатление, что человек бодрствует (отсюда термин «парадоксальный сон»). Сновидения часто сопровождаются быстрыми движениями глаз (при закрытых веках). Поэтому сон со сновидениями называют также сном с быстрыми движениями глаз (см. также СОН). ЭЭГ позволяет диагностировать некоторые заболевания мозга, в частности эпилепсию.

Если регистрировать электрическую активность мозга во время действия определенного стимула (зрительного, слухового или тактильного), то можно выявить т.н. вызванные потенциалы – синхронные разряды определенной группы нейронов, возникающие в ответ на специфический внешний стимул. Исследование вызванных

потенциалов позволило уточнить локализацию мозговых функций, в частности связать функцию речи с определенными зонами височной и лобной долей. Это исследование помогает также оценить состояние сенсорных систем у больных с нарушением чувствительности.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ мозга регистрируется с помощью электроэнцефалографа. Получаемые кривые – электроэнцефалограммы (ЭЭГ) – могут указывать на расслабленное бодрствование (альфа-волны), активное бодрствование (бета-волны), сон (дельта-волны), эпилепсию или реакцию на определенные стимулы (вызванные потенциалы).



НЕЙРОХИМИЯ МОЗГА К числу самых важных нейромедиаторов мозга относятся ацетилхолин, норадреналин, серотонин, дофамин, глутамат, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), эндорфины и энкефалины. Помимо этих хорошо известных веществ, в мозге, вероятно, функционирует большое количество других, пока не изученных. Некоторые нейромедиаторы действуют только в определенных областях мозга. Так, эндорфины и энкефалины обнаружены лишь в путях, проводящих болевые импульсы. Другие медиаторы, такие, как глутамат или ГАМК, более широко распространены.

ДЕЙСТВИЕ НЕЙРОМЕДИАТОРОВ. Как уже отмечалось, нейромедиаторы, воздействуя на постсинаптическую мембрану, изменяют ее проводимость для ионов. Часто это происходит через активацию в постсинаптическом нейроне системы второго «посредника», например циклического аденозинмонофосфата (цАМФ). Действие нейромедиаторов может видоизменяться под влиянием другого класса нейрохимических веществ – пептидных нейромодуляторов. Высвобождаемые пресинаптической мембраной одновременно с медиатором, они обладают способностью усиливать или иным образом изменять эффект медиаторов на постсинаптическую мембрану.

Важное значение имеет недавно открытая эндорфин-энкефалиновая система. Энкефалины и эндорфины – небольшие пептиды, которые тормозят проведение болевых импульсов, связываясь с рецепторами в ЦНС, в том числе в высших зонах коры. Это семейство нейромедиаторов подавляет субъективное восприятие боли.

ПСИХОАКТИВНЫЕ СРЕДСТВА – вещества, способные специфически связываться с определенными рецепторами в мозгу и вызывать изменение поведения. Выявлено

несколько механизмов их действия. Одни влияют на синтез нейромедиаторов, другие – на их накопление и высвобождение из синаптических пузырьков (например, амфетамин вызывает быстрое высвобождение норадреналина). Третий механизм состоит в связывании с рецепторами и имитации действия естественного нейромедиатора, например эффект ЛСД (диэтиламида лизергиновой кислоты) объясняют его способностью связываться с серотониновыми рецепторами. Четвертый тип действия препаратов – блокада рецепторов, т.е. антагонизм с нейромедиаторами. Такие широко используемые антипсихотические средства, как фенотиазины (например, хлорпромазин, или аминазин), блокируют дофаминовые рецепторы и тем самым снижают эффект дофамина на постсинаптические нейроны. Наконец, последний из распространенных механизмов действия – торможение инактивации нейромедиаторов (многие пестициды препятствуют инактивации ацетилхолина).

Давно известно, что морфин (очищенный продукт опийного мака) обладает не только выраженным обезболивающим (анальгетическим) действием, но и свойством вызывать эйфорию. Именно поэтому его и используют как наркотик. Действие морфина связано с его способностью связываться с рецепторами эндорфин-энкефалиновой системы человека. Это лишь один из многих примеров того, что химическое вещество иного биологического происхождения (в данном случае растительного) способно влиять на работу мозга животных и человека, взаимодействуя со специфическими нейромедиаторными системами. Другой хорошо известный пример – кураре, получаемое из тропического растения и способное блокировать ацетилхолиновые рецепторы. Индейцы Южной Америки смазывали кураре наконечники стрел, используя его парализующее действие, связанное с блокадой нервно-мышечной передачи.

Нейронные информационные технологии [175]

Нейронные сети - это схемы соединений однородных элементов нейронов. Нейронными сетями называют также математические и физические модели биологических прототипов. Физиологические нейронные сети состоят из нейронов – основных структурных элементов. Нейроны в сетях связываются между собой возбуждающими и тормозящими синапсами (контактами). Веса (влияние) синапсов в процессе работы сети могут изменяться в широких пределах.

Схемы соединения нейронов в нейронных сетях весьма разнообразны, но все они представляют многослойные пространственные структуры. В однолинейных сетях каждый нейрон верхнего (входного) слоя влияет на один нейрон нижележащего слоя. Примером такой сети является безусловно-рефлекторная дуга, состоящая из последовательных включенных трех нейронов (чувствительного, промежуточного и мотонейрона).

Пирамидальная схема соединений нейронной сети предполагает влияние нейрона вышележащего слоя обязательно на несколько нейронов последующего слоя и т.д. В такой многослойной структуре можно выделить часть сети, в которой нейрон верхнего (входного) слоя через нейроны нижележащих слоёв связан со всеми нейронами нижнего входного слоя.

Древовидные схемы представляют собой неупорядоченные структуры, сочетающие свойства пирамидальной и воронкообразных схем. Схемы нейронной сети могут иметь положительные и отрицательные обратные связи, а также образовывать кольцевые структуры. Реальные нейронные сети представляют собой сложные сочетания схемы соединения нейронов нескольких или всех типов.

Работу сетей из пороговых элементов, в том числе с использованием свойства абсолютной рефрактерности, моделировали на ЦВМ и в виде физических устройств типа персептронов. По мере расширения функциональных свойств моделей нейронов растут и возможности моделей сетей. Так, на моделях с переменными порогами (адалин) и

переменными порогами и весами связей между элементами (пластический и адаптивный нейрон) были построены алгоритмы и устройства (типа персептронов), позволяющие производить классификацию и распознавание внешних образов, обучение и моделирование некоторых форм эволюции и целенаправленного поведения [175].

Искусственный носитель интеллекта путем синтеза био-физиолого-электрической модели человеческого мозга

Из всех направлений создания ИИ в настоящее время быстро развиваются перспективные научные исследования синтеза искусственного носителя интеллекта на основе анализа биологической, физиологической и электрических моделях человеческого мозга. При этом мировой приоритет и основные результаты в этом направлении получены международной лабораторией «Системы технического зрения» национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ) по программе повышения конкурентоспособности. Здесь разработаны компьютерные программы и электронная модель функционирования нейрона. На этой электронной модели была подтверждена возможность самообучения и переучивания минимальной нервной системы. Опубликованы научные статьи, тезисы, монографии и получены объекты интеллектуальной собственности (патенты на изобретения, авторские свидетельства на компьютерные программы). Это научное направление развивается в НИ ТГУ более 15 лет.

Важно, что сформулированы принципы функционирования нервной системы мозга, определена информационная емкость мозга, синтезирован алгоритм (механизм) нервной системы за счет образования в ней следов событий, запоминания факта сочетания событий, запоминания факта сочетания событий путем образования парных связей между одновременно возбужденными нейронами, обеспечивающих опережающую реакцию организма на последовательности причинно обусловленных событий и тем самым полезность запоминания для выживания и развития организма. Показан следующий процесс функционирования нервной системы: обучение (запоминание), переучивание (используя изменяющиеся операции запоминания и переучивания), итоговую реакцию на событие, позволяющую мозгу работать без переключений состояний (режимов) «обучение/функционирование». Обосновано, что по мере роста количества нейронов появляется мышление (многоступенчатое прогнозирование [152, 160].

Создание и применение комбинированного искусственного носителя интеллекта

Перспективным является синтез комбинированного искусственного носителя интеллекта (КИНИ) на основе нейро – нечетких глубоких сетей и био-физиолого-электрической модели человеческого мозга.

Такие КИНИ, сочетающие лучшие достижения в компьютерных нейро-науках и моделей человеческого мозга, эффективно решают в реальном времени практические задачи. Например, перспективное создание распределенной системы управления органами человека при протезировании суставов, зрения, слуха и обаяния, а также применение в робототехнике и диагностике (технической, медицинской).

*Природа устроена очень просто.
Иначе ничего бы не работало.
Вот только простоты этой много.
Отсюда и все сложности.*

Введение

Достаточность естественных сил для функционирования мозга – носителя разума

Что можно сказать по поводу утверждения о простоте устройства мира, вынесенного в эпиграф? Оно основано на убеждении, что в природе всё происходит естественным образом, без всякой мистики. Правда, часто совершенно непонятно, как это всё происходит, но потом постепенно выясняется. А непонятности, сложности возникают из-за того, что мир представляет собой огромное множество взаимодействующих объектов, с ещё большим количеством отдельных взаимодействий между ними, представляющимися нам случайными, поскольку их происхождение невозможно отследить по техническим причинам, а иногда невозможно и принципиально. Но при большом количестве событий и связей всё распределяется между ними в соответствии с законами больших чисел – в среднем приблизительно равномерно по степеням свободы (по степеням возможностей) с каким-то разбросом, распределением значений около среднего. Например, по Максвеллу, кинетическая энергия молекул распределена по каждой из степеней свободы – в среднем $\frac{1}{2}kT$ на одну степень свободы частицы (k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура). Плотность звёзд в пространстве также колеблется около среднего.

Утверждение о равномерном распределении средней сложности между структурой и соответствующими взаимодействиями представляет собой вариант трактовки гипотезы, суть которой состоит в том, что вероятность пребывания системы в некотором состоянии пропорциональна фазовому объёму его координат, соответствующих этому состоянию. Так что уровень сложности произвольного объекта соответствует уровню сложности взаимодействий, в которых этот объект участвует. И, наоборот, сложность взаимодействий соответствует сложности объекта.

Поэтому поведение электрона («элементарной» частицы) не может быть слишком сложным. У электрона просто нет сложного интерпретирующего аппарата, способного измерять его координаты, расстояния от него до других объектов, их заряды, и на основе этих измерений рассчитывать энергию взаимодействия и возможные ускорения и перемещения электрона. Отсюда вытекает, что уравнение, описывающее поведение электрона, должно быть предельно простым. И такое уравнение нашёл Дирак в 1928 г [145].

Сказанное о соответствии сложности процессов взаимодействий, присущих объектам, и их структуры относится к объектам любой сложности; не только к объектам неживой природы (к физическим, механическим), но и к развивающимся по законам физики биологическим. В том числе, и к нервным клеткам – нейронам, образующим мозг. Они тоже являются физическими объектами. Поэтому поведение (функционирование) достаточно простого объекта – нейрона должно быть очень простым. Нейрон может реагировать только на воздействие ближайшего окружения, различимое для него только по уровню сигнала на его входе и нагрузки на выходе. Нейрон реагирует только на сумму входных сигналов, не различая, за неимением возможности, от каких источников, с каких направлений, через какие его входы поступают отдельные сигналы.

С другой стороны, для макрообъектов (к которым относится нейрон и мозг), состоящих из большого числа элементарных, квантовых объектов, до сих пор не было

зафиксировано нарушений второго начала термодинамики, то есть, перехода изолированных макрообъектов (замкнутых систем, не взаимодействующих с внешним миром) из гораздо более вероятного состояния в гораздо менее вероятное состояние.

Мозг представляет собой высокоорганизованную, очень маловероятную структуру, которая, по представлениям многих людей, не могла образоваться сама по себе. В этой якобы невозможности самоорганизации мозга и видят они сверхъестественность разума (необъяснимость его естественными причинами).

По какой причине может образоваться очень маловероятная, тонко организованная структура мозга? Если не по причине вмешательства сверхъестественных причин?

Дело в том, что мозг не является изолированной, замкнутой системой. Он постоянно снабжается питательными веществами; без них мозг быстро погибает; к тому же удельное потребление питательных веществ в мозге гораздо выше, чем в среднем по организму; на него воздействует внешняя среда через сигналы, порождаемые различными событиями, воздействующими на организм. И поэтому, хотя энтропия всей замкнутой системы (которую можно было бы изолировать от остального мира), в которую входит и мозг, постоянно повышается. То есть, система в целом переходит во всё более вероятные, более разупорядоченные состояния. Упорядоченность структур мозга (части этой большой системы) может увеличиваться за счёт большего разупорядочивания в других частях всей полной замкнутой системы. Это происходит в процессе интенсивного потребления мозгом питательных веществ. Так что упорядоченность – запасённая в питательных веществах энергия – превращается в упорядоченность структур мозга. Тогда как другие части полной системы поставляют в мозг продукты питания – высокоупорядоченные вещества, отводят из мозга отходы потребления с существенно увеличившейся беспорядочностью.

В смысле увеличения упорядоченности структур мозга (части системы) при уменьшении упорядоченности всей системы мозг полностью аналогичен кондиционеру. При затрате подведённой электрической энергии во всей системе (воздух в доме + хладагент + воздух в окрестностях дома) можно получить только суммарное увеличение беспорядочного движения микрочастиц. То есть, можно получить только положительное, но никак не отрицательное приращение тепла во всей системе. Однако за счёт работы, затраченной на сжатие хладагента, можно получить некоторое количество холода в доме, т.е., более упорядоченное, менее вероятное состояние молекул воздуха в доме за счёт нагрева воздуха вне дома. Холод в доме образуется в результате кипения хладагента с уменьшением упорядоченности его молекул, но с увеличением упорядоченности молекул воздуха в доме, передающих беспорядочное движение (своё тепло) хладагенту в кондиционере, отчего тот и закипает. Это перераспределение упорядоченности между частями полной системы происходит в два этапа: хладагент предварительно сжимается в результате работы электродвигателя компрессора (за счёт электроэнергии), при этом хладагент нагревается и **самопроизвольно** отдаёт тепло, образовавшееся при сжатии, в окрестности дома – в окружающее пространство, в другую часть системы. На втором этапе хладагент с температурой, до которой он успел охладиться вне дома после нагревания в результате сжатия, естественным образом **самопроизвольно** охлаждается при расширении в испарителе кондиционера, кипит там за счёт передачи тепла от воздуха в доме, и охлаждает его (упорядочивает молекулы воздуха). А то, что эти процессы происходят в устройстве, созданном инженерами, не имеет существенного значения – инженеры просто объединили в одну цепочку естественные процессы.

Точно так же, как получается холод в холодильнике, очень высокая упорядоченность структур мозга достигается, в конечном итоге, не за счёт каких-то сверхъестественных причин, а за счёт «сжигания» продуктов питания, поступающих в мозг, разупорядочивания их структуры с выделением энергии. То есть, за счёт перехода продуктов питания из состояния, в котором у них была запасена электрохимическая энергия, в состояние, в котором эта энергия уже израсходована. При этом, вместе с созданием маловероятных структур мозга, продукты питания превращаются в

высоковероятные тепло и отходы. Можно сказать, что высокая упорядоченность структур из состава пищи частично переместилась в мозг. Это перемещение совершается в ходе **самопроизвольного** разупорядочивания структуры продуктов питания. При этом **самопроизвольном** разупорядочивании потенциальная энергия питательных веществ переходит в энергию беспорядочного движения частиц, но часть потенциальной энергии питательных веществ переходит в потенциальную энергию структур мозга, которые находятся в состоянии локального минимума потенциальной энергии, близком к неустойчивому. По этой причине выделяется тепло во всей системе «организм + пища». В ходе своего непрерывного функционирования структуры мозга потребляют до 20% энергии, потребляемой всем организмом. Тогда как масса мозга составляет всего около 2% от массы всего организма. Получается, что структуры мозга расходуют энергию питательных веществ (используют её при своём функционировании) в среднем в 10 раз интенсивнее, чем остальные ткани организма!

Структуры мозга находятся в таком неустойчивом локальном положении минимума потенциальной энергии, что им всё время нужно подавать питание. И этим питанием как бы поддерживается потенциальный барьер, не позволяющий структурам мозга выходить из их локальных минимумов. Как только прекращается поток энергии из продуктов питания, так сразу же погибают, разрушаются структуры мозга – переходят в состояние глобального устойчивого равновесия.

Систему с подобной структурой энергетических уровней можно представить себе следующим образом: вода течёт по горному ручью, падает с невысокого водного переката в небольшую заводь. Так что в заводи образуется небольшой водяной холмик, который запитывает небольшие лужицы – озера на почти плоском горизонтальном камне на краю заводи. Как только поток воды уменьшится, водяной холмик тоже уменьшится, озера сразу же исчезнут (вытекут, испарятся), структура маленьких озёр на камне рядом с водяным холмиком прекратит своё существование.

Так что все процессы в организмах протекают естественным образом, самопроизвольно, с увеличением энтропии всей системы. То есть, все организмы развиваются в полном соответствии с законами термодинамики, а не вопреки им, как это иногда представляют с неосознанной или со скрытой осознанной целью явной или неявной пропаганды тезиса о сверхъестественном сотворении жизни.

Учитывая сказанное выше, попытаемся, не выходя за рамки известных законов природы, на основе внимательного рассмотрения процесса развития организмов, понять, как работает мозг. Отметим, что часть предлагаемой работы имеет под собой достаточно прочное, широко известное экспериментальное основание. Тогда как другая часть этой работы не столько отражает имеющиеся на сегодня общепризнанные экспериментальные факты, сколько является попыткой познания основных принципов функционирования на основе логики движения информации в таком объекте как мозг, способный субъективно (индивидуально) отображать действительность. Отметим, что провозглашаемые в работе принципы уже получают экспериментальное подтверждение – созданы компьютерная и электронная самообучающиеся модели, пока с малым количеством нейроподобных элементов [102, 144], в которых получены подтверждения действенности выдвигаемых в книге принципов. В этих моделях запоминание, воспроизведение и интерпретация информации происходит без управления извне.

Надеемся, что верность утверждений и выводов, сделанных в данной работе, будет подтверждено именно инженерной практикой, реализацией предлагаемых компьютерных и схемных моделей, то есть, созданием действующего искусственного мозга – искусственного носителя интеллекта (ИНИ). И на основе изложенных в книге принципов будут созданы полномасштабные действующие работоспособные модели искусственного мозга (ИМ), как компьютерные, так и схмотехнические.

Ничего невозможного в создании ИМ не видно. Человек уже создал искусственные устройства, реагирующие на звук и свет (изображение), намного превосходящие естественные слух и зрение. Очередь за искусственным мозгом.

Несомненно, что биологические структуры, в которых размещается интеллект человека, материальны. Поэтому они могут быть повторены в виде некоторого устройства на носителях, отличных от биологических нейронов. Причём по своим характеристикам устройства могут существенно превосходить человеческий мозг, как и другие устройства, созданные инженерами, намного превосходящие по эффективности человеческие органы – зрения, слуха.

Конечно, различные оптические, акустические и другие устройства, созданные инженерами, превосходят человеческие органы далеко не во всём. Понятно, что микроскопы, телескопы, чувствительные фотоприёмники, микрофоны без усилий инженеров не могут сами по себе появляться и самовосстанавливаться. Но основные функции, для выполнения которых они и были созданы, устройства выполняют намного эффективнее, чем это делают биологические органы.

Это происходит потому, что, с одной стороны, для функционирования устройств инженеры могут создавать условия, недоступные для самоорганизующихся биологических органов. Например, размеры объектива – входного зрачка телескопа – позволяют собирать намного больше света, чем это может делать глаз животного.

С другой стороны, инженерам не надо заботиться о реализации сопутствующих функций, обязательных для биологических органов, выполнение которых существенно ограничивает основные характеристики организмов. Это обстоятельство и даёт инженерам преимущество перед природой. Поэтому инженеры и добиваются превосходства над природой в выполнении устройствами отдельных основных требуемых функций за счёт игнорирования остальных функций, которые природа не может игнорировать из-за необходимости обеспечения других, сопутствующих, функций. В том числе, таких, как самоорганизация и самовосстановление после повреждений.

Такое же превосходство, что имеет место для оптических и акустических приборов, возможно и при создании управляющих интеллектуальных устройств.

В связи с реальной возможностью создания действующей полномасштабной модели мозга, обосновываемой в последующих главах, **необходимо сделать следующее предостережение**. Если не только принципиально, но и технически возможно создание мощного искусственного мозга, можно сказать, искусственного разумного существа, то встает вопрос: имеем ли мы право перед лицом нашего вида – человека, перед лицом наших потомков, настолько вмешиваться в природу, чтобы создавать существа, равные нам, или даже превосходящие нас по возможностям?

Есть в стремлении к созданию на базе мощного компьютера Искусственного Интеллекта (ИИ), равно, как и к созданию на основе электронной схемы Искусственного Мозга (ИМ), или Искусственного Носителя Интеллекта (ИНИ), с последующим воспитанием в нём (в ИМ) Естественного Интеллекта (ЕИ), **огромная потенциальная опасность** для нашего человеческого вида. Если на Земле, рядом с нами, появится равный или более сильный конкурент человека (даже по нашей воле), то он может выйти из-под контроля человека и просто уничтожить нас. Или в борьбе за ресурсы. Или просто по своему недомыслию, как это делаем и мы, люди, по отношению к «братьям нашим меньшим». Или поставить нас в позицию своего раба или домашнего животного типа собачки. Поэтому следует стремиться к тому, чтобы создаваемые нами устройства и разумные существа не могли бы обходиться без людей, подобно тому, как мужчины и женщины не могут обходиться друг без друга, будучи несколько различными существами. Чтобы искусственные существа не стали антагонистическими конкурентами человека за какие-то ресурсы (подобными автомобилям на тротуаре, мешающим пешеходам, или кроликам в Австралии, уничтожающим урожай, выращенные людьми). Чтобы эти существа использовали ресурсы, отличные от необходимых нам, и занимали разные с

нами экологические ниши в жизни на Земле и вне её, были бы в симбиозе с нами. Были бы единой с человеком цивилизацией.

С другой стороны, мы в своём нынешнем состоянии уже стремимся не «покорять», не уничтожать, а сохранять окружающую нас природу во всех её проявлениях. Так что можно надеяться на бережное отношение и к нам со стороны более сильных существ (если мы их создадим).

С третьей стороны, будучи более живучим, чем мы, новый вид сможет сохранить в своём лице нашу цивилизацию при различных катаклизмах, в том числе, и при грандиозных космических катастрофах. Тогда как мы, слабые органические существа, из-за нехватки ресурсов, в первую очередь, энергетических, запросто можем деградировать или вымереть вследствие великого оледенения или глобального потепления даже при небольших колебаниях светимости нашего Солнца. Мы можем исчезнуть и по собственной глупости, из-за болезненно непомерных амбиций какого-нибудь «сверхчеловека» из нашей человеческой расы в результате развязанной им тотальной войны или вышедших из-под контроля болезней. Да мало ли всевозможных напастей, способных извести род человеческий как в одночасье, так и через долгие мучения!

А с четвертой стороны, в чем мы видим смысл нашей жизни? В продолжении однообразного существования нашего человеческого вида на протяжении миллионов лет? Или в том, чтобы вырастить наших детей более сильными, более умными, чем мы? Вторая перспектива представляется более интересной, поскольку отражает прогрессивное развитие разумной жизни. Возможно, с перенесением интеллекта человека на искусственный носитель. Конечно, сейчас этот тезис может многих покоробить. Но нас уже не волнует, что рядом живут люди с сердцами, почками от других людей.

Уже сейчас наши дети бывают разными.

Во-первых, это генетически наши дети, «по крови» – плоть от плоти; или родившиеся естественным путём, или зачатые искусственно «в пробирке», или выношенные суррогатной матерью.

Во-вторых, это наши приёмные дети – обычные дети, рождённые другими людьми.

И, наконец, к категории наших детей можно отнести и искусственные существа, порождённых нашим разумом и технологиями.

К сожалению, у меня не было возможности поработать в большой библиотеке, чтобы дать ссылки на печатные первоисточники, которые более авторитетны в мире науки. Но приведённые источники, хоть и не всегда являются первоисточниками и не отдают должное первооткрывателям (не упоминают их), достаточно правильно отражают существующее положение дел, как в области экспериментальных фактов, так и в области общепринятых распространённых суждений, воззрений. Приведённые надёжно установленные экспериментальные факты служат фундаментом для наших построений и в достаточной мере подкрепляют взгляды, изложенные в данной работе.

Авторы благодарят сотрудников международной лаборатории «Системы технического зрения» национально-исследовательского Томского государственного университета Кузнецова Д.Н. и Клестова С.А. за помощь в подготовке монографии, а также соавторов разделов монографии Anachack Phougtraуспасак, Гергет Ольгу Михайловну, Уварова Николая Александровича. (п.18.5, 18.6).

1. Достижения и проблемы создания полноценного искусственного интеллекта

1.1 Актуальность познания процессов мышления и создания искусственного интеллекта – мыслящего искусственного существа

Человечество издавна пытается познать процессы мышления, сутью которого является предвидение развития событий на основе использования опыта – информации, накопленной в ходе жизни человека (животного) в темпе протекающих событий. Ещё сравнительно недавно стремление к пониманию мышления носило чисто познавательный интерес, который не мог быть удовлетворён из-за недостаточного уровня знаний и техники для эксперимента. По мере вхождения в повседневную практику (в производство, в быт) вычислительной техники интерес к механизмам мышления стал не только исключительно познавательным, но и экономическим. С появлением компьютеров началось интенсивное развитие направления искусственного интеллекта (ИИ), имеющее своей целью создание машинного интеллекта, способного решать интеллектуальные задачи на уровне человека и даже превосходить его по причине более высокого быстродействия электронных элементов по сравнению с биологическими. Однако после 70 лет интенсивных попыток создания ИИ эта задача остаётся далекой от завершения.

За это время были созданы многие «интеллектуальные» системы, превосходящие человека в отдельных видах деятельности. Например, программы на суперкомпьютерах обыгрывают чемпионов мира по шахматам, действуют различные экспертные системы, системы распознавания. Но эти достижения представляют собой лишь внешнюю сторону, отдельные фрагменты интеллекта, способные решать только заранее предусмотренные, чётко очерченные задачи.

Программное обеспечение (ПО), созданное для решения задач ИИ, не способно к саморазвитию вне задач, решённых создателями этого ПО. В рамках создания ИИ развиваются нейронные сети, очень эффективные при распознавании. В том числе, математических объектов. Но для обучения сетей требуется выключение режима функционирования и включение специального режима обучения с гигантскими затратами времени (на обучение, переучивание). Тогда как все биологические системы, начиная с животных с примитивной нервной системой до высших животных и человека, способны находить решения самых непредвиденных задач. И обучаются гораздо эффективнее, в темпе событий, без переключений режимов «функционирование» / «обучение». До сих пор биологические системы решают задачи распознавания гораздо эффективнее (быстрее и точнее), чем это делают технические средства. Особенно велико превосходство биологических систем в изменяющихся условиях. Хотя для выполнения расчётов по постоянной схеме, не требующих частого обучения и переучивания, нейронные сети очень эффективны. Такие расчёты с применением нейронных сетей используются там, где производятся гигантские объёмы вычислений - для прогнозирования погоды, для идентификации событий в геофизических процессах, для идентификации событий, происходящих при столкновении частиц высоких энергий.

Из-за того, что принципы функционирования мозга – носителя интеллекта остаются непонятыми, до сих пор решались лишь частные задачи создания фрагментов ИИ, хоть и на очень высоком уровне. Основная задача понимания принципов функционирования

мозга, самостоятельности интеллекта и его моделирования продолжает оставаться нерешённой.

Для изучения принципов функционирования мозга и механизмов их реализации созданы институты мозга, где работает большое количество квалифицированных специалистов в разных областях науки. Кроме того, вне этих институтов работает множество больших высококвалифицированных коллективов с огромным финансированием. Так, в Швейцарии осуществляется проект «Blue Brain». Созданием ИИ занимаются такие гиганты индустрии информационных технологий как Apple, Google, Microsoft, Facebook, Amazon. Но задача создания устройства, имитирующего работу человеческого мозга и способного сравниться с мозгом, пока ещё далека от завершения. Да и пути её решения не бесспорны. Например, задача картирования мозга похожа на то, как если бы мы пытались понять принципы функционирования компьютера и программного обеспечения, изучая области размещения в ОЗУ исполняемых кодов драйверов, редакторов и т.д.

1.2 Предыстория искусственного интеллекта

Тысячи лет люди пытаются понять, как действует сознание человека, которое называлось душой и в древности, и сегодня. Как сознание человека взаимодействует с его телом? Есть ли душа у животных, у дерева? Эти вопросы волновали философов различных убеждений с древних времён. Ещё материалист Демокрит (460—370 гг. до н. э.), Сократ (470—399 гг. до н. э.), его ученик Платон (427—347 гг. до н. э.), идеалист Аристотель (384—322 гг. до н. э., с трактатом «О душе»), обсуждали эти вопросы [8].

В настоящее время изучением сознания человека, а с некоторых пор, и изучением сознания животных, занимается психология.

У людей уже в древние времена был не только чисто познавательный интерес к тому, как работает сознание человека, но и утилитарный. Ещё в те времена люди думали, как можно использовать знания и опыт человека без его непосредственного участия. Поэтому человечество давно начало создавать различные автоматические устройства управления, действующие самостоятельно, без участия человека.

Началось развитие таких устройств со средств развлечений (например, двигающихся фигурок в шкатулках, часах) [9]. Со временем устройства управления вошли в производство. Первыми автоматическими регуляторами, получившими широкое практическое применение в промышленности, стали регулятор питания котла паровой машины И.И. Ползунова (1765) и центробежный регулятор частоты вращения паровой машины Дж. Уатта (1784) [10]. Сначала устройства управления были сугубо механическими (гидравлическими, пневматическими, термическими). Гораздо активнее устройства управления начали развиваться с внедрением в жизнь различных электромеханических приборов. Ещё активнее устройства управления начали развиваться с появлением различных электронных приборов. А с появлением компьютерной техники устройства управления так прочно и всесторонне вошли в нашу жизнь, что современному человеку практически невозможно представить своё существование без различных устройств с элементами интеллекта.

Устройства управления (УУ) становились всё более сложными, учитывали всё большее количество параметров для организации своей работы из-за необходимости обобщения информации для формирования адекватных управляющих воздействий во всё более сложной обстановке. В результате чего устройства управления, бывшие поначалу чисто механическими (одно или двухпараметрическими) превратились в электронные устройства обработки информации, учитывающие множество различных параметров.

Рост интереса к ИИ с созданием мощных компьютеров привёл к тому, что в 1969 г. состоялась первая Всемирная конференция по ИИ (Вашингтон, США).

Проблемами создания ИИ занимались многие выдающиеся учёные 20 века [34]. В 1943 году физиологи У.Маккаллох Дж. и Пиггс У. предложили формальную модель нейрона [35]. Норберт Винер, математик, заявил, что машины могут быть умнее людей [15]. Дж. Фон Нейман создал теорию игр и самовоспроизводящихся автоматов [36]. Алан Тьюринг выдвинул критерий, позволяющий судить о наличии интеллекта у удалённого собеседника («тест Тьюринга» [37]). Джон Маккарти, создатель языка обработки списков LISP [38]. А. Азимов (биохимик, писатель, автор около 500 книг, основоположник интеллектуальной робототехники), писал книги не только в жанре фантастики, но и по робототехнике, психоистории [39]. Ф. Розенблатт, физиолог, основоположник теории и разработчик устройств распознавания образов [40], Н.Хомски (математик, филолог, философ, общественный деятель, лингвист [41, 42]), А.Р. Лурия (нейропсихолог [43]).

Физиолог и нейропсихолог Д.О. Хебб одним из первых приступил к разработке теории взаимосвязи головного мозга и мыслительных процессов, процесса обучения [44, 45].

Э.Хант, [46]. Эшби У.Р. [47], и многие другие внесли свой вклад в создание ИИ.

К настоящему времени интерес к процессам мышления дифференцировался. Возникли направления, различающиеся по предмету изучения, по степени углубления в механизмы обработки информации, сознания.

Одно из направлений – психология, подходящая к сознанию феноменологически. С другой стороны, в 20 веке появилась нейрокибернетика, которая занимается механизмами реализации интеллекта, который и является фундаментом сознания.

Основоположником современной психологии считается Вундт (1832 - 1920 гг.). Среди его учеников были российские учёные Ланге, Павлов.

Наряду с психологами вопросами сознания занимаются и философы, и физиологи. В частности, вопросами деятельности сознания, мозга занимались и такие российские учёные, как лауреат Нобелевской премии Павлов, Сеченов. Позже – Лурия, Анохин и многие другие [22].

До недавних пор научно обоснованные ответы на вопросы о душе (об интеллекте, о сознании), её локализации и механизмах её действия не могли быть даны – не позволял уровень знаний, добытых человечеством к тому времени.

1.3 Достижения в области создания искусственного интеллекта

Результаты функционирования ИИ в различных областях человеческой деятельности, несомненно, можно отнести к интеллектуальным.

В частности, были созданы шахматные программы, которые могут обыгрывать в шахматы лучших игроков – чемпионов мира [48]. Созданы экспертные системы (в области медицинской диагностики, банковского прогнозирования [49, 50]), системы распознавания, которые распознают тексты, речь, папиллярные рисунки, системы кровеносных сосудов, лица, геологические структуры; системы представления знаний [51]. Работают системы управления быстропротекающими процессами – авиационные автопилоты могут обеспечить выполнение практически всего полёта в небе с облаками, воздушными потоками, но свободном от непредусмотренных препятствий типа других самолётов или отказов оборудования. Космические корабли взлетают, стыкуются и приземляются в автоматическом режиме, но в непредвиденных ситуациях космонавты переходят на ручное управление. В настоящее время активно ведутся работы по созданию автомобильных автопилотов, способных водить автомобили в условиях городского движения с огромным количеством препятствий и ограничений.

Хорошие экономические результаты получены в информационных технологиях, к которым относится и библиотечное дело [55].

ИИ привлекают к распознаванию речи, к литературному и изобразительному творчеству, к доказательству теорем [56, 57, 58, 59].

К настоящему времени достигнуты, можно сказать, фантастические результаты в области создания искусственного интеллекта. Созданы различные роботы для производства, созданы, в том числе, роботы для исследования Луны и гораздо более удалённых небесных тел, до которых управляющие сигналы с Земли доходят за несколько минут, или даже десятков минут и часов, так что реакция человека – оператора на Земле, управляющего аппаратом, будет запаздывать на многие часы. Понятно, что такие удалённые исследовательские аппараты должны быть достаточно «самостоятельными» и автономными.

К настоящему времени создано множество устройств обработки информации (УОИ), решающих всё более сложные задачи. Устройства обработки (преобразования) информации начали привлекать не только к управлению станками, к автоматизации различных учётных работ, но и к решению интеллектуальных задач. Созданные устройства решают задачи распознавания образов, управляют различными сложными быстро протекающими процессами с использованием множества параметров, что непосильно для отдельного человека. Программно-аппаратные комплексы обыгрывают в шахматы чемпионов мира, УОИ участвуют в проведении различных исследовательских работ в недоступных для человека условиях пребывания (в космосе, под водой и т.д.). С самого начала люди стремились, чтобы эти устройства были максимально универсальными. С появлением компьютеров с их огромными вычислительными возможностями, у исследователей возникли надежда и стремление создать действительно универсальное устройство обработки информации с интеллектом, сопоставимым с интеллектом человека и даже превосходящим его.

Но для создания аналога или модели мозга необходимо было понять принципы его функционирования. Или выдвинуть альтернативные принципы, которые позволяли бы выполнять те же функции, что выполняет мозг человека, или хотя бы мозг или нервная система простейшего животного [11 – 15].

Поскольку механизмы функционирования мозга продолжают оставаться непонятными, то исследователи пошли по пути создания устройств, которые не моделируют непосредственно работу мозга, но решают задачи, которые, как принято говорить, требуют усилий ума. Сегодня развиваются направления искусственного интеллекта (ИИ) и нейросетей, которые, как казалось в начале пути, смогут быстро решить задачу создания интеллекта, подобного человеческому. Было решено множество отдельных задач, которые традиционно относятся к интеллектуальным. Эти задачи решались и решаются, в основном, алгоритмически, с использованием сверхбыстродействующих компьютеров, работающих под управлением заранее разработанных программ, реализующих алгоритмы решения конкретных задач, в которых разработчики предусматривают всё, на что будет реагировать программа. Уровень решения алгоритмически описанных задач очень высок. Компьютерные программы управляют сложными быстропротекающими процессами с большим количеством параметров, выступают в роли советников врачей при диагностике (экспертные системы [16 – 20]).

Продолжаются интенсивные работы по картированию мозга. На эти работы выделяются огромные средства [30 – 33].

Отметим, что работы по картированию зон мозга имеют значение для практической нейрохирургии, но для понимания функционирования мозга эти работы имеют примерно такое же значение, как описание адресов размещения исполняемых кодов программ или адресов числовых массивов в оперативной или дисковой памяти компьютера. В этих

случаях выделение запрашиваемой памяти зависит от порядка поступления запросов на выделение памяти, но не отражает суть процессов печати или сканирования.

Вопросы создания устройств с элементами ИИ, способных к некоторой самостоятельности, освещаются многими авторами [60].

1.4 Проблемы создания искусственного интеллекта и возможности их преодоления путём создания самообучающегося устройства управления

Но даже самые «интеллектуальные» программы совершенно беспомощны при встрече с обстоятельствами, не предусмотренными разработчиком программы. Тогда как животным разного уровня развития и человеку постоянно приходится решать задачи, не встречавшиеся им ранее.

Поэтому задача раскрытия принципов функционирования мозга и его моделирования продолжает оставаться актуальной. Её решение представляет собой не только чисто познавательный интерес, оно может быть использовано и в сугубо практических целях – в производстве, на транспорте, в исследовательских целях, в опасных условиях. Кроме того, знание механизмов мозга может быть использовано для моделирования различных заболеваний НС, их излечения и профилактики. Поэтому вопрос постижения принципов функционирования и создания модели мозга (искусственного носителя интеллекта), действующей на тех же принципах, использующей те же механизмы, что и биологический мозг, остаётся в центре внимания научной общественности.

Вопрос о том, как именно протекают процессы на физическом (биологическом) уровне, как сознание соотносится со своим носителем – мозгом, и до сих пор не имеет общепризнанного ответа. Отсюда и множество псевдонаучных спекуляций на темы мышления и сознания.

Поэтому актуальным является создание искусственного носителя интеллекта – полномасштабного СУОИ, которое имело бы, с точки зрения логики движения информации, тот же механизм, что и мозг человека.

Создание полномасштабного СУОИ позволит после его предварительного обучения (специализации) выполнять как примитивные, «грязные», так и сложные высокоинтеллектуальные работы. Скорее более качественно, чем может человек (хотя бы из-за быстродействия и аккуратности). В том числе, в условиях, недоступных для человека – при слишком высоких и низких температурах, глубоко под водой, без атмосферы, в условиях механических перегрузок, химической и радиоактивной загрязнённости и так далее.

Актуальность исследования функционирования мозга и создания высокоинтеллектуальных устройств обработки информации и управления какими-то объектами (например, промышленными роботами) на этой основе усиливается необходимостью быстрого перестраивания производства на изготовление новых видов товара для выигрыша конкуренции, что и обеспечивает приток финансов для выполнения исследований в области интеллекта.

Но при всём внимании к проблемам изучения мозга [23 – 29] за прошедшие годы интенсивных исследований задача понимания функционирования мозга до сих пор не получила приемлемого решения.

Рассмотрим современное состояние задачи создания искусственных высокоинтеллектуальных устройств, возможности которых были бы сравнимы с возможностями человеческого мозга, достижения и проблемы на этом пути.

С каждым днём наряду с достижениями обнаруживаются всё новые трудности создания полноценного ИИ, хотя отдельные задачи по мере их возникновения успешно решаются в русле ИИ путём создания совершенных программ, из которых постепенно удаляются выявляемые ошибки и недостатки. При отсутствии существенного прогресса из-за отсутствия путеводной идеи создания полноценного ИИ, способного к саморазвитию, интерес к ИИ у широкой общественности временами угасает [63].

Каковы препятствия, причины, по которым создание ИИ продвигается так медленно? В настоящее время господствует мнение, что это происходит из-за недостаточной мощности современных компьютеров, хотя мощность суперкомпьютеров, на которых моделируется работа мозга, превосходит мощности персональных компьютеров в миллионы раз. Оказывается, для детального моделирования работы человеческого мозга, который состоит из десятков миллиардов медленно, но достаточно независимо и параллельно действующих нейронов, не хватает мощности даже таких суперкомпьютеров.

Проблемы быстрогодействия компьютеров рано или поздно будут преодолены. Но приблизит ли увеличение быстрогодействия компьютеров окончательное решение задачи создания искусственного разума? Попытаемся ответить на этот вопрос.

Равенство интеллектов различных людей, также как и интеллектов на различных по происхождению носителях, может иметь место только при сопоставимом объёме информации, которой оперируют эти интеллекты. Как показано в разделе 2 информационная ёмкость мозга человека – носителя интеллекта – так велика, что для осмысления, переработки и размещения в устройстве, интерпретирующем ИИ, объёма информации, приблизительно равного возможному объёму информации в мозге человека (не менее 300 терабайт), потребуются сотни тысяч (или даже миллионы) человеко-лет труда квалифицированных специалистов. Отсюда следует вывод о нереальности и экономической нецелесообразности создания ИИ, готового к функционированию сразу после изготовления. Кроме того, создание ИИ, сразу же готового к функционированию, не решает познавательной задачи постижения принципов развития и функционирования мозга, интеллекта, сознания, которые у человека развиваются от рождения до зрелости, на протяжении не менее 10 – 20 лет.

Приведённое в разделе «информационная ёмкость мозга человека» обоснование методики оценки информационной ёмкости человеческого мозга и сама оценка показывают, что решение задачи создания искусственного разума затрудняется не только производительностью современных компьютеров. Чтобы создать модель мозга или создать устройство, способное сравниться по интеллекту с человеческим мозгом, необходимо, чтобы:

1) Информационная ёмкость этого устройства была сопоставима с информационной ёмкостью мозга человека. Действительно, из информационной системы (хранилища), каким является мозг, невозможно извлечь для использования больше независимой информации, чем в нём есть. Так что любая система, претендующая на сравнение с мозгом человека, должна иметь сравнимую с мозгом информационную ёмкость.

2) Устройство должно быть открытым к усвоению новой информации – уметь самообучаться – усваивать огромные объёмы информации и на этапе подготовки устройства к полезному функционированию, и в ходе функционирования в темпе событий внешнего мира. Вследствие накопления новой информации (приобретения опыта) изменяется реакция устройства, в том числе, на изменяющиеся обстоятельства. Если бы НС организма не справлялась с потоком информации, организм не смог бы адаптироваться к постоянно изменяющейся среде и погиб (или оставался бы на низком уровне). Кроме того, за счёт открытости НС, мозга к восприятию информации преодолевается, казалось бы, непреодолимый барьер, вытекающий из утверждения, что никакое создание не может быть разумнее своего создателя (обладать большим объёмом информации). На самом же деле, система создатель – создание не является

изолированной. Поэтому, создание (в том числе, дети) могут получать информацию из разных источников (от других учителей, из собственных наблюдений), и за счёт этого могут стать умнее своего создателя, родителей, учителей.

В принципе, создавать ИИ, сопоставимый с интеллектом человека, можно разными путями. Например, создать устройство, в точности повторяющее структуру мозга взрослого человека. Для создания такого устройства, прямо повторяющего структуру развитого мозга, необходимо выявить, измерить, рассчитать все информационные связи между активными элементами (нейронами). Количество таких связей – триллионы: до 10 000 входных связей у каждого из многих миллиардов нейронов. К тому же, каждая связь имеет индивидуальный непрерывно изменяющийся логический вес. Так что решить задачу детального повторения действующего мозга нереально по затратам и по времени.

Если устройство, выполняющее работу мозга, не будет повторять структуру мозга, его потенциальная информационная ёмкость, всё равно, с необходимостью должна быть примерно такой же, как и ёмкость человеческого мозга. Из учёта информационной ёмкости гипотетического искусственного разума, сравнимого с человеческим, готового к функционированию сразу после изготовления, видно, что для подготовки и размещения информации ИИ в интерпретирующем устройстве требуется огромное количество труда высококвалифицированных специалистов. Становится очевидной нецелесообразность создания такого устройства. Хотя бы по экономическим причинам. Тогда как наполнение мозга человека информацией до образования в нём интеллекта высокого уровня требует порядка 20 лет активного обучения, начинающегося ещё до рождения, в утробе матери, или в яйце, как будет показано ниже.

Почему при обилии внимания к вопросу понимания механизмов функционирования мозга задача этого понимания ещё далека от решения?

Причиной такого положения дел нам представляется недостаточное внимание к объёмам информации и логике функционирования нервной системы, начиная с мозга простейших организмов, недооценка рассмотрения самоорганизующегося развития НС как в ходе эволюции вида при появлении новых поколений, так и в ходе формирования отдельного организма от эмбриона до взрослого состояния.

Исследование деятельности мозга начинают непосредственно с рассмотрения полномасштабного мозга, наполненного информацией, со всеми его сложностями. Без анализа причин, по которым появилась в природе простейшая нервная система, и как она в результате множества мутаций при генерации миллионов новых поколений превратилась в мозг (носитель интеллекта) высокоразвитых животных посредством выживания организмов, лучше других соответствующих существующим условиям.

Скорее всего, нервная система в организмах появилась как удлинитель, обеспечивающий передачу сигнала от места обнаружения раздражителя (опасности), от рецептора, до удалённого эффектора, исполняющего реакцию уклонения организма от раздражителя. В проведении сигнала раздражения от рецептора к эффектору и состоит главная функция НС. По пути следования сигналов через НС они оставляли следы. Эти следы, к счастью для животного мира, сами обладают способностью проводить сигналы. Так что появилась возможность следования сигналов по разным путям с дальнейшим увеличением количества этих путей. Процессы образования сигналов о воздействии среды на организм и пути следования этих сигналов по НС оптимизировались через выживание и экспансию организмов с лучшей организацией механизмов образования и выбора путей следования сигналов. В итоге и появились развитые нервные системы. В том числе, и мозг животных, человека.

Механизмы функционирования мозга представляются необычайно сложными. Как говорят некоторые исследователи, сложность мозга эквивалентна сложности Вселенной. Можно в шутку добавить: «и сложности мозгов 7 миллиардов других людей». В любом случае остаётся вопрос: «Как невообразимая сложность организма вырастает из достаточно простого образования, каковым является единственная исходная клетка, из

которой за короткое время вырастает взрослый организм со сложным мозгом, состоящим из миллиардов нейронов?». Из рассмотрения процесса превращения единственной исходной клетки во взрослый многоклеточный организм, состоящий из сотен миллиардов клеток разной специализации, вытекает, что механизмы мозга, как и других органов, должны быть чрезвычайно простыми и самоорганизующимися. Иначе все клетки организма не смогли бы образоваться сами по себе из единственной исходной клетки, в которой просто нет места для размещения какой бы-то ни было дополнительной информации и механизма интерпретации этой информации. Есть только образец (сама клетка) для самодублирования клетки с использованием «строительных» материалов, доступных для клетки в её окрестностях. Если каких-то материалов в окрестностях клетки нет, то вместо них с необходимостью используются подходящие, поэтому и возникает различие и дифференциация клеток по составу, структуре, функционированию.

2. Информационная ёмкость мозга человека

2.1 Представление информации в организмах и оценка информационной ёмкости мозга человека

Сегодня нет общепризнанного взгляда на логику функционирования нервной системы (НС), на логику взаимодействия нейронов — даже простейших организмов и, тем более, мозга человека. Так что мозг или НС представляется чёрным ящиком, несмотря на то, что анатомическая структура и биофизические процессы в НС, в мозге, хорошо известны [7]. Но вот принципы, логика функционирования НС, как системы обработки жизненно важной для организма информации, до сих пор неизвестны, хотя некоторые черты этого функционирования известны достоверно. А именно: по мозгу, состоящему из очень большого количества активных элементов — нейронов и проводящих связей между ними, распространяются электрические сигналы, формируемые возбуждёнными нейронами. Нейрон возбуждается, когда суммарный сигнал на его многочисленных входах превышает некоторый порог (выше уровня шумов). Нейрон, пребывая некоторое время в возбуждённом состоянии, за счёт расходования накопленных в нём питательных веществ выдаёт сигнал определённой энергии (стандартного сложившегося потенциала и длительности), что позволяет сигналам распространяться без затухания по ветвящимся структурам мозга дальше. Величина потенциала возбуждения нейрона определяется разностью электрохимических потенциалов, а длительность зависит от размера порции питательных веществ, преобразующихся за один цикл возбуждения в электрический сигнал. Поэтому возбуждение нейрона длится определённое время, даже если возбуждающий сигнал появляется на очень длительное или очень короткое время.

Исходные нервные импульсы возникают при воздействии раздражителей-факторов окружающей среды на рецепторы — на входные цепи мозга, и транслируются далее, распространяются по структурам мозга. Причём по внутренним структурам сигналы именно распространяются, ретранслируются, преобразуются, трансформируются в них, но не генерируются. Структуры мозга не реагируют даже на механическое воздействие на ткани мозга. Итоговая реакция организма на поступившие входные сигналы (раздражители) определяется тем, какие мышцы или железы внутренней секреции будут активированы мозгом (НС) в ответ на исходные сигналы, сгенерированные в рецепторах при воздействии на них внешней среды. То есть, реакция НС проявляется местом выхода из НС на определённый исполнительный механизм (манипулятор) организма сигнала реакции НС. Из этого следует, что реакция НС организма на раздражитель зависит от того, по какому пути распространяется от входа НС к её выходу сигнал раздражения, подействовавшего на организм. Так что реакция организма зависит от конфигурации

входных сигналов и структуры НС (возможных путей следования сигналов) на момент прохождения сигнала через НС. С другой стороны, известно, что структура мозга со временем изменяется. Особенно быстро количество связей между нейронами возрастает при интенсивном обучении животных [105]. Отсюда вытекает, что при обучении в НС (в мозге) при воздействии на НС сигналов от среды образуются новые пути следования сигналов – новые связи между нейронами, в которых отображается информация, полученная животным в ходе обучения - приобретённый опыт.

В существующих сегодня устройствах информация по команде записывается в специализированный блок памяти. Затем в момент, задаваемый управляющим устройством, считывается из него, и интерпретируется другим специализированным блоком. В НС живых организмов, как только что было показано, механизмы фиксации, хранения и интерпретации информации (распространения сигналов по тем или иным путям) совмещены функционально и не локализованы в каких-то определённых выделенных участках мозга, а распределены по всему объёму мозга! Из изложенного выше однозначно вытекает, что информация в мозге каким-то образом фиксируется посредством многочисленных межнейронных связей между огромным числом нейронов. Причём фиксация информации должна быть настолько простой, что может осуществляться локальным механизмом отдельного нейрона, который также должен быть устроен простейшим естественным образом, как и всё остальное в природе.

Каков механизм образования в НС, в мозге, элементов памяти - следов событий в виде связей между нейронами, проводящих сигналы между ними?

По какому принципу образуются связи?

Каковы механизмы распространения без затухания сигналов, поступивших в мозг, по его структурам?

Почему, по каким причинам, и каким образом прохождение сигналов по структурам мозга обеспечивает оптимальное поведение организма?

Нам для ответов на эти вопросы представляется продуктивным подход, основывающийся на рассмотрении эволюции организмов от простейших вплоть до человека.

С точки зрения понимания логики работы мозга ясно, что на уровне отдельного нейрона не имеет значения, каким именно образом (механически, химически или электрически) реализованы связи между нейронами, и как именно осуществляют анализ входных сигналов логические элементы–нейроны. Главное – понять, какая логическая функция реализована на данном нейроне или на группе нейронов, чтобы имела место наблюдаемая реакция НС. Поэтому мы не будем пока уделять особого внимания вопросам конкретного устройства и функционирования отдельных логических элементов мозга – нейронов (их физиологии), а сосредоточимся **на логике взаимодействия**, на принципах совместного функционирования нейронов, обеспечивающего адекватный ответ организма на конфигурации сигналов, поступающих в НС от входных рецепторов. Примеры же, для простоты, будем рассматривать в терминах понятных электрических схем.

Но, прежде чем говорить о возможном устройстве мозга, оценим информационную ёмкость мозга человека. Что мы понимаем под информацией? Как можно измерять информацию? Казалось бы, информация – это нечто расплывчатое, туманное. На самом же деле, информацию можно измерять, в каком бы виде она не представлялась. Эти вопросы подробно рассмотрены в Дополнении 1 «Объективность и материализация информации».

Оценка информационной ёмкости мозга интересна и сама по себе, с точки зрения познания природы. Кроме того, она не только позволяет удовлетворить любопытство по поводу ёмкости нашего мозга, но важна и с точки зрения оценки технической и экономической целесообразности построения того или иного варианта ИИ, или какого-либо самообучающегося устройства. Действительно, устройство с малой информационной ёмкостью не может претендовать на сравнение с возможностями человеческого мозга.

Оценим информационную ёмкость мозга человека. Для этого воспользуемся некоторыми достаточно надёжными экспериментальными данными о мозге человека, существующими на сегодняшний день. Для этого нам надо знать следующее:

– нейроны связаны между собой – выход (аксон) предыдущего нейрона соединен с входами (дендритами) следующих нейронов. Реакция мозга на воздействие среды определяется траекторией движения по структурам мозга сигналов, порождённых воздействием среды на входные рецепторы,

– N – количество нейронов в головном мозге,

– L – среднее количество входов-дендритов у одного нейрона,

– R – среднее количество нейронов, с выходами-аксонами которых может связаться нейрон через один из своих входов-дендритов; определяется средней длиной дендритов и аксонов, их топологией,

– D – число различных значений логического веса связи между нейронами.

Отметим, что выход нейрона (аксон) представлен в единственном числе, хотя его единственность и несущественна для нашего рассмотрения. Важно то, что нейрон выдаёт на выход единый сигнал. Множество всех остальных имеющихся на сегодня сведений о мозге человека, как экспериментальных фактов (результатов измерений), так и представлений (результатов рассуждений), мы пока не будем рассматривать.

Сделаем естественное предположение, что информация в мозге отображается путём образования связей между нейронами головного мозга. Вообще-то, по большому счёту, это предположение следует называть уже не предположением, а подтверждённым [2] устоявшимся представлением [7, 8].

Примем пока для простоты, что выходы нейронов работают не в аналоговом, а в чисто цифровом режиме, т.е., на выходе нейрона (логического элемента) сигнал или есть (уровень сигнала равен 1), или его нет (уровень сигнала равен 0). Хотя, на самом деле, уровень сигналов, поступающих на входы нейронов, зависит от нагрузок на выходы нейронов, которые участвуют в возбуждении рассматриваемого нейрона.

В то же время, как показывает эксперимент, по входу нейрон ведет себя как аналоговое пороговое устройство, возбуждается, когда уровень входного сигнала превышает некоторый порог, чуть выше среднего уровня шумов. Уровень суммарного входного сигнала зависит не только от потенциалов на его отдельных входах, но и от пропускной способности каждого отдельного входа – веса входа. То есть, входы нейронов имеют различное влияние на возбуждение нейрона - имеют различные веса, что эквивалентно различию их электрических проводимостей (обратных сопротивлений), могущих изменяться со временем. Так что одинаковые по величине сигналы, приходящие на разные входы одного и того же нейрона, имеющие разные веса, оказывают несколько различающееся влияние на суммарный потенциал на входе операционной части этого нейрона и на его возбуждение. Различие весов различных связей несет некую информацию. Информационная ёмкость веса такой связи определяется количеством различных значений веса связи. Если веса связей неразличимы, то информация в весах этих связей равна нулю. Если можно различить 2, 4, 8, ... 1024 состояния веса связи (2^1 , 2^2 , 2^3 , ... 2^{10}), то значение веса этой связи несет в себе, соответственно, 1, 2, 3 ... 10 бит информации. На сегодня неизвестно, какова информационная ёмкость одного входа нейрона за счёт различия весов связей. Поэтому мы поступим по аналогии с существующими техническими решениями. В технике для оцифровывания аналоговых сигналов обычно используется порядка 12 двоичных разрядов, иногда 16 двоичных разрядов (бит). Использование большей точности представления информации не имеет смысла, потому что различие соседних уровней полезного сигнала теряется на фоне шумов. Предположим, что природа достаточно близка к техническому оптимуму, и количество различных весов связи $D = 4096 = 2^{12}$. То есть, информативность веса связи принимаем равной 12 бит.

Примем, в соответствии с имеющимися на сегодня лабораторными данными, что в человеческом мозге содержится $N=15$ миллиардов нейронов ($1.5 * 10^{10}$). У каждого из этих N нейронов имеется $L=10\ 000 = 10^4$ входов – дендритов и один выход – аксон [4, 82-84]. По данным других исследователей в мозге человека насчитывается до 100 миллиардов нейронов, каждый из которых имеет до 20 000 входов—дендритов[85].

Каждый вход-дендрит может быть связан с одним из соседних нейронов, с его аксоном. Сегодня нейрофизиологи говорят о входах нейрона не как о дендритах, а как о синапсах, или «шипиках» на дендритах. Для нашего рассмотрения информационной ёмкости мозга не столь важен конкретный механизм входных связей нейрона. Главное, что эти связи есть, и в указанном количестве. Косвенным подтверждением именно такого возможного количества входных связей нейрона является тот технический факт, что усилители в различных устройствах памяти, на которые поступают сигналы от многих ячеек памяти, устойчиво могут выделять сигнал на фоне шумов как раз приблизительно от 10 000 ячеек. Аксон (выход) нейрона может быть связан с множеством дендритов (входов) нейронов следующего каскада. Средняя длина дендрита около 1 мм. Тогда как аксоны имеют длину до сотен и даже тысяч миллиметров. Среднюю длину аксона можно принять равной приблизительно 10 миллиметров.

Каждый из N нейронов посредством каждого из своих L входов – дендритов может быть связан с некоторыми L нейронами из числа R близлежащих нейронов, в том числе, и с самим собой или с каким-то нейроном посредством нескольких входов. Пусть каждый нейрон может связаться через один из своих входов (длиной 1 мм) с одним из своих соседей – нейронов, находящихся в пределах досягаемости для дендритов данного нейрона, то есть, расположенных внутри сферы с радиусом, равным длине дендрита $r = 1$ мм. Объём этой сферы $V = (4\pi/3) * r^3 \approx 4.2 \text{ мм}^3$, и в нем находится в среднем около 42 000 нейронов. Тогда как все $15*10^9$ нейронов располагаются в объёме всего мозга, приблизительно равном $1.5*10^6 \text{ мм}^3$ (1500см^3). Таким образом, в пределах досягаемости дендритов рассматриваемого нейрона расположено около 42 000 нейронов-соседей (самих ядер – сом нейронов). Но дендриты контактируют с аксонами, простирающимися иногда на сотни миллиметров от своего ядра. Можно принять, что средняя длина аксона (прямого) порядка 10 мм. Тогда связи с этим аксоном могут иметь все нейроны, находящиеся в цилиндре радиусом 1 мм (максимальная длина дендрита) с полусферами такого же радиуса, прилегающими к основаниям этого цилиндра. Объём этого цилиндра (вместе с полусферами) составляет $10*\pi*1^3 + (4\pi/3) * 1^3 \approx 31.4 + 4.2 \approx 35 \text{ мм}^3$, Так что можно смело сказать, что в пределах досягаемости среднего аксона находится более чем 300 000 нейронов. Но верно, в некотором смысле, и обратное. То есть, как один аксон проходит в пределах досягаемости 300 000 нейронов, так и в пределах досягаемости дендритов одного нейрона проходит порядка 300 000 аксонов. А это значит, что количество аксонов, с которыми может связаться произвольный дендрит рассматриваемого нейрона, т.е., R больше 300 000.

Подсчитаем теперь, какое количество состояний, различающихся той или иной конфигурацией связей между нейронами, может иметь человеческий мозг. И какую длину должно иметь двоичное число, с помощью которого можно было бы пронумеровать все различающиеся состояния мозга. Количество двоичных разрядов, необходимых для нумерации всех различающихся состояний мозга, и будет представлять количество бит информации, необходимых для однозначного указания на одно из возможных состояний мозга. Чтобы определить разрядность этого двоичного числа, адресующего одно из состояний, достаточно взять \log_2 от количества различимых возможных состояний мозга. Это и будет возможное количество информации в мозге человека, эквивалент адреса, взаимно однозначного указателя на одно из возможных состояний мозга.

Если бы мы предполагали работать с информацией не в двоичной логике, а в троичной (1, «не определено», 0), нам надо было бы использовать для адресации каждого конкретного состояния (для указания на него) троичную систему счисления. И,

соответственно, для определения количества троичных разрядов надо было бы вычислять не \log_2 , а \log_3 . Дальше мы работали бы с троичной логикой (не с битами, а с тритами; смотри дополнение Д1 «Объективность и материализация информации»). Однако инженерная практика выявила некоторые недостатки схемной реализации троичной логики. Например, троичная логика гораздо менее помехоустойчива, чем двоичная. Её гораздо труднее реализовать на практике, чем двоичную. Поэтому и работают инженеры и кибернетики с двоичной логикой.

А как именно организована информация в мозге — это уже другой вопрос. Мы же говорим о количестве информации в произвольном закодированном файле, даже если не знаем, из какой области информация, поскольку не видно, что это за информация. Организация информации в мозге будет рассмотрена в последующих главах.

Для оценки количества возможных состояний мозга изобразим схематически нейроны мозга и связи между ними (рисунок 1).

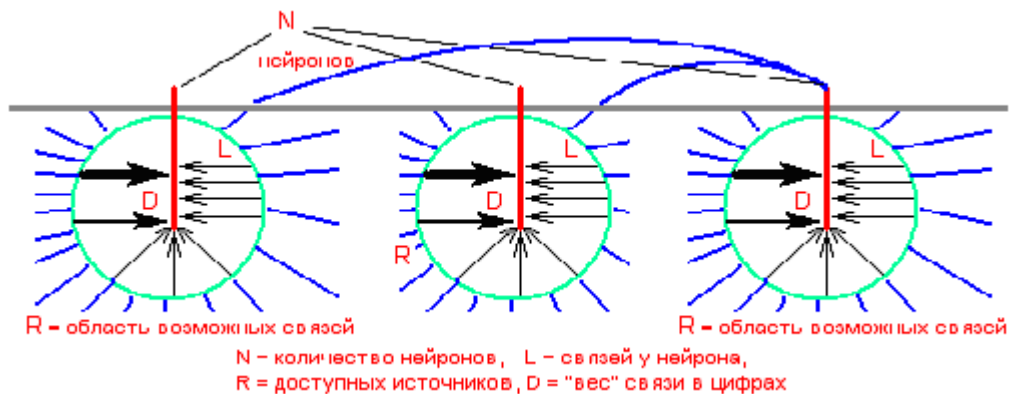


Рисунок 1. Информационная ёмкость мозга

Произвольный нейрон через один из своих входов может образовать с одним из R соседей связь, имеющую одно из 4096 возможных значений логического веса этой связи. То есть, каждая связь нейрона может находиться в одном из 1 200 000 000 состояний ($R * D = 300\,000 * 4096 \approx 2^{18} * 2^{12}$).

Так что при образовании (или при необразовании) связи через первый рассматриваемый вход (из L) с одним из R нейронов рассматриваемый нами нейрон с учетом логического веса связи может реализовать один из $(R * D)$ вариантов связей. Второй вход этого же нейрона также может быть связан с одним из R нейронов (через связь с одним из D весов). Видим, что при задействовании двух входов может быть реализовано $(R * D) * (R * D)$ вариантов соединений данного нейрона с другими. При задействовании следующего (третьего) входа может быть реализовано уже $(R * D) * (R * D) * (R * D) = (R * D)^3$ вариантов. Так что при задействовании всех L входов рассматриваемый нейрон может иметь одну из $(R * D)^L$ конфигураций связей через свои входы с другими нейронами. Точно так же каждый из $(N - 1)$ оставшихся нейронов может иметь одну из $(R * D)^L = Z^L$ конфигураций входных связей независимо от конфигураций связей других нейронов. Что в итоге даёт трудно вообразимое количество M возможных конфигураций связей между нейронами системы под названием «мозг человека», состоящей из N нейронов, каждый из которых имеет L входов, а для каждого входа доступно $(R * D)$ вариантов соединений:

$$\begin{aligned}
 M &= (Z^L) * (Z^L) * (Z^L) * \dots * (Z^L) = (Z^L)^N = ((12 * 10^8)^{10\,000})^{15\,000\,000\,000} \\
 &= ((12^{(10\,000 * 15\,000\,000\,000)}) * (10^{(8 * 10\,000 * 15\,000\,000\,000)})) \\
 &= ((12^{150\,000\,000\,000\,000}) * (10^{1\,200\,000\,000\,000\,000}))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&> (10^{150\,000\,000\,000\,000}) * (10^{1\,200\,000\,000\,000\,000}) \\
&> 10^{1\,350\,000\,000\,000\,000} \text{ конфигураций!}
\end{aligned}$$

Полученное невообразимое количество конфигураций можно представить себе намного проще (привычнее в сегодняшнем мире), если сказать, что для нумерации (идентификации, обозначения, представления) такого количества конфигураций системы (скажем, для нумерации этих конфигураций) нужно иметь W двоичных разрядов – бит. Конечно, для нумерации возможных конфигураций связей между нейронами мозга или представления состояния любого другого хранилища информации можно было бы использовать и другие системы счисления, например, троичную систему счисления и говорить о единицах представления информации как о тритах, а не о битах. Но такое представление информации в троичной системе оказалось более сложным и труднее реализуемым технически. Поэтому в представлении информации постепенно закрепилась именно двоичная система. Для определения количества двоичных разрядов – бит, необходимых для указания на одну из этих возможных M конфигураций, для адресации одной из этих конфигураций, надо взять логарифм по основанию 2 от этого числа M .

То есть, количество информации, которое может содержаться в структурах человеческого мозга за счёт реализации тех или иных вариантов конфигурации связей между нейронами,

$$W = \log_2 M = \log_2 (Z^L)^N = \log_2 ((R*D)^L)^N = N * L * (\log_2 R + \log_2 D), \text{ или}$$

$$W = \log_2 M = N * \log_2 (R*D)^L = N * I,$$

Здесь через I мы обозначили среднее количество информации, которое может быть зафиксировано (размещено) в одном нейроне.

Можно сказать, что наши рассуждения были перегружены деталями. Специалист по компьютерам без лишних рассуждений сразу же записал бы ёмкость мозга в виде:

$$W = N * I.$$

Где N – количество нейронов, а I – информационная ёмкость одного нейрона. В обоих случаях

$$I = \log_2 (R*D)^L = L * \log_2 (R*D) = 10\,000 * \log_2 1\,200\,000\,000 \approx 10\,000 * 28 \text{ бит.}$$

Легко наглядно показать, что информационная ёмкость одного нейрона именно такая. Для этого отметим, что каждая из $L=10\,000$ связей рассматриваемого нейрона соединяет его с выходом одного из $R=300\,000$ нейронов (связь указывает на один из R нейронов), каждый из которых как раз и адресуется приблизительно 18 битами ($2^{18} \approx 256 * 10^3$). Кроме того, информационная ёмкость веса каждой отдельной связи равна 12 битам, что соответствует 4096 различных значений веса связи.

Чтобы убрать возможные возражения против учета информативности веса связи (из-за неимения её измеренных параметров), примем пока, что информационная ёмкость каждой связи – входа нейрона определяется только возможностями адресации одного из 300 000 нейронов и составляет всего лишь 18 бит. То есть, информационная ёмкость одного нейрона $I \approx 10\,000 \text{ связей} * 18 \text{ бит/связь} = 180\,000 \text{ бит.}$

Поделим количество бит на 8, получим информационную ёмкость нейрона в байтах:
 $I \approx 22\,000 \text{ байт} = 22 \text{ Кбайт,}$

Так что информационная ёмкость всего мозга $W = N * I$ составляет не менее
 $W = N * I = (15 * 10^9) * 22\,000 = 330 * 10^{12} \text{ байт} = 330 \text{ терабайт!}$

И это без учета весов связей. А с учетом весов связей $I \approx 37 \text{ Кбайт, } W \approx 550 \text{ терабайт.}$

Если принять для наглядного представления полученной оценки информационной ёмкости мозга человека, что на одной бумажной странице размещается 6 Килобайт информации, а 1000 страниц составляют один том (книгу), то ёмкость мозга человека (330 терабайт) составляет приблизительно пятьдесят пять миллионов (55 000 000) таких

тысяче-страничных томов! Если мысленно поставить все эти тома, каждый толщиной порядка 3 см, на полку, то длина этой воображаемой книжной полки составит 1 650 км! Если бы человек прочитывал каждый день по одной такой книге, то за год он прочитал бы 365 томов примерно с 10 метров, так что за 100 лет были бы прочитаны книги примерно с 1 км этой воображаемой книжной полки. Конечно же, человек воспринимает информацию с гораздо большей скоростью, чем 1000 страниц в день.

Трудно представимое число ($330 * 10^{12}$ байт) для наглядности можно свести к чему-нибудь, более привычному в настоящее время. Предположим, что каждый день в мозге человека с предельной точностью фиксируется порядка $5 * 10^9$ байт = 5 Гигабайт, что составляет приблизительно 4 часа фильмов на DVD (со всеми деталями). Для фиксации такого количества информации мозг должен был бы воспринимать её непрерывно в течение суток (86 400 сек) со средней скоростью порядка 60 килобайт в секунду, что соответствует образованию приблизительно 30 000 новых связей между нейронами мозга за одну секунду.

Информационная ёмкость каждой связи (без учета её логического веса) равна приблизительно 2 байта, равна 18 бит адресации одного из 300 000 нейронов, связывающегося посредством этой связи с нашим рассматриваемым нейроном. Так что $60\,000$ (байт/сек) / 2 (байта/на одну связь) $\sim 30\,000$ (связей/сек). Эти 30 000 связей соединяют множество пар нейронов последовательно и параллельно в разные цепочки, отображая мозаику множества ассоциированных событий и свойств объектов, попавших в «поле зрения» мозга через сигналы от входных рецепторов. Суммарно эти 30 000 связей, образующихся между многими нейронами, эквивалентны образованию всех связей 3 нейронов (у каждого 10 000 связей) в секунду. Понятно, что нейрон не обрастает сразу всеми возможными связями. Эта цифра нужна лишь для количественных оценок.

При таком предположенном темпе фиксации информации мозг человека будет полностью заполнен (образуются все возможные связи) примерно за 66 000 дней ((ёмкость мозга $\approx 330 * 10^{12}$ байт) / $5 * 10^9$ (байт в день)). Или за 180 лет (точнее, 181).

Понятно, что безошибочно, с компьютерной точностью, мы запоминаем в день гораздо меньше 5 Гигабайт информации. Мозг наш не работает с механической точностью. С одной стороны, вполне возможна ситуация, когда одна и та же информация многократно дублируется (образуется множество параллельных связей). С другой стороны, какая-то информация утрачивается, например, из-за того, что какие-то фрагменты картины окружающей действительности не дошли до места фиксации, или дошли, но не были зафиксированы, или были зафиксированы, но потом разрушились. Именно поэтому об одном и том же событии 10 свидетелей, имея собственное индивидуальное (субъективное) видение, сообщают 10 различных версий.

Видим, что вычисленная нами информационная ёмкость мозга приблизительно соответствует нашим интуитивным представлениям об объёме человеческой памяти.

Отметим, что все цифры, полученные в этой главе, являются оценочными, демонстрирующими, в основном, методику расчёта. Но кроме методики, они позволяют также судить в меру достоверности использованных экспериментальных данных о порядке величины объёма нашей памяти и скорости восприятия информации человеком. Что позволяет судить об адекватности и реализуемости проектируемых устройств и систем, имеющих своей целью имитацию или моделирование функционирования мозга.

Можно, конечно, заявить о возможной неразличимости некоторых конфигураций идентичных связей нейронов, связанной с нумерацией их входов-дендритов. И поэтому информационная ёмкость каждого нейрона, определяемая количеством возможных конфигураций связей, меньше, чем было принято выше, по той причине, что порядок, в котором различные дендриты одного нейрона связаны с выходами других нейронов, не имеет значения. Если это имеет место, то из комбинаторики следует, что вариантов конфигурации связей или реально различимых состояний каждого нейрона в $L!$ (L факториал) раз меньше, чем мы подсчитали. Так что информационная ёмкость одного

нейрона I будет равна не 35 Кбайт, а на $\log_2(L!)$ бит меньше. Воспользовавшись асимптотической формулой Стирлинга для значения факториала

$$L! \approx (2\pi L)^{1/2} (L/e)^L,$$

где e – основание натурального логарифма, получаем

$$\Delta I = -\log_2(L!)/8 = -15\,000 \text{ байт},$$

То есть, если возможные состояния нейрона (конфигурации его связей) неразличимы при замене одного его входа-дендрита на другой, мы должны были бы принять информационную ёмкость одного нейрона равной приблизительно 22 Кбайт (37Кб–15Кб), что составляет 60% от значения, полученного ранее.

По поводу того, что состояния нейрона, различающиеся только «номерами» дендритов, нужно считать одинаковыми, неразличимыми, надо сказать следующее: дендриты не могут быть идентичными. Уже хотя бы потому, что логические веса связей – дендритов (или синапсов) различны. То есть, длины, а также электрические характеристики разных дендритов (время задержки, электрическое сопротивление и т.д.) различны. И поэтому состояния нейрона, различающиеся порядком соединения двух дендритов с двумя другими нейронами, существенно различаются. Да и вообще, весь мозг вряд ли можно считать чисто цифровым устройством с двумя возможными состояниями уровней сигналов (0 или 1) и на входах, и на выходах всех составных элементов. Мозг, скорее всего, эквивалентен гигантской логической схеме, реализовавшейся в виде аналоговой (по входам) электрической схемы с очень изменчивыми порогами срабатывания элементов, составляющих её. Хотя сигналы на выходах–аксонах нейронов имеют при этом цифровой характер. То есть, электрические потенциалы на выходах имеют всего два значения: «0» или «1». При этом потенциал «1» зависит от нагрузок, на которые попадает сигнал с выхода данного нейрона. Аналоговая, даже только по входу, электрическая схема по сравнению с дискретной, цифровой имеет существенно большее количество возможных состояний каждого элемента и всей схемы – нейрона и мозга в целом, хотя имеет при этом существенно меньшую устойчивость, повторяемость, воспроизводимость результатов.

На примере обсуждённой возможной неразличимости некоторых конфигураций связей между нейронами, видим, что, в принципе, возможны какие-то уточнения оценки информационной ёмкости мозга. Но в этом уточнении размером в десятки процентов нет особого смысла, поскольку существующие экспериментальные оценки количественных характеристик мозга имеют разброс в разы, то есть, в сотни процентов.

Так, некоторые источники утверждают, что N – количество нейронов в головном мозге человека – намного больше, чем 15 миллиардов – до 100 миллиардов. И каждый из них может иметь до 20 000 связей с другими нейронами, что примерно в 12 раз увеличивает информационную ёмкость мозга $W \approx 330 \cdot 10^{12}$ байт, вычисленную в соответствии с использованными данными. К тому же, как мы увидим позже, следует непременно учитывать различие логических весов связей между нейронами. Этот учет приводит к увеличению вычисленной нами выше информационной ёмкости мозга при $N = 15 \cdot 10^9$ и $L = 10\,000$ до $5000 \cdot 10^{12}$ байт (5 000 терабайт) или даже больше.

Так что не будем ничего уточнять, а примем пока, что информационная ёмкость каждого из 15 миллиардов нейронов составляет 20 Кбайт. Иначе, если мы начнём уточнять, то утонем в недостоверных деталях. Придётся говорить и о пороге чувствительности входов различных нейронов, и об изменении этого порога в зависимости от различных обстоятельств, как внутренних, так и внешних, а также и о других деталях, пусть даже очень существенных. А такое отклонение от главной темы не будет способствовать пониманию нами сути работы нашего мозга.

Мы оценили потенциальную, предельно возможную для использования информационную ёмкость человеческого мозга. Эта потенциальная ёмкость памяти аналогична ёмкости памяти на каком-нибудь техническом носителе информации, скажем, на диске. Если ёмкость этого диска 100 Гигабайт, это совсем не значит, что все они

заняты. Поначалу на диске нет никакой информации, затем задействуются какие-то малые доли процента. Но постепенно, в ходе использования компьютера, диск заполняется почти полностью. Точно так же и ёмкость мозга человека при рождении почти пуста, как лист белой бумаги. Но постепенно, по мере приобретения жизненного опыта, задействуется всё большее количество возможных связей. Но полностью, на все 100% память человека никогда не используется – человек даже в глубокой старости способен запоминать что-то новое, для чего должны быть задействованы ещё не задействованные до того связи.

Из того, что ресурсы организма ограничены, следует сомнительность существования других способов запоминания информации в организме. Поскольку избыточность памяти для организма будет обходиться очень дорого. Природа в ходе эволюции могла бы направить дополнительные ресурсы (якобы занятые чем-то ненужным) на что-то другое. Например, на увеличение объёма почек или сердца, увеличивая надёжность их работы за счёт снижения нагрузки.

Из полученной оценки информационной ёмкости мозга человека следует вывод о практически непреодолимых трудностях создания ИИ на нынешних путях его развития. Хотя некоторые задачи, традиционно относимые к интеллектуальной деятельности, компьютеры решают более успешно, чем это делает человек, например, компьютерные программы обыгрывают шахматных чемпионов мира. Но они не могут найти выход даже из простейших ситуаций, если эти ситуации не предусмотрены заранее. Искусственный интеллект, равный по возможностям человеческому интеллекту, должен иметь информационную ёмкость, примерно равную ёмкости мозга человека. Что составляет порядка 330 терабайт. Так что для создания ИИ нужно тщательно проанализировать, сгенерировать и записать в устройство, интерпретирующее ИИ, упомянутые 330 терабайт. Для того чтобы проделать эту колоссальную работу, требуются многие тысячи, если не миллионы лет труда высококвалифицированных специалистов.

Так что, даже если создание ИИ на нынешних путях возможно теоретически, оно, по нашему мнению, невозможно практически, не оправдано экономически, нецелесообразно – слишком много затрат при малой пользе. К тому же нынешние пути создания ИИ далеки от пути понимания функционирования мозга человека или другого биологического существа. Конечно, потратив многие сотни тысяч лет труда высококвалифицированных специалистов, можно создать единичный ИИ. Однако понятно, что создание единичного экземпляра ИИ в законченном виде экономически нецелесообразно. Поэтому, для создания экономически целесообразного ИИ необходимо создать его на таких принципах, чтобы он мог самосовершенствоваться, самообучаться, самостоятельно усваивать любую информацию, нужно понять механизм действия и развития естественного интеллекта. Поэтому мы рассмотрим возможность создания устройства управления, сравнимого по своим возможностям с мозгом человека, на тех же принципах, что и естественный мозг.

Итак, мы подсчитали количество состояний мозга, различающихся конфигурациями связей между нейронами. Если запоминание в мозге происходит не за счёт образования связей между нейронами, а за счёт чего-то другого (что весьма сомнительно), то информационная ёмкость мозга не станет меньше подсчитанной нами выше, вытекающей из количества различных состояний мозга (количества возможных конфигураций связей между нейронами). Эти состояния мозга различаются, тем самым несут информацию, хотя мы можем и не знать, как её извлечь и как ею воспользоваться.

Конечно, можно сказать, что сама по себе некоторая конфигурация связей между нейронами мозга в информационном смысле подобна конфигурации контактов между отдельными песчинками в куче песка, то есть, совершенно бессмысленна и бесполезна. Сказать о том, что в конфигурации связей нейронов содержится полезная для организма информация, можно лишь тогда, когда будет показано, что существуют механизмы записи (фиксации), чтения (воспроизведения) и использования этой информации, фиксируемой в виде определённой конфигурации связей между нейронами мозга в нашем случае. Ещё

лучше, если эти механизмы будут известны и промоделированы. Эти механизмы записи, воспроизведения и полезности описаны в последующих главах.

То, что связи между нейронами действительно содержат актуальную информацию, подтверждает экспериментальный факт, состоящий в том, что через межнейронные связи нейроны возбуждают друг друга, так что каждый сигнал (раздражение, мысль) проходит по тому или иному пути, определяемому конфигурацией связей между нейронами. И активирует тот или иной эффектор (мышцу, железу). Это и есть прямое доказательство того, что в конфигурации связей между нейронами отображена информация. Причём эта информация совершенно точно задействована в функционировании организма – путь прохождения сигнала через ту или иную цепочку связанных нейронов, вне всякого сомнения, самым существенным образом влияет на функционирование организма, поскольку возбуждённые на том или ином участке траектории сигнала нейроны в конечном итоге управляют соответствующими мышцами и подсистемами-органами. В свете сказанного становится очевидным, что в конфигурации межнейронных связей отображена (зафиксирована) жизненно важная информация, проявляющаяся (считываемая, действующая) в момент прохождения сигнала по той или иной цепочке нейронов в зависимости от конфигурации возбуждающих сигналов.

Другое дело, что на сегодня пока неизвестно, как эта информация отображается, записывается (фиксируется), каков механизм образования связей между нейронами. Ниже, в разделах 4 - «Полезность нервной системы», 5 - «Мозг – орган обработки информации управления организмом» и 7 - «Механизм образования следов событий ...» мы опишем (представим) возможный способ возникновения таких связей между нейронами, то есть, покажем, каким именно образом жизненно важная для организма информация может фиксироваться в связях между нейронами.

Некоторое представление о принципах образования парных связей между нейронами мы можем получить чисто логически, исходя из самых общих соображений:

1) _ Физической возможностью образования такой связи является близость нейронов, определяемая геометрией их расположения.

1) _ Поскольку связи парные (каждая связь соединяет только два нейрона), то для образования связей между нейронами имеет значение только состояние именно этих двух нейронов, и ничего более.

Рассмотрим пример. Пусть в мозге имеется несколько нейронов (А, В, С, D, E, F), отображающих следующие объекты-события внешнего мира:

А = на улице А состоялась,	D = демонстрация,
В = на улице В состоялась,	E = прогулка слона,
С = на улице С состоялась,	F = финиш ралли.

В принципе, между ними могут образоваться любые парные связи из числа $6!/2=15$ возможных (ненаправленных). В данном случае нас интересует образование одной из 9 связей: AD, AE, AF, BD, BE, BF, CD, CE, CF.

Связи АВ, АС, ВС, DE, DF, EF представляют несколько другие проекции событий и в данном случае нас не интересуют.

Пусть в какой-то момент времени образуется одна из связей, отображающая реальную связь между событиями, имеющими место в данный момент, скажем,

AE = (на улице А состоялась)^(прогулка слона).

То есть, в тот момент, когда одновременно были возбуждены два нейрона, отображающие события А и Е, между ними образовалась связь. Тогда как другие допустимые, возможные связи, не образовались, поскольку не было такого составного события, чтобы одновременно были возбуждены А и F, или А и D, В и D и так далее. Из этого рассмотрения делаем предварительный вывод, что из принципиально возможных связей между двумя нейронами образуются только те, и только в тот момент, когда оба эти нейрона возбуждены. Иначе очень быстро, при первых же возбуждениях нейронов, или даже, вообще, без возбуждения, сами по себе, без всякого соотношения с реальными

событиями образовались бы все допустимые по географическому расположению нейронов межнейронные связи, в своём подавляющем большинстве не отражающие реальных событий (подобно контактам песчинок между собой в куче песка). И, тем самым, связи уже не несли бы в себе информации, отображающей действительность.

Можно утверждать, что именно связи между нейронами являются главным носителем информации, накопленной в мозге человека за время его жизни. Этот вывод вытекает уже из того факта, что любая возможность, любой механизм требует каких-то ресурсов, затрат. Ресурсы организма вполне ограничены, а ему для успешного своего функционирования необходимо иметь самые разные возможности. И, если какая-то функция–возможность в организме уже реализована, то в случае дублирования этой функции в организме может не хватить ресурсов на другие возможности. Поэтому в организме, как и в любой самоорганизующейся системе, устанавливается баланс между затратами и полученными (имеющимися) возможностями (выгодами, полезностью). А поскольку на нейроны человеческого мозга и связи между ними затрачено около 1.5 кг, что составляет не менее 1.5% массы человека, то на другие виды памяти, на дублирование функции памяти, у организма уже просто нет ресурсов. Остальная масса человеческого организма, кроме 1.5 кг мозга, пошла на реализацию других необходимых систем жизнеобеспечения: движения, энергоснабжения (питания), доставки питательных веществ к различным системам организма и отвода от них использованных веществ, терморегулирования и т.д.

Здесь следует добавить, что ресурсы мозга в ходе жизни организма используются на все 100%, а не так, чтобы на 10%, как иногда утверждают. Иначе природа за миллионы поколений за счёт перераспределения ресурсов организма увеличила бы удельную нагрузку на мозг (с 10% до 100%), уменьшив его массу, и уменьшила бы удельную нагрузку на сердце, на почки за счёт увеличения их массы. Хотя, конечно, события сплошь развиваются так, что вчера были задействованы 10% ресурсов мозга, сегодня были задействованы лишь 5%, а завтра будут задействованы другие 40% ресурсов мозга.

3. Необходимость открытости интеллекта

Из оценки информационной ёмкости мозга человека следует вывод о практически непреодолимых трудностях создания ИИ на нынешних путях. Такие ИИ не имеют познавательной ценности с точки зрения понимания функционирования мозга.

С другой стороны, для создания такого ИИ, готового к функционированию сразу же после его создания, требуются затраты огромного количества труда высококвалифицированных специалистов. Перед размещением в устройство, исполняющее ИИ, необходимо проанализировать не менее 300 терабайт информации. Систематизировать её, разместить в устройстве. Так что, несмотря на принципиальную возможность, создание готового к полноценному функционированию ИИ представляется экономически нецелесообразным из-за огромных затрат и малой пользы.

Поэтому мы рассмотрим возможность создания самообучающегося устройства обработки информации, сравнимого по своим возможностям с мозгом человека, действующего на тех же принципах, что и естественный мозг, способный к самообучению – к самостоятельному усвоению информации, расширяющему возможности СУОИ на протяжении всего периода функционирования. Сразу же после изготовления такого СУОИ оно не может быть готово к полноценному полезному функционированию – ещё очень мало опыта у только что изготовленного СУОИ. Но возможность самообучения СУОИ обеспечивает накопление опыта устройства, рост его интеллекта по ходу функционирования с приемлемыми затратами, и экономическую целесообразность.

Скажем несколько слов о возможности создания модели мозга, более совершенного, чем мозг самого человека. В настоящее время распространён как будто неоспоримый

тезис, что автомат, программа, и сам человек **в принципе** не могут создать ничего более сложного, совершенного, чем они сами. Скажем, человек не в состоянии создать искусственный разум, существо более сложное и совершенное, чем он сам.

Так ли это? На чём основан этот тезис?

Этот тезис основан на констатации положения, что более совершенные, более сложные автомат, программа, существо, содержат больше информации, чем более простые, и на дальнейшей его абсолютизации: — откуда может появиться информация сверх той, что была у более простого существа-создателя? Действительно, эти дополнительные порции информации, усложняющие объект, не могут появиться ниоткуда. Казалось бы, эта дополнительная информация не может быть сгенерирована более простым «субъектом» — создателем более сложного автомата или существа следующего поколения. Он не может выдать информации больше, чем есть в нём. Отсюда и следует утверждение о невозможности создания более сложного объекта более простым «субъектом» — создателем.

Однако хорошо известно, что практически у всех тренеров по любым видам спорта, равно как и у школьных и университетских преподавателей, есть ученики, имеющие гораздо лучшие результаты, чем были у самих тренеров и преподавателей. Часто более образованные и информированные дети умнее родителей. То есть, в повседневной жизни мы сплошь и рядом видим факты, опровергающие указанный тезис о невозможности создания более развитого объекта — субъекта.

Почему так происходит? Да просто потому, что кроме активного «субъекта» — «создателя», инициатора процесса, будь это исходная яйцеклетка или инженер-исследователь, есть множество активных и пассивных, вольных или невольных ассистентов, принимающих участие в процессе формирования, создания новых объектов-субъектов и наполнения их дополнительной (к информации «создателя») информацией. Активным ассистентом может быть и сам формируемый объект — ученик. Сам же инициатор-создатель в этом процессе представляет, пусть самую активную, иницирующую, но лишь часть системы, формирующей новый объект, который может стать гораздо более сложным, чем «субъект» — инициатор. То есть, система «создатель—объект создания» является открытой для связи с окружающим миром, откуда и поступает дополнительная информация. В качестве примера можно привести человека и яйцеклетку, из которой этот человек произошёл; инженера или школьника, собирающих из стандартных блоков некоего высокоинтеллектуального робота. Структура, информационная наполненность этих блоков совершенно неизвестна создателю новой конструкции, но в этих блоках воплощены знания и опыт миллионов людей. Все эти ассистенты, от окружающей среды до самого ученика, и поставляют дополнительную информацию, позволяющую ученику превзойти учителя.

3.1 Оптимизация компоновки мозга (Об извилинах в головной коре)

Мы приблизительно подсчитали возможную информационную ёмкость мозга человека в соответствии с нынешними экспериментальными оценками количественных характеристик человеческого мозга и его составляющих: количества нейронов в мозге, количества дендритов у каждого нейрона и длин дендритов и аксонов. Наша оценка сделана на основе достаточно надёжных сведений без привлечения каких-либо гипотез и не очень обоснованных оценок типа темпа поступления информации в мозг через органы чувств. Подсчитанная нами информационная ёмкость — предельная. Ёмкость может быть совершенно незаполненной. Это хорошо видно на примере только что родившихся детей, когда их память практически пуста, как чистый лист бумаги.

Что можно сказать на основе наших оценок?

Во-первых, возможности мозга человека или любого другого существа, как естественного (у нас на Земле – биологического белкового), так и возможного искусственного, определяются общим количеством логических элементов (нейронов или нейроподобных элементов - НЭ), а также количеством возможных связей у каждого нейрона, а не геометрическим объёмом или массой мозга. То есть, информационная, интеллектуальная мощь мозга определяется не количеством килограммов в нём, а количеством его возможных состояний, определяемым количеством возможных связей между нейронами. Так что информационная мощь мозга вороны и слона определяется не их весом, а количеством возможных связей в мозге. Проиллюстрируем сказанное на примере из компьютерной техники. Сорок ÷ пятьдесят лет назад компьютер, весящий десятки тонн, занимал помещение площадью в сотни квадратных метров. Сегодня же компьютер (мобильный телефон), весящий десятки грамм (по массе в миллионы раз меньше!) помещается на ладони, но состоит при этом из гораздо большего количества логических элементов. Благодаря высоким технологиям в объёме телефона размещено большее количество логических элементов, чем в компьютере 50-летней давности. Поэтому телефон имеет гораздо БОльшую память и гораздо БОльшую производительность, чем его прадедушка – многотонный монстр 50-летней давности.

Человеческий мозг весит 1.5 кг, тогда как мозг кита – 6 кг. Но, скорее всего, человек потенциально умнее кита, поскольку у человека больше нейронов и связей между ними.

Во-вторых, следует отметить, что для обеспечения максимального количества связей в мозге при его минимальной массе и прочих равных условиях оптимальной представляется следующая компоновка элементов мозга: связующие элементы (дендриты и аксоны нейронов головного мозга) должны располагаться компактно во внутренних зонах головного мозга. При таком расположении возможно образование максимального количества связей при минимальной общей длине (массе) коммутирующихся частей. Тогда как сами ядра нейронов (операционные части-усилители логических элементов), имеющие достаточно большие размеры (объём и массу), выгоднее расположить на периферии головного мозга, то есть в его поверхности, в **КОРЕ** головного мозга. При такой компоновке естественным образом попутно разрешается и проблема питания клеток головного мозга – к коре головного мозга (к телам–сомам нейронов) доставить питательные вещества и отвести из коры отработанные продукты гораздо легче, чем доставить их к более глубоким зонам мозга. При этом на подвод питательных веществ во внутренние зоны мозга не будет тратиться драгоценный объём и масса организма.

Для размещения в коре головного мозга по возможности большего количества ядер нейронов, при их заданных природой размерах, обусловленных выполняемыми функциями, необходимо увеличить площадь коры. Как добиться этого в сочетании с требованиями минимального объёма, массы мозга? Природа решает эту задачу очень просто – поверхность мозга разрастается в том же объёме и становится не гладкой сферической, как бильярдный шар, а складчатой. Складки, существенно увеличивающие площадь поверхности головного мозга, образуют множество всем известных извилин. Так что площадь коры головного мозга и количество уместившихся в ней ядер нейронов существенно увеличивается без увеличения объёма (массы) мозга, что приносит дополнительные баллы в борьбе за выживание обладателю такого мозга с множеством извилин. В разросшейся благодаря складкам – извилинам коре размещаются дополнительные нейроны, в связях которых может разместиться гораздо больше ума – житейской мудрости, жизненного опыта.

4. Польза нервной системы для организма, управляемого ею. Превращение НС из проводника сигналов в орган предвидения (на основе прошлого опыта)

Очевидно, что наличие НС, мозга обеспечивает организму преимущества в выживании (Дополнение Д2 «Эволюция организмов»). Однако непонятен механизм реализации этого преимущества. Если понять логику появления, полезности и развития НС, начиная с простейшей НС, появится и понимание функционирования наиболее развитой НС – мозга человека (как существенного фактора, увеличивающего шансы организма на выживание и экспансию – расширенное воспроизводство) в его финальном, современном виде.

Наличие развитой нервной системы, состоящей из многих логических элементов-нейронов, связанных должным образом, способствует выживанию и экспансии (процветанию) организма. С этим трудно не согласиться. Но каким именно образом способствует? Каков механизм полезности нервной системы для организма? Как информация фиксируется в мозге и как извлекается из него? Как формируется и протекает мысль? На эти вопросы пока **не существовало конструктивного ответа**, который позволил бы на принципах функционирования естественного мозга создать искусственный носитель разума – существовали только общие декларации.

Если для высокоразвитых организмов, например, для человека полезность нервной системы не вызывает сомнений, то для организмов с простейшей нервной системой механизм полезности НС для организма остается непонятным. До сих пор было совершенно непонятно, каким именно образом простейшая нервная система из 2÷20 нейронов способствует выживанию организма, как она позволяет избегать опасностей, как образуются рефлексы. Как происходит запоминание в центральном головном мозге, хоть на уровне неконтролируемых рефлексов, хоть на уровне абстракций? Поскольку непонятен механизм полезности для выживания организма простой нервной системы, то непонятен и механизм эволюционного пошагового перехода от простейшей нервной системы (состоящей из двух–трёх нейронов) к простой. И, далее, к развитой нервной системе. Как за миллионы лет, за сотни миллионов или миллиарды поколений, был совершен переход от организмов без нервной системы сначала к организмам с безусловными рефлексами, а затем к организмам с развитыми условными рефлексами? И, в конце концов, к организмам, способным к абстрактному мышлению? Именно из-за этого непонимания прибегают иногда в объяснении картины мира к подмене эволюции творением - маловероятным и даже невозможным одноразовым скачком.

И хотя сегодня пока нет признанного взгляда на логику, на принципы функционирования нервной системы - на логику взаимодействия нейронов даже простейших организмов, некоторые черты этого функционирования известны достоверно.

Нервные импульсы возникают (первоначально генерируются, иницируются) при воздействии раздражителей-факторов окружающей среды на рецепторы - входные цепи мозга, и транслируются, распространяются по структурам мозга. Итоговая реакция организма на поступившие входные сигналы (раздражители) определяется тем, какие мышцы или железы внутренней секреции будут активированы мозгом (НС). То есть, местом выхода из НС на определённый исполнительный механизм (эффектор, манипулятор) сигнала реакции НС организма. Из этого следует, что реакция НС организма на раздражитель зависит от того, по какому пути распространяется от входа НС к её выходу сигнал раздражения, подействовавшего на организм. Так что реакция организма зависит от конфигурации входных сигналов и структуры НС (возможных путей следования сигналов по связям между нейронами) на момент прохождения сигнала через НС.

С другой стороны, известно, что структура мозга со временем изменяется. Особенно быстро количество связей между нейронами возрастает при интенсивном обучении [105]. Отсюда вытекает, что при обучении в НС (в мозге) образуются новые пути следования сигналов. В отличие от распространённых сегодня устройств, в которых информация записывается в специализированный блок памяти, считывается из него, и интерпретируется другим специализированным блоком по сигналам из управляющего блока, в биологической НС устройства фиксации, хранения и интерпретации (использования) информации совмещены и распределены по всему объёму мозга! И выполняют свои функции без централизованного устройства управления. А только под воздействием проходящих информационных сигналов.

Простым делением количества возможных связей в мозге человека (15 млрд. нейронов с 10 тысячами дендритов $=1.5 \times 10^{14}$) на время жизни мозга в 100 лет получаем общую среднюю скорость образования связей во всех зонах мозга порядка 30 тысяч связей в секунду. Огромная скорость образования связей заставляет сделать вывод, что в мозге нет единой зоны сортировки информации и управления образованием связей по всему объёму мозга, но действует единый для всей нервной системы, для всего мозга принцип образования связей, обеспечивающий его высокое быстродействие за счёт параллельности процессов.

Процедура образования связей должна быть очень простой, иначе невозможно обеспечить не только скорость их образования, но даже само-образование связей по всему объёму мозга без вмешательства сверхбыстродействующей квалифицированной «команды монтажников». Локальность механизма образования связей между нейронами вполне очевидна для начала жизни организма, когда мозг ещё совершенно «чист», в нём ещё только появляются первые нейроны, и гарантированно нет структур, управляющих образованием связей. И вот в этих условиях появляются новые нейроны, а затем и пока малочисленные связи между ними. По мере роста организма количество нейронов быстро увеличивается, связи между ними образуются с огромной скоростью.

Об огромной средней скорости образования связей в мозге человека мы должны помнить постоянно при рассмотрении любых аспектов функционирования мозга. Хотя бы по той причине, что все наши воззрения, представления о различных сторонах работы мозга должны быть согласованы друг с другом.

Причём связи в живом организме устанавливает не квалифицированный инженер, и даже не ребёнок, складывающий пирамидку. Поэтому процесс образования связей в мозге должен быть предельно простым, естественным, самоорганизующимся. По какому же принципу образуются связи между нейронами? Для ответов на эти вопросы нам представляется продуктивным подход, основывающийся на рассмотрении эволюции организмов от простейших вплоть до человека (и далее?). Связи образуются сами по себе, под влиянием обстоятельств, в которых оказываются нейроны, между которыми и образуется связь, соответствующая текущим обстоятельствам. Каждая связь образуется **между ДВУМЯ** нейронами. Поэтому для образования связи между ними имеет значение **исключительно состояние этих двух нейронов, и ничего более!** Никаких прямых влияний из неведомого далёкого окружения! Ближнее же окружение возбуждённых нейронов может влиять на образование парных связей лишь косвенно, влияя на состояния возбуждения каждого из связывающихся нейронов подачей на них возбуждающих сигналов через уже имеющиеся связи и нагрузкой на выходы нейронов.

Рассмотрим простейший организм, имеющий в своём составе всего лишь 2 – 3 нейрона, располагающихся так, что возможно образование логических связей между ними. Скажем, нейроны находятся в механическом контакте. Каждый нейрон имеет несколько входов-дендритов - потенциальных связей. Но пока эти возможные связи ещё не образовались - механический контакт есть, а электрической (гальванической, логической) связи ещё нет.

Рассмотрим диаграммы состояний нейронов 1 и 2 («возбуждён»/«не возбуждён»), развернутые по времени t , приведённые на рисунке 2. На входы нейронов через их входы – безусловные связи – воздействуют факторы 1 и 2, которые жизненно важны для организма, управляемого этими нейронами.

Пусть на соответствующие рецепторы этого организма примерно в одно и то же время или с некоторым разбросом во времени подействовали два фактора, например, запах и жжение, что привело к возбуждению двух нейронов, 1-го и 2-го. Причём один из этих факторов сравнительно безвреден для организма, а второй вреден настолько, что может привести к гибели организма, если организм не «убежит», не избежит своевременно от воздействия 2-го фактора. Организм по безусловному рефлексу через сигнал «опасности» реагирует на 2-й фактор (возбуждается Н2, который активизирует движитель) и «убегает», уклоняется от опасности, если успевает!

Каждый нейрон имеет множество ещё незадействованных входов, через которые нейроны потенциально (при задействовании входов) могут быть возбуждены.

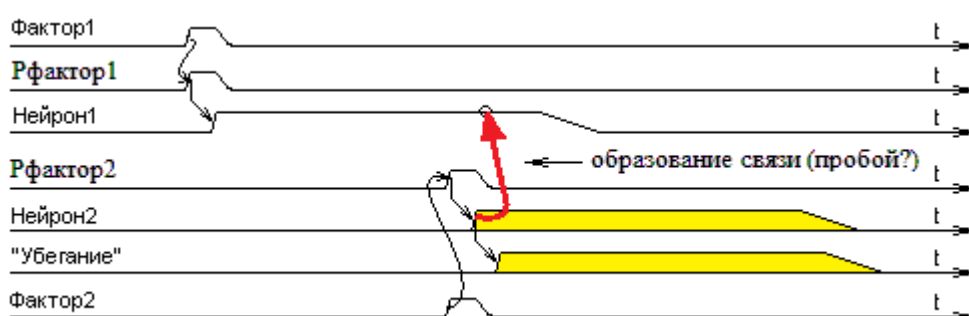


Рисунок 2. Возбуждение нейронов 1, 2 вследствие раздражений от Факторов 1, 2 и образование связи между возбуждёнными нейронами

Пусть Фактор1 предшествует Фактору2, причём Фактор2 более опасен для организма, чем Фактор1. Факторы (раздражители) при их появлении возбуждают соответствующие нейроны через отдельные входы. Кроме того, появление Фактора2 вызывает безусловную реакцию – организм смещается, уклоняется от Фактора2, так что Фактор2 перестаёт воздействовать на организм (на его рецепторы). Нейроны имеют множество входов, через которые они могут быть возбуждены.

Зададимся вопросом. Что будет происходить с данным организмом в дальнейшем, если организм успеет убежать, «отползти», уклониться от летального воздействия вредного Фактора2, а в организме остался след рассмотренного события, заключающегося в том, что нейроны 1 и 2 были некоторое время одновременно возбуждены. Но след этот не внешний, скажем, царапина или рубец, а внутренний, имеет вид связи между двумя нейронами 1 и 2, образовавшейся в тот момент, когда они оба были возбуждены. Эта логическая связь могла образоваться любым возможным способом, например, механическим, гидравлическим или гальваническим. Причём возможны, как минимум, два варианта такой связи:

- а) выход Нейрона1 (Н1) на вход Нейрона2 (Н2),
- б) выход Нейрона2 на вход Нейрона1.

Отметим попутно, что связи между собственными входами и выходами возбуждённых нейронов маловероятны из-за пространственного разнесения входов и выхода одного нейрона - коротких дендритов и длинного аксона. Но есть разновидность нейронов (звёздчатых), которые после иницирующего возбуждения по сигналам других нейронов возбуждают сами себя до усталости через связи между собственным аксоном и дендритами. За счёт таких нейронов увеличивается время возбуждённости нейронов, тем самым увеличивается вероятность образования связей между нейронами.

Асимметричность расположения входов и выходов нейрона может влиять и на образование межнейронных связей в различных направлениях.

Пусть реализовался вариант а) (о возможности реализации варианта б) мы поговорим в следующих главах). Тогда впоследствии события будут протекать следующим образом: при возбуждении в следующий раз одного из ранее связавшихся между собой нейронов Н1, сразу же через связь с выхода Н1 на вход Н2, образовавшуюся в предыдущем эпизоде, будет возбуждаться и другой нейрон Н2, хотя на него ещё не действует вредный Фактор2. И, может, вообще, не подействует в рассматриваемом эпизоде. Так что приведённая выше диаграмма будет выглядеть уже так на рисунке 3:



Рисунок 3. Возбуждение Нейрона2 от Фактора1 через образовавшуюся ранее связь нейронов 1 и 2

Из рисунка 3 видно, что **наличие ранее образовавшейся связи** между нейронами **обеспечивает впоследствии** следующий порядок развития событий: в результате воздействия Фактора1 возбуждается Н1, который через ранее образовавшуюся связь сразу же возбуждает Н2. Можно сказать, что на основе факта возбуждения Н1 происходит одновзвенный прогноз прихода сигнала на Н2 через посредство ассоциативной связи Н1-Н2 (как в предыдущем эпизоде). Организм сразу же реагирует на возбуждение Н2 и «убегает», хотя Фактор2 ещё не появился, а, возможно, и не появится. Или уже не подействует на организм из-за «предусмотрительного», а на самом деле – просто опережающего, «убегания», уклонения благодаря наличию образовавшейся ранее связи между выходом Н1 и входом Н2. Так что организм с простейшей нервной системой из двух нейронов в результате предыдущего «приобретения опыта» – возникновения связи между двумя возбуждёнными нейронами Н1 и Н2, которую можно назвать элементарной памятью или элементом памяти, **ЗАРАНЕЕ, С ОПЕРЕЖЕНИЕМ** отреагирует на Фактор2. **Как бы предвидя** его появление благодаря образованию в предыдущем эпизоде и существованию в дальнейшем связи Н1-Н2, эквивалентную запоминанию факта приблизительно одновременного действия Факторов 1 и 2 в какой-то момент времени в предыдущем эпизоде. Такая опережающая, и, тем самым, упреждающая опасность реакция организма с простейшей нервной системой, способной к «запоминанию», несомненно, будет способствовать выживанию организма и его последующей экспансии вопреки возможному воздействию вредного Фактора2.

Поскольку организмы существуют в материальном мире, в котором происходят события, обусловленные причинно–следственными связями, то в природе происходят не случайные, разрозненные, несвязанные между собой события, а повторяющиеся цепочки причинно обусловленных событий. То есть, за событием А практически всегда следует целая последовательность причинно обусловленных событий В, С, D и т.д. Так что в различных эпизодах практически всегда за одинаковыми событиями—причинами следуют одинаковые же события—следствия. Например, запах предшествует жжению, вид и звук

летающего камня предшествуют удару этого же камня, вспышка при выстреле (скорость сигнала 300 000 км/сек) предшествует прилёту пули (скорость 0.5 км/сек) и приходу звука выстрела (скорость 0.33 км/сек). Тот факт, что события связаны в повторяющиеся последовательности, и даёт организм возможность с опережением прогнозировать приближение опасного события посредством обнаружения событий из этой последовательности, предшествующих опасному событию.

Опережающее обнаружение опасных событий возможно, если предыдущее прохождение цепочки событий оставило след – связь между нейронами. Образование такого следа, связи между двумя нейронами возможно при совпадении некоторых условий. Скажем, возникает проводящий канал в диэлектрической плёнке в результате её электрического пробоя при достаточно большой разности потенциалов на разных поверхностях плёнки, отделяющей вход одного возбуждённого нейрона от выхода другого возбуждённого нейрона. Следы, оказывающие существенное влияние на ход последующих событий, можно наблюдать и в обычной жизни.

Проиллюстрируем образование следов наглядным примером. Так, автомобиль или пешеход не оставляет существенного следа на сухом лугу. Но, если луг мокрый, то автомобиль своим весом продавливает размячённую почву, и на лугу остаётся существенный след – колея, которая уже будет влиять впоследствии на проезд других автомобилей хоть в сырую, хоть в сухую погоду. А вот пешеход на сыром лугу может и не оставить, и оставить след (если пешеход достаточно грузен). То есть, следы различного рода образуются в результате действия совокупности (суммы) причин, поскольку одной причины может быть недостаточно для каких-то преобразований. Точно так же, в зависимости от обстоятельств, какие-то связи в нервной системе вообще, и в мозге, в частности, могут образоваться, а какие-то могут и не образоваться.

Из-за причинной обусловленности событий впоследствии обычно, или хотя бы иногда, Фактор2 из нашего примера будет следовать за Фактором1. Но организм будет уже заранее, ещё до прихода опасного Фактора2, по следу, оставшемуся в организме в предыдущем эпизоде, «предусмотрительно» реагировать на него. Иногда вхолостую, поскольку вредный Фактор2 не придёт.

Организм будет уклоняться, сохраняя свою жизнь и продолжаясь впоследствии в потомстве, повторяя и в потомках очень полезную способность запоминать пары факторов, действующих примерно в одно время.

В этом и состоит полезная функция нервной системы организма – прогноза, «предвидения» – опережающей реакции на основе опыта, полученного ранее.

Организм, обладающий способностью «запоминать», пусть даже на 2-х – 3-х нейронах, по этой причине с несколько большей вероятностью выживет и породит потомство, подобное себе, то есть, со способностью к запоминанию и использованию «приобретённого опыта». Тогда как не обладающие таким свойством организмы с большей вероятностью прервут навсегда линию своего существования.

Попытаемся оценить в цифрах полезность для организма нервной системы, способной к образованию связей между нейронами, которые были возбуждены примерно в одно и то же время. Для этого совсем не обязательно проводить модный и таинственный компьютерный эксперимент. Вполне достаточно обычного калькулятора.

Пусть существовало две разновидности простейших организмов: более простая разновидность "O1" без возможности образования связи между возбуждёнными нейронами; и разновидность "O2" с возможностью «приобретения опыта» – образования связей между двумя возбуждёнными нейронами. И пусть в некоторый момент происходит изменение условий существования – начинает иногда происходить некоторая последовательность событий, одно из которых в ней особо опасно для существования организма.

Каждый раз, сталкиваясь непосредственно с опасным событием D, организм O1 выживает с вероятностью 0.8. Тогда как более сложный организм O2 при таком же столкновении выживает с вероятностью 0.7, меньшей из-за большей сложности организма! Каждая возможность, включая образование связей, чего-то стоит, поэтому стойкость организма O2, скорее всего, меньше, стойкости O1. Зато при последующих столкновениях с предшествующими неопасными событиями опасной последовательности организм O2 довольно часто сможет за счёт «опыта», полученного ранее и опережающей реакции на его основе, избежать непосредственного столкновения с опасным событием D, так что вероятность выживания организма при повторных столкновениях с опасной последовательностью существенно увеличится, скажем, до 0.9.

Положим, что за время жизненного цикла от одного акта размножения (удвоения) до следующего оба организма (и O1, и O2) сталкиваются с опасной последовательностью в среднем по 4 раза. Оценим математическое ожидание $M_{O\#_jk}$ количества организмов O# после прохождения j жизненного цикла, k – события с удвоением в конце каждого цикла размножения:

$$\begin{aligned} MO1_{11} &= 1.0 * .8 * O1 = .8 * O1, & MO1_{12} &= 0.8 * .8 * O1 = .64 * O1, \\ MO1_{13} &= .64 * .8 * O1 = .512 * O1, & MO1_{14} &= .512 * .8 * O1 = .4096 * O1 \\ MO1_{20} &= .4096 * 2 * O1 = .8192 * O1 & & \text{(увеличение посредством удвоения).} \end{aligned}$$

То есть, в результате первого цикла ожидаемое количество O1 слегка уменьшится.

$$\begin{aligned} MO2_{11} &= 1.0 * .7 * O2 = .7 * O2, & MO2_{12} &= .7 * .9 * O2 = .63 * O2, \\ MO2_{13} &= .63 * .9 * O2 = .567 * O2, & MO2_{14} &= .567 * .9 * O2 = .5103 * O2. \\ MO2_{20} &= .5103 * 2 * O2 = 1.0205 * O2 & & \text{(увеличение посредством удвоения).} \end{aligned}$$

В результате первого жизненного цикла после акта размножения (удвоения) количество O2 слегка увеличится.

Так что после первого, второго, третьего ... жизненного цикла (после удвоения) останется существовать, в среднем:

$$\begin{aligned} MO1_{20} &= 1.0 * .8192 * O1 = .8192 * O1, \\ MO1_{30} &= .8192 * .8192 * O1 = .6711 * O1, \\ MO1_{40} &= .6711 * .8192 * O1 = .5498 * O1, \\ MO1_{50} &= .5498 * .8192 * O1 = .4504 * O1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MO2_{20} &= 1.0 * 1.0205 * O2 = 1.0205 * O2, \\ MO2_{30} &= 1.0205 * 1.0205 * O2 = 1.0416 * O2, \\ MO2_{40} &= 1.0416 * 1.0205 * O2 = 1.0631 * O2, \\ MO2_{50} &= 1.0631 * 1.0205 * O2 = 1.085 * O2. \end{aligned}$$

Видим, что, несмотря на свою меньшую стойкость при непосредственном столкновении с опасным событием, организм O2 за счёт «адаптации» (прогнозирования и избегания опасных ситуаций) сможет выжить. Тогда как более стойкий O1, не обладающий таким свойством «приспосабливаться» (здесь речь идёт только о поведении, а не о строении тела), будет уменьшать свою численность. И, в конце концов, прекратит существование (количество O1 в среднем стремится к нулю). Для большей наглядности

изменение математического ожидания количества организмов O1 и O2 изображено графически на рисунке 4.

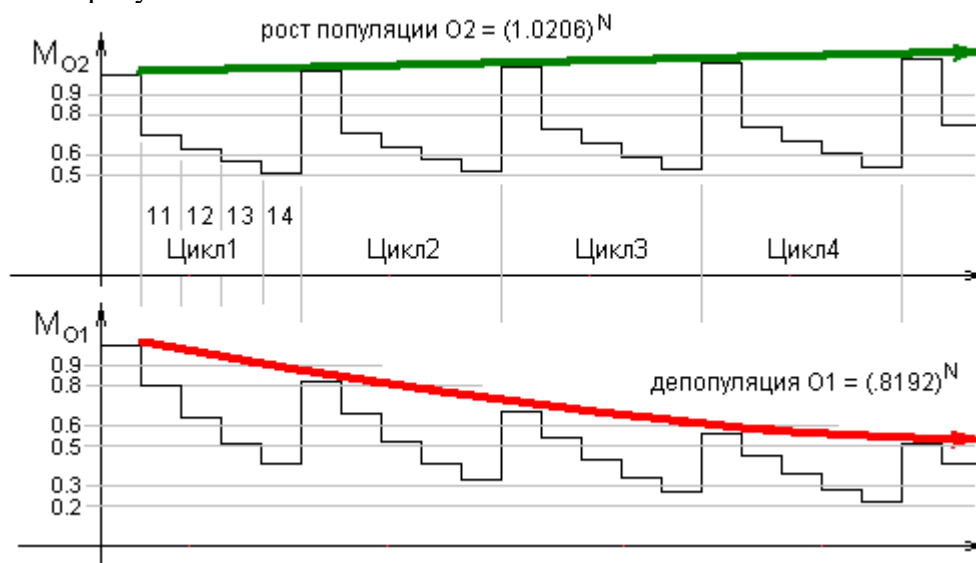


Рисунок 4. Увеличение популяции организмов O2, могущих использовать опыт.
Уменьшение популяции организмов O1, не использующих опыт

Конечно, цифры, использованные при нашей оценке, достаточно произвольны. И, всё-таки, проведённый расчёт позволяет наглядно представить в цифрах преимущества организмов, способных «обучаться». В ходе оценивания способности организмов выживать становится понятно, что организмы, способные к обучению, благодаря использованию приобретённого ранее опыта, с опережением избегая опасностей при повторных столкновениях с опасными последовательностями, смогут выживать с большей вероятностью, чем организмы, не способные приобретать и использовать предыдущий опыт столкновения с опасными последовательностями событий. Даже с учётом того, что более простые организмы, неспособные к обучению, как правило, более стойкие при непосредственном столкновении с опасным фактором.

Соотношение скоростей размножения, вероятностей выживания организмов разных типов при их непосредственном столкновении с опасным фактором, их способности к приобретению опыта, вероятности выживания организмов при повторных столкновениях с опасными последовательностями событий, частота приходов этих последовательностей в совокупности определяют, какие организмы будут выживать, а какие сократят свою численность до нуля. В зависимости от значений всех этих параметров смогут выживать и простейшие организмы, и сложные организмы, усложняющиеся с каждым новым поколением.

За счёт увеличения шансов организма на выживание и генерации более успешного потомства наряду с выбыванием из жизни менее приспособленных образцов и происходит достаточно быстрая эволюция организмов. С выживанием как простейших стойких организмов, так и менее стойких, зато лучше приспособляющихся к изменяющимся условиям организмов, с всё возрастающим количеством нейронов, способных к запоминанию. Вплоть до появления «венца» природы – человека.

Отметим, что наша, используемая людьми логика, и формальная математическая, и историческая, и интуитивная, и житейская, по существу, построена на простейших связях, образующихся между нейронами. Суть каждого звена логики, материализованной в мозге в виде связи между парами нейронов, образовавшейся в какой-то момент времени между пребывавшими в возбуждённом состоянии нейронами и зафиксировавшей факт их одновременного возбуждения, может быть изложена в таком виде:

ЗА ФАКТОРОМ1 СЛЕДУЕТ ФАКТОР2 «Если Ф1, то Ф2».

Образовавшись однажды, эта связь в дальнейшем при возбуждении нейрона (Фактор1) сразу же будет вызывать возбуждение нейрона (Фактор2). Фактор может быть как элементарным, т.е., простейшим, неразложимым на составные факторы, скажем, сигнал от рецептора (непосредственно или через прямые передачи), так и очень сложным, сформировавшимся при взаимодействии нескольких первичных факторов и их далёких следствий, по существу, представляющим собой значение логической функции большой сложности. Аргументами этой функции являются факторы, действующие на входы нейронов предыдущих звеньев переплетающихся логических цепочек, реализованных на последовательностях взаимосвязанных нейронов. Так что к рассмотрению некоторой основной, непосредственно рассматриваемой связи между двумя понятиями – нейронами нашего мозга добавляются множество связей, уточняющих суть Фактора1. Они сводятся к проверке условий, при которых такое следование имеет место, типа: «если» ФакторК, и ФакторЛ, и ... Можно сказать, что любой рефлекс, любое созерцательно—повествовательное высказывание, любая мысль, любое суждение могут быть отображены в виде последовательности логических конструкций вида «если Ф1, «и» Ф2,..., «и» ФN», то следует Фz. А такая конструкция взаимно однозначно укладывается в предлагаемую нами схему отображения в человеческом мозге фактов одновременного возбуждения пар нейронов путём образования связи между ними. Возможность такого однозначного отображения является достаточным условием, чтобы процессы в центральной нервной системе могли моделироваться по нашей схеме. С другой стороны, оно не является необходимым, то есть, здесь мы не утверждаем, что невозможно существование других способов однозначного отображения наших нервных процессов в рамках каких-то других моделей.

Следует отметить, что люди в повседневной жизни используют, в основном, простейшие однозвенные причинно-следственные связи между наблюдаемыми явлениями и последующего предвидения этих простейших зависимостей на основе предварительного запоминания, а не в результате скрупулезного анализа – выявления длинных причинно-следственных цепочек с возможными ошибками рассуждений. Только помним мы очень много, потому что у нас много нейронов и связей между ними. Поэтому и слышим мы часто, а иногда и сами говорим: «Если бы я знал, что такое может быть!». Хотя при целенаправленном анализе, хотя бы в несколько звеньев, или при знакомстве с широкой практикой других людей мы легко смогли бы заранее увидеть, что такое событие, не предвиденное нами, вполне возможно, и бывает!

Конечно, из-за многообразия жизни не все так просто, как мы изобразили. Но, как видим, простота утрачивается не из-за сложности самих взаимодействий между отдельными нейронами мозга, а из-за огромного количества факторов, воздействующих на организм и необходимости ориентироваться с помощью огромного количества нейронов и связей между ними во всем этом огромном многообразии вредных или полезных факторов окружающего мира, в котором мы живем.

Так, если в нашем примере в следующий раз одновременно будут возбуждены нейроны 1 и 3, то, в соответствии с нашими рассуждениями, наряду с уже существующей связью 1-2 образуется связь между нейронами 1 и 3. Поэтому при последующих возбуждениях нейрона1 будут происходить действия организма, порождаемые возбуждением нейронов и 2, и 3 (возможно, противоположно направленными). Как же сможет организм адекватно отреагировать на существующие многообразные условия? Ответ приводится несколько ниже, где в разделе 9 «Образование рефлексов ...» рассматривается переучивание.

Можно сказать, что мы рассмотрели логическое описание основы механизма функционирования НС (мозга). Ниже мы опишем необходимые принципиальные, но всё же детали, которые мы пока как бы не замечали, чтобы не загромождать лишними деталями процесс понимания логики функционирования мозга.

Мы рассмотрим не только «скелет» (основу) принципов функционирования НС (мозга) но и другие аспекты функционирования мозга, сопутствующие основным и проявляющиеся при реагировании мозга на различные воздействия окружающей среды, которые препятствуют комфортному существованию организма и поэтому заставляют мозг работать во спасение организма. Сделаем это для того, чтобы наши рассуждения были достаточно обоснованными и подкреплялись с разных сторон, а не оказались висящими без опоры в воздухе. При этом нам придётся повторяться, излагать очевидные вещи. Здесь уместно сослаться на доказательства теорем. Их доказательства также представляют собой цепочки очевидных утверждений (тавтологий, выводов), прокладывающих неочевидный поначалу путь от исходных положений к искомым выводам.

5. Мозг – орган обработки информации и управления организмом

Логика управления организмом в среде.
Необходимые характеристики функционирования мозга
(естественного и искусственного)

В результате разнонаправленных мутаций при появлении каждого нового поколения организмов выживали и продвигались в будущее более жизнеспособные (в существовавшей в то время среде) экземпляры организмов с адекватным устройством. Они и образовывали эволюционирующие виды. Тогда как организмы с мутациями во «вредных» направлениях постепенно или даже сразу вымирали.

Более результативному выживанию способствовало появление у организмов всё большего количества рецепторов, реагирующих на разнообразные воздействия среды и соответствующих эффекторов, позволяющих уклоняться от вредных воздействий. Часто конструктивно более выгодным для выживания оказывалось расположение рецепторов и эффекторов в разных местах. Вместе с увеличением размеров организмов увеличивались расстояния от источника сигнала (от рецептора, реагирующего на воздействие среды на организм) до места его действия (до эффектора, осуществляющего реакцию организма на воздействие среды), увеличивалась длина пути, по которому проходил сигнал. Между рецепторами и эффекторами появились «вставочные» нейроны-удлинители, усиливающие сигналы, угасающие по мере продвижения по пути, и не дающие им угаснуть на длинном пути от рецепторов к эффекторам. Росло не только количество пар рецептор-эффектор, но и количество вставочных нейронов-удлинителей. В результате роста количества нейронов они стали соприкасаться, появилась возможность образования следов событий – проводящих связей между нейронами, которые образовывались при определённых обстоятельствах, и могли проводить сигналы от нейрона к нейрону. Поскольку межнейронные связи способствовали выживанию соответствующих организмов, организмы с возможностью образования таких связей более успешно продвигались в будущее, а их нервные системы, поначалу состоявшие из разрозненных пар рецептор – эффектор становились всё больше, разрастались за счёт образования всё новых связей между нейронами. В результате организмы начали функционировать под управлением всё более функциональных нервных систем, которые позволяли организмам уклоняться не только от уже пришедших опасностей, но и от прогнозируемых.

Воздействия среды на организм происходят в произвольные моменты времени. Причём в одно и то же время возможно воздействие различных раздражителей, и различные реакции на эти раздражители. Эти реакции могут протекать совершенно независимо друг от друга. Например, мы одновременно можем говорить, слушать

собеседника, смотреть на дорогу, идти по ней, переваривая при этом завтрак. Наша нервная система спокойно управляется со всеми этими задачами, и многими другими.

Это свидетельствует о том, что в мозге одновременно протекает множество процессов, инициируемых различными воздействиями среды на организм и управляющих процессами, протекающими в нашем организме. То есть, свидетельствует о том, что, с одной стороны, процессы в разных структурах мозга протекают независимо, нет единой главной управляющей структуры, управляющей всеми уголками мозга. С другой стороны, поскольку процессы независимы, то и прохождение сигналов, соответствующих протекающим реакциям по структурам мозга, независимо, асинхронно. И не существует единого центра управления и какой-то синхронизации между всеми или смежными элементами, как это происходит в компьютере, где синхронизация обеспечивает, в том числе, постоянство результатов.

Отсутствие централизации и синхронизации может быть проиллюстрировано электроэнцефалограммами (диаграммами электрических импульсов) человеческого мозга в различных состояниях, когда мозг возбуждён (бета - ритм), активен (альфа-ритм), спокоен (тэта-ритм), в состоянии дрёмы и глубокого сна (дельта-ритм) [7]. Эти электроэнцефалограммы представлены на рисунке 5.

Отметим, что, вопреки принятому сегодня термину «ритмы мозга» импульсы, наблюдаемые в электроэнцефалограммах, не являются ритмическими (периодическими). Эти импульсы существенно асинхронны, инициируются произвольными асинхронными сигналами извне. Будучи инициированным воздействием среды на организм, сигнал может достаточно долго перемещаться по мозгу, продолжая оставаться не синхронизированным с другими сигналами.

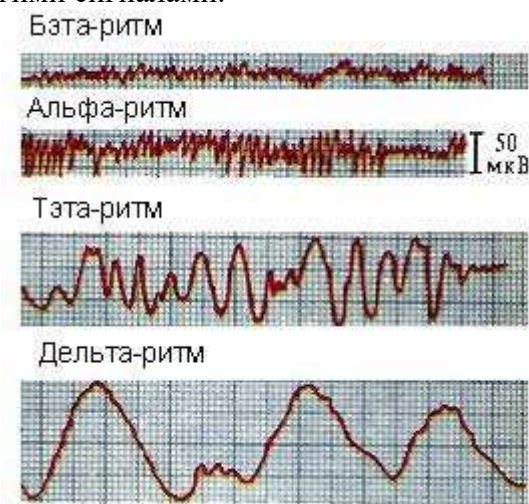


Рисунок 5. Ритмы мозга

В соответствии с изложенными представлениями, в возбуждённый мозг поступает очень много порождаемых внешними раздражителями несинхронизированных (асинхронных) сигналов, которые могут достаточно долго перемещаться по мозгу до тех пор, пока не выйдут из мозга на какой-то исполнительный механизм организма, или пока не угаснут на очередном этапе. Поэтому в возбуждённом бодрствующем мозге с большой частотой возбуждается большое количество нейронов (помним об образовании в среднем порядка 30 000 новых связей в секунду!), которые и дают большое количество асинхронных всплесков, которые взаимно гасятся при усреднении по сравнительно большой эффективной площади окрестностей измерительного электрода. Поэтому мы и наблюдаем в возбуждённом мозге частое малоамплитудное дрожание усреднённого потенциала участка мозга около среднего.

Если же мозг просто активен, то частота возбуждения нейронов несколько меньше. Поэтому и частота пиков возбуждений отдельных нейронов несколько меньше, а амплитуда больше, поскольку всплески возбуждений отдельных нейронов происходят, в среднем, на больших геометрических расстояниях друг от друга, чем для возбуждённого мозга, и уравниваются в пределах окрестностей электрода менее точно.

В мозге, пребывающем в глубоком сне, блокировано поступление внешних сигналов (вернее, прохождение входных сигналов в мозг затруднено, не поддерживается). Поэтому нейроны мозга в состоянии сна возбуждаются лишь изредка. Достаточно активны только цепочки реакций, задействованных в цепях автоматической поддержки жизнедеятельности - дыхания, сердцебиения ... Иногда возбуждение не задействованных в этих реакциях нейронов происходит спонтанно – чрезмерно зарядившиеся продуктами питания нейроны иногда самовозбуждаются. После самовозбуждения сигналы от небольшого количества нейронов распространяется некоторое время по структурам мозга, и мы видим сон до затухания сигналов на каких-то очередных звеньях цепочек. Так что в каждый момент времени сна возбуждено лишь очень малое количество нейронов, и количество деталей в сновидениях сравнительно мало. Поэтому и мало количество пиков в диаграммах спящего мозга (мала частота возбуждений нейронов). И потенциал участка мозга усредняется не так хорошо (особенно если в этот момент нет сновидений), как для возбуждённого мозга, когда взаимная компенсация потенциалов почти полная. Поэтому потенциал участка спящего мозга и отклоняется от среднего менее часто, но зато с гораздо большей некомпенсированной амплитудой, чем в активном мозге.

Видим, что наша модель процессов в мозге без каких бы то ни было дополнительных предположений легко объясняет наблюдаемые диаграммы электрических потенциалов мозга в различных состояниях.

Хотя с точки зрения логики продвижения сигналов (информации о воздействии среды) процессы, происходящие в мозге, очень просты, из-за их многообразия и необходимости совмещения функций проведения сигналов с другими функциями обеспечения жизнедеятельности мозга и организма в целом, обусловленных ограниченностью ресурсов, картина функционирования мозга становится очень сложной. Это можно видеть на примере детальной картины питания нейронов, процесса образования связей между нейронами (в деталях), на примере механизмов генерирования выходных сигналов нейронов. Поэтому мы рассматриваем только логику процессов в структурах мозга и их моделирование в терминах электрических потенциалов и схем, а не полное детальное описание физиологических процессов, протекающих в мозге.

В конечном итоге, различные биохимические процессы, переходы от биохимических сигналов к электрическим (и наоборот) можно заменить некоторыми эквивалентными электрическими превращениями и таким вот образом от сложной смешанной электрохимической схемы передачи сигналов от рецепторов к эффекторам можно перейти к чисто электрической схеме. И рассматривать формирование «прогнозов» и протекание мысли в сугубо логическом отношении. При аккуратных подстановках эта схема будет изоморфна исходной электрохимической (то есть, взаимно однозначной, функционально идентичной), но выглядеть будет гораздо проще и понятнее. Из-за отсутствия необходимости выполнять эквивалентные электрохимические преобразования мы в нашем рассмотрении можем абстрагироваться от биохимической структуры нейронов и рассматривать только электрические характеристики, которые могут подвергаться изменению за счёт изменения различных биохимических процессов, участвующих в схеме формирования мысли. Рассмотрение механизмов зависимостей при переходах от химических явлений к электрическим и наоборот мы оставляем за рамками настоящей работы. Упоминаем, но не рассматриваем их.

Рассмотрим главные черты, логику и некоторые детали механизма функционирования мозга, которые реализуют важнейшее свойство НС образовывать следы произошедших событий (запоминать, накапливать опыт) и использовать эти следы

впоследствии. Эти дополнительные черты возникают в результате мутаций при появлении длинной череды новых поколений организмов и продолжают в будущее, если их появление и наличие способствует более успешному выживанию организмов с полезными новыми чертами НС. Понятно, что случайные мутации могут быть направлены по-разному, с каким-то распределением, в результате чего одни мутации способствуют выживанию организмов, другие способствуют их вымиранию. Выживают организмы с более адекватными характеристиками. В результате продолжения жизни адекватных организмов и быстрого выбывания из жизни неадекватных организмов мир оказывается устроенным так «целесообразно», как мы его наблюдаем.

Как мы уже говорили, следы событий в виде проводящих связей между парами нейронов, образовавшихся в предыдущих эпизодах, впоследствии позволяет НС организма очень просто (путём прохождения сигналов по оптимальным путям-связям) делать однозвенные, одноступенчатые прогнозы и уклоняться от прогнозируемых опасностей. При увеличении в составе НС количества нейронов происходит расширение возможностей НС. Происходит это следующим образом. Поскольку у нейрона нет (и не может быть) механизма отслеживания источника и истории (путей) сигналов, поступающих на его входы, то на возбуждение нейрона влияют только величины сигналов на его собственных входах и пропускных способностей - весов входов (состояние входов). Поэтому образуются связи не только между входными нейронами, передающими сигналы от рецепторов к следующим нейронам и к нейронам-эффекторам (управляющим исполнительными механизмами), но и между возбуждёнными нейронами самых разных типов, находящимися в механическом контакте. Эти связи по мере накопления опыта организма объединяют множества нейронов в различные цепочки произвольной длины. В том числе, ветвящиеся и пересекающиеся. Линейные цепочки превращаются в деревья и графы. Так что сигнал, вошедший в НС (мозг) через рецептор, может долго бродить по цепочкам внутри НС, пока не выйдет из неё на какой-нибудь манипулятор (на мышцу, на железу внутренней секреции) или не угаснет на очередном этапе перехода от одного нейрона к следующему. И такая НС с многозвенными цепочками связей производит уже не простые однозвенные, а сложные многозвенные прогнозы, воплощающиеся в действиях эффекторов. Нервная система постепенно (от поколения к поколению) превращается в мощную структуру по преобразованию информации (входных сигналов) на пути этой информации от рецепторов к эффекторам. Подчеркнём, что сигналы, попадающие в нервную систему, инициируются только в рецепторах организма под воздействием среды.

По существу, по мере развития нервной системы, с удлинением и пересечением множества цепочек нейронов у организма появляется способность к мышлению. Поначалу – к примитивному (при коротких цепочках). А по мере усложнения деревьев и графов связей - к всё более развитому мышлению, когда эффективная длина цепочек становится сколь угодно большой, в том числе, за счёт различных обратных связей, имеющих много звеньев.

Можно перечислить самые главные, самые существенные черты функционирования мозга – естественной самообразовавшейся системы обработки информации – системы, проводящей сигналы от места их формирования до места использования.

1. Мозг представляет собой систему, состоящую из огромного количества активных асинхронных логических элементов – нейронов, функционирующих параллельно без централизованного управления и достаточно независимо друг от друга. Их функционирование, активность, в целом, заключается в проведении сигналов от рецепторов к эффекторам. Затухание сигналов по мере их продвижения преодолевается за счёт ретрансляции сигналов путём возбуждения нейрона, когда сумма сигналов на его входе превышает некоторый пороговый уровень (чуть выше уровня помех). При возбуждении нейрон подаёт на свой выход - аксон импульс стандартной сложившейся энергии (в первом приближении - стандартного уровня и продолжительности). Такая организация движения сигнала по мозгу позволяет сигналу продвигаться без затухания

через последовательность множества активных элементов — нейронов, работающих в режиме ретрансляции, несмотря на то, что возбуждение нейронов происходит с затратами энергии.

2. Логические элементы-нейроны связаны между собой по входам-выходам. Межнейронные связи представляют собой следы событий, оставленные предыдущим жизненным опытом индивидуума. Впоследствии через эти связи нейроны возбуждают друг друга. И волны возбуждения последовательно проходят через различные, в том числе, и через «параллельные» цепочки уже связанных между собой нейронов. То есть, траектория движения возбуждения — конфигурации сигналов, инициированных воздействием среды в рецепторах, через структуры мозга и последующие действия частей организма, управляемых возбуждёнными нейронами, определяется именно конфигурацией связей между нейронами (и состоянием активных элементов-нейронов на пути сигнала). Так что в межнейронных связях заключена актуальная информация (опыт организма).

3. Для того чтобы организм под управлением нервной системы, хоть простейшей, хоть развитой, мог выжить, исторически первые нейроны и связи между ними (базовые, глубокие слои этой НС-ядро НС) должны обеспечивать адекватную реакцию организма на основные (важные, часто встречающиеся) внешние обстоятельства-раздражители. Понятно, что исторически рецепторы простейших организмов, в первую очередь, должны были реагировать на самые опасные для организма факторы, что было необходимо для их выживания и экспансии. Если реакция была адекватна, организм продолжал свою жизненную линию сам по себе, и в потомках, иначе — погибал. Поэтому в основе нервной системы должна лежать реакция на возможные опасности окружающего мира для организма, в том числе голода и дискомфорта. Условно назовем эти раздражители «боль». И реакция на «боль» должна присутствовать в организмах вида безусловно, генетически, то есть, она должна быть предопределена, гарантирована организму уже его происхождением. Эти реакции, присущие организмам вида называют безусловными рефлексам. А уже все остальные реакции организма образуются на основе безусловных рефлексов, формируются на протяжении всей жизни организма, начиная от его зачатия (ещё до рождения, в утробе матери или в яйце) и до самой смерти. Реакции, не обусловленные генетически, формируются в результате личного опыта индивидуума, являются условными рефлексам, образующимися на основе базовых безусловных рефлексов, предопределённых генетически. Можно сказать, что условные рефлекс присоединяются к уже существующим рефлексам, надстраиваются над фундаментом генетически обусловленного ядра нервной системы, которое реализует принцип: **«ВЫЖИТЬ** (убежать, уклониться от боли-опасности) и **РАЗМНОЖИТЬСЯ»**.

4. Будучи возбуждёнными, нейроны продолжают оставаться в состоянии возбуждения некоторое время (все процессы в какой-то мере инертны).

5. Между возбуждёнными нейронами, находящимися в механическом контакте, могут образовываться новые постоянные парные связи типа гальванических, ослабевающие с течением времени. Эти связи могут образовываться в результате необратимых процессов типа электрического пробоя или его эквивалента — механического, биохимического и тому подобное. Образование связи путём пробоя рассмотрено ниже, в разделах 7 - «Механизм образования следов событий», 8 - «Кратковременная и долговременная память», и проиллюстрировано на рисунке 16.

6. Так что волны возбуждения (или отдельные импульсы), проходящие по уже существующим цепочкам нейронов, порождают в процессе возбуждения нейронов все новые связи между возбуждёнными в данный момент нейронами, а тем самым, и между «параллельными» цепочками. Так события, воздействующие на организм, инициируют сигналы в рецепторах, и при дальнейшем прохождении по мозгу (НС) оставляют там следы. При этом количество связей между нейронами в мозге (человека) стремительно увеличивается (как мы уже отмечали, со средней скоростью порядка 30 тысяч связей в

секунду) из-за огромного количества самих нейронов и возможных связей между ними, образующихся, в конце концов, в результате воздействия раздражителей на рецепторы.

Как мы уже видели, если отклонения от опасности и размножения не будет (или они будут неадекватными), линия жизни организмов данного вида быстро закончится, они вымрут. Любой сигнал, поступающий на вход нервной системы, вызывает какую-то реакцию нервной системы и управляемого ею организма. В частном случае эта реакция – нулевая – никакого отклика. Реакция организма на входные сигналы, направленная на «поиск» положения с минимальной «болью», т.е., с минимальным действием раздражителей, по существу, и является сутью деятельности нервной системы организма. Если организм попадает в «оптимальное» положение, т.е., состояние, где уровень «боли» минимален и практически не увеличивается при малых смещениях от него, то, поскольку в НС не поступают сигналы-раздражители, и не продвигаются по НС, организм впадает в полусонное состояние ожидания сигналов воздействия среды. Эти замечания можно изобразить графически в виде рисунка 6:



Рисунок 6. Схема организма с нервной системой

Отметим, что основной отличительной чертой предлагаемого подхода является то, что мозг всегда действует в одном единственном режиме – режиме повседневной жизни, в режиме отклика, в режиме непрерывного реагирования на внешние раздражители.

По ходу жизни **образуются новые связи, причём только между нейронами, одновременно находящимися в возбуждённом состоянии в течение некоторого конечного промежутка времени.**

Утверждение о том, что связи могут образовываться **только** между возбуждёнными нейронами, как мы уже рассматривали, может быть обосновано логически, методом от противного. Если бы связи могли образовываться между невозбуждёнными нейронами, или между возбуждённым нейроном, с одной стороны, и с невозбуждённым нейроном, с другой стороны, то очень скоро все потенциально возможные связи были бы установлены, задействованы. И мозг в дальнейшем уже не мог бы запоминать (воспринимать) абсолютно ничего нового. С другой стороны, все эти связи, образовавшиеся произвольным образом, не отражали бы реально произошедших событий. В таких связях не было бы никакой информации, никакой пользы.

Возможность образования следа событий в виде проводящих связей между **возбуждёнными нейронами** впоследствии обеспечивает возможность опережающей реакции на последовательности различных обстоятельств – раздражителей, влияющих на организм и приведших в прошлом к образованию связей. То есть, образование следов

событий - связей между нейронами - порождает возможность упреждающей реакции на различные факторы на основе «предвидения» – опережения, упреждения на основе опыта организма. Это существенно увеличивает шансы организма на выживание и даже на его расширенное воспроизводство. Вследствие чего мир постепенно заполняют более или менее разумные существа с целесообразными реакциями - они продолжают жить в этом мире. Тогда как неадекватные организмы вымирают. По этой причине мир выглядит продуманно организованным, а не случайным, беспорядочным

В подавляющем большинстве случаев связи образуются от выхода одного возбуждённого нейрона к входу другого нейрона, также находящегося в этот момент в возбуждённом состоянии. Связи между выходами нейронов, так же как и между их входами, как правило, не образуются. Они очень редко наблюдаются в природе, в лаборатории. Даже если такие связи (вход-вход, выход-выход) и образуются, результаты наших рассуждений не изменяются, поскольку такие маловероятные связи будут функционировать, как параллельные с другими связями, и поэтому, из-за своей малочисленности, будут проигрывать им конкуренцию.

Сигналы, распространяющиеся по НС, изначально могут генерироваться, породиться только при воздействии раздражителей (среды) на рецепторы на входе в НС. Эти сигналы генерируются по следующей схеме: на рецепторы данного типа (чувствительные элементы) действуют соответствующие факторы внешней среды – раздражители. Эти воздействия вызывают возбуждение рецепторов, которое состоит в том, что при превышении некоторого уровня воздействия среды на рецептор (порога возбуждения) инициируется процесс, результатом которого является выдача на выход рецептора – активного элемента – порции энергии. Эта порция выдаётся в виде химического или электрического потенциала, находящегося до того в виде накопленного электрического заряда или химического потенциала, произведённого из запасов питательных веществ в биологическом рецепторе (нейроне). Или выдаётся порция электрической энергии от внешнего источника электродвижущей силы (ЭДС) путём включения некоторого выключателя или электронного ключа в нейроподобном элементе искусственного устройства управления. Точно так же работают все остальные активные элементы НС, ретранслирующие сигнал дальше через связи между активными элементами, чтобы сигнал смог достичь исполнительного механизма и осуществить полезное для организма (или устройства) действие по уклонению от раздражителя.

Любые сигналы (хоть в организме, хоть в неживой природе) будучи испущенными, сгенерированными, распространяются в какой-то среде. Причём во всех средах сигналы затухают по мере продвижения через среду (за исключением электромагнитных сигналов в вакууме). Поэтому, для того, чтобы сигнал мог распространяться достаточно далеко в среде с затуханием и производить какие-то действия (влиять на что-либо), необходимо каким-то образом усиливать сигналы, пришедшие в данную точку и ослабевшие по пути. Сигнал, порождённый в рецепторе, с необходимостью затухает по пути к эффекторам в результате потери энергии, потраченной на преодоление сопротивления проводящих структур и на влияние на нейроны, попавшиеся на пути сигнала. Чтобы обеспечить продвижение сигнала дальше, его надо усиливать. В каждом нейроне сигнал при усилении приводится к стандартному виду (по энергии выдаваемого сигнала - по амплитуде и длительности, обусловленными свойствами нейрона или НЭ) и распространяется дальше. Такой процесс усиления ослабевающего сигнала и распространение его дальше называется ретрансляцией. Затраты энергии на продвижение сигналов по структурам мозга достаточно велики. Так, по данным биологов, мозг человека, имеющий массу приблизительно в 2% от массы человека, потребляет 20% энергии, потребляемой человеком [82]. Эта энергия как раз и расходуется, в основном, на ретрансляцию сигналов и на перестройку структуры мозга – на образование новых связей между нейронами, проводящими сигналы дальше.

Назовём элементы НС (нейроны в биологическом организме, нейроподобные элементы в искусственных устройствах обработки информации), выдающие порцию энергии за счёт расходования энергии запасов питательных веществ или энергии внешней ЭДС, активными элементами. А связи между ними, проводящие сигналы, пассивными, информационными. Связи по природе их образования являются ассоциативными. Их ассоциативность заключается в приблизительной одновременности возбуждения нейронов. А нейроны возбуждаются некоторыми ассоциированными событиями.

Внутри НС активные элементы не порождают, не инициируют новые сигналы, а лишь ретранслируют пришедшие к ним сигналы о соответствующем воздействии окружающей среды на рецепторы НС. Ретрансляция происходит при уровне сигнала на входе активного элемента выше некоторого порога.

Рецепторы в мозге отсутствуют, поэтому даже механическое воздействие на нейроны мозга (скальпель хирурга) не приводит к генерации сигналов боли [90]. Воздействие же электрических потенциалов на нейроны мозга порождает их реакцию [91], как обнаружил ещё Гальвани [92] в 1780 году.

В структурах НС, ретранслирующих сигналы, нет причин для инициации сигналов (кроме редких случайных возбуждений). Если бы сигналы всё-таки инициировались (в ощутимых количествах), то это приводило бы к возникновению множества беспричинных команд, подаваемых на эффекторы, и гибели организма из-за неадекватного поведения.

Кроме того, из логики процессов вытекает, что в мозге на каждом этапе в следующем каскаде формируется количество сигналов, в среднем не большее, чем было в предыдущем. То есть, средний коэффициент размножения сигналов в мозге, **Кразмножения**, меньше 1. Но не на много. Если Кразмножения будет существенно меньше 1, то сигналы при своём прохождении по структурам мозга будут быстро затухать, не успев вызвать действенной реакции организма. Если средний коэффициент размножения хотя бы незначительно превышает 1, мозг самовозбуждается с результирующей хаотичной реакцией НС, поскольку в последующие моменты времени количество сигналов, распространяющихся в структурах мозга, будет нарастать по экспоненте:

$$Q(tN) = Q(t0) * (\text{Кразмножения})^N$$

Здесь $Q(tN)$ – количество сигналов в N -й дискретный момент времени tN ,

Кразмножения – средний коэффициент размножения сигналов на каждом шаге.

Впрочем, самовозбуждение мозга иногда случается – в этом случае у человека наблюдается истерика, или даже эпилептический припадок. Истерика заканчивается сама по прошествии некоторого времени, когда вследствие частого возбуждения нейронов в них израсходуются запасы питательных веществ, и поэтому повысятся пороги их возбуждения. Истерику (самовозбуждение мозга) можно прекратить, повысив пороги возбуждения нейронов искусственно, введя человеку какие-то препараты. Слабое самовозбуждение мозга можно прервать, переключив пути прохождения сигналов на другие включением сильного раздражителя – громкого звука, вспышки, удара.

Другими элементами НС, кроме активных элементов, являются информационные связи между активными элементами. Активные элементы усиливают сигналы, поступившие на их входы, обеспечивая тем самым неугасание сигналов, возможность их дальнейшего распространения-транспортировки. А связи между активными элементами являются информационными путями, по которым сигналы проходят к входам тех или иных нейронов и возбуждают те нейроны, конфигурации входов которых максимально соответствуют конфигурациям поступивших сигналов. Тем самым обеспечивается продвижение сигналов от возбуждённых элементов по оптимальным направлениям к другим элементам, которые могут возбудиться и распространить сигнал дальше.

Подчеркнём ещё раз, что активные элементы НС именно ретранслируют сигналы, но не генерируют (не порождают) их. Иначе НС не осуществляла бы адекватную реакцию на внешнее воздействие, а самовозбуждалась бы. В результате самовозбуждения НС организм совершал бы беспорядочные действия, вызванные беспричинной генерацией

сигналов внутри НС (мозга). Это свойство (отсутствие генерации, но обеспечение ретрансляции сигналов со средним коэффициентом размножения сигналов Кразмножения меньше 1) должно быть присуще как естественным НС, так и искусственным устройствам управления, которые должны управлять подведомственными им объектами. Механизмы ограничения Кразмножения будут рассмотрены ниже.

Долгое время считалось, что количество нервных клеток во взрослых организмах только уменьшается. Но в последнее время появились данные, что и во взрослом мозге происходит нейрогенез - рождаются новые активные элементы – нейроны, которые перемещаются по мозгу, пока не закрепятся на каком-то месте образующимися связями и не остановятся на месте закрепления [93, 94]. При создании электронного устройства управления трудно обеспечить появление в его составе новых активных элементов. Но можно создать в нём избыточное исходное количество активных элементов, непосредственно после изготовления УУ не связанных с другими активными элементами посредством связей.

Можно попытаться отыскать принципы и механизмы работы человеческого мозга с учётом двух основных положений.

Во-первых, работа мозга – это параллельная асинхронная работа огромного числа связанных между собой посредством входов и выходов достаточно медленных логических элементов – нейронов (со временем срабатывания в единицы миллисекунд). Нейроны не имеют какого-то централизованного управления. Они управляются приходящими однотипными входными сигналами через свои входы и управляют через свои входы другими окрестными нейронами. При этом при возбуждении соседствующих нейронов при прохождении через них сигналов образуются следы событий в виде проводящих связей между нейронами. Следы образуются между двумя нейронами, одновременно находящимися в возбуждённом состоянии. Как именно происходит образование связей между нейронами, мы рассмотрим чуть позже (раздел 7 - Механизм образования следов событий, воздействовавших на организм).

Во-вторых, через свои уже имеющиеся связи между нейронами, нейроны могут возбуждать друг друга, образуя разнообразные цепочки различной длины и конфигураций из последовательно возбуждаемых нейронов.

На этих принципах может быть создан электронный Искусственный Мозг (ИМ), способный к самоизменению, к самоорганизации, начиная с почти «чистого листа», подобно мозгу младенца. Искусственный мозг, функционально эквивалентный естественному биологическому мозгу, так же, как и естественный, будет способен и к возникновению в нём понятий, и к развитию уже имеющихся у этого мозга понятий, и к самообучению, и к обучению с помощью учителя, и даже к исследовательской работе. То есть, к отысканию новых, неизвестных до того закономерностей, к порождению новых понятий, и так далее. Так что искусственный мозг сможет быть носителем полноценного интеллекта, способного к саморазвитию. Начинать своё функционирование устройству придётся при сравнительно малом количестве связей между активными элементами. Это обстоятельство обусловлено тем, что у развитого интеллекта информации (связей между активными элементами) так много, что их невозможно установить за короткое время при изготовлении искусственного носителя интеллекта. Точно так же у только что родившихся детей человека и животных мало знаний, но по ходу жизни в окружающем мире количество знаний у существа (связей между нейронами) стремительно растёт. Связи между нейронами человеческого мозга образуются на протяжении всей жизни человека. Поэтому в устройстве при изготовлении достаточно установить необходимые исходные связи, выполняющие функции безусловных рефлексов биологических организмов, которые и обеспечат начало его саморазвития.

А затем функционирование устройства должно происходить в режиме непрерывного обучения наряду с непрерывным функционированием в режиме обычной повседневной жизни, с параллельной непрерывной реакцией на

окружающие условия! Точно так же, как это делает человеческое дитя или котёнок в условиях родительской опеки и поддержки, в благожелательной обучающей среде (иначе вместо нормального человека может вырасти асоциальный, или даже «Маугли» в стае животных). Особенно важна опека в самом начале жизни, когда сумма знаний ребёнка, его опыт, ещё очень малы. Детский организм под управлением мозга постоянно живёт и учится без всяких технических перерывов. Без включений-выключений рубильника – переключателя режимов жизни «реальная жизнь или только обучение». А в существующих на сегодня моделях работы мозга эти режимы не могут работать одновременно. Они **несовместимы**, исключают друг друга, а потому переключаются внешним образом между режимами (или обучение, или функционирование). Хотя при производительности существующих суперкомпьютеров можно пытаться совместить эти процессы с помощью программистских ухищрений, например, путём выделения коротких отрезков времени компьютерного процессора для различных процессов на одних и тех же данных. И, всё-таки, из-за огромных затрат при переучивании искусственных нейронных сетей, режимы обучения/функционирования останутся несовместимыми.

На основе отыскиваемых принципов мы сможем не только создать ИМ в виде компьютерной модели или электронной схемы, но и лучше понять, как работает наш биологический Естественный Мозг (ЕМ) человека. Основываясь на представлении, что одинаковые причины порождают одинаковые следствия или, наоборот, что одинаковые следствия могут быть порождены одинаковыми причинами, мы сможем найти способы улучшения характеристик и нашего мозга, начиная от методик запоминания и обучения (скажем, иностранному языку) и развития различных способностей к творчеству. И заканчивая лечением различных отклонений НС (мозга) от нормы.

Далее мы рассмотрим уже чуть менее существенные принципы функционирования мозга, но без учёта которых также невозможно представить себе успешное существование организма, управляемого мозгом. А сейчас рассмотрим требования к мозгу, как системе обработки информации, а также к активным элементам мозга (нервной системы), то есть к биологическим нейронам или к нейроподобным элементам (НЭ) в электронном или программном устройстве, если речь идёт о создании искусственного саморазвивающегося, самообучающегося устройства управления (СУУ), или самообучающегося устройства обработки информации (СУОИ). Выполнение требований к активному элементу позволит создать основу для появления, создания полноценного естественного или искусственного мозга.

6. Модель (схема) нейрона

Мы хотим понять принципы функционирования естественного мозга (ЕМ) человека, в котором в результате длительного воспитания-обучения может вырасти интеллект. На принципах естественного мозга может быть создан и искусственный мозг (ИМ), искусственный носитель интеллекта (ИНИ), в котором также может быть воспитан интеллект (а не создан в результате единого акта до его функционирования).

Искусственный саморазвивающийся мозг может быть создан на разной элементной базе. И на основе электронных комплектующих 50-летней давности, и на основе последних достижений современной микроэлектроники. Или на достаточно мощном и надёжном компьютере под управлением соответствующей программы. Понятно, что при этом будут существенно различаться быстродействие, габариты и надёжность (устойчивость ИМ к воздействию всякого рода вредных факторов - помех).

Возможно, декларируемые нами принципы не полностью соответствуют процессам, происходящим в голове человека (с Естественным Мозгом). Детали же взаимодействия логических элементов, из которых может быть построен искусственный мозг, тем более, могут существенно отличаться от таковых в нашем естественном мозге. Поэтому мы

оставляем в стороне задачи детального описания физиологических, биохимических процессов в нашем естественном биологическом мозге - **это прерогатива биологов**. Мы рассматриваем логику функционирования мозга как преобразователя информации, поступающей в него от рецепторов. Подчеркнём, что движение сигналов в различной форме (например, в химической), пробегающих по цепочкам нейронов, может быть отображено в электрической схеме путём подстановки электрических эквивалентов этих процессов вместо соответствующих неэлектрических. Тем более, это можно сделать в программно-аппаратной модели мозга.

Для описания функционирования мозга необходимо понять, как происходит движение сигналов от рецепторов к эффекторам через лабиринт нейронов, как сигнал находит оптимальный путь в этом лабиринте. Для этого необходимо представление о том, какие функции, и как именно, выполняет нейрон. Для этого надо построить модель нейрона. Опишем предварительно требования к модели нейрона в самом общем виде. И обеспечим выполнение этих требований в электронной модели нейрона – в нейроподобном элементе (НЭ).

Для этого надо понять:

1)_ Каким образом возбуждаются нейроны? Откуда берётся энергия, необходимая для распространения сигнала?

2)_ Каким именно образом обеспечивается образование связи между двумя соприкасающимися возбуждёнными нейронами?

По поводу условий возбуждения нейрона, пожалуй, известно практически всё. Но сам механизм перехода нейрона в состояние возбуждения и выдачи сигнала при достижении порога возбуждения продолжает оставаться неизвестным. Для упорядочения картины возбуждения нейрона ниже мы изложим свою версию этого процесса.

Гораздо сложнее обстоит дело с обеспечением фиксирования следов событий. Для нейрона единственным событием, с которым он имеет дело, является прохождение или непрохождение через него сигнала – пребывание в спокойном состоянии или возбуждение нейрона при превышении потенциала на входе нейрона потенциала порога возбуждения. В результате превышения порога происходит выдача на следующие каскады мощного сигнала (позволяющего преодолевать затухание сигнала на длинном пути). Как при этом могут образоваться следы событий, состоящих в одновременном возбуждении соприкасающихся нейронов? Когда для образования связи между возбуждёнными нейронами достаточно того, чтобы соседствовали выход (аксон) нейрона предыдущего каскада и входы (дендриты) нейрона следующего каскада.

За ответом можно обратиться к электронной технике. А именно, рассмотрим, как происходит запись в какую-то ячейку памяти или считывание из неё. В существующих устройствах эти операции происходят по специальным сигналам из управляющего центра. Указание на конкретный элемент памяти происходит путём задания его координат двумя частями адреса. Каждая из этих частей адреса «выбирает» из всего множества ячеек памяти некоторое подмножество элементов, делает «половинный выбор» элементов. Например, находящихся на вертикальной линии путём выдачи в эту линию половинного тока, необходимого для перемагничивания адресуемого ферритового кольца. Точно так же делает «полу-выбор» другая часть адреса элемента памяти, но уже находящегося на горизонтальной линии. Нужный, адресуемый элемент памяти, соответствующий обоим частям полного адреса, находится на пересечении подмножеств полу-выбранных элементов, в точке на пересечении вертикальной и горизонтальной линий на плоскости всех элементов памяти. Через 2 обмотки этого сердечника проходит суммарный ток, достаточный для перемагничивания сердечника.

По этому же принципу можно выбирать точку пересечения, объединения, нейронов, образования связи между двумя нейронами. Для этого необходимо обеспечить полу-выбранность «вертикальных» выходов одного возбуждённого нейрона и «горизонтальность» входов другого возбуждённого нейрона. В существующих

технических устройствах чтение и запись происходят по управляющим сигналам. У нейронов таких управляющих входов не обнаружено. Да и откуда, каким образом, мог бы возникнуть управляющий центр в организме, начинающем развиваться из единственной исходной материнской клетки? Так что отсутствует и управляющий центр.

Как именно, за счёт чего, происходит образование связей, мы рассмотрим несколько позже. А сейчас отметим, что процессы в мозге протекают сугубо локально, без каких бы то ни было управляющих сигналов из единого командного центра. В природе практически все процессы происходят без всякого внешнего управления, протекают только под влиянием некоторых движущих и противостоящих им сил (останавливающих процесс). Такковы практически все естественные процессы, все автоколебательные процессы, всякие оползни, обрушения. Активная часть этих процессов (быстрое изменение каких-то параметров) начинается в момент, когда действующие силы превышают некоторый предел. Точно так же может происходить возбуждение нейронов при превышении порогового потенциала на входе с продвижением сигналов (вопреки затуханию). А также образование новых связей между нейронами, если разность потенциалов соприкасающихся точек соседствующих нейронов будет превышает некоторый предел. Назовём этот предел потенциалом образования связи (ПОС).

Мы пока рассматриваем логику функционирования мозга, как разновидности системы обработки информации (СОИ). Поэтому в данном случае физическая сущность действующих потенциалов не так уж и важна. Эти потенциалы могут быть химическими, электрическими, или цифровыми в компьютерных программах моделирования мозга. Для определённости мы будем говорить об электрических потенциалах, которые в настоящее время легче воспринимаются всеми, и, в первую очередь, инженерами.

Для образования такой разности потенциалов необходимо и достаточно, чтобы разность потенциалов на соседствующих выходах и входах возбуждённых нейронов была больше величины ПОС, зависящей от свойств поверхностей, разделяющих входы и выходы нейронов. В то же самое время потенциалы по отдельности на выходах и входах возбуждённых нейронов должны быть меньше ПОС. Тогда связи будут образовываться только между возбуждёнными нейронами на пересечении полувыбранных подмножеств возможных точек образования новых связей. Связи между невозбуждёнными и возбуждёнными нейронами не смогут образовываться, поскольку разность потенциалов между ними (по абсолютной величине) будет меньше ПОС.

Легче всего превышение ПОС между двумя возбуждёнными нейронами может быть обеспечено, если потенциалы на выходах и входах возбуждённых нейронов (или компьютерных моделей нейронов) будут иметь противоположные знаки. Или будут отклоняться от равновесных общих для них значений потенциалов в противоположных направлениях. Физически (биологически) образование связи между нейронами может происходить в результате, например, электрического пробоя мембраны с образованием проводящего канала между нейронами или образования какой-то проводящей структуры типа фульгурита, образующегося при прохождении молниевых разрядов через мокрый песок, грунт (возможно, синапса). Достижимо ли это, и как может быть устроено в природе, и промоделировано технически образование связей между моделями нейронов. Мы рассмотрим этот вопрос чуть позже, в разделе 7 - «Механизм образования следов событий ...».

Вернемся к условиям возбуждения нейрона.

Известно, что в разных условиях нейроны могут возбуждаться при различных потенциалах на его входах. Это зависит от величины порога возбуждения нейрона в данный момент. В свою очередь, этот порог зависит от параметров нейрона и его текущего состояния (его заряженности) и всего организма, т.е., от физико-химической обстановки в мозге, в нейроне и его окрестностях. При возбуждении нейрона силовая часть нейрона - усилитель-формирователь формирует на выходе нейрона нормализованную порцию энергии. Если же порог возбуждения нейрона не достигнут, на

выходе формирователя остаётся «0». Такая организация работы нейрона (с «цифровым» выходом) обеспечивает достаточно большую устойчивость и помехозащищенность работы мозга, а также незатухание входного сигнала при его продвижении по всему многосвязному пути следования входного сигнала, усиливаемого и нормализуемого на каждом очередном этапе–каскаде в результате возбуждения очередного нейрона.

Передаточная характеристика такого нейрона - логического устройства может быть представлена в следующем виде (рисунок 7):

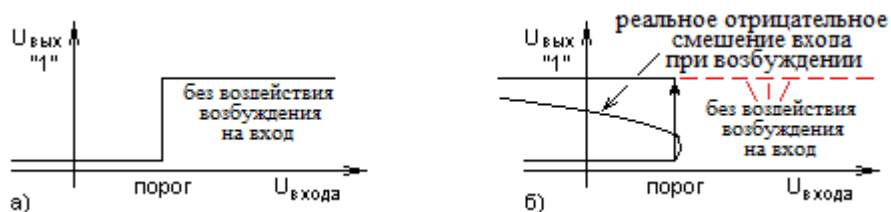


Рисунок 7. Передаточная характеристика логического элемента – нейрона
 а) без воздействия на вход,
 б) с воздействием на вход

Здесь для наглядности масштабы $U_{\text{входа}}$ и $U_{\text{вых}}$ на рисунке 7 различны.

Пока потенциал на входе логического элемента – формирователя не достигнет определённого порогового уровня $U_{\text{порог}}$, нейрон остается в невозбуждённом состоянии, а на его выходе – логический «0». Можно сказать, что исходная передаточная функция нейрона без воздействия на вход представляет собой функцию Хэвисайда (0 при $U < \text{порог}$, 1 при $\text{порог} \leq U$). Но в реальных обстоятельствах эта простая передаточная функция существенно трансформируется по следующей причине. При достижении или превышении потенциала входного сигнала порогового уровня, формирователь быстро, за время переднего фронта импульса, возбуждается, и на его выходе устанавливается логическая единица «1». А на входе возбуждённого нейрона (из-за его достаточно хорошей изолированности) должен сформироваться отрицательный потенциал. Этот отрицательный потенциал будет подавлять положительный входной потенциал, который возбудил данный нейрон. Но для возбуждения нейрона это уже не важно. Он находится в процессе возбуждения и формирует стандартный по энергии (по времени и по величине) импульс, распространяющийся дальше. На входе возбуждённого нейрона также формируется импульс, стандартный по величине и по времени, но отрицательной полярности.

Благодаря такой организации и может образовываться связь между выходом одного возбуждённого нейрона и входом другого нейрона, возбуждённого примерно в это же время какой-то другой причиной.

Как будет показано ниже, за счёт быстрого отрицательного смещения потенциала «земли» формирователя из-за малого тока утечки через $R_{\text{утечки}}$ при открытии мощного ключа потенциал на входе, измеренный относительно близких окрестностей, становится гораздо ниже требуемого для начала возбуждения нейрона (Рисунок 7,б). Но процесс возбуждения рассматриваемого нейрона уже запущен, образована цепь разряда заряда, накопленного в нейроне. На выход возбуждённого нейрона некоторое время будет подаваться положительный потенциал, а на входе только что возбуждённого нейрона некоторое время будет отрицательный потенциал. Так что благодаря появлению отрицательного потенциала на входе возбуждённого нейрона сможет образоваться новая связь между отрицательным входом рассматриваемого и положительным выходом другого возбуждённого нейрона. По окончании возбуждения нейрона или нейроподобного элемента отрицательный потенциал на его входе не сможет мгновенно исчезнуть, поэтому по окончании импульса возбуждения нейрон некоторое время по причине инерционного отрицательного потенциала на входе (из-за электрических

емкостей), а, в основном, по другим причинам, которые будут обсуждены позже, не сможет некоторое время возбудиться. Это промежуток времени называется рефрактерным или «мёртвым» временем. Его существование обуславливает формирование серий импульсов на выходе постоянно раздражаемого (возбуждаемого) нейрона.

Проиллюстрируем на рисунке 8 зависимость сигнала на выходе нейрона от сигнала на входе формирователя логического элемента:

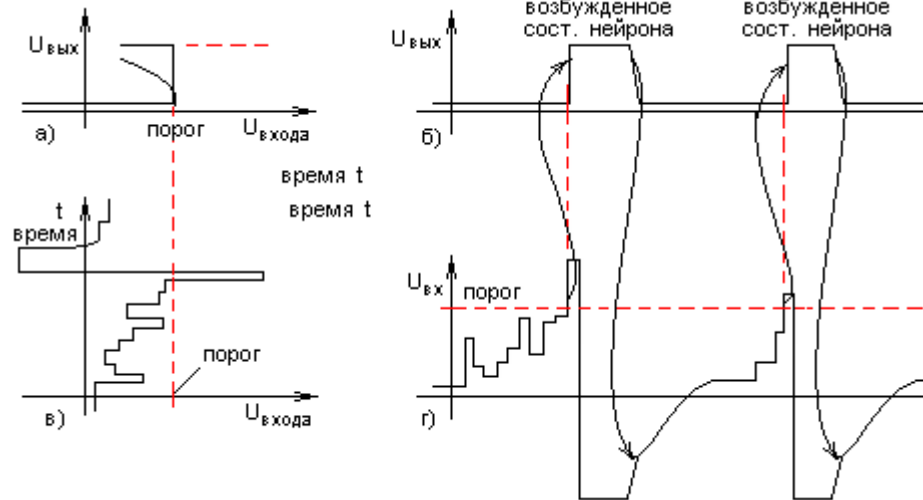


Рисунок 8. Возбуждение нейрона при превышении входного порогового потенциала

На рисунке 8а изображена собственно передаточная характеристика формирователя логического элемента с зависимостью потенциала входа от возбуждения.

На рисунке 8в изображено возможное изменение во времени сигнала на входе **FI** формирователя **F** в виде, удобном для иллюстрации зависимости выхода от входа.

На рисунке 8г изображено то же самое, что и на рисунке 8в, но с привычным горизонтальным расположением оси времени.

На рисунке 8б изображено состояние выхода формирователя во времени, зависящее от уровня сигнала на входе формирователя рисунке8г.

Впервые задача описания приёма входных сигналов и возбуждения нейрона была формально решена созданием персептрона Мак-Каллока-Питтса, модель которого широко распространена в настоящее время. Эта модель с различными параметрами используется при создании искусственных нейросетей. Вариант персептрона, подразумеваемого как математическая модель нейрона, приведён на рисунке 9.

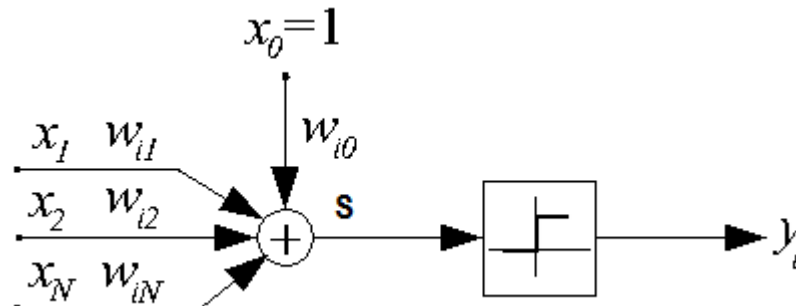


Рисунок 9. Персептрон Мак-Каллока-Питтса

Понятно, что эта общепринятая модель нейрона – персептрона, приведённая на рисунке 9 не может выполнять функции реального нейрона, о которых упоминалось выше. Модель Мак-Каллока-Питтса годится лишь для условного изображения узлов в

искусственных нейросетях, где сигналы, сформированные предыдущими персептронами, поступают на входы последующих персептронов (узлов). Поступают эти сигналы на отдельные входы персептрона, имеющие различные веса – пропускную способность. Сумма произведений величин сигналов на веса входов сравнивается с порогом. При превышении порога персептрон возбуждается и выдаёт соответствующий сигнал.

В нейросетях выходные сигналы узлов, в свою очередь, поступают на входы следующих узлов, и так далее. Каждый персептрон в соответствии с принятой для него передаточной функцией (функцией активации, функцией срабатывания) производит простейшие преобразования сигналов, поступающих на его входы. Кроме того, на входы персептронов подаются «тормозящие» сигналы. Подразумевается, что «тормозящие» сигналы имеют полярность, обратную полярности возбуждающих сигналов. Результаты функционирования такой искусственной нейросети определяются величиной сигналов, поступающих на входы и силой отдельных входных связей каждого узла.

При обработке поступающих сигналов персептрон функционирует локально, без глобального внешнего управления (если не считать прихода «тормозящих» сигналов). Но подготовка персептронов в нейросетях происходит посредством глобальных процессов – глобальным сравнением результатов функционирования всей нейросети при реакции на тот или иной многомерный вектор входных сигналов. Величина силы (веса) каждой входной связи у каждого узла рассчитывается и устанавливается в каждом персептроне централизованным образом при настройке – «обучении» сети. Процесс вычисления всех весов каждого узла сети итеративный, очень трудоёмкий. К тому же процесс вычисления весов сходится к приемлемому результату далеко не всегда. Поэтому управление изменяющимися процессами, если при этом требуется изменение параметров нейросети в реальном времени, затруднительно даже при огромных вычислительных мощностях современных компьютеров. Тем более невозможно на принципах, используемых в настоящее время, создать нейросеть в виде электронной схемы, такую, чтобы была способна функционировать подобно мозгу человека или животных в изменяющихся условиях, когда параметры связей между активными элементами должны с необходимостью меняться в темпе событий в окружающей среде. Каким образом будет возможно настраивать такую электронную нейросеть? Как подбирать, изменять веса входов множества узлов? Эти трудности, не всегда преодолеваемые квалифицированными инженерами даже в гибкой компьютерной модели, свидетельствуют о том, что этот подход не соответствует естественным процессам.

С нашей точки зрения, не столь важно, на каких материальных структурах реализован мозг, главное – понять логику его функционирования. Наши представления о работе мозга можно рассматривать на примере различных моделей – или биохимических, или схемотехнических (электрических), или чисто компьютерных – нас интересует суть, логика функционирования мозга. А конкретная реализация модели мозга может быть осуществлена на любом подходящем, удобном для нас материальном носителе. Мозг может быть реализован естественным образом на биологической основе (как у человека вороны, дельфина), а может быть реализован и искусственным образом. Мы можем собрать, спаять его в лаборатории, или в цеху. А можно реализовать мозг с помощью программы, функционирующей на мощном надёжном компьютере. Понятно, что любая модель отображает объект с какой-то степенью точности.

6.1 Формализация требований к модели нейрона, обеспечивающей решение всех задач обработки информации в мозге

Ещё раз подчеркнём, что приведённый выше перцептрон Мак-Каллока–Питтса годится лишь для начальных иллюстраций к функционированию нейросетей.

Для того же, чтобы понять суть функционирования естественных систем обработки информации, необходимо ясно описать функции активных элементов, формирующих сигналы в мозге, и механизмы реализации этих функций.

Суть функционирования естественных систем обработки информации состоит в проведении сигналов от рецепторов, воспринимающих раздражающее воздействие среды на организм к эффекторам, позволяющим организму оптимальным образом избавляться от раздражения (в первую очередь – от опасного воздействия среды) и выживать, обеспечивая экспансию вида. Сигналы проходят по путям, обеспечивающим **адекватную** реакцию организма. При прохождении сигналов затрачивается энергия, и образуются новые следы - возможные пути следования сигналов впоследствии.

Естественные системы обработки информации образовались случайно – организмы в каждом поколении подвергались всё новым случайным мутациям. Но полезные черты нервных систем закономерно закрепились в ходе эволюции, способствуя выживанию организма и вида (раздел 4 – «Польза нервной системы для организма ...», Дополнение Д2 – «Эволюция организмов»). Мозг - естественная система обработки информации - обеспечивает выживание организма, являясь управляющим органом в составе механизма уклонения организма от опасных воздействий среды на основе детекторов и эффекторов. Выживание обеспечивало экспансию вида и продвижение его в будущее.

НС и мозг представляют собой систему проведения сигналов. То есть, представляют собой пути следования сигналов опасности, порождённых в рецепторах организма под воздействием раздражающего воздействия среды, к эффекторам. Эти пути представляют собой связи между нейронами, проводящие сигналы. А также сами нейроны, обеспечивающие незатухание сигналов путём их усиления за счёт питательных веществ. Часть этих путей сложилась в рамках вида в результате множества мутаций в ходе эволюции при зарождении новых организмов. Такие пути являются исходными для организма, они реализуют безусловные рефлексы. На их основе, в результате прохождения по уже существующим путям сигналов, образуются новые следы, которые являются опытом уже не всего вида, а опытом данного индивидуального организма. Этот опыт непрерывно накапливается, изменяется, действует (используется), что и позволяет организму успешно выживать в постоянно изменяющейся среде. Накопление опыта можно назвать обучением и переучиванием. Переучивание происходит, когда уже существующая реакция организма из-за изменения условий перестаёт быть адекватной, и потому вытесняется более новой реакцией, лучше соответствующей изменившимся обстоятельствам.

Сигналы, затрачивая энергию в ходе продвижения по путям следования, с необходимостью угасают. Поэтому в ходе эволюции образовались активные элементы – вставочные, промежуточные нейроны, продвигающие сигналы дальше, на следующие участки траектории сигналов за счёт усиления поступающих на их входы сигналов. Нейроны обеспечивают не только продвижение сигналов с преодолением затухания, но и выбор оптимального пути следования сигналов (благодаря разной скорости роста потенциалов на входах нейронов) и накопление опыта путём образования следов событий – ассоциативных связей между нейронами, соответствующих ассоциированным событиям, возбуждившим эти нейроны. Связь образуется, когда разность потенциалов

соприкасающихся точек соседствующих нейронов превышает потенциал образования связи между нейронами. Можно сказать, что образование следов прохождения сигналов есть обучение, накопление опыта. Причём это обучение системы обработки информации происходит без переключения режимов «обучение»/«функционирование». Новые связи между нейронами – следы прохождения сигналов - образуются в темпе поступления сигналов в мозг. Впоследствии эти образовавшиеся следы участвуют в формировании путей следования сигналов,

Несмотря на сравнительно малое быстродействие элементов естественных систем обработки информации, как активных (нейронов), так и пассивных (связей между нейронами), выбор путей следования сигналов через НС и образование новых связей – следов прохождения сигналов происходит с огромной скоростью. Со скоростью событий в окружающей среде.

К этим перечисленным свойствам добавим сведения об энергетических характеристиках нейрона, которые помогут судить об источниках энергии сигналов, ретранслируемых нейронами.

Отметим, что клетки нейронов не являются уникальными в своей способности распространять электрические сигналы в живых биологических организмах. Например, клетки органов «электрических» рыб так же, как и нейроны, формируют электрические сигналы. Только управляются нейроны и клетки специальных органов «электрических» рыб по-разному. Их сходство и различия описаны в Дополнении ДЗ - «Нейроны и их аналоги». Нас в этих сходных клетках в данном случае интересует такая черта нервных клеток и клеток специальных органов рыб, как энергетические возможности клеток, как усталость.

Можно сказать, что у рассматриваемых клеток есть два типа усталости.

1) Сигналы, выдаваемые возбуждёнными клетками, очень коротки, порядка одной миллисекунды. За это время нейрон (и клетка специального электрического органа) успевает выдать некоторую порцию энергии. Затем, для быстрого восстановления работоспособности нейрона требуется время в десятки миллисекунд.

2) В результате многих частых возбуждений нейроны и специальные клетки рыб «устают». Для восстановления их работоспособности требуются уже минуты и часы.

Эти два существенно различающихся временных промежутка, требующихся для восстановления работоспособности клеток, для восстановления энергетических потенциалов клетки, возможности выдавать порции энергии, свидетельствуют о том, что в нейронах (и в клетках электрических рыб) существуют энергетические структуры двух типов. Одна может выдать малую порцию энергии (один короткий импульс за 1 миллисекунду) и восстановиться за десятки миллисекунд. Другая структура обеспечивает выдачу многих циклов коротких импульсов (с расходом энергии в сотни, в тысячи раз больше, чем энергия одного импульса). Но и восстанавливаются энергетические возможности второй структуры намного дольше, чем возможности первой структуры.

Это говорит о том, что в нейроне имеются два типа накопителей энергии, которая расходуется в ходе функционирования нейрона. Один быстродействующий накопитель малой ёмкости внутри внешней оболочки нейрона. Таким маломощным быстродействующим накопителем может быть структура со свойствами электрического конденсатора (или аккумулятора). Таким конденсатором, по представлениям биологов, является мембрана – оболочка ядра нейрона или другой органеллы внутри нейрона. Во время выдачи импульса при возбуждении нейрона этот конденсатор на основе оболочки ядра нейрона практически полностью разряжается приблизительно за 1 миллисекунду. По окончании разряда заряд конденсатора (оболочки ядра нейрона) достаточно быстро, за время порядка 20 миллисекунд восстанавливается. И нейрон готов к новому циклу выдачи импульса при его возбуждении.

Второй ёмкостью энергии представляется тело всего нейрона внутри его оболочки, заряжаемое химической энергией питательных веществ, поставляемых кровью через

внешнюю оболочку всего нейрона. Что это так, подтверждается тем фактом, что нейроны, в отличие от других клеток организма, очень быстро умирают без притока крови, доставляющей к телу всего нейрона питательные вещества, и уносящей от клетки (от нейрона) отходы её жизнедеятельности. Питательных веществ внутри тела всего нейрона хватает на время порядка 5 минут. Это относится к часто возбуждающимся нейронам. Тогда как клетки мышц (или незадействованные нейроны) могут жить без получения питательных веществ (и их расходования) в течение многих часов.

Эти факты говорят не только о наличии двух областей хранения энергии в теле нейрона, но и о том, что нейроны активно возбуждаются с расходом большого количества энергии. Что подтверждается фактом высокого энергопотребления мозгом – 20% от всей энергии, потребляемой организмом при массе мозга не более 2% от всей массы человека. Мы приведём электрическую схему модели нейрона, соответствующую изложенным требованиям к выдаче, хранению и накоплению энергии для формирования импульсов при возбуждении нейронов.

Легче всего создать модель нейрона и НС, построенную на компьютерных моделях нейронов на компьютере. И такая модель была создана нами (со сравнительно малым количеством нейроподобных элементов, моделирующих функционирование отдельных биологических нейронов). Подразумевалось, что компьютерные нейроподобные элементы, моделирующие биологические нейроны, описывают поведение электронной модели, приведённой на рисунке 11. Модель показала работоспособность, в ней образуются условные рефлексы (происходит обучение). При изменении обстоятельств образуются новые рефлексы (происходит переучивание). Но полномасштабная компьютерная модель мозга требует недоступных пока мощностей, как по объёму памяти, так и по быстродействию существующих традиционных процессоров.

В рамках выполнения НИР 9006 в Национальном исследовательском Томском государственном университете была создана электронная модель простейшей нервной системы из 3-х нейронов, что существенно облегчило её создание. На этой модели, состоящей всего из 3-х нейроподобных элементов, была продемонстрирована способность электронной модели к обучению и переучиванию. Полномасштабная схемотехническая реализация мозга гораздо сложнее и более затратная, чем компьютерная, зато она даст огромный по сравнению с естественным человеческим мозгом выигрыш в скорости – в миллионы раз – таково возможное превосходство в быстродействии электронных схем над биологическими. Поэтому даже усеченная схемотехническая модель со сравнительно малым количеством нейронов может оказаться очень полезной при управлении различными быстропротекающими процессами в сложных, быстро меняющихся условиях типа взрыва, падения, которые невозможно просчитать заранее.

При дальнейшем обсуждении мы будем говорить о различных моделях нейронов, или спаянных в виде электрической схемы, или реализованных в виде компьютерной модели, а также о принципах взаимодействия таких нейроподобных элементов, составляющих искусственный мозг, иногда обращаясь к биологическим аналогам.

В реальных организмах протекает множество процессов, реализующих ход мыслей: и механические (движения тела и массоперенос током крови и лимфой), и биохимические, и электрические.

Почему так происходит? Ресурсы организма ограничены, поэтому выживают только организмы с оптимальным распределением ресурсов – в которых одни и те же механизмы одновременно участвуют в различных процессах. Из-за этого совмещения функций всё усложняется. Каждая подсистема организма в условиях жёсткого требования минимизации используемых ресурсов вынуждена выполнять множество функций. Так, кровь и доставляет к органам продукты питания, и уносит из них отходы их жизнедеятельности, и отводит-подводит тепло, и защищает организм от инородных тел, и переносит в пределах организма различные стимуляторы. Организм должен переносить голод и холод, перепады и перегрев, отравления и обезвоживание, физические

перегрузки и атаки микроорганизмов в условиях жёстких ограничений на ресурсы. Отсюда – совмещение функций и невероятное усложнение, возникающее в процессе и в результате экономии ресурсов. В нашей задаче понимания принципов функционирования мозга и создания Искусственного Носителя Интеллекта (ИНИ) нет таких жёстких ограничений. И поэтому наша задача – понять принципы, логику функционирования естественного мозга – преобразователя входных сигналов, проходящих путь от рецепторов к эффекторам через мозг, и на базе этого понимания создать ИНИ — искусственный мозг – существенно упрощается.

Исследователи постепенно продвигаются к пониманию всех процессов, протекающих в мозге. Но нас, в данном случае, интересуют вопросы, связанные только с обработкой информации. Поэтому мы оставляем без особого рассмотрения множество процессов, в том числе, обеспечивающих протекание логических процессов.

Перечислим функциональные требования к модели нейрона, вытекающие из непосредственно наблюдаемых фактов, а также из логических выводов, следующие из фактов, для того, чтобы синтезировать модель нейрона в соответствии с перечисленными требованиями. Свойства нейронов обусловлены их природой, эволюцией. Перечислим их.

1) Нейроны функционируют автономно, без внешнего управления.

2) Нейроны достаточно хорошо изолированы электрически от своих окрестностей.

3) При длительном непрерывном входном сигнале нейроны формируют короткие импульсы длительностью около 1 мсек независимо от длительности сигнала возбуждения. Эта независимость от длительности импульсов возбуждения может быть связана с тем, что она определяется энергетическими возможностями нейрона. Мощные короткие импульсы генерируются порцией энергии, хранящейся во внутреннем накопителе энергии нейронов, которая может быстро высвободиться. Если сигнал возбуждения короткий (или даже очень короткий, но достаточный для инициирования импульса), то формируется один импульс определенной энергии. Если сигнал возбуждения очень длинный, то возможность выдачи следующего импульса восстанавливается только спустя примерно 20 мс после предыдущего короткого импульса. Нейрон формирует следующий короткий импульс и так далее. Таким образом, с длинным входным сигналом достаточного потенциала, нейрон формирует серию импульсов на своем выходе. После некоторой паузы работоспособность нейрона восстанавливается. Возможность выдачи следующего импульса восстанавливается через время около 20 мс. Нейрон формирует следующий короткий импульс и так далее. Таким образом, с продолжительным входным сигналом достаточного потенциала, нейрон формирует серию импульсов на своем выходе. При частом возбуждении порог возбуждения нейрона повышается, нейрон «устает» и может даже перестать возбуждаться (из-за истощения внутренних энергетических ресурсов). После достаточно длительного отдыха работоспособность нейрона восстанавливается.

4) Нейроны функционируют за счет использования энергии, поставляемой им в пищевых продуктах, с выделением отходов в окружающую среду (обменом через кровь).

5) Если доставка пищи в мозг извне прекращается даже на короткое время (около 5 минут), то мозг необратимо выходит из строя. Хотя при этом многие клетки мышц и других тканей организма достаточно долго после смерти мозга организма остаются живыми (работоспособными). Отсюда делается вывод, что не все нейроны быстро умирают (вспомним опыт Гальвани с реакцией ног давно умершей лягушки на раздражение). Без подачи пищи и удаления из нейронов вредных продуктов их жизнедеятельности быстро выходят из строя наиболее часто возбуждаемые нейроны. Такие нейроны проводят афферентные сигналы от рецепторов к мозгу. Из-за недостаточного обмена веществ в клетках таких часто возбуждаемых нейронов истощаются питательные вещества, а концентрация продуктов жизнедеятельности в нейроне превышает лимит. Нейроны, которые не были возбуждены или возбуждены малое количество раз, когда мозг уже был лишен питания, могут (как и клетки других

тканей) оставаться жизнеспособными в течение достаточно длительного времени, потому что при отсутствии активных процессов (возбуждений) запасы питательных веществ внутри нейрон уменьшается медленно. Количество отходов также растет медленно.

6) Нейроны возбуждаются, когда суммарный (общий) входной потенциал превышает порог возбуждения, и ретранслируют сигнал (порцию энергии, выделяемой нейроном) через его аксон дальше к входным соединениям следующих нейронов. Нейроны развитого организма (не эмбриона) самовозбуждаются сравнительно редко, иначе наблюдалось бы самовозбуждение мозга.

7) Нейроны функционируют таким образом, что между двумя соседствующими (соприкасающимися) нейронами, которые находятся одновременно в возбужденном состоянии, образуется проводящая связь.

8) Нейроны функционируют таким образом, что мозг не самовозбуждается. То есть, средний коэффициент размножения сигналов (Кразмножения) на каждой стадии не превышает 1. То есть, в норме самовозбуждение мозга отсутствует.

9) Как и все материальные объекты, электрические цепи, нейроны, являются инерционными (из-за наличия электрических емкостей). Таким образом, при наличии возбуждающего потенциала нейроны возбуждаются не мгновенно, а с течением времени, в зависимости от скорости увеличения возбуждающего потенциала (зависящей от величины входных сигналов и весов связей, от ёмкости общего входа), от постоянных и изменяющихся параметров самого нейрона и сигналов на его входах.

Для свойств межнейронных связей, образующихся при функционировании нейронов, обязательных требований намного меньше, чем требований к нейронам. Перечислим их.

1) Каждый нейрон имеет один выход (аксон) и несколько входов - дендритов. По некоторым данным до 10 000, по другим до 20 000.

2) Связи между нейронами проводят сигналы. В противном случае, без возможности передачи сигналов через связи от нейрона к нейрону, не будет ни развития, ни изменений в отдельном организме, ни изменений в виде организмов. Без возможности передачи сигналов через связи от нейрона к нейрону не будет даже реакции организма на окружающую среду.

3) Связи между нейронами не появляются сами по себе, они образуются между выходами предыдущих возбужденных нейронов и входами следующих нейронов, которые находятся в возбужденном состоянии одновременно.

4) Вес (мощность, потенция) межнейронных связей, их гальваническая проводимость, со временем уменьшается, что эквивалентно забыванию соответствующих ассоциаций. Почти забытое событие может быть извлечено из памяти организма путем активации дополнительных ассоциаций (путем суммирования сигналов, полученных на входе нейрона через ассоциативные связи), что обеспечивает общее превышение порога в начале цепочки, на которой образ воспоминаемого события отображается.

5) Межнейронные соединения сразу после формирования имеют максимальный логический вес, проводимость. Последующее уменьшение веса происходит из-за постоянного уменьшения веса **всех** межнейронных связей (например, из-за диффузии проводящего канала).

Поскольку связи образуются между возбужденными нейронами, они ассоциативны. Ассоциация заключается в том, что нейроны, между которыми образуется соединение, в момент образования соединения находятся в возбужденном состоянии и находятся в контакте. Поскольку возбуждение нейрона соответствует некоторому событию, межнейронная связь отображает ассоциированные внешние события, ассоциирует два события, которые одновременно возбуждают два нейрона.

Из перечисленных требований (можно сказать, постулатов, аксиом) следует, что нейроны имеют входные связи различного веса, поскольку связи образовались в разное время и потому уменьшились в разной степени. По причине различия весов входных

связей, а также из-за того, что на входы нейронов приходят сигналы - потенциалы разной величины от разных нейронов-источников с разными нагрузками, следует, что потенциалы входов различных нейронов при подаче сигналов на их входы, увеличиваются или уменьшаются с различной скоростью. Это обстоятельство играет важную роль для функционирования групп нейронов, на которые поступают сигналы от одних и тех же нейронов-источников - порождается дискриминация возбуждения нейронов по времени.

6.2 Синтезированная модель нейрона

(блок-схема модели нейрона).

Создавать электронную модель нейрона и модель минимальной нейронной сети на основе созданных электронных моделей нейрона мы будем в соответствии с перечисленными требованиями.

Сначала сконструируем блок-схему электронной модели нейрона — электронного нейроподобного элемента (НЭ), соответствующую перечисленным требованиям. Можно изобразить предлагаемую схему нейрона в виде блоков, выполняющих отдельные функции, более легко поддающуюся формализованному описанию. Такая схема приведена на следующем рисунке 10:

Приведём блочную схему функционирования системы обработки информации, включающую в себя предлагаемую модель отдельного нейрона и его окружение, обеспечивающее успешное функционирование естественной системы обработки информации и управляемого ею организма в несколько ином виде, больше подходящем для формального рассмотрения-описания (рисунок 10).

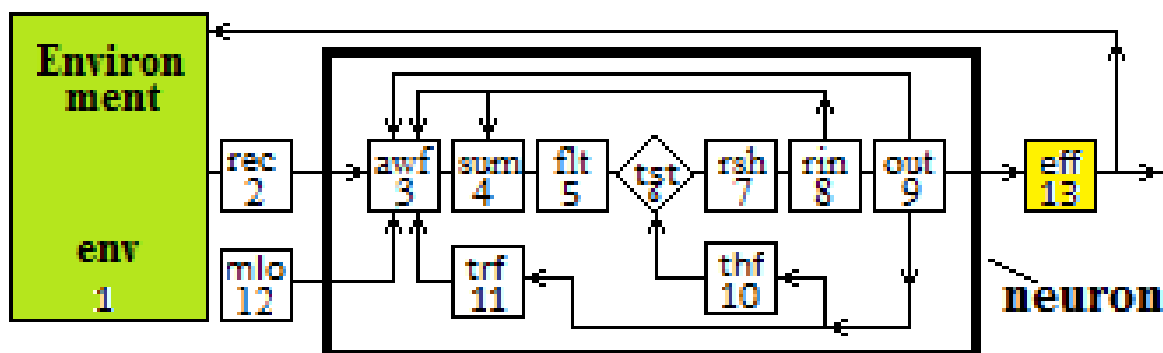


Рисунок 10. Блочное представление естественной системы обработки информации на основе нейрона

На этом рисунке отдельный нейрон занимает центральное место в прямоугольной рамке (блоки 3 – 9, 10, 11). Таких нейронов в реальной НС огромное множество – десятки миллиардов в мозге человека. Подавляющее большинство из них получает сигналы не от рецепторов, а от предыдущих нейронов. А так же воздействуют не на эффекторы, а на последующие нейроны.

Процесс обработки информации представленной моделью и изменения, производимые этим процессом, изображены в виде последовательности блоков, расположенных горизонтально слева направо. Информация в материализованном виде (порождённая очередным воздействием среды, раздражением) в процессе обработки последовательно продвигается по схеме слева направо от соседних (смежных) левых блоков к правым. Слева от нейрона изображена окружающая среда, воздействующая на организм. Воздействия среды измеряют рецепторы, генерирующие «сигналы опасности»,

когда воздействие среды превышает некоторый измеримый предел. Справа изображены эффекторы, могущие воздействовать на условия возникновения раздражения, породившего сигнал, поступивший в систему обработки информации. Воздействие эффекторов может проявляться путём изменения среды, изменения положения организма в среде, изменением концентрации химических веществ.

В блочной схеме изображены следующие узлы, входящие в состав нейроподобного элемента:

(3) — входные связи нейрона

(4) — sum — входные цепи НЭ, совмещённые с сумматором,

(5) — flt — фильтр, сглаживает случайные помехи и участвует в разделении во времени моментов возбуждения различных НЭ, на входы которых поступает примерно одни и те же сигнал, что позволяет решать задачу выбора оптимальных путей следования сигнала — возбуждения только того НЭ, входы которого наиболее соответствуют конфигурации входных сигналов,

(6) — tst — компаратор, определяет условия возбуждения НЭ, когда потенциал на выходе сумматора и фильтра превышает пороговый потенциал. Компаратор позволяет выбрать оптимальный путь следования сигналов, более всего соответствующий конфигурации сигналов, поступающих в данный момент на входы нескольких НЭ.

(7) — rsh — **r**esponse **s**haping — формирование потенциалов возбуждения, подаваемых при возбуждении НЭ на входы и выход возбуждённого НЭ (после дополнительных трансформаций). Потенциалы на выходе нейрона ретранслируют сигнал и участвуют в образовании новых связей и в выборе оптимального пути следования сигналов.

(8) — rin — мощный электронный ключ, выдающий отрицательный импульс на входы возбуждённого НЭ, что позволяет формировать на различных НЭ разность потенциалов, достаточную для самообразования новой связи между двумя возбуждёнными НЭ, а также обеспечивает «мягкое» действие правила **«победитель получает всё»** за счёт того, что НЭ, успевший возбудиться первым, затрудняет (но не исключает, потому и мягкое) возбуждение других НЭ, на входы которых поступают те же сигналы, которые возбудили первый возбуждённый НЭ.

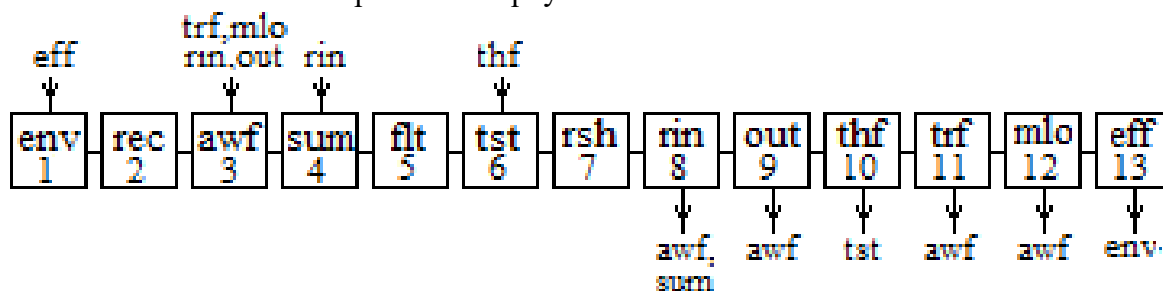
(9) — out — мощный электронный ключ, выдающий положительный импульс на выход возбуждённого НЭ. Разность потенциалов, выдаваемых ключами **rin** и **out**, достаточна для образования новой связи, тогда как отличие этих потенциалов по отдельности от нулевого потенциала недостаточно для образования связей в других случаях. Потенциал, выдаваемый **out**, обеспечивает незатухание сигнала, то есть, позволяет ему распространяться дальше. Кроме того, положительный потенциал с **out**, участвует в формировании порогового напряжения возбуждённого НЭ, повышая его при каждом возбуждении НЭ. При этом НЭ как бы устаёт, начинает возбуждаться несколько позже, при большем уровне сигнала на входе. Тем самым создаются условия для возбуждения других путей следования сигналов при усталости некоторого НЭ в результате частого возбуждения.

(10) — thf — формирователь порогового напряжения, которое повышается при частом возбуждении и стремится к Упорн при отсутствии возбуждения НЭ. ФПН задаёт индивидуальное для каждого НЭ пороговое напряжение, зависящее от истории активации, возбуждений данного НЭ. Если суммарный сигнал на входе компаратора превышает пороговое напряжение, НЭ возбуждается. При возбуждении НЭ пороговое напряжение нарастает с каждым следующим возбуждением и при частых возбуждениях НЭ перестаёт возбуждаться, позволяя возбуждаться другим НЭ. Тем самым решается задача поиска новых путей следования сигналов, если предыдущая реакция НЭ на входные сигналы не привела к исчезновению или хотя бы к уменьшению входных сигналов.

(11) — trf — образование следов прохождения сигналов

- (12) — mlo — memory loss (забывание), уменьшение веса связей со временем
 (13) — eff — эффектор, воздействующий на внешнюю окружающую среду.
 (1) — env — environment — среда, окружающая нейрон, его окрестности.
 (2) — rec — рецепторы, воспринимающие действие внешней среды на весь организм. На приведённой схеме не показаны.

Блочная схема может быть представлена в виде линейки операторов. Номера несмежных блоков, выходящих из ряда, изображены под линейкой блоков. Входные связи с несмежными блоками изображены сверху линейки.



Представим операторную форму в виде поясняющей таблицы.

Таблица 1

Табличное представление операторной формы обработки информации блоками предлагаемой модели нейрона

№	Аббре-виатура	Описание функции блока	Адрес источника	Адрес приёма
1	env	environment – окружающая среда	от 13	
2	rec	receptor – воздействие на рецепторы		
3	awf	продвижение сигнала по путям с угасанием	8,9,11,12	
4	sum	суммирование	от 8	
5	flt	фильтрация		
6	tst	тестирование – сравнение с порогом	от 10	
7	rsh	response shaping формирование отклика		
8	rin	response in – формирование входа		3, 4
9	out	out – формирование выхода		3, 10
10	thf	threshold formation – формирование порога	от 9	6
11	trf	trace forming образование следов – связей		3
12	mlo	memory loss (забывание)		3
13	eff	эффектор, воздействует на среду		1

Проверка возможности продвижения сигнала к выходу из формирователя (возможности возбуждения) производится только один раз, на блоке 6, где происходит сравнение поступающего сигнала с порогом. Если сигнал, дошедший до блока 6 (до компаратора), превышает некоторый порог, то он проходит дальше, вызывая возбуждение нейрона:

Эту проверку можно записать в виде:

$$S_j > U_t (?),$$

Здесь S_j – суммарный входной сигнал, U_t – пороговый потенциал

Основным проявлением возбуждения является продвижение сигнала дальше, к следующим нейронам или к эффектору.

Поскольку функционирование предлагаемой системы обработки информации происходит без останова, то оператора конца работы схемы нет.

В приведённой таблице сигналы продвигаются по линейной последовательности смежных блоков. Кроме того, в правых столбцах изображены номера несмежных блоков, взаимодействующих с данным. В крайнем правом столбце изображены номера несмежных блоков-приёмников, на которые воздействуют текущие блоки. В столбце чуть левее приведены номера блоков-источников, с которых воздействие поступает на данный блок.

Опишем более подробно операторную схему системы обработки информации, центральное место в которой занимает нейрон:

1. (env) Окружающая среда, в которой существует (действует) организм. События, происходящие в среде, воздействуют на организм, раздражают его рецепторы. Система обработки информации через посредство эффекторов организма может изменять воздействие среды на систему путём изменения среды, своего положения относительно среды или своего состояния (например, за счёт функционирования железы, вырабатывающей слюну).

2. (rec) Среда воздействует на организм, раздражая рецептор. Раздражение выше некоторого уровня порождает в рецепторе сигнал, распространяющийся дальше. Энергия для сигнала поступает в рецептор из системы питания организма.

3. (awf) Продвижение сигнала происходит по межнейронным путям, по существующим структурам мозга вплоть до рассматриваемого нейрона – по парным межнейронным связям, каждая из них связывает выход нейрона с входами многих других нейронов. Существующие связи непрерывно угасают (ветшают), образуются новые связи. На прохождение сигналов по связям воздействует состояние выходов и входов различных нейронов.

4. (sum) Суммирование сигналов, поступивших на входы нейрона.

5. (flt) Фильтрация суммарного сигнала – игнорирование (отсеивание) кратких помех и суммирование входного сигнала во времени.

6. (tst) Сравнение суммы с порогом, поступающим из внутреннего блока 10.

7. (rsh) Формирование отклика (при обнаружении в блоке 6 превышения порога) – при замыкании ключа, изображённого на рисунке 11 (электр. схема модели нейрона).

8. (rin) Формирование мощного сигнала обратной полярности, подаваемого на выход собственного сумматора нейрона. Этот сигнал при возбуждении нейрона сразу же частично компенсирует сигналы, возбуждившие нейрон. Тем самым успевший возбудиться нейрон препятствует возбуждению других нейронов, ещё не успевших возбудиться, и автоматически уменьшает средний коэффициент размножения сигналов $K_{размнож}$, порождает правило «**Первый получает всё**», чем препятствует самовозбуждению мозга, состоящего из множества нейронов, связанных между собой разнообразными парными связями. Вместе с положительными сигналами на выходах других возбуждённых нейронов (соседствующих) отрицательный потенциал обеспечивает образование следов событий – новых возможных путей следования сигналов, ассоциативных связей между нейронами, если разность потенциалов $|U_{jout} - U_{kin}|$ (между выходом нейрона – аксоном и входом – дендритом) превышает некоторый потенциал образования связи ($U_{пос}$).

9. (out) Формирование мощного выходного сигнала, продвигающегося к следующим нейронам дальше (возможно, на эффектор); участвующего в образовании новых связей; поступающего на блок формирования порога. Сигнал может затухать по пути из-за нехватки величины потенциала для возбуждения очередных следующих нейронов.

10. (thf) Формирование порогового напряжения, воздействующего на результат сравнения поступившего сигнала и выбор действия «возбудить/не возбуждать» нейрон. Пороговое напряжение в электронном (программном) нейроне быстро повышается при возбуждении нейрона и постоянно медленно стремится к опорному, эталонному напряжению. В естественном нейроне повышение порога возбуждения происходит из-за расходования питательных веществ и приходит в норму при восстановлении работоспособности нейрона, разрядившегося при возбуждении. При возбуждении, после

выдачи короткого импульса (1 mS), нейрон на некоторое («мёртвое») время теряет способность к возбуждению. И достаточно быстро (за время порядка 20 mS) эта способность восстанавливается за счёт внутренних резервов нейрона. Но при частом возбуждении нейрона внутренние резервы не успевают пополниться, он не успевает восстанавливаться полностью – происходит накопление усталости.

11. (trf) Неуправляемое образование новых следов – связей – новых путей для сигналов при наличии достаточной разности потенциалов. По оценкам (Дополнение 1, «Информация»), средняя скорость образования связей порядка 30 000 связей в секунду. Поэтому и существует высокий расход энергии в мозге (порядка 20 Вт, что составляет ≈20% от всей энергии, потребляемой человеком).

12. (mlo) Происходит непрерывное неуправляемое забывание – уменьшение весов всех связей (например, в результате диффузии проводящих структур). В общем случае скорость забывания зависит от параметров нейронов и среды, поэтому в разных зонах мозга скорость забывания может быть разной.

13. (eff) Эффекторы (манипуляторы) при поступлении сигналов производят действие – воздействие на среду (путём изменения среды, своего положения или выработки химических секретов). Если действие манипулятора приводит к уклонению от воздействия раздражителя, воздействующего на рецептор, реакция прекращается, система «засыпает» до прихода следующего сигнала раздражения (опасности).

Опишем более подробно функционирование предлагаемой (синтезируемой) модели нейрона. Можно сказать, что нейрон состоит из двух основных частей – входной (приёма, суммирования сигналов и накопления потенциала) и выходной (усилителя–передатчика). А также из механизма запуска возбуждения нейрона, определяющего момент возбуждения (формирования выходного сигнала на усилителе и передачи сигнала дальше) путём сравнения уровня суммарного входного сигнала с порогом.

Входная часть состоит из однонаправленных входных связей (с диодами, блокирующими утечку положительного потенциала на соседние нейроны), через которые предыдущие нейроны подают сигналы на данный нейрон. Входные сигналы суммируются и фильтруются на блоках 4. (sum) и 5. (flt) фильтрация.

Блок суммирования формирует суммарный сигнал, зависящий от конфигурации величин сигналов на его многочисленных входах и конфигурации весов (силы, пропускной способности) связей–входов, через которые поступают сигналы.

Непосредственно на сумматоре получаем мгновенное значение сигнала (если бы не было фильтрующей, накопительной ёмкости)

$$S_j = \sum(X_{ij} * W_{ji})$$

Поскольку все системы инерционны, сигнал фильтруется на цепочке R1C1, которая устраняет случайные всплески, кроме того, делает нарастание S_j не мгновенным, а плавным: $S_j \rightarrow S_j(t)$. Назовём этот сигнал $S_j(t)$ накопленным

$$S_j(t) = \int F \{ (\sum [F1(X_{ij}(t), S_j(t)) * W_{ji}], F2(R1, R2, C1, Y_j(t))) \} * dt.$$

Здесь $F1(X_{ij}(t), S_j(t))$ учитывает тот факт, что добавление к накопленному потенциалу пропорционально разности $X_{ij}(t) - S_j(t)$, если она положительна. Отрицательное значение $X_{ij}(t) - S_j(t)$ обрезается, не проходит на сумматор из-за диодов.

$\sum [F1(X_{ij}(t), S_j(t)) * W_{ji}]$ представляет потенциал, заряжающий C1.

$F2(R1, R2, C1, Y_j(t))$ учитывает скорость заряда конденсатора C1 положительными входными сигналами, и его разряда отрицательным потенциалом через высокую проводимость при возбуждении нейрона.

Накопление возбуждающего потенциала $S_j(t)$ на входе нейрона по сути очень простое, в электронной схеме происходит само по себе, но расчёт этого потенциала $S_j(t)$ получается достаточно трудоёмким, требующим большого количества вычислений, хотя возможны компромиссы – использование приближённых методов вычислений.

Сигнал $S_j(t)$, полученный в результате фильтрации и накопления потенциала на конденсаторе C_1 , поступает на компаратор (на схеме – управляющий электрод тиристора), сравнивающий уровень поступающего сигнала с порогом. При превышении порога сигнал запускает механизм возбуждения (открывает ключ, выдающий положительный потенциал через большую проводимость на выход нейрона – на аксон).

Учитывая достаточно большую скорость нарастания потенциала на входе нейрона и медленное его стремление к равновесному из-за токов утечек, приходим к выводу: входной потенциал нейрона может превысить порог возбуждения как в результате суммирования большого количества малых входных потенциалов, так и в результате поступления серии сигналов по одному входу от мощного сигнала раздражения.

У разных нейронов скорость нарастания отфильтрованного входного сигнала S_j , зависящая и от поступающих сигналов, и от силы принимающих их связей, будет различаться. Поэтому будут различаться и моменты превышения порога на компараторах различных нейронов, даже если на них приходят одинаковые наборы сигналов. Совместно с компенсацией разнополярных потенциалов на входе и на выходе дискриминация моментов превышения порога автоматически порождает и реализует правило «Первый получает всё». Тем самым блокируется самовозбуждение системы обработки информации.

Почему нейрон при возбуждении хоть коротким, хоть очень длительным возбуждающим сигналом всегда выдаёт только короткий импульс? А после импульса нейрон невозможно возбудить длительное время? Мы видим, что может существовать только одна причина такого положения дел – короткий импульс (всегда одинаковой длительности - энергии) обусловлен полным разрядом внутреннего источника нейрона. Иначе выходной импульс длился бы столько времени, сколько длится возбуждающий сигнал. Всегда одинаковая длительность выходного импульса (даже при очень коротком возбуждающем импульсе) обусловлена «лавинным», неконтролируемым процессом разрядки внутренней ёмкости. То есть, процесс выдачи выходного сигнала может быть инициирован, но не может быть остановлен. А «мёртвое время» обусловлено временем заряда внутренней накопительной ёмкости нейрона.

Силовая часть, формирующая мощные сигналы (pulse shaper), продвигающиеся дальше, состоит из накопителя заряда, выдающего порцию энергии сигнала (конденсатор или аккумулятор C_2), который заряжается внутренним источником ЭДС (EMF) за счёт внутренних резервов нейрона и быстро разряжается при возбуждении формирователя. Управление разрядом конденсатора осуществляет ключ, срабатывающий при поступлении на него входного сигнала, превышающего порог.

При замыкании ключа происходит выдача формирователем мощных сигналов (зависящих от накопленного заряда и внутреннего сопротивления аккумулятора энергии), поступающих на выход и вход нейрона. Так происходит выдача возбуждённым нейроном сигнала определённой энергии.

Управляться ключ на выходе нейрона (в начале аксона) может по-разному. Это может быть тиристор или полевой транзистор в электронной схеме или открывание ионного канала (обратимый пробой мембраны-конденсатора) в биологическом нейроне. Биологический механизм замыкания ключа не принципиален для рассмотрения логики функционирования нейрона, и может быть раскрыт позже.

Покажем, что представленная блочная схема удовлетворяет требованиям к модели нейрона, перечисленным выше.

Наличие и выполнение пунктов требований к модели нейрона 1, 2 очевидно.

Требование 3 выполняется сравнением на блоке 6 отфильтрованного на блоке 5 входного сигнала с готовностью блока 9 к выдаче очередного мощного сигнала. Сигнал готовности к выдаче порции энергии на выход формируется блоком 10 (формирование порога). Чтобы обеспечить выдачу блоком 9 порцию энергии (короткого мощного сигнала) эту порцию необходимо накопить. Поэтому и не может нейрон выдавать

мощный длительный сигнал при поступлении на его вход длительного сигнала, превышающего порог возбуждения. Он выдаёт серии коротких импульсов в моменты готовности блока 9 к выдаче мощного короткого импульса.

Требование 4 выполняется тем же блоком 9 накоплением порции энергии за счёт доступных питательных веществ внутри нейрона. Доступные для блока 9 питательные вещества приносятся извне током крови, который выносит из нейрона отходы его жизнедеятельности.

Положение 5 порождается отсутствием обмена нейрона питательными веществами и отходами со средой, окружающей нейрон.

Требование 6 выполняется в результате сравнения на блоке 6 общего входного сигнала формируемого на блоках 4 (суммирование) и 5 (фильтрация) сигналами на входах (блок 3), поступающими от нейронов предыдущих каскадов. Общий входной сигнал сравнивается с сигналом готовности блока 9 к выдаче мощного выходного сигнала. Готовность блока формируется блоком 10. При наличии входного сигнала достаточного уровня и готовности блока 9 на блоке 7 формируется выходной сигнал, и на выход нейрона с блока 9 через его аксон подаётся мощный сигнал определённой полярности (положительной), а с блока 8 на вход нейрона на блок 3 поступает мощный сигнал противоположной полярности (отрицательной).

Требование 7 выполняется за счёт возникающей разности потенциалов на выходах и входах возбуждённых нейронов, которая и обеспечивает образование новых связей между соседствующими возбуждёнными нейронами.

Требование 8 статически выполняется подбором силовых параметров (нагрузочных способностей) входа и выхода модели. В его выполнении участвует и фильтр (блок 5). Неполное выполнение требования 8 за счёт статических параметров компенсируется динамически, за счёт имитации усталости нейрона - увеличения входного порогового напряжения, формируемого в блоке 10.

Требование 9 выполняется в модели за счёт учёта величины потенциалов на входах нейрона (блок 3) и проводимостей входов нейрона. От их величин зависит скорость зарядки наличия фильтра (блок 5). Поэтому нейроны возбуждаются с разными скоростями, даже если величины потенциалов на их входах одинаковы. Различие скоростей роста входных потенциалов вместе с выдачей на вход отрицательного потенциала автоматически порождает правило - механизм **«Первый получает всё»**.

Требований к межнейронным связям гораздо меньше. Но они также очень важны для результативного функционирования модели

Требование 1 по поводу количества входных связей у нейрона очевидно, и достаточно просто выполнимо.

Требование 2 по поводу проводимости межнейронных связей обеспечивает возможность прохождения сигналов от нейрона к нейрону. Это прохождение сигналов между нейронами наблюдается на практике.

Требование 3 выполняется за счёт разной полярности на выходах и на входах возбуждённых нейронов или НЭ, что обеспечивает образование новых межнейронных связей между соседствующими возбуждёнными нейронами. Благодаря чему и происходит развитие организмов, управляемых нервными системами. Связи проводят сигналы от предыдущих нейронов к следующим.

Естественное требование 4 по поводу уменьшения со временем веса межнейронных связей - угасания памяти - может выполняться за счёт естественного уменьшения проводимости всех входных связей нейронов со временем. Например, за счёт диффузии, или подобного процесса.

Требование 5 по поводу максимального веса только что образовавшихся связей также естественно. Оно обеспечивает наибольшую силу (вес) следов событий, произошедших недавно, что обеспечивает адаптацию СОИ к новым условиям - выход на

передний план следов недавно произошедших событий, поскольку веса всех связей постоянно уменьшаются с течением времени.

6.3 Синтезированная электронная модель нейрона

Из перечисленных требований (можно сказать, постулатов, аксиом) следует, что нейроны имеют входные связи различного веса, поскольку связи образовались в разное время и потому уменьшились в разной степени. По причине различия весов входных связей, а также из-за того, что на входы нейронов приходят сигналы - потенциалы разной величины от разных нейронов-источников с разными нагрузками, следует, что потенциалы входов различных нейронов при подаче сигналов на их входы, увеличиваются или уменьшаются с различной скоростью. Это обстоятельство играет важную роль для функционирования групп нейронов, на которые поступают сигналы от одних и тех же нейронов-источников - порождается дискриминация возбуждения нейронов по времени.

В исходном состоянии жизни организма (сразу после зачатия) нет связей между его нейронами. Поначалу в таком организме даже нет нейронов. В период эмбрионального развития организма в организме, в результате само-воспроизводства исходной материнской клетки и клеток ее потомков, в слегка отличающихся условиях образуются различные ткани организма, состоящие из сходных соседних клеток. И нервные клетки, нейроны, в том числе. В исходном состоянии нет связей между нейронами. Но уже в дородовой период связи между определенными нейронами в каждом отдельном организме формируются между достаточно легко самовозбуждающимися в этот период в соответствии с процедурой образования связей, реализующих безусловные рефлексы. Их образование описано в статье [136, 150]. Эти связи генетически определяются расположением нейронов, их способностью к самовозбуждению. Они присущи всем организмам вида. Условия для формирования этих связей были сформированы в ходе эволюции вида. Эти связи, которые образуются в пренатальном периоде развития организма, реализуют безусловные рефлексы, обеспечивая основу для выживания организма, который только что родился, вышел из комфортных, безопасных условий внутри тела матери.

При прохождении сигналов через структуры СОИ (IPS) формируются следы прохождения сигналов, которые являются возможными путями сигналов, которые будут проходить позже. Для формирования следов требуется энергия. Энергия также расходуется на преодоление потерь при распространении сигналов.

Системы обработки естественной информации возникли в результате длинной серии мутаций - случайных изменений отдельных организмов вида при каждом появлении множества новых поколений каждого вида животных с последующим их выживанием в окружающей среде, которая существовала в течение жизни этих организмов. СОИ (IPS) обеспечивает и экспансию выживших организмов.

Механизмы естественных систем обработки информации образовались, как и генетические изменения организмов, случайно, но закономерно закрепились в ходе эволюции, будучи полезными как средство выживания организма и вида.

Часть межнейронных связей – путей сигналов образуется в дородовой период развития организма. Их образование предопределено генетически – пути их образования сложилась в рамках вида в результате множества мутаций при зарождении новых организмов в ходе эволюции вида. Такие пути являются исходными для организма, они реализуют безусловные рефлексы. На их основе, в результате прохождения по уже существующим путям сигналов раздражения от рецепторов, образуются новые следы сигналов, которые являются опытом уже не всего вида, а опытом данного отдельного организма. Этот опыт непрерывно накапливается, изменяется, действует, что и позволяет

организму успешно выживать в постоянно изменяющейся среде. Накопление опыта можно назвать обучением и переучиванием, самоадаптацией организма под управлением нервной системы. Переучивание происходит, когда существующая реакция организма из-за изменения условий перестаёт быть адекватной обстановке (не приводит к избавлению от раздражения), и потому вытесняется более новой реакцией, лучше соответствующей изменившимся обстоятельствам. Предлагаемая модель нейрона, как и естественные нейроны, обеспечивает самоадаптацию к информации, проходящей через неё.

Пропуская промежуточные этапы синтеза модели нейрона, приведём на рисунке 11 вариант электрической схемы модели нейрона:

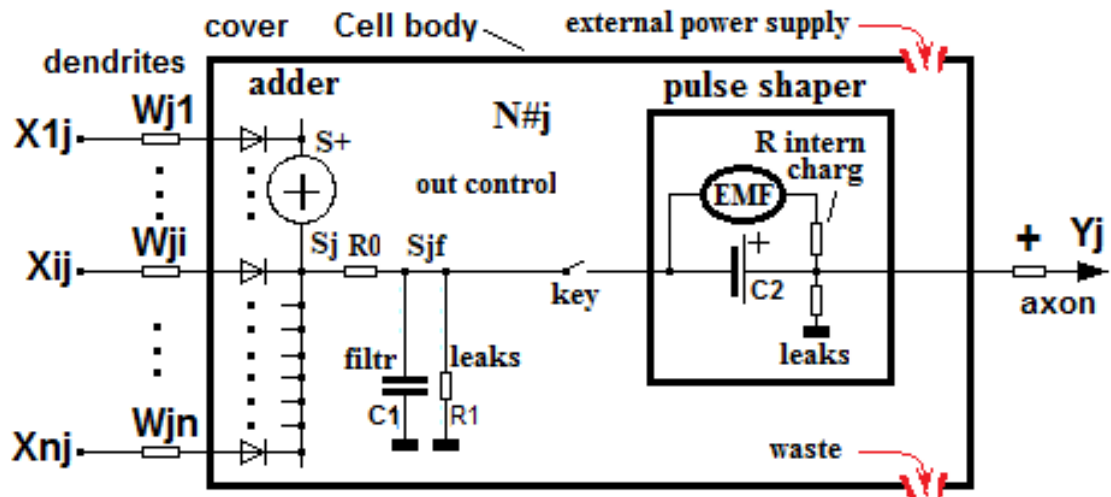


Рисунок 11. Электрическая схема модели нейрона

Управляться ключ на выходе нейрона (в начале аксона) может по-разному. Это может быть тиристор или полевой транзистор или даже просто механическое перекрытие ионного канала. Ответ на этот вопрос не так принципиален, и может быть получен позже.

Предлагаемая модель существенно отличается от классической модели тем, что явно указан источник энергии для формирования импульса, передаваемого нейроном дальше при его возбуждении, когда уровень суммарного входного сигнала превышает порог возбуждения.

Анализ приведённой схемы даёт представление о её отклике на суммарный входной сигнал. Этот отклик изображён ниже, на рисунке 15 вместе с откликом $H(S_j)$ перцептрона.

Данная модель нейрона позволяет объяснить все вопросы функционирования нервной системы как естественной системы обработки информации, основной структурной единицей которой является нейрон.

Ёмкость C_2 - это внутренний накопитель энергии. Этот накопитель заряжается относительно медленно (например, через мембрану, которая по-разному пропускает через себя в противоположных направлениях химические элементы и ионы). И быстро разряжается, когда включается ключ. Это объясняет механизм генерации серии коротких мощных импульсов с большими интервалами времени между ними, когда на нейрон подается непрерывный длительный сигнал возбуждения.

Возбуждающий сигнал является суммой входных потенциалов X_{ij} , приходящих на входы нейрона с весами (с пропускающими способностями) W_{ji}

$$S_j = \sum_i X_{ij} * W_{ji}.$$

Эта сумма сигналов S_j через R_0 поступает на ёмкостной фильтр C_1 , и превращается в отфильтрованный сигнал S_{jf} с отсеянными помехами. Этот сигнал S_{jf} и возбуждает нейрон путём замыкания ключа «key». Когда ключ замыкается, появляется цепь разряда C_2 через аксон, входные связи и их предыдущих и последующих соседей. В этот момент и

происходит выдача короткого мощного импульса за счёт разряда C2. В остальное время ключ разомкнут, отрицательная «клемма» C2 достаточно хорошо изолирована, поэтому происходит зарядка ёмкости C2.

Ключ «key» может замкнуться только при достаточно большой разности потенциалов S_{jf} и на отрицательной клемме C2. Это возможно только при полностью заряженном накопителе C2. Замыкание ключа представляет собой процесс типа обратимого пробоя.

Замыкание ключа зависит и от входного потенциала S_{jf}, который нарастает в зависимости от величины S_j

$$S_{jf} = S_{jf}(t) = \int F\{(\sum [F1(X_{ij}(t), S_j(t)) * W_{ji}], F2(R1, R2, C1, S_j(t)))\} * dt.$$

Так что при поступлении на несколько нейронов совершенно одинаковых сигналов первым возбудится тот нейрон, у которого потенциал S_j будет максимальным, то есть, конфигурация входных сигналов будет наилучшим в данном месте образом соответствовать конфигурации входных связей данного нейрона.

При возбуждении первого же нейрона потенциал с отрицательной «клеммы» внутреннего накопителя поступает на входы нейрона. Тем самым компенсируется часть положительных потенциалов, возбуждавших данный нейрон. В результате произошедшей компенсации возбуждающих потенциалов другие нейроны, на которые поступают сигналы, возбуждавшие первый нейрон, уже не смогут возбудиться. Во всяком случае, их возбуждение будет затруднено. Так что устройство предлагаемой модели нейрона **автоматически** порождает механизм выполнения правила «Первый получает всё». Тогда как во всех существующих сегодня подходах (например, при построении искусственных нейронных сетей) это правило вводится директивно, по воле исследователя.

Механизм «Первый получает всё» обеспечивает сравнение и выбор из множества возможных одного, оптимального, варианта продвижения сигнала, наиболее полно отвечающего конфигурации сигналов на входах и весам входов (опыту нейрона). Кроме того, блокирование (затруднение) прохождения сигналов по всем другим возможным путям, не успевшим активироваться первыми, обеспечивает блокирование самовозбуждения мозга (по причине возбуждения только одного, оптимального, пути продвижения сигнала).

Кроме всего прочего, сигналы разной полярности на выходе и входе возбуждённого нейрона обеспечивают изменение реакции, переучивания, (с «подавлением» старой реакции) без введения в рассмотрение совершенно излишних «тормозящих» входов нейрона. «Подавление» обеспечивается тем, что первыми возбуждаются нейроны с более новыми (недавними) связями, и блокируют возбуждение нейронов цепочек «старых» реакций.

Рассмотрим потенциалы различных частей нейрона в покое и при его возбуждении. Схематически они представлены на следующем рисунке 12:

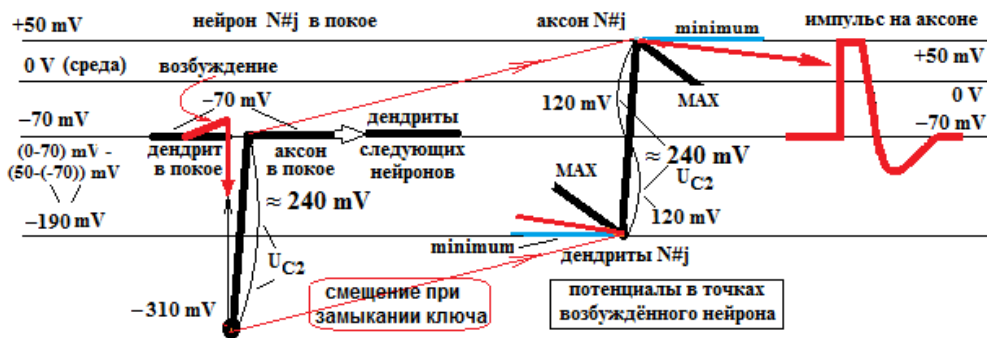


Рисунок 12. Потенциалы в различных точках нейрона в покое и при возбуждении (относительно достаточно больших окрестностей нейрона)

Поясним рисунок 12. Справа показан экспериментально наблюдаемый импульс на аксоне при возбуждении нейрона. Потенциал -70 мВ на аксоне спокойного нейрона обеспечивается тем, что аксон гальванически связан с дендритами последующих нейронов. Таким образом, и дендриты, и аксоны (нейроны предыдущего каскада) имеют одинаковый потенциал -70 мВ относительно окрестностей нейрона. При возбуждении потенциал аксона резко возрастает до $+50$ мВ [134]. То есть, потенциал аксона при возбуждении нейрона увеличивается примерно на 120 мВ (это зависит от нагрузок на входе и выходе нейрона). Предположим, что нагрузки на входе и на выходе нейрона одинаковы (в среднем нагрузки на входах и на выходах нейронов абсолютно одинаковы). Равенство нагрузок означает, что при возбуждении нейрона (при замыкании цепи с накопителем) потенциалы дендритов и аксона смещаются от равновесного значения -70 мВ в противоположных направлениях от равновесного потенциала на одну и ту же величину (по модулю), на 120 мВ. Таким образом, при возбуждении нейрона дендриты приобретают потенциал около -190 мВ.

$$-70 \text{ мВ} - 120 \text{ мВ} = -190 \text{ мВ}.$$

В то же время потенциал аксона составляет $+50$ мВ.

А разность потенциалов аксона и дендритов в начальный момент возбуждения нейрона составляет 240 мВ (разность потенциалов на C2):

$$+50 \text{ мВ} - (70 \text{ мВ} - 120 \text{ мВ}) = +50 \text{ мВ} - (-190 \text{ мВ}) = 240 \text{ мВ} = 120 \text{ мВ} + 120 \text{ мВ}.$$

Получается, при незамкнутом ключе на отрицательной «клемме» внутреннего привода потенциал может достигать примерно -310 мВ относительно «земли». Но чтобы измерить этот потенциал, нужно проникнуть в мембраны органелл нейрона.

Предположение о потенциале аксона невозбужденного нейрона: возможно, внешние оболочки всех нейронов по-разному пропускают элементы, молекулы и ионы в противоположных направлениях. Поэтому потенциал внутри нейронов относительно их окружения, а также потенциал дендритов и гальванически связанных с дендритами аксонов других нейронов, составляет -70 мВ.

В приведенной выше схеме предполагается, что при замыкании ключа потенциал на аксоне увеличивается до половины потенциала, накопленного на C2 (120 мВ = $+50$ мВ - $(-70$ мВ)). Другая половина потенциала C2 уменьшает потенциал входа нейрона в точке соединения R0 и C1 (Sjf). Точность деления потенциала C2 пополам зависит от нагрузок на входе и выходе нейрона. Таким образом, на C1, когда нейрон возбужден, появляется потенциал -190 мВ = $(-70 - 120)$ мВ. В результате этого формируются потенциалы между аксоном одного и входом другого возбужденных нейронов (в месте контакта) порядка 240 мВ = $(+50 - (-190))$ мВ при отсутствии других нагрузок. При наличии нагрузок эта разность потенциалов несколько меньше. Именно эта разность потенциалов является потенциалом образования связи (PB) и обеспечивает образование новых связей между возбужденными нейронами. Эти связи являются ассоциативными, они отражают факт ассоциированности, приблизительной одновременности событий, которые привели к возбуждению нейронов, и их контакта. Таким образом, полученная физическая связь между нейронами будет отражать одновременность (ассоциативность) событий.

Несмотря на функциональное соответствие предлагаемой модели требованиям, остаётся вопрос: может ли такая схема самореализоваться естественным путём? Этот вопрос возникает по той причине, что схема в электрических терминах выглядит достаточно сложно (хотя для инженеров она очень проста). Но если эту модель представить в терминах биологических структур, она будет выглядеть очень просто. Такая простая структура нейрона легко могла сложиться естественным путём. На рисунке 13 приведено изображение 2-х вариантов модели в биологических терминах:

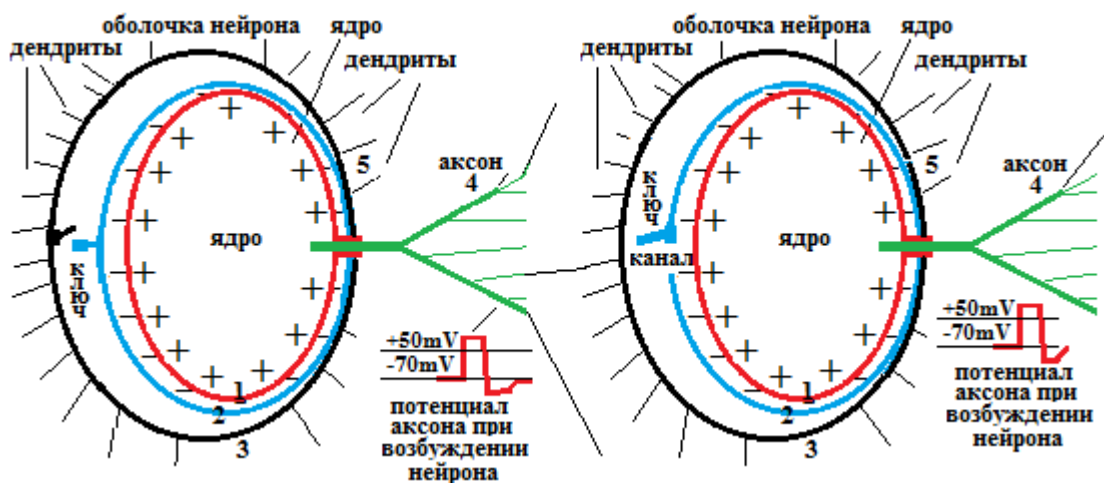


Рисунок 13. Мембраны, разделяющие органеллы нейрона

Мембраны в нейроне не только разделяют различные органеллы внутри нейрона, но также являются электрическими генераторами и аккумуляторами электрических зарядов. Самая внешняя мембрана, которая отделяет тело нейрона от среды, не только метаболизирует нейрон с его окружением, но также генерирует потенциал клетки, в результате чего тело нейрона, его дендриты и его аксон имеют потенциал -70 мВ. Внутренняя оболочка, которая гальванически связана с аксоном, играет роль накопителя заряда С2 для следующего импульса, испускаемого нейроном при возбуждении. Возбуждение нейрона с выдачей импульса на выход нейрона происходит при замыкании ключа. Когда ключ срабатывает, образуется замкнутая цепь, через которую начинает течь ток - заряд, накопленный во внутреннем накопителе невозбужденного нейрона С2. Конкретный механизм этого ключа, который замыкается при достаточной разности потенциалов между некоторыми соседними внутренними структурами нейрона, может быть определен только биологами. Мы можем только предположить и привести аргументы для обоснования выбора конкретного механизма ключа, который возбуждает нейрон. Включение ключа осуществляется с помощью процесса типа обратимого пробоя. При зарядке внутренней электрической (химической, энергетической) емкости разность потенциалов между противоположными «клеммами» ключа увеличивается. Когда эта разница превышает предел электрической прочности зазора (между «клеммами» ключа), происходит обратимая поломка - ключ замыкается. Когда это происходит, емкость С2 быстро разряжается, часть энергии подается на выход, что обеспечивает дальнейшее распространение сигнала.

Процесс выдачи выходного сигнала подобен электрическому пробую воздуха при малой величине разряжающейся ёмкости.

Разрядка вызывает уменьшение разности потенциалов между «клеммами» внутреннего накопителя энергии. Ток уменьшается. Ключ размыкается. Начинается новый цикл накопления энергии во внутреннем накопителе. При достижении условий замыкания ключа он снова замыкается, происходит выдача следующего импульса, и т. д.

При зарядке внутреннего быстродействующего накопителя расходуются питательные вещества внутри внешней оболочки нейрона, которые сравнительно медленно возмещаются потоком крови. Если возбуждение нейрона происходит много раз подряд, внутренние ресурсы нейрона не успевают восстановиться. Зарядка происходит всё медленнее. Нейрон «устаёт». Ему необходим отдых - время для полного восстановления его работоспособности.

Усталость нейрона обусловлена истощением запасов питательных веществ внутри нейрона.

Для большей наглядности прохождение сигнала по цепочке связанных нейронов можно изобразить ещё проще, как на рисунке 14:

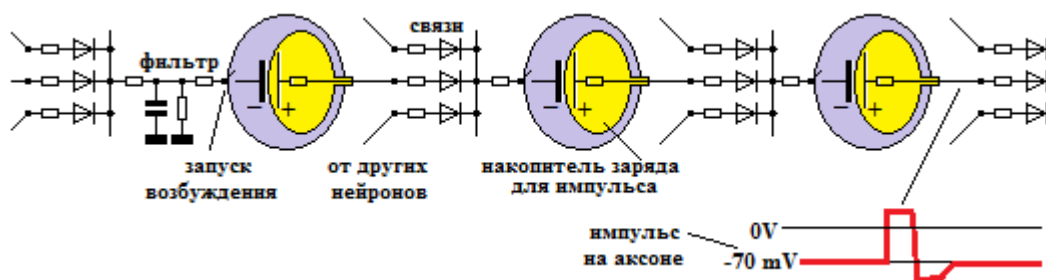


Рисунок 14. Прохождение сигнала по цепочке нейронов

Анализ приведённых выше схем моделей нейронов с учётом нахождения в нейроне источника энергии даёт представление об отклике нейрона на суммарный входной сигнал. Этот отклик NEF изображён на рисунке 15d вместе с откликом персептрона для сравнения отклика предлагаемой модели с откликом персептрона Мак-Каллока-Питтса, $H(S_j)$, рисунок 15b.

Поясним рисунок 15. Модель персептрона Мак-Каллока-Питтса формирует потенциал отклика как функцию Хэвисайда $H(S_j)$ сразу же, как только суммарный входной сигнал S_j (тонкая плавная кривая) превышает порог возбуждения U_t . Выходной потенциал в этой модели обращается в ноль сразу же при снижении входного сигнала ниже уровня U_t .

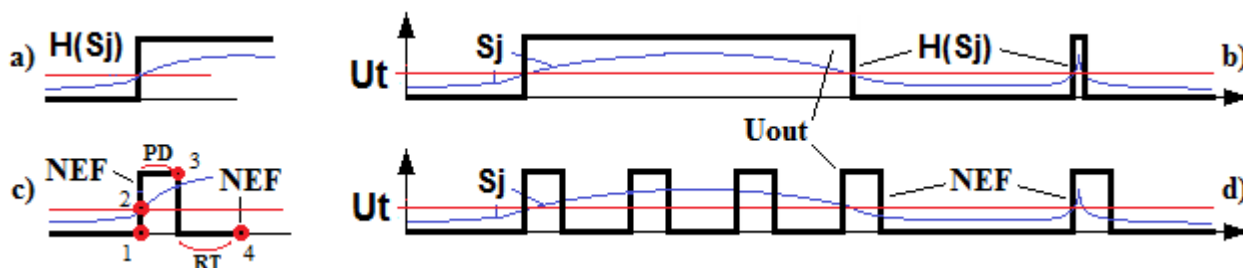


Рисунок 15. Функция возбуждения персептрона Мак-Каллока-Питтса b) и предлагаемой модели нейрона d).

При учёте энергетических характеристик предлагаемой модели биологического нейрона и его электронного аналога получим отклик на возбуждающий сигнал, существенно отличающийся от отклика персептрона.

На резистивно-диодные входы искусственного нейрона, имеющие веса W_{j1} , W_{ji} , W_{jn} (пропорциональные гальванической проводимости входа), поступают с предыдущих каскадов сигналы различного уровня X_{1j} , X_{ij} , X_{nj} , которые суммируются и фильтруются на входном сумматоре S_+ , представляющем собой общую точку всех входов W_{ji} . Если на выходе сумматора сумма S_j сигналов X_{ij} с весами W_{ji} превышает порог U_t

$$S_j = \sum_i (X_{ij} * W_{ji}) > U_t,$$

то активируется выходная функция нейрона S_j

Так что выходная функция нейрона в первом приближении может быть записана в таком виде:

$$S_j = U_{out} * H(\sum (X_{ij} * W_{ji}) - U_t).$$

U_{out} определяется параметрами выходного (силового) каскада нейрона: потенциалом на C_2 , и нагрузкой нейрона.

Здесь мы, с целью упрощения рассмотрения, пока не обращаем внимания на действие сглаживающего фильтра на цепочке $RIC1$, выполняющего сглаживание и

дискриминацию сигналов по времени, поскольку в данном случае нас интересует общий вид отклика одного нейрона, а не их конкуренция.

U_{out} – номинальный потенциал на выходе возбуждённого нейрона (если бы он не искажался нагрузками). Реальный **U_{out}** зависит от величины нагрузки.

U_t – пороговый потенциал - потенциал активации нейрона. Поскольку целью является создание реальной действующей электронной схемы, активируемой положительными потенциалами, то выбираем значение **U_t** несколько больше уровня шумов, которые без **U_t** могли бы вызвать самовозбуждение нейрона и мозга.

RT – рефрактерное время.

Каждый вход нейрона включает в себя не только резистивную составляющую (логический вес $\sim 1/R$), но и последовательно включенный диод. Это необходимо для того, чтобы исключить влияние большего потенциала на сумматоре одного из нейронов через **W_{ji}** на значение **X_{ij}**, поступающего не только на рассматриваемый нейрон, но и на входы других нейронов. Но отрицательный потенциал такие входные связи пропускают на возбуждающие аксоны, уменьшая потенциал **X_{ij}**, и порождая механизм «Первый получает всё». Отметим, что многие веса **W_{ji}** равны 0 (особенно в начале функционирования устройства НЭ или биологического мозга), то есть, эти связи **W_{ji}** пока отсутствуют (в каждом конкретном нейроне), но могут образоваться при выполнении условий образования следов событий- межнейронных связей:

$$Y_{ij} - S_j = Y_{ij} - (U-) > U_{noc}$$

U_{noc} – потенциал образования новой связи между нейронами.

Отличительной чертой предлагаемой модели нейрона является то, что при возбуждении даже от короткого превышения **S_j** над **U_t** нейрон выдаёт импульс стандартной длительности, независимо от того, сколько времени **S_j** превышает **U_t**, что отображено на рисунке 15d. Длительность импульса определяется временем разрядки C2.

Если же суммарный входной сигнал **S_j** будет превышать **U_t** длительное время, превышающее время одного цикла возбуждения (импульс + рефрактерное время), нейрон будет выдавать не один продолжительный импульс, как на рисунке 15b (соответствующий периоду превышения **S_j** над **U_t**) согласно функции Хэвисайда **H(S_j)**, а серию импульсов. Параметры этих импульсов определяются внутренней структурой нейрона (потенциал, время разряда, время заряда, задающего рефрактерное время).

Назовём функцию, изображённую на рисунке 15d слева, функцией возбуждения нейрона **NEF** (Neuron Excitation Function). Рассмотрим её. Как уже было сказано, параметры функции определяются параметрами нейрона и его текущим состоянием. Свойства этой функции таковы:

1)_ При длительном **S_j < U_t** **NEF = 0** (до точки 1 слева).

2)_ При выполнении условий (**S_j ≥ U_t**) & (**^RT**) нейрон **j** возбуждается (точки 1 и 2 на рисунке 15с. Начинается выдача короткого положительного импульса продолжительностью **PD** (Pulse Duration), который продолжается до завершения разряда в точке 3.

3)_ В точке 3 импульс заканчивается (израсходована порция энергии накопителя).

4)_ В точке 3 начинается восстановление работоспособности нейрона, возбуждение которого только что закончилось. Восстановление («мёртвое» время) длится **RT** (Recovery Time). И заканчивается **RT** в точке 4.

Пока длится **RT**, нейрон не может возбудиться - недостаточен потенциал для замыкания ключа - возбуждения нейрона и формирования импульса, нет порции энергии для продвижения сигнала. В точке 4, по окончании времени восстановления работоспособности нейрона цикл возбуждения заканчивается, нейрон становится способным к следующему возбуждению. Если **S_j > U_t** более длительное время, чем продолжительность одного цикла (например, 4 цикла), на выходе нейрона будем наблюдать не один продолжительный импульс, а серию импульсов (здесь из 4 циклов),

порождаемых очень просто, из-за наличия «мёртвого» времени (времени восстановления работоспособности нейрона).

В результате такого устройства нейрона он, возбудившись даже от очень короткого превышения S_j над U_a , выдаёт полноценный импульс, как на рисунке 15d справа (параметры которого задаются разрядкой $C2$ через нагрузку).

В результате рассмотрения функционирования отдельных компонентов модели нейрона, видим, что все компоненты предлагаемой модели нейрона совершенно естественны. Они настолько просты, что для своего образования не требуют никаких организующих действий внешних управляющих сил. Так что они вполне могут самообразоваться в естественном биологическом нейроне.

Предлагаемая модель нейрона обеспечивает не только ретрансляцию сигналов по путям следования сигналов по межнейронным связям нейрона, выигравшего локальную конкуренцию (первенство возбуждения во времени), но и образование новых ассоциативных связей между нейронами – путей продвижения сигналов впоследствии. А также выполнение ряда других важных функций.

Описанная модель нейрона позволяет системе обработки информации функционировать всё время в режиме «работа», при этом НС непрерывно обучается, адаптируется к поступающим сигналам путём образования связей (фиксации следов проходящих сигналов) в темпе поступления входных сигналов, то есть, со скоростью событий среды, воздействующих на рецепторы организма.

В биологических нейронах запасы энергии для очередного импульса во внутренней ёмкости нейрона восстанавливаются в темпе биологических процессов за счёт запасов питательных веществ внутри оболочки нейрона, чем и определяется рефрактерное время восстановления работоспособности нейрона. При частом многократном возбуждении нейрона запасы питательных веществ внутри оболочки не успевают восстановиться, уменьшаются, нейрон «устаёт». Преодоление усталости нейрона происходит путём доставки в него питательных веществ из крови и удаления в неё отходов.

6.4 Резюме к модели нейрона

Таким образом, предлагаемая модель нейрона решает все вопросы функционирования биологического нейрона: образование новых ассоциативных связей - накопителей опыта, сравнение и выбор оптимального пути следования сигналов (выбор оптимальной реакции), и т.д. Так что модель не только полностью отвечает на все вопросы познавательного характера по поводу НС, но позволяет детально моделировать функционирование нервной системы, состоящей из огромного количества нейронов, на основе модели отдельного нейрона. Что позволяет изучать различные патологии нервных систем, их диагностику, лечение и профилактику. Более того, предложенная модель нейрона позволяет создать искусственный носитель интеллекта на основе нейроподобных элементов.

7. Механизм образования следов событий, воздействовавших на организм

Мы рассмотрели варианты создания электронных моделей нейронов, которые удовлетворяют описанным требованиям. Рассмотрим теперь основные процессы, которые протекают (или могут протекать) при продвижении сигналов на пути от рецепторов к эффекторам по структурам, состоящим из нейронов и связей между ними, проводящих сигналы. Как мы уже говорили, сигналы порождаются в рецепторах, при

соответствующем воздействии на них среды. Далее эти сигналы распространяются через структуры мозга путём ретрансляции. При их распространении остаются следы. Эти следы представляют собой память, опыт организма. Впоследствии по этим путям (структурам опыта) могут проходить и проходят сигналы в соответствии с накопившимся опытом организма – имеющимися ассоциативными связями. Причём, как мы увидим, сигналы проходят по оптимальным путям.

Для образования связей между нейронами, необходимо и достаточно, чтобы разность потенциалов на соседствующих выходах и входах возбуждённых нейронов была больше величины потенциала образования связей, зависящей от свойств поверхностей, разделяющих входы и выходы нейронов. В то же самое время потенциалы по отдельности на выходах и входах возбуждённых нейронов должны быть меньше ПОС. Тогда связи будут образовываться только между возбуждёнными нейронами на пересечении полувыбранных подмножеств возможных точек образования новых связей. Связи между невозбуждёнными и возбуждёнными нейронами не смогут образовываться, поскольку разность потенциалов между ними (по абсолютной величине) будет меньше ПОС.

Легче всего это может быть обеспечено, если потенциалы на выходах и входах возбуждённых нейронов (или компьютерных моделей нейронов) будут иметь противоположные знаки. Или будут отклоняться от равновесных для них значений потенциалов в противоположных направлениях приблизительно на одну и ту же величину. Физически (биологически) образование связи между нейронами может происходить в результате, например, электрического пробоя мембраны с образованием проводящего канала между нейронами или образования какой-то проводящей структуры. Возможно, синапса – образования типа фульгурита, получающегося при прохождении молниевых разрядов через мокрый песок, грунт. Достижимо ли это, и как может быть устроено и промоделировано образование связей между моделями нейронов? Мы сейчас рассмотрим.

Чтобы понять, как происходит продвижение сигналов по структурам мозга и образование следов их прохождения, рассмотрим, что именно и как именно фиксируется в качестве следа. Мы уже говорили, что образование связей между возбуждёнными нейронами происходит на пересечении полувыбранных подмножеств множества всех возбуждённых соприкасающихся нейронов мозга, как это звучит формально правильно. Проще говоря, связи образуются там, где соприкасаются дендриты, имеющие отрицательный потенциал с аксонами, имеющими положительные потенциалы. Один из вариантов фиксации, образования, следа такого события изображён на следующем рисунке 16. Этот вариант образования связи между возбуждёнными элементами и был реализован в нашей электронной модели простейшей нервной системы, созданной в результате выполнения НИР 9006 в ТГУ [95]. НИР была выполнена с целью подтверждения задекларированных принципов, защищённых патентами РФ [96, 97].

Условия формирования связи между нейронами или нейроподонными элементами таковы:

$$\begin{array}{lll} |U_{out}| < U_{пос}, & |U_{in}| < U_{пос}, & |U_{out} - U_{in}| > U_{пос}, \\ |U_{out}| < U_{pb}, & |U_{in}| < U_{pb}, & |U_{out} - U_{in}| > U_{pb}. \end{array}$$

Соединения образуются в точках, где дендриты с отрицательным потенциалом контактируют с аксонами с положительными потенциалами. Один из вариантов фиксации, формирования, отслеживания такого события изображён на следующем рисунке 16. Этот вариант формирования связи между возбуждёнными элементами был реализован в электронной модели простейшей нервной системы, созданной в результате выполнения НИР 9006 в ТГУ.

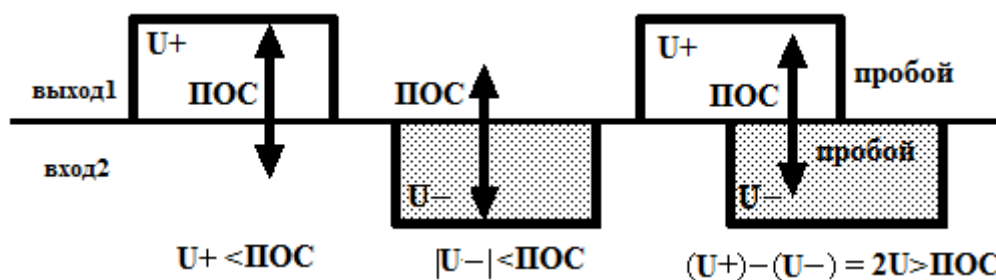


Рисунок 16. Образование связи между двумя возбуждёнными нейронами при разности потенциалов больше потенциала образования связи

Таким образом, предлагаемая модель нейрона обеспечивает действие простейшего сугубо локального механизма фиксации, хранения и интерпретации информации без внешнего управления.

На рисунке 16 изображена ситуация, когда разность потенциалов двух точек (Выход1 и Вход2, равная $(U+) - (U-)$), в какой-то момент времени превышает некоторую величину $U_{\text{ПОС}}$ (потенциал образования связи). Причём абсолютные значения потенциалов этих двух точек по отдельности меньше $U_{\text{ПОС}}$. Так что пробой или другое необратимое явление, образующее след события, реализующее «запоминание» (фиксацию) события, сможет происходить только для тех двух одновременно возбуждённых НЭ, разность потенциалов на входах и выходах которых превышает $U_{\text{ПОС}}$, и находящихся в механическом контакте (что делает возможным образование связи в должном месте). Этот простой механизм и обеспечивает самообразование связи именно между двумя возбуждёнными НЭ и, скорее всего, между двумя биологическими нейронами. Даже если новая связь образуется не обязательно за счёт пробоя, логически связь может образовываться только *при превышении некоторого потенциала образования новой связи $U_{\text{ПОС}}$* .

Для технической реализации такого механизма образования связи *предлагается необычное для современной техники решение, заключающееся в выдаче на вход активного элемента при его возбуждении мощного сигнала с полярностью, обратной полярности возбуждающего сигнала*, тогда как во всех современных инженерных решениях стараются не искажать входной сигнал. Хотя естественные механизмы часто действуют именно с существенным влиянием порождаемых процессов на порождающие их причины.

Можно было бы возразить, что часто используемые в радиотехнике цепи отрицательной обратной связи имеют противоположную входному сигналу полярность, и частично подавляют его. Но используемые в существующих решениях положительные и отрицательные обратные связи предназначены лишь для коррекции входного сигнала с целью удержания выходных сигналов нескольких каскадов в приемлемых пределах, а предлагаемое нами решение радикально направлено на образование новых связей и блокирование возбуждающего сигнала, поступающего и на другие приёмники.

При такой организации работы активных НЭ при их возбуждении (в том числе, при образовании связи) потенциалы на входах и выходах НЭ (с их реальными нагрузочными характеристиками) перестают быть неизменными на протяжении всего времени возбуждения НЭ, перестают быть правильными прямоугольными импульсами. Это происходит из-за взаимной компенсации потенциалов на выходах предыдущих нейронов и на входах последующих (в зависимости от мощностей сигналов и проводимостей связей), что отражено на рисунке 17:

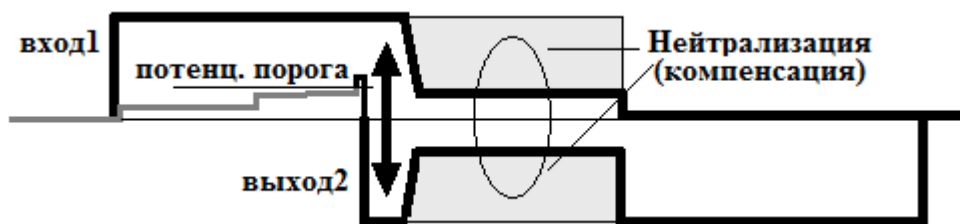


Рисунок 17. Нейтрализация потенциалов выходов и входов возбуждённых НЭ при наличии связи между ними

В итоге получаем, что разность потенциалов образует следы, а взаимная компенсация потенциалов позволяет решить множество других задач прохождения сигналов от рецепторов к эффекторам. Главное, что обеспечивает компенсация потенциалов – автоматическое порождение и реализация правила **«Первый получает всё»**. Тогда как в других подходах, например при создании искусственных нейросетей, это правило вводится директивно, и реализуется искусственными ограничениями.

Рождение правила **«Первый получает всё»** происходит следующим образом: нейроны имеют различные конфигурации входных весов и по источникам поступающих на них сигналов, и по величине весов входов. Так что потенциалы на их входах нарастают с разной скоростью. Соответственно, различаются моменты превышения их входных порогов и моменты возбуждения этих нейронов. Если бы компенсации возбуждающих сигналов не было, то возбуждались бы очень многие нейроны. Происходило бы самовозбуждение мозга. Но, благодаря тому, что выходы и входы нейронов имеют естественные проводимости определённой величины, при появлении отрицательного потенциала на входе первого же возбуждёвшегося нейрона этот отрицательный потенциал частично компенсирует сигнал, возбуждивший этот возбуждёвшийся нейрон. Так что другие нейроны, на которые поступает сигнал с возбуждающего нейрона, уже не смогут возбудиться, поскольку первый возбуждёвшийся нейрон отрицательным сигналом на своём входе будет препятствовать росту потенциалов на входах других нейронов и их возбуждению. Таким вот образом решается задача сравнения возможных путей распространения сигналов и выбора оптимального пути, на котором конфигурация входных сигналов наилучшим образом соответствует конфигурации весов входных связей нейрона (локальному опыту, памяти организма). С математической точки зрения можно сказать, что сигнал ретранслируется, распространяется в том направлении, в котором скалярное произведение многомерных векторов сигналов от рецепторов (J_i) и весов входов нейрона (опыта, W_i) максимально.

$$\sum(Y_i * W_i) = \text{Max}$$

А образование возможных путей следования сигналов – связей между нейронами происходит так, как это проиллюстрировано на рисунке 18.

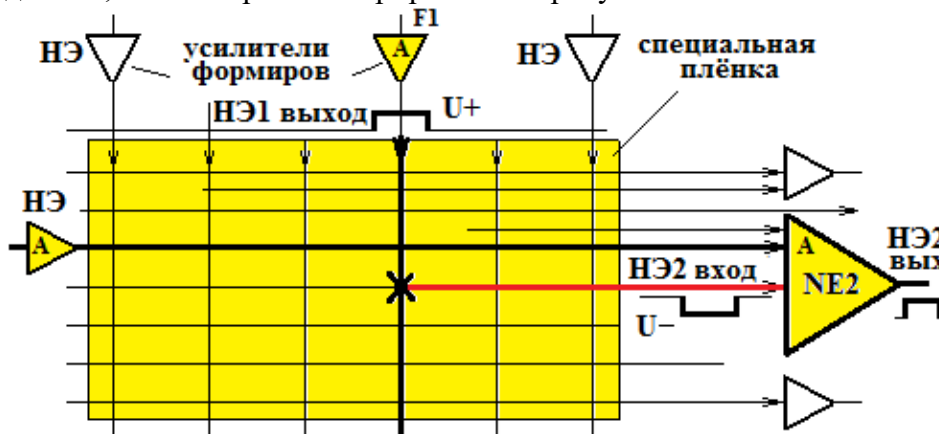


Рисунок 18 Образование связи между полувыбранными аксонами и дендритами возбуждённых нейронов

Причём образование новых связей между нейронами мозга происходит с огромной частотой – средняя частота образования связей, вычисленная по количеству возможных связей, образующихся за время жизни человека, порядка 30 000 связей в секунду. Понятно, что такую скорость образования связей может обеспечить только сугубо локальный механизм образования этих связей, без какого бы то ни было централизованного управления.

На рисунке жирными чёрными линиями изображены связи (аксон-дендрит) между возбуждёнными нейронами. Если же соприкасаются аксон и дендрит ещё не связанных одновременно возбуждённых нейронов, то между ними образуется долговременная связь (красная, более светлая горизонтальная линия), имеющая сразу после образования максимальный логический вес. Связь образуется по той причине, что в этой точке разность потенциалов соприкасающихся частей возбуждённых нейронов превышает ПОС – потенциал образования связи. Тогда как в других точках разностей потенциалов недостаточно для образования новых связей. По окончании возбуждения нейронов в результате различных утечек их потенциалы возвращаются к потенциалам покоя. С течением времени логические веса всех межнейронных связей уменьшается – забывается событие, приведшее к образованию связи. Это уменьшение веса естественно. Оно может происходить из-за диффузии проводящего канала, или из-за других процессов, уменьшающих проводимость межнейронных связей.

На приведённом выше рисунке аксоны и дендриты изображены параллельными вертикальными и горизонтальными линиями на плоскости, пересекающимися под прямыми углами. Понятно, что в природе такой плоской прямоугольности нет. Реально аксоны и дендриты расположены в пространстве, что ещё больше увеличивает количество возможных связей (рисунок 19).

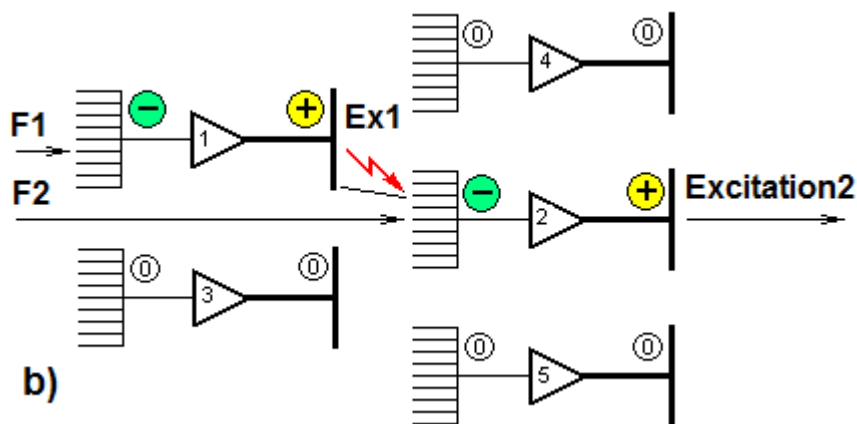


Рисунок 19 Расположение нейронов с их входами и выходами в пространстве

Связи между нейронами (опыт, память организма) образуются и угасают всю жизнь. Множество взаимодействующих нейронов может быть схематически изображено, как на следующем рисунке 20.

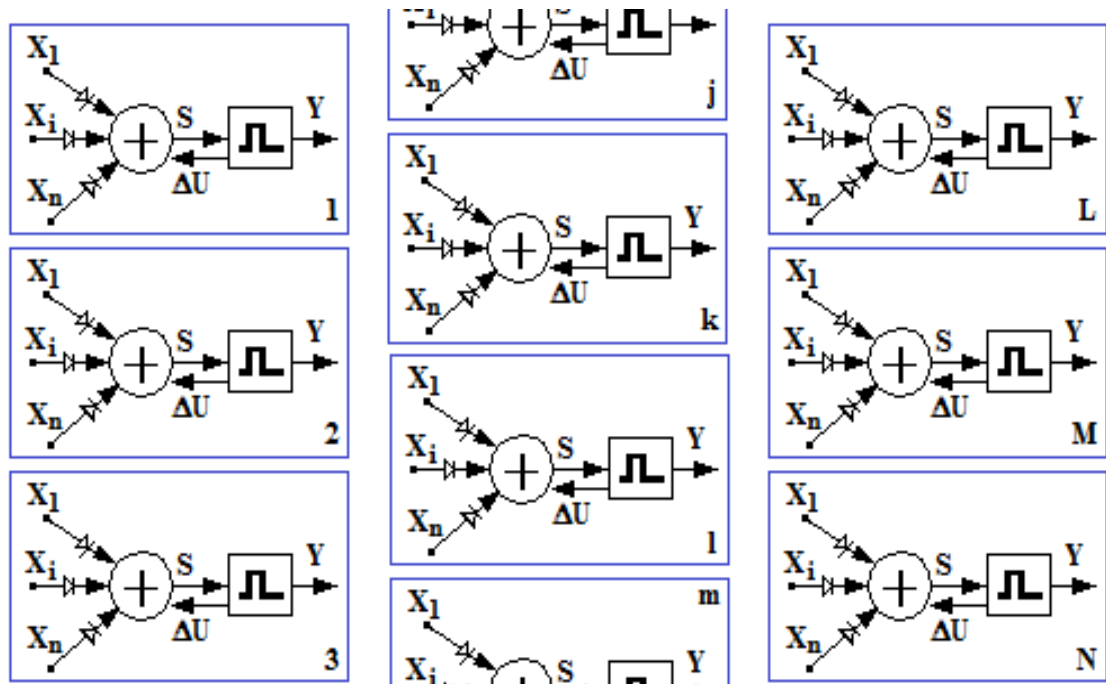


Рисунок 20. Множество нейронов

На приведённой на рисунке 11 принципиальной схеме нейрона изображено, что у нейрона нет низкоомной «опоры» на схемную «землю». Нейрон в электрическом смысле как бы подвешен на высокоомных сопротивлениях утечки – его миелиновая оболочка хороший изолятор. Поэтому при открытии мощного низкоомного ключа, подающего на выход нейрона «+» от аккумулятора, вход этого нейрона автоматически получит отрицательное смещение относительно потенциала на своём выходе и средней «земли» всего мозга при неизменном среднем потенциале (около 0) по всему объёму мозга. Это так, поскольку выход находится в омической связи с большим количеством входов нейронов следующего уровня, то есть, он как бы «опирается» на потенциал -70mV через сравнительно малое сопротивление большого количества входов нейронов следующего каскада. Так что потенциал на входах рассматриваемого нейрона резко упадет. Поскольку внутреннее сопротивление накопителя $C2$ на рисунке 11 сравнительно мало, нагрузки на выходе и на входе нейрона приблизительно одинаковы, то на выходе образуется потенциал $\sim +50\text{ mV} = (-70 + (UC2)/2)\text{ mV} = (-70 + 240/2)\text{ mV}$. А на входе $\sim -190\text{mV} = -70 + (-240)/2\text{ mV}$. При этом возникнут условия пробоя между имеющим высокий потенциал выходом одного из нейронов предыдущего каскада, совместно возбуждавших рассматриваемый нейрон, и входом рассматриваемого возбуждённого нейрона, имеющим к этому времени очень низкий потенциал. Низкий потенциал на входе образуется из-за того, что при открытии выходного ключа нейрона выход нейрона (связанный через малое сопротивление с точкой «+» аккумулятора) как бы опирается на множество входов следующего каскада. В итоге потенциал **входа смещается к «-» от «+» на выходе** на разность потенциалов, выдаваемый автономным накопителем порции заряда для ретрансляции сигнала. Возникают условия для электрического пробоя изолирующего слоя между (близкими) соседствующими точками, имеющими достаточную разность потенциалов на противоположных поверхностях разделяющей их плёнки. В результате пробоя образуется след события – новая связь с постепенно (с течением времени) уменьшающейся проводимостью, в которой и отобразится факт одновременного возбуждения пары нейронов. При этом, особенно из-за образования новой сравнительно низкоомной связи «отрицательного» входа с «положительным» выходом предыдущего каскада, потенциал выхода предыдущего каскада будет оставаться высоким лишь очень короткое время – до момента пробоя между этим выходом и входом возбуждённого

нейрона (до возбуждения нейрона и пробоя). По этой же причине потенциал входа рассматриваемого каскада понизится лишь на очень короткое время. Поэтому при рассмотрении наблюдаемой в лаборатории диаграммы потенциалов некоторых точек нейронов (мест контакта с измерительным электродом) мы и замечаем только пики начал нервных импульсов. Тогда как продолжительные импульсы тока через связи нейронов остаются вне поля нашего зрения. По существу, при изучении электрической активности нейронов наблюдаются скачки потенциала, соответствующие во времени фронтам достаточно длительных импульсов тока. Возможно, именно поэтому господствует мнение, что сигналы, распространяющиеся при работе нервной системы, имеют исключительно импульсный характер. Однако, если бы мы могли мерить не потенциалы, а непосредственно токи в аксонах, то видели бы длительные импульсы тока.

При достижении потенциала на входе формирователя уровня порога возбуждения нейрон возбуждается, его выход (аксон) становится положительным. Потенциалы входов этого нейрона сразу же становятся отрицательными за счёт электрического смещения при открытии мощного выходного ключа с «опорой» на входы нейронов следующего каскада. Величина этого смещения может достигать разности потенциалов, выдаваемой внутренним накопителем заряда U_a . Эта разность потенциалов, возникающая при открытии мощного ключа, создает условия для образования связи в результате электрического пробоя между каким-то выходом (находящимся под положительным потенциалом) и входом (имеющим отрицательный потенциал). По этой же причине (одинаковой полярности потенциалов на всех входах и противоположной на выходах всех возбуждённых нейронов) исключается возникновение связи в результате пробоя между двумя аксонами с положительными потенциалами. Или между двумя дендритами с отрицательными потенциалами. Можно сказать, что приведённая нами модель нейрона и выявляет несоответствие структуры СОИ проходящему через неё потоку сигналов, требующее адаптации СОИ (в том месте, где разность потенциалов между соседними точками больше ПОС), и сразу же устраняет это несоответствие увеличением проводимости путём образования связи.

Связям легче образоваться там, где ПОС минимальна. Скорее всего, на кончике аксона – там оболочка аксона тоньше, напряжение пробоя меньше, и проводимость образовавшихся связей выше. Тогда как ранее образовавшиеся связи со временем приобретают все большее электрическое сопротивление – зарастают миелином по мере удаления от дня образования связи – от кончика аксона, вернее, по мере продвижения кончика аксона, на связях с которым и фиксируются легче всего текущие события, от событий минувших дней к событиям сегодняшним и далее.

Мы рассмотрели простейший возможный вариант организации биологического нейрона в виде электрической схемы, который легко мог бы образоваться естественным путём. В которой мы заменили возможные биологические электрохимические механизмы на чисто электрические. Такая эквивалентная замена–подстановка электрохимических участков чисто электрическими позволяет более просто представить и реализовать модель нейрона в виде электронной схемы «нейроподобного элемента» (НЭ). Эквивалентность позволяет производить взаимно однозначные подстановки при прямых и обратных преобразованиях как в математических выражениях, так и в различных моделях – схемах.

8. Кратковременная и долговременная память

Этот раздел написан по материалам статей [151, 152].

Из предыдущего рассмотрения функционирования естественной системы обработки информации ясно видно, что параметры памяти организма – межнейронных связей - определяются параметрами механизмов фиксации информации (образования связей) и скоростью уменьшения весов этих связей в разных зонах.

Становится очевидной зависимость свойств памяти – межнейронных связей от параметров среды, в которой пребывают эти связи, от параметров активных элементов – нейронов, которые и образуют связи между собой. Зависимость затухания памяти от окружающей среды, в которой расположены нейроны и связи между ними (а не от среды, окружающей организм), заключается в том, что связи, какова бы ни была их природа, будут уменьшать свои веса со скоростью, зависящей от биологической активности в месте расположения нейрона. В любом случае уменьшение весов связей будет происходить в результате процессов типа диффузии – рассасывания, уменьшения плотности структур, образующих связи. Скорость процессов, уменьшающих веса связей, будет зависеть от градиентов потенциалов различного типа (электрического, химического и т.п.) в месте расположения нейрона и от параметров самого нейрона.

Точно так же, как и угасание памяти, образование связей, их начальный вес, зависит и от среды, и от свойств нейронов, образующих связи. Образование связей зависит от характеристик среды. Например, от электрической прочности поверхности, разделяющей возбуждённые нейроны. А также от величины потенциалов на возбуждённых нейронах. От того, превышает ли разность потенциалов на входах и выходах возбуждённых нейронов потенциал образования связи ($U_{\text{пос}}$), и насколько. $U_{\text{пос}}$ зависит, в первую очередь, от среды, в которой образуются связи между нейронами. Тогда как потенциалы на выходах и на входах возбуждённых нейронов зависят, в первую очередь, от структуры и параметров нейронов. Эти потенциалы зависят также от нагрузок – от количества входных ассоциативных связей, нагружающих данный нейрон.

Понятно, что и характеристики среды, и характеристики нейронов (особенно величины нагрузок – количества ассоциативных связей) будут существенно различаться в различных зонах мозга. И эти зональные различия будут иметь и внешние проявления: лёгкость запоминания, различные скорости забывания. Проявления этих различий психологи классифицируют как существование различных видов памяти [153].

Мы не имеем возможности контролировать зону нашего мозга (памяти), которая участвует в воспроизведении образа некоторого события. Поэтому на основании статистики просто делается вывод о характере памяти – долгосрочная она или краткосрочная. Или какая-то промежуточная. Психологи насчитывают чуть ли не десятки разновидностей памяти в зависимости от скорости забывания зафиксированных событий [153, 154].

На Рисунке 21а приведена кривая забывания событий (слов для последующего воспроизведения), полученная экспериментально. Полученная кривая существенно отличалась от привычного вида кривых в подобных процессах. Во всех процессах измеряемые величины, касающиеся расхода, накопления, изменяются приблизительно по экспоненте (заряд конденсатора, выравнивание потенциалов, количество ещё не распавшихся ядер атомов, уровень жидкости, вытекающей из ёмкости). Такой характер изменения величин обусловлен тем, что скорость изменения величин в первом приближении пропорциональна разности величины и предела, к которому эта величина стремится. О чём это может говорить? Скорее всего, о том, что результат (способность структур памяти человека к воспроизведению) обусловлен тем, что он появляется как сумма нескольких параллельных процессов, нескольких экспонент, соответствующих этим процессам.

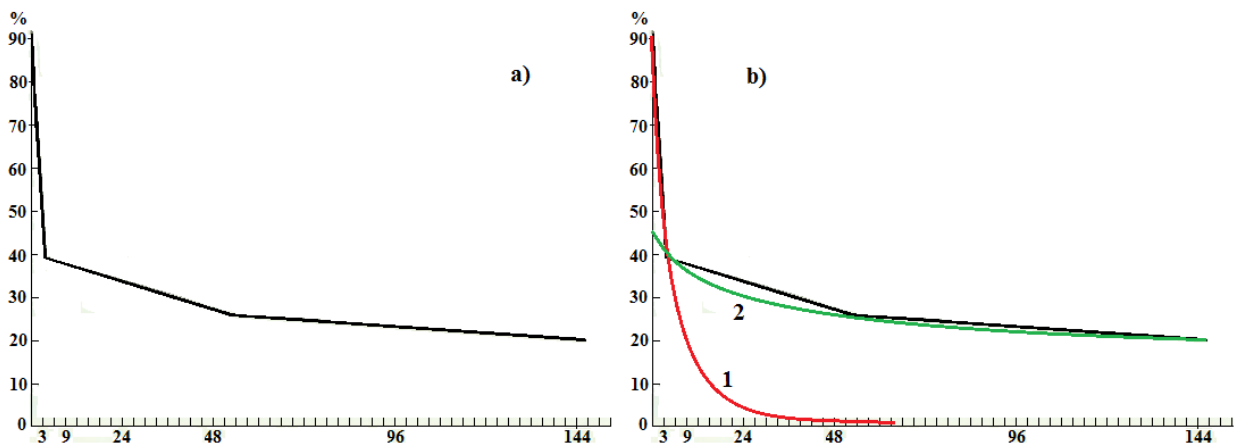


Рисунок 21. Кривая воспроизведения запомненной информации

На рисунке 21b изображено представление наблюдаемой экспериментальной кривой через сумму двух экспонент. Одна из них спадает очень быстро (кривая 1), в то время как кривая 2 спадает сравнительно медленно. Поэтому в рассмотрение явлений памяти и были введены понятия кратковременной и долговременной памяти. Чем обусловлено наличие двух видов памяти? Каков механизм этого явления?

Приведём упрощённую схему простейшей естественной системы обработки информации (рисунок 22a) и чуть более сложной (рисунок 22b), в которой были образованы связи между нейронами, ответственные за воспроизведение образов событий, оставивших следы – связи.

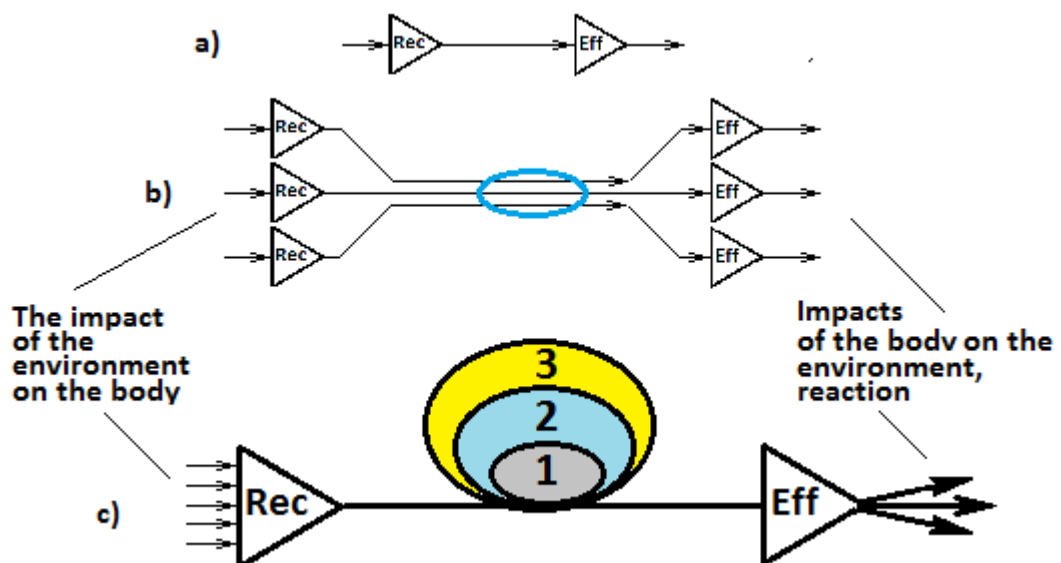


Рисунок 22. Упрощённая схема эволюции естественных систем обработки информации

В верхней части a) рисунка 22 изображена схема самой простой нервной системы обработки информации, состоящей из одного рецептора, одного эффектора и связи между ними.

На рисунке 22b изображена чуть более сложная система, отличающаяся тем, что реагирует уже не на один, а на 3 раздражителя, имеет 3 рецептора, 3 эффектора и простые, непосредственные (прямые, без возможности ветвления) связи между ними. В результате увеличения количества связей в ограниченном объёме они начинают соприкасаться друг с

другом, Появляется возможность взаимного влияния рядом расположенных связей путём образования связей между путями прохождения сигналов.

В ходе эволюции происходит развитие нервной системы. У неё появляется всё большее количество входных датчиков – рецепторов. И, соответственно, увеличивается количество путей, обеспечивающих продвижение входных сигналов от рецепторов к эффекторам. Эти пути уже с необходимостью влияют друг на друга, поскольку находятся в тесном соседстве. Тем более, что количество рецепторов становится намного большим, чем количество эффекторов. Так, количество светочувствительных элементов (рецепторов) в глазе исчисляется десятками миллионов элементов. Ясно, что организм не может иметь такое же количество эффекторов, реагирующих на поступающие раздражения этих рецепторов.

Сигналы от всех рецепторов направляются по множеству путей к эффекторам. Эти пути объединяются, сливаются (рисунок 22с). Можно сказать, происходит обработка сигналов, проходящих по этим путям. Сигналы (афферентные) после их обработки (уже эфферентные) по имеющимся путям продвигаются к соответствующим эффекторам. Приведение в действие эффекторов осуществляет реакцию организма на сигналы раздражения, поступившие в мозг через детекторы – рецепторы. Афферентные и эфферентные (центростремительные и центробежные) сигналы при удалённом расположении от мозга группы рецепторов и эффекторов по пути от места порождения и к месту реагирования проходят в непосредственной близости друг от друга, в общих каналах, где также могут взаимодействовать. Но для рассмотрения нашего вопроса это не так важно.

Поскольку центральная часть нервной системы – мозг - образовывался в ходе эволюции в течение многих поколений, то и его структуры разрастались не за один раз, а постепенно. Следствия такого развития мы и наблюдаем в строении мозга всё более развитых животных (например, рыб, земноводных, птиц, млекопитающих) [155, 156].

Эта констатация нужна нам, чтобы показать, что пути сигналов от рецепторов к эффекторам проходят через зоны мозга с разной степенью углубления в мозг, в его центральные зоны, наиболее богатые по возможностям обработки.

Разумеется, межнейронные связи, которые проводят сигналы через разные области мозга, различаются по своим характеристикам. Для нас в данном случае интересна легкость формирования межнейронных связей и скорость их угасания (уменьшение их веса), скорость забывания информации, которая породила эти связи.

Рассмотрим, какими могут быть свойства памяти, в зависимости от области мозга, в которой формируются соединения, образованные сигналами, генерируемыми событием, представляющим интерес. Для этого мы ссылаемся на механизм формирования связей между нейронами [98]. Образование связей между нейронами происходит в случае, когда нейроны находятся в контакте, и оба возбуждаются. Если разность потенциалов между их точками становится выше, чем потенциал формирования образования связи (ПОС), образуется новая связь.

Результативность запоминания зависит от свойств среды, изолирующей части нейронов с разными потенциалами.

При рассмотрении формирования потенциалов, обеспечивающих образование связей между нейронами, становится ясно, что разность потенциалов зависит, в том числе, и от нагрузок нейронов. Чем больше связей у нейрона, тем меньше вероятность образования новой связи. Поэтому дети (у которых пока не так велико количество межнейронных связей) запоминают легче, чем взрослые. Во время сна и у взрослых к существующим нейронным структурам присоединяются новые, ещё «чистые» нейроны (в результате их маловероятного самовозбуждения). Поэтому и у взрослых результативность запоминания после сна существенно повышается.

Отметим, что процессы образования следов событий – образования новых связей между возбуждёнными нейронами – новых путей следования сигналов (накопления

опыта) протекают совершенно локально, независимо от каких бы то ни было внешних воздействий. Этим и обеспечивается параллельность и высокая скорость обработки информации в мозге. Причём информация фиксируется в мозге не в режиме простого размещения информации в хранилище, не в режиме складирования, а путём изменения структур мозга в результате опосредованного через нейроны взаимодействия сигналов, в результате чего изменяются возможные пути следования сигналов через структуры мозга, реакция мозга на будущие события. Происходит непрерывное обучение и переучивание мозга действиям в соответствии с воздействием окружающей среды. Этими свойствами мозга и обеспечивается его открытость для усвоения информации из самых разных источников на протяжении всей жизни.

По такому же принципу могут образовываться связи не только между природными биологическими нейронами, но и между искусственными нейроподобными элементами в технических устройствах, созданных инженерами [100]. Работоспособность этого принципа фиксации событий в памяти подтверждена на электронной модели простейшей нервной системы, созданной в Томском университете [144, 102].

В ходе эволюции мозг человека увеличивался посредством мутаций отдельных организмов при генерации новых поколений и выживания и экспансии более жизнеспособных организмов. Большой мозг, с большими возможностями обработки информации, способствовал более успешному выживанию и экспансии вида. Такое увеличение мозга проще всего могло состояться за счёт разрастания новых структур мозга с сохранением уже сложившихся. Поскольку формирование новых участков мозга происходило при несколько иных условиях, чем условия, в которых уже сформировались более ранние структуры, то и параметры новых нейронных структур несколько отличались от параметров более ранних (древних) структур. То есть, на новых участках могли складываться другие пороги возбуждения нейронов, несколько иные потенциалы образования новых связей, другие скорости угасания межнейронных связей, так что при увеличении объёма мозга и площади коры на разных участках мозга образовывались области с несколько различающимися параметрами активных и пассивных элементов памяти (нейронов и связей между ними). Эти различия оказались полезными для выживания вида, потому закрепились.

Покажем полезность забывания вообще, и забывания с разной скоростью информации, имеющей различное значение для выживания организма. Забывание даёт возможность организму, обучившись какой-то реакции, не заикливаться на ней. Если бы не было забывания, организм не мог бы изменять своего поведения при изменениях в окружающей среде. А эти изменения среды происходят постоянно. Причём какие-то изменения малозначительны, информация об этих событиях не проникает глубоко в мозг, а какие-то очень важны, связаны со множеством ассоциаций. Поэтому фиксируются в различных зонах мозга с различающимися характеристиками. Например, мы идём по дороге, усеянной листьями; мы их видим, воспринимаем. Но удерживать в памяти всю информацию о каждом из увиденных листьев нет никакого смысла. Поэтому, как свидетельствуют экспериментальные данные [157], информация такого рода сохраняется, в среднем, в течение 20 секунд. Точно так же при поездке по этой дороге мы видим все дефекты дорожного покрытия и даже помним их все некоторое время. Но завтра мы сможем вспомнить лишь самые опасные и необычные дефекты. Тогда как все мелкие дефекты мы успешно забудем. Хранить в памяти такую информацию (с малым количеством ассоциаций) и занимать место нет смысла. Поскольку малозначительная информация обросла малым количеством ассоциативных связей, она и выветрилась из нашей памяти без всякого упоминания об обработке и оценке её значимости.

И наш мозг поступает рационально – помнит важное (с большим количеством ассоциаций), и забывает второстепенное. На самом же деле, мозг запоминает всё. Но скорости забывания различной информации (угасания связей) и количество ассоциативных связей (возможности активации каких-то воспоминаний) различаются.

Поэтому психологи говорят о долговременной и кратковременной памяти. Они экспериментально измеряют скорости забывания [158]. Представленные на их графиках количества информации, которую помнят испытуемые, не могут быть представлены как простые зависимости типа спадающих экспонент. Но могут быть представлены в виде суммы простых зависимостей. Это указывает на размещение одной и той же информации в разных зонах, где условия для фиксации информации в виде межнейронных соединений и скорость исчезновения соединений (снижение веса соединений) различаются.

Каким образом мозг различает (при задекларированной локальности механизмов памяти), что нужно размещать в более оперативной «кратковременной» памяти, а что в долговременной? Нет необходимости сортировать информацию при её поступлении. Она одновременно может фиксироваться во многих местах. Но, чем важнее информация, тем большее количество ассоциативных связей она имеет. Поэтому и образуется большее количество связей по одному и тому же поводу. Кроме того, более стойкие новые связи могут образовываться там, где возбуждение нейронов (и образование связей) требует большего сигнала, обеспечиваемого большим количеством ассоциативных связей. В таких зонах мозга образование связей несколько затруднено по сравнению с зонами, где образуются связи с большой скоростью угасания, зато скорость угасания связей (информации) в этих зонах ниже, чем в тех зонах, где связи образуются легко. Если же информация смогла зафиксироваться только в зоне с большой скоростью забывания (при малом количестве ассоциаций), она быстро выветривается из памяти. Возможно, этот ресурс (угасшие потенциальные связи между нейронами) может использоваться повторно.

Самая кратковременная память (мгновенная) обусловлена инерционностью *ощущений*, получаемых мозгом от воздействия среды на рецепторы. Например, яркая вспышка света остаётся в ощущениях до нескольких секунд.

Далее следует чуть более долговременная память (восприятие), необходимая для первичной обработки в мозге (чтобы иметь время для восприятия). Её входами являются не только ощущения от рецепторов, но и некоторое количество связей с зонами обработки информации. Восприятие позволяет облечь ощущения в образы, сформированные ранее в данном мозге на основе его индивидуального опыта – освещённые пятна и точки на сетчатке глаза благодаря связям между нейронами, образовавшимся в только что начавшем функционировать мозге, превращаются в сигналы, обозначающие линии, определённые силуэты. Этому мозг обучается в самом начале своей деятельности. Кроме того, здесь же образуются связи между тем, что молодой организм ощущает различными органами (рецепторами) – видит глазами, ощущает руками и языком, обонянием. Результаты восприятия продвигаются дальше по мозгу уже в сложившихся образах конкретного мозга и могут оставлять следы уже не сигналов от отдельных рецепторов, а сигналы активации образов в последующих отделах мозга.

Ещё дальше (логически) от входа сигналов в мозг располагается чуть более долговременная (*оперативная*) память, имеющая достаточно большое количество ассоциативных связей. Сигналы в ней остаются активными некоторое время, что способствует выявлению связей между событиями, разделёнными некоторым промежутком времени. Однако связи, образующиеся в ней, достаточно быстро «растворяются», что является полезным свойством для организма. Для неё очень интересным является вопрос, ещё не получивший ответа: «Чем обусловлено магическое число Миллера 7 (± 2) – количество элементов, удерживаемых в этой памяти? Каков механизм регулирования количества удерживаемых элементов?» [159].

Существование образов в этой памяти может быть обусловлено тем, что следы событий в этой памяти угасают очень быстро. С другой стороны, с точки зрения возможной биологической реализации, число Миллера может быть обусловлено тем, что образы какого-то числа событий в определённой зоне мозга (недалеко от входа) циркулируют до затухания. Это число не может быть больше некоторого предела из-за взаимного подавления потоков сигналов через структуры мозга. С точки зрения

функционирования такая циркуляция увеличивает возможность образования связей между нейронами. Поскольку интервалы времени возбуждённого состояния нейронов малы, то практически нереально образование ассоциаций между событиями, разделёнными промежутками времени, большими времени нахождения нейрона в возбуждённом состоянии. Тогда как растянутая во времени активность цепочек нейронов позволяет зафиксировать ассоциации между событиями, разделёнными достаточно большими временными интервалами.

Дальше следуют уже *специализированные* по восприятию, по ассоциациям *области долговременной* памяти – моторная, зрительная, слуховая, математическая, и т.д.

По пути следования сигнала, порождённого в рецепторах, и встречаются разные виды памяти (в том числе, оперативная). Это деление не имеет чётких границ. Такая, постепенно развивавшаяся структура путей продвижения сигналов обеспечивала обнаружение и фиксацию причинно-следственных связей между событиями, разделёнными достаточно большими (всё `большими) промежутками времени, намного `большими, чем время полного цикла возбуждения одного нейрона. Это давало организмам гораздо `большие шансы на выживание и экспансию, чем обнаружение связи только между точно одновременно происходящими событиями. По причине более успешного выживания и экспансии вида с такой структурой мозга и увеличивалась не только популяция вида, но и объёмы соответствующих участков мозга.

Структура мозга формировалась в ходе эволюции. Эволюция вида происходит в результате мутаций при появлении каждого организма и лучшего выживания и экспансии отдельных организмов вида вследствие их конкурентоспособности. То есть, эволюция *вида* происходит посредством мелких дискретных изменений при инициации жизни *каждого нового организма* и закрепления у вида свойств путём более быстрой экспансии удачно образовавшихся организмов, выигравших конкуренцию в существующей обстановке. Одни и те же свойства могут быть как выигрышными, так и проигрышными в различных условиях. Например, наличие тёплого покрова даёт преимущества животным, обитающим в холодных областях Земли. Вместе с тем, такие животные не могут существовать в условиях тёплого климата.

8.1 Резюме по поводу видов памяти

Из проведённого рассмотрения функционирования естественной памяти становится понятно, что нет никакого специального механизма, который якобы производит анализ произошедших событий, зафиксированных в кратковременной памяти, и по результатам анализа переносит наиболее важные из этих событий в долговременную память. Всё это было бы слишком сложно даже в том случае (с малой вероятностью достижения такой цели), если бы такой механизм создавали учёные и инженеры. Тогда как естественные системы обработки информации самопроизвольно образуются в каждом организме в результате самоорганизации элементов (нейронов и связей между ними), образующих структуры мозга.

Из нашего рассмотрения вытекает, что пути продвижения сигналов (информации), поступающих в мозг, распараллеливаются, попадают в различные зоны мозга, где и фиксируются. В этих зонах, как правило, фиксируется информация, относящаяся преимущественно к определённой группе рецепторов, к определённому виду деятельности. Здесь слово «преимущественно» обозначает большую часть, но не исключительность.

Поэтому и могут фиксироваться ассоциации между событиями разного рода, и обеспечивается надёжность – при повреждении какого-то участка мозга, благодаря рассредоточенности мест фиксации информации, она, как правило, не утрачивается полностью, хотя воспроизведение может быть затруднено.

Поскольку следы событий по ходу дела фиксируются во множестве мест, в том числе, в зонах с различной скоростью забывания, то через некоторое время кратковременная память угасает настолько, что информацию, зафиксированную в ней можно считать утраченной безвозвратно. В результате при попытке вспомнить какие-то эпизоды на передний план выходит информация о событиях, зафиксированная в зонах с меньшей скоростью забывания, но уже с несколько иными ассоциациями деталями, чем информация в кратковременной памяти. Поэтому у исследователей разного уровня и складывается впечатление, что переработанная информация перемещается в долговременную память. Она лишь кажется переработанной (подвергшейся переработке) из-за того, что на передний план выходит информация, зафиксированная в долговременной памяти. А информация в долговременной памяти (с меньшей скоростью угасания) связана с ассоциациями, отличающимися от ассоциаций, которые присущи информации в кратковременной памяти.

8.2 Об обработке информации во сне

Различие образов из долговременной и кратковременной памяти проявляется и в результате сна. За довольно продолжительное время сна кратковременные образы с их ассоциациями успевают существенно угаснуть, так что при воспроизведении возникших вчера (недавно) образов будут воспроизводиться уже образы из долговременной памяти со своими ассоциациями. Они отличаются от воспроизводившихся вчера, отодвинутыми в тень более сильными образами. Многие исследователи трактуют это отличие как результат обработки информации во сне. Хотя на самом деле, отличие возникает из-за угасания недавних образов из кратковременной памяти и выход на передний план образов из долговременной памяти. При возникновении «новых» образов никакой обработки информации и её перемещения во сне не происходит

Так что перемещение информации из кратковременной памяти в долговременную отсутствует. Просто кратковременная память о событии (со своими ассоциациями) уходит на задний план.

Если в результате множества случайных испытаний в ходе эволюции оказалось выгодным иметь в мозге организмов вида зоны с различной лёгкостью запоминания и скоростью угасания памяти, то, вероятно, целесообразно создавать такие зоны и в памяти искусственных устройств носителей интеллекта. Понятно, что природа не имеет никаких целей (просто процессы в ней протекают по её законам случайности и необходимости), поэтому следует говорить не о целесообразности результатов эволюции, а о большей эффективности вариантов развития организмов вида. Отмечаем при этом, что забывание полезно, оно обеспечивает изменчивость реакции организма.

9. Образование рефлексов (обучение, накопление опыта)

Воспоминания, которые мы извлекаем из памяти (долговременной или кратковременной), мы озвучиваем или визуализируем с внешним проявлением или перед внутренним взором. Происходит это после какого-то внешнего воздействия, даже если мы не можем отследить истоков событий, вызвавших воспоминание. Все движения сигналов через НС начинаются с инициации сигналов под воздействием окружающей среды, тогда как самовозбуждение нейронов, приводящее к воспоминанию, происходит очень редко.

Точно так же, как и воспоминание, происходит реакция организма, его НС, на множество различных раздражений, но не путём озвучивания или визуализации перед внутренним взором, а путём различных механических движений или реакцией различных

желез, выделяющих химические вещества. Механизм управления со стороны НС озвучиванием или визуализацией, механическими движениями одинаков с механизмом управления железами внутренней секреции. Но реакции организма типа механического или химического ответа принято называть рефлексам в отличие от визуализации и вербализации. Это отличие состоит в том, что рефлекторные реакции осуществляются через рефлекторные дуги, через короткие цепочки нейронов, объединёнными межнейронными связями.

Эти короткие цепочки обеспечивают ответы организмов на часто встречающиеся раздражители. Часть этих цепочек составляют так называемые безусловные рефлексы. Эти рефлексы называются безусловными по той причине, что они образуются в каждом организме вида независимо от его истории. Тем более, что эти цепочки нейронов образуются ещё в дородовой период жизни организма. Их образование предопределено генетически. Оно обусловлено эволюцией вида. Понятно, что цепочки нейронов, реализующие безусловные рефлексы, могут быть только очень короткими. Безусловные рефлексы обеспечивают уклонение организма от наиболее опасных и часто встречающихся раздражителей. Именно поэтому они и смогли образоваться у вида в ходе эволюции. А если бы их не было сразу после появления организма на свет, то организмы вида не могли бы выжить, и вид прекратил бы существование.

Кроме безусловных рефлексов есть условные рефлексы, образующиеся в ходе жизни каждого отдельного организма. Они образуются на основе уже имеющихся рефлексов (как безусловных, так и приобретённых), и раздражителей, действующих на организм. Рефлексы, как и воспоминания, формируются как цепочки следов событий, отображённых в межнейронных связях в результате воздействия раздражителей на организм ранее.

Связи образуются между нейронами, возбуждёнными примерно в одно время. Впоследствии каждая связь обеспечивает одноступенчатый прогноз на каждом нейроне. Так что рефлексы обеспечивают уклонение организма от воздействия раздражителей за счёт «предвидения» развития событий благодаря однозвенным прогнозам на основе следов прошлых событий.

Поскольку события происходят сами по себе, то реакция на них, и следы прохождения сигналов, порождённых этими событиями, казалось бы, будут образовываться беспорядочно. На самом же деле, события внешнего мира связаны в причинно-следственные цепочки, что и позволяет мозгу, или даже примитивным нервным системам эти причинно-обусловленные связи событий использовать для успешного поведения-выживания путём прогнозирования событий.

Действие рефлексов практически ничем не контролируются. Очень редко удаётся подавить их осознанно – слишком коротки нейронные цепочки, реализующие рефлексы. В короткие цепочки трудно вклиниться – мало на какие нейроны можно подействовать. Поэтому при воздействии раздражителя происходит привычная реакция.

Иногда обстоятельства жизни организмов изменяются. В этом случае существующие рефлексы уже не обеспечивают уклонение организма от действия раздражителя. Он продолжает через рецепторы инициировать те же самые входные сигналы, что действовали раньше. Все нейроны цепочки рефлекса возбуждаются с большой частотой, поскольку продолжает действовать раздражитель. Поэтому их работоспособность не успевает восстановиться в полной мере (не успевают восстановиться запасы питательных веществ внутри оболочек нейронов). Другими словами, повышается порог возбуждения нейронов, входящих в состав рефлекторной цепочки.

Из-за повышения порога возбуждения нейронов цепочки появляется возможность возбуждения окрестных нейронов, не входящих в состав цепочки. В итоге появляется новая цепочка, которая запускается тем же раздражителем, что и цепочка старого рефлекса, воздействующим на тот же рецептор. Но набор эффекторов, активизируемых новой цепочкой, будет другим, соответствующим новой реакции. Однако новая реакция может и не приводить к успеху – к уклонению от раздражителя.

В этом случае нейроны новой цепочки также будут уставать, появится возможность возбуждения нейронов следующей цепочки, которая также может привести или не привести к успеху – к уклонению организма от воздействия раздражителя на рецептор.

Этот процесс образования цепочек новых реакций можно назвать самообучением, и он будет продолжаться до получения успеха в результате очередной реакции.

Таких поисков результативных цепочек одновременно происходит огромное множество. Как уже говорилось, в среднем за 1 секунду образуется порядка 30 000 новых связей. Что ещё раз подтверждает, что образование новых связей и вся обработка информации в мозге протекает сугубо локально.

Понятно, что управлять образованием связей с такой скоростью никакой информационно-сортировочный центр не сможет. Ведь для каждой связи, в каждой зоне мозга нужно указать источник и приёмник из множества возможных нейронов, которые могут быть соединены этой связью.

Да и откуда может взяться такой центр в каждом организме? Это становится особенно ясным, если рассмотреть образование связей между нейронами в самом начале развития организма, в эмбриональном периоде, когда в организме только начинают появляться первые нейроны, и ещё нет связей. Отсюда следует, что механизм образования межнейронных связей носит сугубо локальный характер, и действует без какого бы то ни было управления. Механизм образования связи между возбуждёнными нейронами мы уже рассматривали.

При достижении успеха (уклонения от раздражителя) процесс генерации цепочек прекращается. И функционирование НС без воздействия раздражителей замирает. Когда в следующий раз возникнет та же самая конфигурация сигналов от раздражителей, что привела к изменению реакции, будет возбуждаться именно та последняя цепочка, которая привела к успеху – к уклонению от раздражителя. Это произойдёт по той причине, что связи между нейронами, образовавшиеся позже всего, имеют наибольший вес, поскольку связи в остальных цепочках успели несколько ослабеть. Нейроны с наибольшими весами входных связей при поступлении сигнала от раздражителя возбуждятся быстрее всего, и будут препятствовать возбуждению нейронов в начале других цепочек с более старыми связями. Точно так же и впоследствии, первой будет активироваться последняя результативная реакция.

Понятно, что описанный способ нахождения успешного пути уклонения от раздражителя (вслепую, методом проб и ошибок) не может быть эффективным. Более успешным способом образования результативных реакций является обучение с учителем.

Поиск оптимальных реакций даже вслепую протекает так, что новые информационные связи строятся по образцу. Таким образом может быть просто похожее событие в памяти организма или наблюденное мозгом событие в окружающей среде.

Каким образом образец (подобная ситуация) способствует образованию новой нейронной цепочки, могущей стать новым рефлексом? Другие рецепторы, независимо от рассматриваемых, порождают прохождение сигналов в окрестностях цепочки старого, нерезультативного рефлекса. Сигналы, проходящие по цепочкам других реакций, поступают и на входы нейронов в окрестностях цепочки нерезультативной реакции, и, тем самым, *способствуют* возбуждению нейронов в окрестностях этой цепочки, создавая условия для их возбуждения при повышении порогов возбуждения нейронов нерезультативной реакции в результате их усталости. Это касается возможного возбуждения нейронов от исходного рецептора, реакция на сигналы которого стала нерезультативной.

С другой стороны, сигнал от параллельного рецептора вызывает какую-то реакцию, действие эффекторов, отличное от нерезультативной реакции. Вызывает возбуждение нейронов в цепочке этой реакции – возможного образца. В результате возникает вероятность образования цепочки связей от исходного рецептора к другой (параллельной)

реакции. В результате чего и возникает новая реакция. По образцу уже существовавшей. Или по комбинации нескольких реакций, по аналогии с ними.

Такой образец, способствующий образованию новой реакции, нового рефлекса, может быть целенаправленно организован учителем. Для этого создаётся поток входных сигналов от исходных раздражителей и поток сигналов, с которыми надо связать исходные. То есть, создаются условия для образования по желанию учителя связи между причиной (исходными раздражителями) и следствием (результатирующей реакцией, результирующими действиями эффекторов). Причём в качестве раздражителей могут выступать не только простые раздражители, действующие на рецепторы, но и образы разной степени обобщённости или даже абстракции. Уровень раздражителей зависит от сложности рефлексов, от развитости нервной системы, мозга, в которых формируется новый рефлекс, новое знание об окружающем мире.

Человек, благодаря развитой системе обучения на самых разных уровнях, обучается гораздо успешнее других животных. Особенно это касается обобщающих знаний. Тогда как на уровне образования механистических процессов приёмы обучения примерно одинаковы, что у животных, что у людей. Например, при обучении письму, или еде ложкой взрослый просто водит рукой ребёнка. Точно так же работники зоопарков учат детёнышей животных пить молоко из бутылочки. Или медведица подталкивает медвежат при переправе через ручей.

Так, благодаря обучению (хоть примитивному, методом проб и ошибок), хоть продвинутому, с учителем, на уровне образов НС, мозг (система управления организмом, система обработки информации) адаптируется к поступающей информации.

Мы говорим: «Образуется новая связь». Но как может образоваться новая связь? Ведь раньше уже была какая-то связь, обеспечивающая реализацию старого рефлекса. И возбуждение активных элементов в старой рефлекторной цепочке, как будто не давало шансов возбудиться другим активным элементам вне цепочки старого рефлекса.

Дело в том, что при изменении обстоятельств, старая реакция не приводит к успеху – к уклонению от раздражителя. Поэтому раздражитель постоянно действует и активизирует цепочку старой реакции (старого рефлекса). Будучи часто возбуждаемыми, активные элементы старой цепочки не успевают восстановиться, «устают» – повышаются пороги возбуждения активных элементов. За счёт этого уставания появляются шансы возбуждения других активных элементов рядом с цепочкой старого рефлекса. Что и происходит, и образуется новая связь с максимальным начальным весом (с максимальной проводимостью). Новая связь впоследствии выигрывает конкуренцию за сигнал. И сразу же новая связь, как и все остальные связи, начинает ослабевать – происходит медленное забывание. Например, из-за диффузии проводящий канал гальванической связи постепенно уменьшает свою проводимость.

Для «результатирующего подавления» старых связей достаточно большей силы новых связей на фоне постепенного ослабления старых связей без какого-бы то ни было воздействия на них, что и приводит к более быстрому возбуждению недавно образовавшихся рефлекторных цепочек (с проявлением правила **«Первый получает всё»**). Так что «результатирующее подавление» старой реакции происходит из-за выхода в результате конкуренции на передний план новых, более сильных, связей, а не блокирования возбуждения нейронов старых реакций через специальные входы, или специальными сигналами.

Таким образом, за счёт 3-х основных факторов: **уставания** часто возбуждаемых из-за отсутствия результата активных элементов, **старения** связей (забывания), **нейтрализации–компенсации** возбуждающего сигнала, и происходит переучивание – образование новых рефлексов и их выход на авансцену в результате выигрыша конкуренции за сигнал благодаря новым более сильным связям. И, соответственно, уход на задний план старых рефлексов в результате проигрыша старых связей новым конкуренции за первенство возбуждения НЭ. Без всяких специальных локальных и

глобальных механизмов «торможения» старых рефлексов типа «тормозящих входов» и «тормозящих нейронов». Таково простое разрешение проблемы торможения старых рефлексов – **проклятого вопроса физиологии**, как называл его Павлов [106,107].

До уставания нейронов дело доходит не так часто. В этом случае происходит обучение методом проб и ошибок. Гораздо эффективнее происходит обучение по образцам. Это хорошо видно на примере решения научных проблем, где правильные ответы на вопросы получаются нечасто (очень редко), поскольку нет готовых образцов.

В существующем сегодня освещении эффекта «торможения» старых рефлексов, наблюдаемого для всей нервной системы (глобально), пытаются ввести локальный механизм «торможения» на уровне отдельного нейрона, и пытаются объяснить этот локальный механизм «торможения» двумя возможными механизмами:

1. В нейроне есть «тормозящие» входы, действие которых противоположно другим входам. Подача на такой вход сигнала той же (положительной) полярности, что и на другие входы, якобы приводит к препятствованию возбуждению нейрона [108].

2. Имеются «тормозящие» нейроны, которые при возбуждении выдают на свой выход отрицательный потенциал, то есть, потенциал противоположного знака по сравнению с потенциалами на выходах других возбужденных нейронов. Якобы этот отрицательный потенциал и препятствует возбуждению нейрона, на вход которого он поступил [109].

В обоих упомянутых случаях не видно логики, в соответствии с которой должен функционировать нейрон, генерирующий «тормозящие» сигналы. В отдельно взятом нейроне не видно механизма образования тормозящих входов и выходов, не видно логики образования «тормозящих» связей между соответствующими входами и выходами различных нейронов. Образование таких специальных «тормозящих» входов и, тем более, образование нейронов с обратным потенциалом на выходе при возбуждении невозможно локально (откуда информация о размещении «тормозящего входа»?). Необходим какой-то глобальный управляющий механизм, надстроенный над множеством отдельных нейронов и детально управляющий их функционированием. Откуда может появиться «тормозящий» «управляющий» нейрон с совершенно другим выходным потенциалом? По какому критерию должны будут образованы «тормозящие» связи, управляющие нейронами? К тому же, никто никогда экспериментально не наблюдал «тормозящих» входов и нейронов.

Для предлагаемой модели нейрона и взаимодействия нейронов через межнейронные связи не нужны никакие специальные ухищрения для объяснения образования механизмов препятствования возбуждению других нейронов со стороны первого же возбужденного нейрона. Локальный механизм образования всех совершенно однотипных связей между выходами и входами в предлагаемой схеме естественен и прост, один на все случаи жизни. Этот механизм обеспечивает не только образование связей, но и выбор оптимального пути распространения сигнала, наилучшим образом соответствующего конфигурации входных связей нейронов (опыту организма) и конфигурации пришедших на эти входные связи возбуждающих сигналов с предыдущих каскадов. В природе нет лишних и сложных механизмов, поскольку они требуют лишних затрат ресурсов организма, всегда ограниченных. Не видно и механизма их образования.

Так что предлагаемый нами один и тот же для всех случаев жизни простейший *локальный механизм* образования связей и выбора оптимального пути следования сигналов *предпочтительнее глобальных механизмов*, неведомым образом управляющих нейронами по всему мозгу и в конечностях. А что могло бы управлять самим глобальным механизмом, управляющим «торможения»? Откуда может взяться информация для построения такого механизма? Начиная с эмбриона. Предлагаемый же механизм обходится минимальными ресурсами, не требует никаких специальных условий, требующих затрат со стороны природы, никакого вмешательства извне.

10. Механизм образования безусловных рефлексов

Этот раздел написан по материалам статьи [150].

Различают рефлексы безусловные и условные. Мы уже говорили, что развитие НС, мозга начинается с простейших безусловных рефлексов. В связи с этим возникает вопрос: «Как образуются сами безусловные рефлексы?»

Условные рефлексы образуются в отдельных организмах в ходе их собственной жизни, и при изменении обстоятельств замещаются новыми. Механизм их образования рассмотрен в [98, 99, 160] – между возбуждёнными нейронами образуются проводящие связи. Но как начинается образование условных рефлексов, когда в развивающемся организме только появляются нейроны, когда между этими нейронами ещё нет связей? Из-за отсутствия связей нейроны не могут быть возбуждены какими-то внешними событиями, и поэтому между ними как будто не могут образовываться связи. Но достоверно известно, что в развивающемся организме, ещё до рождения организма, образуются безусловные рефлексы, через цепочки которых в мозг, в НС, входят сигналы о воздействии на рецепторы важнейших для организма событий. Развитие нервной системы, образование условных рефлексов начинается с безусловных рефлексов (БР), возникающих в организме безусловно, независимо от воздействия на него среды.

Безусловные рефлексы в норме формируются у всех организмов данного вида до рождения организма. Они образуются в НС организма ещё в период его развития в утробе матери (или в яйце), так что БР имеются у организмов уже в момент их рождения и обеспечивают, в первую очередь, самые необходимые реакции появляющихся на свет организмов на воздействие среды, и проводят в НС сигналы от внешнего мира.

Образование и развитие рефлексов (цепочек совместно действующих нейронов) в некотором отношении подобно появлению и развитию морозных узоров на чистом оконном стекле. Эти узоры начинают развиваться с какого-то места (обычно с какого-то края, где условия способствуют инициации узора) и растут на границе узора по направлению движения холодного воздуха. В каких-то новых местах, в отрыве от предыдущего узора, узоры начинают образовываться редко, поскольку там для них нет иницирующих условий.

Как образуются безусловные рефлексы? Они формируются в ходе эволюции у всех среднестатистических организмов и образуются в каждом отдельном развивающемся организме в ходе его развития в утробе материнского организма или в яйце.

Эволюция есть результат двух основных процессов – устойчивости и изменчивости. Устойчивость обеспечивается репликацией – самокопированием клеток организма. Изменчивость вызывается мутациями – изменением генов (наследственной информации). Эволюция вида представляет собой естественное развитие линии организмов, их адаптацию к окружающей среде. Может изменяться и среда, и к этим изменениям среды организмы также должны адаптироваться. Мутации происходят при инициации жизни каждого организма, на уровне исходной (материнской) клетки, при зачатии каждого нового эмбриона. Если мутация окажется полезной, её результаты в дальнейшем способствуют выживанию и экспансии растущего и зрелого организма – продолжению в будущее организма, его потомков со свойствами, вызванными мутациями. То есть, удачная мутация способствует выживанию и экспансии вида. Организм – носитель вредной мутации с большей вероятностью погибнет, не произведя потомства. Так происходит эволюция с выбыванием из жизни организмов, не соответствующих существующей в данный момент среде и выживанием и экспансией организмов, наилучшим образом приспособленных к текущим условиям среды (существующим в данный момент в данном месте).

Новые клетки в развивающемся организме образуются сравнительно независимо от других клеток. Для их образования нужна только самодублирующаяся клетка-образец и материалы, необходимые для состава новой клетки. Отсюда следует, что нейроны,

образующие цепочки рефлексов сначала дублируются в каких-то зонах, а уже затем между отдельными нейронами каким-то образом образуются связи.

Многообразие возможных полезных процессов и механизмов на их основе в организме ограничено. Это вытекает из ограниченности количества информации, которая может содержаться в исходной материнской клетке. Отсюда следует вывод, что механизм образования связей между нейронами, составляющими цепочку безусловного рефлекса, не может существенно отличаться от механизма образования условных рефлексов, поскольку такое отличие требовало бы существования дополнительных механизмов. Образование условных рефлексов подробно рассмотрено в [98].

Поскольку информационная ёмкость исходной клетки ограничена, процессы, происходящие при развитии клетки в эмбрион и при дальнейшем развитии эмбриона, обусловлены складывающимися условиями, и могут быть только простейшими.

Безусловные рефлексы представляют собой короткие простейшие цепочки нейронов, образующих пути сигналов от рецепторов к эффекторам. Механизм образования связей, реализующих безусловные рефлексы, не может существенно отличаться от образования связей между нейронами, которые были возбуждены сигналами от других возбуждённых нейронов через свои входные связи. Но, поскольку поначалу нейроны ещё не имеют входных связей, то они могут быть возбуждены только путём почти случайного самовозбуждения. В этом периоде жизни организма многие нейроны ещё не могут быть возбуждены воздействием сигналов на их входы, поэтому их внутренние накопители энергии заряжаются до предела, так что даже малейшие возмущения каких-то потенциалов (например, от возбуждения окрестных нейронов, от пролёта ионизированных частиц, от химических примесей) могут возбудить их.

В дальнейшем образовавшиеся безусловные рефлексы путём проведения сигналов о воздействии среды на рецепторы обеспечивают возможность возбуждения нейронов, между которыми образуются ассоциативные связи в ходе жизни организма. Случайные самовозбуждения нейронов у зрелых организмов происходят сравнительно редко. При таких возбуждениях в зрелом организме могут образоваться случайные связи. Хотя такие случайные связи, образовавшимися между само-возбудившимися нейронами поначалу не соответствуют никакому событию, их польза состоит в расширении возможностей образования связей между группой нейронов, к которым присоединяется нейрон в результате образования связи нейрона после его самовозбуждения, с другими нейронами. Кроме того, в начале жизни организма у него ещё сравнительно мало нейронов, и ещё меньше связей между ними. В ходе жизни нейроны, ещё не присоединившиеся ни к каким другим нейронам, постепенно приобретают связи с другими нейронами; в том числе, с нейронами, уже задействованными в отображении каких-то событий. И образуются эти связи в результате самовозбуждения нейронов, ещё не имевших связей с другими нейронами.

Если бы это было не так, то нейроны, не имеющие до того связей с другими нейронами так бы и оставались без связей на протяжении всей жизни организма.

Представление о процессах функционирования НС в развитии, начиная с отсутствия связей между нейронами, изображено на Рисунке 23.

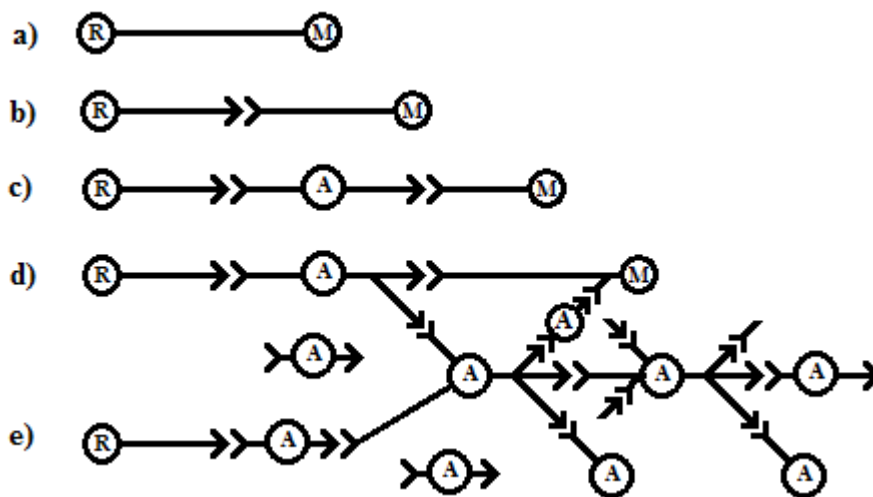


Рисунок 23. Возникновение безусловных рефлексов, необходимых для развития НС

Здесь R – рецепторы, M – манипуляторы (эффекторы), A – ассоциативные нейроны.

- a) совмещённые рецептор и эффектор (манипулятор) в самой короткой цепочке БР,
- b) отдельные рецептор и эффектор при увеличении расстояния между ними,
- c) появление вставочных нейронов, позволяющих ещё больше увеличить расстояние от рецептора до эффектора,

d) подключение к управлению эффекторами развитых участков систем обработки информации, обеспечивающих образование сложных условных рефлексов.

e) иные рецепторы плюс ещё незадействованные нейроны A.

Понятно, что главным условием образования связей между нейронами, является их соседствование в пространстве, механический контакт между ними, что обеспечивает возможность образования связей между ними. Соседствование нейронов обеспечивается развитием нервных тканей, когда новые клетки в ходе развития организма образуются в результате деления клеток, образовавшихся раньше, начиная с исходной клетки.

Механизм формирования безусловных рефлексов в перинатальный период тот же самый, что и механизм формирования условных рефлексов. Только удельный вес самовозбуждений нейронов в этот период гораздо выше - в возрасте эмбриона ещё очень мало связей, через которые нейроны могут быть возбуждены. Поэтому самовозбуждения нейронов происходят гораздо чаще, чем у взрослого организма. Это происходит из-за того, что в самом юном возрасте организма нейроны, ещё несвязанные с другими нейронами заряжаются до неустойчивого состояния, близкого к самовозбуждению, и могут возбудиться от малейших возмущений. Кроме того, потенциалы и пороговые значения возбуждения нейронов в этом возрасте могут иметь несколько иные значения, чем у взрослого организма. Самовозбуждению нейронов способствует и тот факт, что в период развития организма в материнской утробе возбуждение различных нейронов происходит гораздо реже, чем у взрослого организма с большим количеством связей между нейронами, поэтому и возрастает до предела готовность нейрона к возбуждению. Можно сказать, что в этом периоде из-за более редких возбуждений нейронов пороговый уровень их возбуждения гораздо ниже. Поэтому в период внутриутробного развития достаточно часто происходит самовозбуждение нейронов, что и обеспечивает образование связей между нейронами, реализующими безусловные рефлексы, даже при отсутствии инициирующих раздражений нейронов.

В течение жизни человека большая часть его нейронов (от 15 до 100 миллиардов нейронов по разным оценкам) оказываются включёнными в какие-то связи между нейронами. Так что в среднем в секунду в связи с другими нейронами включается порядка 10 нейронов, не имевших связей до того. Если в перинатальный период образование

связей в результате самовозбуждения нейронов происходит примерно в среднем темпе (по всей жизни), то у новорождённого человека в состав различных нейронных цепочек могут входить десятки миллионов нейронов.

В период внутриутробного развития на организм ещё не могут воздействовать в полной мере раздражители, которые появятся только после рождения организма. Поначалу в развивающемся организме даже ещё нет никаких нейронов и связей между ними. В том числе, и связей рецепторов с последующими нейронами. Но постепенно в развивающемся организме количество нейронов и связей между ними растёт. Понятно, что исходные, безусловные, рефлексы также представляют собой цепочки нейронов, связанных воедино посредством связей между ними. Но как эти проводящие связи образовались? Откуда взялась информация, необходимая для их формирования?

Для образования таких связей между нейронами (ещё не отражающих внешние события) имеет значение, как расположены нейроны, соприкасаются ли они, каково их количество? В этом и заключается роль генетической наследственности. Необходимо, чтобы образовались нервные ткани, имеющие необходимый состав и расположение.

Как только образуются простейшие цепочки нейронов, протянувшиеся от рецепторов к эффекторам, и начинается воздействие внешней среды на рецепторы, так решающую роль (ещё до рождения) начинают играть быстро образующиеся условные рефлексы (на звуки, на ускорения и др.). Так что человек рождается не только с набором безусловных рефлексов, но и с рефлексами, приобретёнными в утробе матери.

Различия уровней возбуждения нейронов у различных людей, (наряду с другими факторами) определяют психотип, темперамент человека – одни люди более возбудимы, другие более инертны. Поскольку пороговые уровни влияют на возбуждение отдельных нейронов, то они влияют и на образование связей между нейронами, на особенности памяти отдельных индивидуумов.

Порог возбуждения нейронов конкретных организмов может быть скорректирован за счёт соответствующего питания или приёма специальных препаратов.

Набор безусловных рефлексов у разных организмов может варьировать, колебаться в каких-то пределах. Какие-то рефлексы могут быть выражены ярко. Другие могут быть выражены слабо или вообще отсутствовать.

Таким образом, если по каким-то причинам, например, из-за несбалансированного питания в нейроны не будут поступать в достаточных количествах питательные вещества нужного состава, самовозбуждение нейронов будет происходить реже, чем необходимо для образования всех необходимых безусловных рефлексов. В результате эмбрион – начавший развиваться, ещё не родившийся организм, не будет иметь достаточных условий для образования безусловных рефлексов, необходимых для успешного развития и экспансии организма.

Отметим, что отсутствие каких-то второстепенных безусловных рефлексов не оказывает существенного влияния на развитие организма ребёнка. Например, конъюнктивный и склеральный рефлексы, как часто отсутствующие в норме, большого значения для развития нервной системы не имеют [161].

Функциональность, польза большинства безусловных рефлексов, образующихся в период внутриутробной жизни организма, очевидна [98, 100, 101]. В то же время часть безусловных рефлексов не приносит видимой пользы организму [162]. Точно так же у различных зрелых организмов имеются и другие побочные черты (явления) вне НС. Например, волосяной покров на различных частях тела человека. Некоторые из таких признаков являются атавизмами и проявляются через множество поколений от тех времён, когда эти признаки были полезными. Некоторые являются чисто побочными явлениями. Они продолжают сохраняться у вида, хотя никакой пользы от них нет. Но нет и вреда. Линии организмов с отрицательными свойствами с большей вероятностью погибали, не выдерживали столкновений с опасностями, встречающимися на их пути в ходе жизни. Поэтому организмы с отрицательными чертами не очень успешно

продвигались в будущее. А просто побочные черты, хотя и не способствовали, но и не мешали выживанию и экспансии вида.

Механизмы и условных, и сотен безусловных рефлексов имеют одну и ту же природу. Поэтому безусловные рефлексы, которые не задействуются или задействуются редко в послеродовой период жизни организма, со временем угасают точно так же, как и условные рефлексы (воспоминания), не получающие достаточно частых повторений (подкреплений) [162].

Отсутствие каких-то стандартных безусловных рефлексов (наблюдаемых у некоторых из среднестатистических организмов данного вида) указывает на то, что в данном организме не было условий для формирования полного набора безусловных рефлексов, обеспечивающего нормальное успешное развитие организма.

Чем вызывается недостаточное развитие безусловных рефлексов? Иногда недостаточное развитие безусловных рефлексов обусловлено мутациями организма при зачатии организма, когда формирование изменённого набора безусловных рефлексов предопределено генетическими изменениями при инициации организма – эмбриона. Другой причиной отсутствия (недоформирования) некоторых безусловных рефлексов в период внутриутробного развития организма является отсутствие условий формирования отсутствующих связей между нейронами. Например, отсутствия необходимых питательных веществ, микроэлементов, в результате чего увеличивается пороговый потенциал возбуждения нейрона, или слишком высок потенциал образования связи даже при наличии контакта между возбуждёнными нейронами.

Отсутствие каких-то второстепенных безусловных рефлексов не оказывает существенного влияния на развитие организма ребёнка. И даже полное отсутствие органа чувств (поставщика информации в мозг), в том числе, наиболее информативного – слуха или даже зрения, не лишает человека возможности стать полноценным членом человеческого общества. С другой стороны, дети, в силу различных обстоятельств попавшие в очень юном возрасте не в человеческую среду, а в стаю животных (обезьян, волков [163]), вырастают с психикой животных, с набором приобретённых рефлексов, присущих животному сообществу, приютивших ребёнка.

Известны случаи, когда таких детей («Маугли») находили и изымали их из уже привычной для них среды. Ловили и пытались приучить их к жизни в человеческой среде. Но ни разу это не привело к полной адаптации и социализации таких детей, поскольку в период «закладки фундамента личности» – формирования основ восприятия мира – такие потерявшиеся дети находились в обществе животных. Поэтому и выросли они с привычками и нравами, ценностями, присущими сообществу животных, приютивших их.

Это говорит о том, что, хотя личность человека формируется на физиологическом фундаменте доступных возможностей тела и ЦНС организма, обеспечивающих **доставку информации** в мозг и функционирование эффекторов, воздействующих на среду, на результирующее поведение организма, личности, решающее влияние оказывает собственный опыт, накопленный в организме за время его существования. То есть, **информация, поступившая** в организм из внешнего мира и усвоенная им. Можно сказать, ценности, привитые в результате воспитания.

В литературе приводятся данные о том, что дети алкоголиков склонны к алкоголизму. Но если они попадают в хорошую семью, то вырастают нормальными людьми [165]. Это говорит том, что в результате алкоголизма матери в период внутриутробного развития не «алкогольные гены» становятся генами новорождённого ребёнка (поскольку набор генов организма образовался в момент его зачатия, а не в период развития), а проявляется воспитанная ещё в утробе матери–алкоголички алкогольная зависимость. И эту зависимость (совокупность рефлексов) можно подавить, заместить, воспитанием – созданием правильных рефлексов в хорошей семье.

10.1 Заключение об образовании безусловных рефлексов

В работе рассмотрено образование в перинатальный период (до рождения организма) безусловных рефлексов, обеспечивающих простейшие необходимые реакции организма на воздействие окружающей среды. Эти рефлексы присущи не конкретному организму, а всему виду животных, к которому относится данный организм. Рефлексы порождаются связями между соответствующими нейронами, проводящими сигналы о воздействии среды на организм от рецепторов к эффекторам, осуществляющим действенный ответ на воздействие среды. Количество связей, образующих безусловные рефлексы, сравнительно мало, поскольку единственная исходная клетка не может содержать большое количество информации о структуре будущего организма. Информация в опосредованном виде размещается в единственной исходной материнской клетке. Кроме своей очевидной функции передачи сигналов от рецепторов к эффекторам, цепочки связей между нейронами, осуществляющие безусловные рефлексы, обеспечивают ввод сигналов от рецепторов в нервную систему, состоящую из множества нейронов, проводящих сигналы и фиксирующих следы событий – воздействий среды.

11. Естественные процессы, реализующие логические функции в мозге

В главах «Модель нейрона» и «Механизм образования следов событий...» рассмотрено функционирование отдельных нейронов и их взаимодействие. Рассмотрим всё это ещё раз, но с акцентом на процессы прохождения сигналов, на взаимодействие нейронов между собой.

Сигналы в НС, в мозге, в глобальном плане распространяются от рецепторов через структуры мозга к эффекторам. В рецепторах сигналы порождаются воздействием среды (важным для организма) на чувствительные элементы организма. Эффекторы под воздействием поступивших сигналов выполняют действия, реакцию, вызываемую воздействием среды на организм (раздражением) с данной структурой связей.

Сигналы распространяются по межнейронным связям от нейрона к нейрону; при распространении они затухают. Но на каждом нейроне, возбуждённом поступившими сигналами, сигналы усиливаются и распространяются по межнейронным связям дальше. Каким образом сигналы проходят от рецепторов до эффекторов и обеспечивают адекватную реакцию организма на раздражители, породившие эти сигналы?

Организмы начинают свою жизнь со сравнительно небольшим набором адекватных реакций (на самые частые и опасные раздражители), обеспечиваемых безусловными рефлексами. Если бы этих адекватных реакций не было, организмы вида погибали бы, так что вид быстро прекратил бы своё существование. По ходу жизни между соприкасающимися нейронами, находящимися в возбуждённом состоянии, образуются ассоциативные связи, новые реакции. Вес, сила, проводимость этих связей непрерывно уменьшается – происходит забывание.

Количество сигналов, циркулирующих по мозгу в каждый момент времени, очень велико. Их взаимодействие и обеспечивает развитие интеллекта в каждом мозге с достаточными ресурсами (достаточным количеством нейронов и возможных связей между ними).

Как происходит это взаимодействие с точки зрения логики и процессов, обеспечивающих функционирование этой логики? Каким образом обеспечивается, с

одной стороны, незатухание сигналов? А с другой стороны, как обеспечивается умеренное усиление сигналов, так что мозг не самовозбуждается?

Как мы уже рассматривали, каждый нейрон возбуждается в тот момент, когда потенциал на его входе превысит порог возбуждения (См рисунок 11).

Непосредственно на входном сумматоре нейрона формируется мгновенное значение входного сигнала.

$$S_j = \Sigma(X_{ij} * W_{ji})$$

Поскольку все системы инерционны, сигнал фильтруется на цепочке **R1C1**, которая устраняет случайные всплески, кроме того, делает нарастание S_j не мгновенным, а плавным: $S_j \rightarrow S_j(t)$. Назовём этот сигнал $S_j(t)$ накопленным

$$S_j(t) = \int F\{(\Sigma [F1(X_{ij}(t), S_j(t)) * W_{ji}], F2(R1, R2, C1, Y_j(t)))\} * dt.$$

Из-за различий конфигураций величин сигналов и весов входных связей потенциалы на входах разных нейронов будут нарастать с разной скоростью. Кроме того, в зависимости от нагрузок и недавних возмущений изменяются и величины порогов возбуждений.

В первом приближении первым среди окрестных нейронов возбуждётся тот нейрон, у которого входной потенциал будет максимальным по сравнению с другими нейронами.

$$\Sigma_i(Y_{ij} * W_{ji}) = U_{\text{вход}j} = \text{Max.}$$

В соответствии с представленной в разделе 6 моделью нейрона, первый же возбуждённый нейрон выдаёт на свой вход мощный отрицательный импульс, который частично компенсирует положительные потенциалы, участвовавшие в возбуждении этого нейрона. Точно так же, первыми, успеют возбуждаться множество нейронов по всему мозгу и в окрестностях рассматриваемого нейрона.

Возбуждённые нейроны выдают на свои выходы мощные положительные потенциалы – сигналы, которые могут распространяться дальше. Поскольку распространять сигналы дальше будут нейроны, возбуждённые первыми, то сигналы на каждом этапе, на каждом нейроне, будут распространяться по локальным оптимальным направлениям, в которых конфигурация входных весов будет максимально соответствовать поступившим сигналам. То есть, в направлениях, соответствующих «опыту» нейронов. А в совокупности с другими нейронами, конфигурации сигналов распространяются в оптимальных направлениях, соответствующих «коллективному опыту» группы нейронов, что и обеспечивает адекватную реакцию эффекторов организма на конфигурацию раздражителей, породивших исходные сигналы.

Мозг выдаёт на эффекторы конфигурацию управляющих сигналов, соответствующих конфигурации входных сигналов и опыту организма. Сигналов, порождённых самовозбуждением нейронов (вне рецепторов) циркулирует по мозгу сравнительно мало.

Каким образом достигается баланс между незатуханием сигналов и отсутствием самовозбуждения мозга? На наш взгляд, этот баланс обеспечивается эволюционным развитием вида за счёт выживания организмов с удачными параметрами нейронов, и вымирания организмов с быстрым затуханием сигналов и с чрезмерной возбудимостью нейронов. Если сигналы затухают слишком быстро, то они не будут доходить до эффекторов. Организм не будет реагировать в должной мере на опасности (раздражители). Если же количество сигналов будет увеличиваться на каждом этапе, то будет иметь место самовозбуждение мозга. Обе ситуации чреватые гибелью организма.

Среднее количество сигналов, циркулирующих в мозге в каждый момент времени может быть записано в виде:

$$Q(tN) = Q(t0) * (K_{\text{размножения}})^N$$

Здесь $Q(tN)$ – количество сигналов в мозге в N -й дискретный момент времени tN ,

Если количество сигналов будет расти на каждом этапе, будет происходить самовозбуждение мозга.

Самовозбуждение мозга будет приводить к немотивированной активности эффекторов, к неадекватному поведению организма, к его худшему выживанию (гибели).

Кроме сложившегося статического среднего коэффициента размножения сигналов (за счёт параметров мозга, присущих виду) имеется динамическое регулирование за счёт уставания часто возбуждающихся нейронов, а также за счёт изменения порогов возбуждения биохимическим путём – за счёт изменения состава крови и среды в окрестностях нейронов.

Мы рассмотрели, как распространяются сигналы по уже имеющимся путям – структурам мозга. Но, пожалуй, образование новых связей между нейронами имеет не менее важное значение для существования и развития организма, чем простое распространение сигналов через уже существующие пути. Новые пути, связи между нейронами образуются под воздействием разности потенциалов на выходах и на входах возбуждённых нейронов.

Если разность потенциалов соседних точек (соприкасающихся нейронов) превышает ПОС, происходит электрический пробой или подобное явление с образованием постоянного проводящего канала. А точки зрения обработки информации происходит фиксация ассоциаций между ассоциированными событиями внешнего мира, породившими сигналы (через воздействие на рецепторы). Кроме того, важную роль в работе мозга играет забывание – уменьшение веса межнейронных связей. На первый взгляд забывание является сугубо отрицательной чертой. Но, на самом деле, забывание позволяет изменять поведение организма при изменении обстоятельств. Изменение обеспечивается тем, что на первый план выходят более новые, то есть, более весомые, более сильные связи между нейронами, лучше проводящие сигналы.

Нейроны в спокойном, невозбуждённом состоянии пребывают с заряженным до предела накопителем порции энергии, в локальном минимуме энергии, близком к неустойчивому равновесию. Положительные потенциалы сигналов, распространяющиеся после каждого очередного усиления на ретранслирующем нейроне, вызывают нарушение равновесия всё новых нейронов, которые также разряжаются, вызывая распространение сигналов всё дальше по путям наименьшего сопротивления (с максимальными проводимостями), по которым протекают максимальные токи.

Иногда (а с учётом огромного количества нейронов в массиве мозга, достаточно часто) складываются такие условия, что сопротивление какого-то участка продвижения сигнала достаточно велико, что выражается в большой разности потенциалов в близко расположенных точках. Если разность потенциалов в соседних точках достаточно велика (больше потенциала образования связи), происходит образование новой проводящей связи максимального поначалу веса путём необратимого пробоя (или аналогичного явления) там, где разность потенциалов соседних точек больше ПОС. При этом сопротивление данного участка из-за образования связи резко уменьшается.

Так что в следующий раз, сигнал, дойдя до этого участка, будет проходить, в первую очередь, именно по этой недавно образовавшейся связи. Так происходит распространение сигналов, начиная от их инициации в рецепторах под влиянием факторов внешней среды, через вставочные нейроны (удлинители, расширители) вплоть до эффекторов, осуществляющих какое-то конкретное действие (в результате адаптации обычно ведущее к избавлению от раздражителя). Или до затухания сигналов на очередном этапе, когда сумм входных сигналов не хватит для выведения из равновесия очередных достигнутых нейронов. При прохождении сигналов при соответствующих условиях образуются новые связи – происходит адаптация структур мозга к потоку поступающих сигналов.

Поскольку сопротивление новой связи несколько меньше сопротивлений на других направлениях (в данной точке), последующие сигналы при прохождении данного участка при прочих равных условиях будут стремиться пройти именно по этой связи

(соответствующей недавнему опыту) с образованием всё новых связей в этом направлении. Так будут обрастать связями направления распространения сигналов. В этом и состоит явление самоадаптации мозга к потоку проходящих через него сигналов.

Таким образом, суть физических процессов, протекающих в мозге, может быть описана следующим образом:

- в мозг поступают сигналы, порождаемые в рецепторах воздействием внешней среды,

- сигналы проходят через структуры мозга, и оставляют проводящие следы (происходит самообразование проводящих связей между нейронами),

- следы представляют собой ассоциативные связи между нейронами, отображающие ассоциации явлений, породивших сигналы; количество связей нарастает от нуля до развитого интеллекта (накапливается опыт). Можно сказать, что образующиеся связи не только фиксируют какой-то факт, но обобщают какое-то явление, уменьшают сопротивление пути между какими-то точками,

- в результате образования связей формируются всё новые пути следования сигналов, уменьшаются сопротивления возможных (оптимальных) путей следования сигналов от рецепторов до эффекторов,

- что и является самоадаптацией структур мозга к поступающей информации.

Причём происходит всё это как чисто физический процесс, без малейшего упоминания о смысловых нагрузках протекающих физических процессов. Видим, что процессы в структурах мозга (в нейронах, и в связях между ними) происходят под влиянием сил, происходят **по причине** разностей потенциалов, а **не с целью** вычисления логических функций. Происходят «ИЗ-ЗА», а «НЕ ДЛЯ». Вычисление логических функций происходит не как какой-то специальный процесс, а как следствие, как результат протекания естественных физических процессов, протекающих под действием разностей электрических потенциалов.

Это сочетание естественных процессов, сложившееся в ходе эволюции, и обеспечивает вырастание взрослого организма из единственной исходной клетки, и образование в мозге взрослого организма структур, обеспечивающих успешное существование организма.

Образование новых связей соответствует фиксации (запоминанию) ассоциаций различных явлений. А прохождение сигнала через ассоциативную связь (имеющую малое сопротивление) обеспечивает более раннюю реакцию на ещё не появившееся ассоциативное событие, что эквивалентно прогнозированию («предвидению» события). Эта способность к прогнозированию на каждом нейроне и порождает, в конце концов, мышление при достаточных ресурсах мозга – при достаточном количестве активных элементов (нейронов), возможных связей между ними, и достаточном количестве эффекторов и рецепторов, обеспечивающих мощный поток входной информации и опосредованное воздействие на раздражители результирующей реакции. Особенно, если эта информация представляется в систематизированном, обобщённом виде (при обучении).

Самоадаптация мозга к потоку входящей информации на основе механизма самообразования связей действует на протяжении всей жизни организма, начиная с полного нуля связей при его зачатии (при отсутствии нейронов и связей – в самом начале ещё не было результатов адаптации), до его смерти. Именно самоадаптация обеспечивает образование ассоциативных (смысловых) связей в мозге, отображающих ассоциативные отношения внешнего мира, накопление опыта индивидуального организма. Отсюда видна важность качества входящей информации, особенно в самом начале развития НС, мозга, заключающегося в образовании связей, поскольку вокруг них формируются все последующие связи.

Это говорит о том, что, хотя личность человека формируется на физиологическом фундаменте доступных возможностей тела и НС организма, обеспечивающих *доставку*

информации в мозг, на результирующее поведение организма, личности, решающее влияние оказывает собственный опыт, накопленный в организме за время его существования. То есть, **информация, поступившая** в организм из внешнего мира и усвоенная им. Можно сказать, ценности, привитые в результате воспитания в широком смысле этого слова (жизненная среда во всём многообразии).

Формально реакцию НС, мозга, на поступающие сигналы можно описать как преобразование вектора информационных входных сигналов от рецепторов $[R_i]$ в вектор сигналов реакции организма к эффекторам $[E_j]$ посредством воздействия на входные сигналы матричного оператора.

$$\{IT_{ji}\}[R_i] \rightarrow [E_j]$$

Здесь $[R_i]$ представляет совокупность входных сигналов, генерируемых рецепторами под воздействием среды.

$\{IT_{ji}\}$ – Information Transformer всех входных i -компонент в вектор j -выходных компонент.

На своём пути от рецепторов к эффекторам сигналы $[R_i]$ подвергаются действию НС, мозга, то есть, действию оператора $\{IT_{ji}\}$. В результате чего информационные сигналы превращаются в совокупность управляющих сигналов $[E_j]$, поступающих на эффекторы, осуществляющих действенную реакцию организма (рисунок 24).

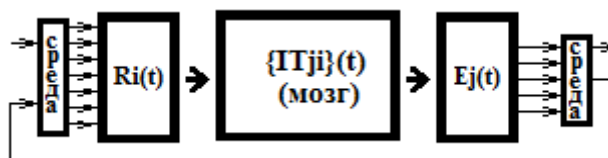


Рисунок 24. Оператор преобразования входной информации

Оператор $\{IT_{ji}\}$ (мозг) не просто статическая матрица. Хотя для каждого отдельного момента времени оператор и мог бы быть представлен в виде статической матрицы. Оператор $\{IT_{ji}\}$ постоянно модифицируется проходящими через его структуры сигналами. То есть, он зависит от времени, от своей истории. Поскольку преобразователь постоянно модифицируется, результат преобразования входных сигналов очень сильно зависит от истории модификаций самого оператора (в первую очередь - от недавно произошедших). Представленный вид оператора не отображает в полной мере этого обстоятельства. При этом необходимо помнить, что развитие организма и его НС – Самоадаптирующейся Системы Обработки Информации (САСОИ) начинается с совершенного нуля. То есть, изначально $\{IT_{ji}\}$ тождественен единице, пропускает через себя сигналы без изменений. Но постепенно в мозге растёт количество связей, сформированных проходящими сигналами. В итоге вырастает человек, говорящий по-русски, или по-китайски; разбойник, «Маугли» (специалист по жизни в лесу), или университетский учёный (специалист по математике), в зависимости от его индивидуального опыта, сформировавшего его мозг. От потока информации, прошедшей через его мозг. Хотя исходное состояние мозга у всех было одинаковое, определённое эволюцией человеческого вида. Просто с самого начала мозг был готов пропускать через себя информацию без изменений, но с образованием следов прохождения информации. Постепенно, в течение нескольких лет, проходящая через мозг информация модифицировала его до наблюдаемого состояния, до его знаний, интеллекта взрослого человека.

Ситуация с развитием мозга в ходе его истории, можно сказать, аналогична изменениям компьютера, функционирующего под управлением программного обеспечения. Изначально все компьютеры данной модели идентичны друг другу. Но по мере функционирования каждого компьютера на него устанавливаются всё новые

программы, начиная с самых простых, с драйверов различных устройств, входящих в состав компьютера, и заканчивая различными АСУ, экспертными системами. И компьютер «научается» решать всё новые задачи. Так что очень быстро компьютеры превращаются в уникальные аппаратно-программные комплексы (пока не индивидуумы).

Формализованное представление преобразования информации в САСОИ показывает, что личность человека формируется его собственным индивидуальным опытом, накопленным в НС, мозге. Хотя на физиологическом фундаменте тела и НС, механизмы *доставки информации* в мозг, и её дальнейшей обработки одинаковы для всех людей. Это свидетельствует о том, что для воспитания (образования) в мозге человека интеллекта определяющее влияние имеет воспитание в широком смысле этого слова, от рождения до смерти. Начиная с питания, с отношений со своими сверстниками в самом начале жизни, и даже до рождения, через постоянное взаимодействие со средой, с другими людьми, с системой обучения на разном уровне, через постоянное воздействие на человека средств массовой информации.

Оператор $\{T_j\}$ (мозг) непрерывно модифицируется, самоадаптируется (накапливает опыт) под воздействием проходящих через него сигналов. Понятно, что текущее состояние оператора очень сильно зависит от его исходного состояния, в том числе, от количества входных и выходных элементов, от количества элементов, образующих сам оператор. Этот оператор не просто линейная матрица. Поскольку преобразователь постоянно модифицируется, результат преобразования входных сигналов очень сильно зависит от истории модификаций самого оператора. А представленный на рисунке 24 вид оператора не отображает этого обстоятельства. Этот же оператор можно изобразить в виде более детализированной схемы, как это представлено на рисунке 25.

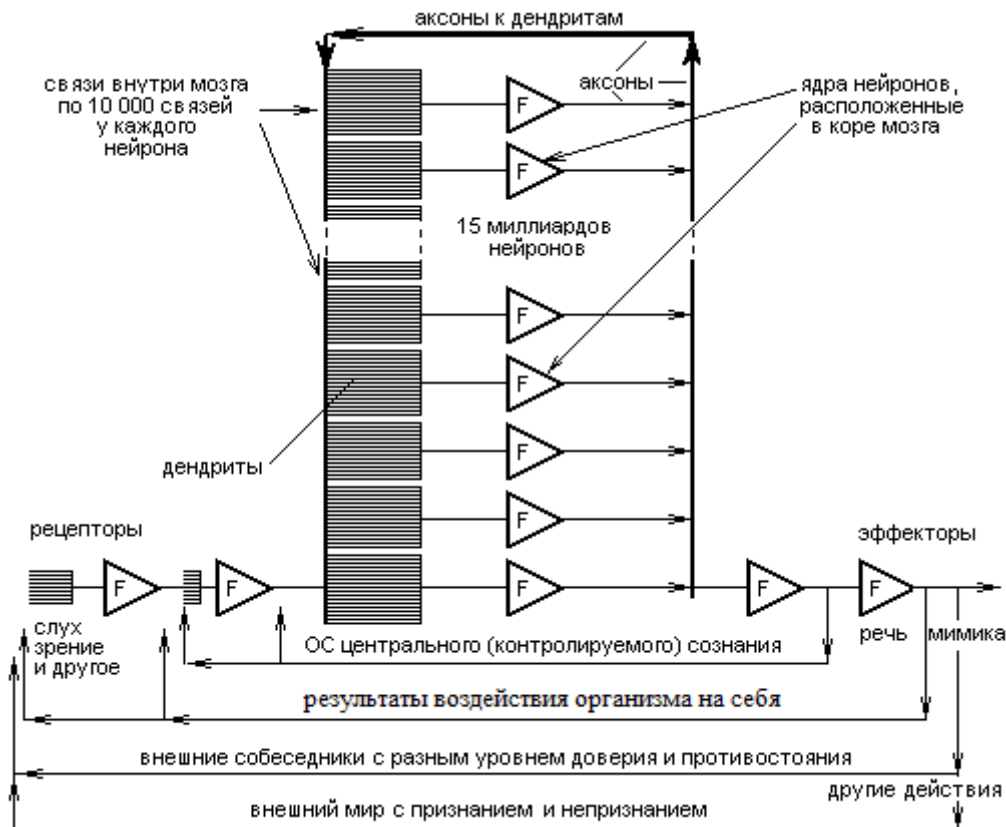


Рисунок 25. Схема электрическая принципиальная мозга – преобразователя информации

На рисунке 25 в явном виде изображены элементы F, представляющие собой нейроны, усиливающие и ретранслирующие дальше поступившие на их входы сигналы. Входные сигналы, возникающие от воздействия среды на рецепторы организма, в конце концов, поступают на эффекторы. Хотя исходные пути сигналов от рецепторов до эффекторов в начале истории видов были короткими (без вставочных нейронов) и, можно сказать, прямыми, постепенно элементов, могущих объединяться и ретранслировать входные сигналы, стало так много, что у человека эти элементы образовали НС, мозг. НС изначально пропускает входные сигналы по каким-то коротким предопределённым исходным путям. Но постепенно исходные пути следования сигналов обрастают проводящими следами прошедших ранее сигналов (в том числе, и в мозге). Эти следы сами модифицируют исходный преобразователь информационных сигналов. Они сами могут проводить сигналы. После образования следов сигналы могут проходить не по исходным цепочкам активных элементов–ретрансляторов, а по оптимальным путям (с наименьшим сопротивлением), что обеспечивается свойствами активного элемента – ретранслятора – нейрона, схема которого приведена на рисунке 11. Следы предыдущих прохождений сигналов являются проводящими связями между нейронами. Эти связи изображены слева. Причём связей так много - без преувеличений, триллионы: до 10 000 тысяч входных связей у каждого из десятков миллиардов нейронов [85], что они изображены в виде массивов, поскольку их невозможно изобразить все по отдельности. Тем более, что количество этих связей в мозге человека увеличивается со средней скоростью порядка 30 000 новых связей в секунду.

Для моделирования информационных процессов в мозге мы можем привести все разнородные процессы, протекающие в мозге, к чисто электрическим. Имеется в виду, что преобразование механических или химических сигналов в электрические в живом организме, как и во всей природе, происходит достаточно однозначно. Так что для моделирования функционирования мозга, с точки зрения логики мы вполне можем выполнить однозначные подстановки, заменяя неэлектрические процессы их электрическими эквивалентами. Иначе, без перехода к одинаковым переменным, просто невозможно описать никакую систему и тем более систему, состоящую из огромного множества разнородных перемежающихся механических, химических и электрических элементов. Почему это необходимо? В организме протекает множество взаимно превращающихся процессов. Скажем, от страха у нас учащается сердцебиение, в кровь впрыскивается адреналин (изменяются силовые характеристики, ускоряется реакция). Или при введении в кровь алкоголя изменяются передаточные характеристики связей между нейронами. Поэтому и следует перейти к описанию всех участков функционирующей системы в одинаковых переменных. Изменение передаточных характеристик под воздействием других подсистем организма следует учитывать параметрически. Понятно, что все задачи за один раз решить нельзя. Поэтому мы и оставляем пока их решение в стороне, указывая лишь на принципы учёта воздействия различных факторов на работу мозга. Отметим ещё раз, что настоящая работа не является попыткой описания физиологических процессов, протекающих в мозге, и их увязывания с всеобъемлющим учётом всех сторон функционирования мозга. И питания мозга, и его защиты от различных вредных факторов, и регенерации различных тканей мозга – и нейронов, и нейроглии и т.д. Она представляет собой попытку осмысления имеющихся экспериментальных сведений о мозге и уяснения основных логических принципов функционирования естественного мозга как естественной системы обработки информации и разработки принципов, достаточных для обеспечения полноценного функционирования мозга, как существующего естественного, так и искусственного (электронного), построенного на этих принципах. При этом в естественном мозге в обеспечении функционирования мозга - в образовании логических связей, в их угасании-старении-забывания, участвуют и глиальные клетки (которых в десятки раз больше, чем нейронов), и эндокринная система (влияющая на скорости запоминания–забывания, на пороги

возбуждения нейронов), и текущий состав крови (с алкоголем/без алкоголя и т.д.). Все эти составляющие функционирования НС мы не учитываем, не рассматриваем, а достаточно условно относим к функционированию активных элементов мозга – нейронов (без учёта других явлений). Что упрощает изображаемую картину, не искажая логики функционирования НС. В различных моделях НС (электронных, компьютерных) действие всех подсистем НС, обеспечивающих логику функционирования, вполне может учитываться параметрически.

12. Мышление. Интеллект

Нейроны, имея лишь локальные механизмы, в принципе не могут определить, откуда поступают сигналы на их входы – у них нет для этого никаких возможностей. Единственное, что они могут – возбудиться при наличии достаточного суммарного потенциала на их входах. Поэтому все нейроны вместе со своими связями действуют везде совершенно одинаково, независимо от того, откуда поступают возбуждающие их сигналы. Все нейроны, возбуждаясь и ретранслируя сигнал дальше, «делают свои прогнозы» следующего направления сигнала. Каждый раз эти прогнозы одноступенчатые. При этом потенциалы возбуждения произвольных нейронов в большой электронной схеме – мозге выступают в качестве возбуждающих факторов для последующих нейронов, порождая следующие одноступенчатые прогнозы. И такие одноступенчатые прогнозы объединяются в длинные, часто соприкасающиеся, пересекающиеся с другими, цепочки многоступенчатых прогнозов. Цепочки перестают быть одномерными, они превращаются в деревья, графы. Прохождение сигналов по таким длинным цепочкам и представляет собой мысли, фрагменты мысли.

Мы уже говорили, что сигналы практически не генерируются в мозге. Сигналы генерируются лишь на входе в мозг под воздействием среды на рецепторы. А структуры мозга только ретранслируют вошедшие в мозг сигналы по тем или иным путям.

При большом количестве элементов в мозге (или в искусственном устройстве обработки информации) «мысль», будучи изначально порождённой каким-то непосредственным раздражителем, проходя по цепочке реакции организма именно на этот раздражитель, с необходимостью соприкасается с другими цепочками и запускает движение сигналов по ним. Так что мысль может бродить по гигантской схеме очень долго (пока не угаснет на очередном звене), образуя при своём прохождении всё новые связи между активными элементами (со скоростью порядка 30 000 новых связей в секунду!). При этом, запуская всё новые цепочки через различные ассоциации, начальный сигнал от занозы может перейти к игле, к металлам, к космолётам, телескопам, к иным галактикам. В качестве инициатора мысли может быть не только сигнал от отдельного рецептора, но и зрительный, акустический, тактильный образ, сформировавшийся в мозге под опосредованным воздействием самых разных раздражителей.

Пути движения сигналов по структурам мозга определяются как конфигурацией входных сигналов, так и структурой существующих связей между активными элементами (нейронами), сложившейся к моменту прохождения, то есть индивидуальным «опытом» данного мозга (или схемы, отображающей его). А также состоянием структур мозга в данный момент. Именно потому, что на движение сигналов существенное влияние оказывает структура индивидуального мозга, 10 свидетелей одного события излагают 10 версий этого события.

Теперь можно задать вопрос: «А может ли мыслить искусственное устройство?»

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, мы должны сначала сказать, что значит «мыслить»? И должны ответить на основе ответа на этот последний вопрос на следующий вопрос: «А может ли мыслить человек?». То есть, надо сформулировать операционно пригодное формализованное определение мышления.

Будем понимать под мышлением информационный процесс в мозге (ретрансляцию в нём сигналов), очень длинные цепочки одноступенчатых прогнозов, в которых инициирующий раздражитель очень трудно (часто невозможно) определить.

То есть, под мышлением мы понимаем не короткие рефлекторные реакции. А когда трудно, практически невозможно обоснованно и достоверно указать на воздействие внешней среды (раздражитель), породившее (инспирировавшее) конечную реакцию мозга. Такая ситуация постоянно возникает в нашем мозге по той причине, что путей следования сигналов в нашем мозге так много, что цепи, проводящие их, многократно пересекаются, объединяются. Поэтому и невозможно достоверно отследить очень длинную цепочку возбуждений активных элементов, по которой прошла наша мысль. И всё это происходит на простейших структурах, которые можно назвать примитивными.

Так что, если информационная наполненность УУ будет достаточно большой (будет иметь место большое количество цепочек, длинных и коротких), то УУ будет мыслить. А наблюдатель, следящий за действиями УУ (имеющий с УУ только один канал связи – по телетайпу), и не заметит разницы между УУ и живым человеком. Вполне возможно, что не только люди, но и другие высшие животные мыслят. Просто мы, как субъекты, слишком разнымся с ними, и не понимаем их действий, намерений. Кроме того, мы слишком антропоцентричны.

В следующем разделе мы изложим наше видение некоторых важных черт психологических явлений, вытекающих из наших представлений о функционировании мозга с его стремлением к минимизации раздражающих воздействий. Это стремление возникает автоматически, поскольку инициирование сигналов, распространяющихся по структурам мозга, происходит лишь при воздействии на НС внешних для неё раздражителей. В структурах мозга сигналы только трансформируются, а не инициируются. Распространение сигналов по структурам мозга происходит со средним коэффициентом размножения, чуть меньшим 1, иначе происходило бы самовозбуждение мозга. Так что сигналы, вошедшие в структуры мозга, достаточно быстро затухают. А мозг, лишённый внешних сигналов, с необходимостью засыпает. Так что нервная система, мозг только осуществляют реакцию на раздражитель. Без каких бы то ни было активных действий при отсутствии раздражителей. Что можно схематически описать так: есть раздражитель – есть реакция; нет раздражителя – нет никакой реакции, движения. Поэтому и происходит минимизация раздражающих факторов – сигналов в мозге. По этой же причине в мозге каждого существа складывается стремление к получению максимальных результатов (максимального воздействия на окружающий мир) при минимальных его усилиях. Это стремление выливается в стремление к овладению окружающим миром в пределах представления данного существа о мире. У одного мир – это место его работы, у второго – семья, у третьего весь город, у четвёртого – страна, материк, вся Земля, или даже вся Вселенная!

Рассмотрим критерии функционирования НС, фундамент мотивов, стремлений. Появление в организмах зачатков нервной системы и её последующее развитие произошло по той причине, что нервная система способствовала выживанию (и последующей экспансии) организмов путём уклонения от опасностей в результате реакции на простые раздражители. Нервная система осуществляет реакцию на раздражения. Есть раздражение - есть реакция. Нет раздражения - нет реакции. Нервная система пребывает в ожидании сигналов раздражения, которые приходят в НС только извне, из окружающей среды через рецепторы.

При отсутствии раздражений НС и вместе с ней организм остаются в состоянии покоя. При этом внутри организма идут какие-то физиологические процессы, внешние по отношению к НС, в результате которых внутри организма (но вне НС!) возникают раздражения (скажем голод или переполнение мочевого пузыря).

В результате складывается такое положение вещей, что НС стремится к минимизации раздражений, как внешних от воздействия среды на организм, так и внутренних для организма, но внешних для НС. Как текущих, так и прогнозируемых в будущем, возникающих вследствие многозвенного прогнозирования, поскольку нейроны возбуждаются, не различая, откуда приходят возбуждающие их сигналы — непосредственно от рецепторов, или в результате прогнозов от других нейронов, находящихся очень далеко от начала пути сигнала. У них просто нет механизма отслеживания источников сигналов, поступающих на их входы–дендриты. В итоге получается, что фактическим критерием функционирования НС является минимизация раздражений. То есть, НС автоматически стремится к минимизации действующих на неё раздражителей, действующих в данный момент и прогнозируемых на будущее. Такое уклонение от раздражителей способствует выживанию и экспансии, как отдельного организма, так и всего вида организмов данного типа. Выполнение критерия уменьшения раздражений обеспечивает адекватную реакцию организма на различные опасности. Иначе организм хуже выживает и наступает депопуляция вида, его исчезновение.

Поэтому в результате многоступенчатого прогнозирования движение сигналов по НС, изначально порождённое, скажем, внутренними для организма первыми признаками голода или какие-то слова (для человека) приводят к стремлению НС, управляющей организмом, заранее обучиться, чтобы в будущем потери организма (раздражения НС) были минимизированы. Можно сказать, что происходит это подобно тому, как в шахматной партии соперники заранее обеспечивают минимизацию будущих потерь, производя развитие фигур, иногда жертвуя их. Это стремление совсем необязательно должно быть осознано. Но оно действует. Поэтому детёныши животных активно играют, получая навыки будущего выживания – будущего добывания пищи и противостояния конкурентам и врагам. Это игровое обучение корректируется, направляется и организовывается более опытными членами сообщества, поскольку и они будут в выигрыше от этого приобретения навыков другими членам сообщества, в том числе, детьми. Возникают различные системы обучения, уровень которых зависит от уровня развития сообщества. Особенно далеко в обучении продвинулись люди со своими школами разного уровня и хранилищами знаний в виде книг, библиотек, архивов, интернета и т.д.

В тесной связи с ответом на вопрос «Как мы думаем?» состоит вопрос «Как мы решаем задачи?». Имеются в виду не только арифметические, а произвольные задачи.

Этот вопрос очень важен. Практически в русле нынешнего развития ИИ этот вопрос до сих пор не получил ясного результативного ответа.

Из нашей концепции вытекает, что подавляющее количество задачи решается по известному образцу – как мозг или НС научилась действовать ранее, в ходе приобретения жизненного опыта. Этот способ наиболее лёгок и результативен.

Реже задачи решаются по аналогии. Суть решения по аналогии во многом совпадает с решением по образцу. То есть, как по образцу, но с небольшими вариациями некоторых параметров или их комбинации. Когда образы аналогов активизируют нейронные цепочки, близкие к пути решения задачи, к активизации окрестностей пути, ведущего от исходных условий к цели. И, тем самым, способствуют нахождению пути к решению.

И очень редко задачи решаются «туннельным» переходом – по внезапно обнаруженной, неизвестной до того (для индивидуума) связи между явлениями. Однако, следует отметить, что такие находения, установления ранее не замеченных связей, зависимостей между явлениями осуществляют лишь люди, которые активно эти взаимозависимости искали. И уже после решения задачи одним выдающимся человеком, по ставшему доступным для всех образцу задачу, сможет решить каждый человек.

Чтобы увеличить вероятность нахождения такой, ранее неизвестной зависимости между явлениями (решения новой задачи), следует изобразить известные или предполагаемые островки – звенья цепи решения такой задачи, чтобы участки НС,

отображающие эти островки, были постоянно активизированы или находились в состоянии, из которого их легко активизировать. И тогда поиск решения новой задачи может стать результативным.

Задачи могут решаться также методом проб и ошибок. Но вариантов, которые можно и нужно проверить, так много, что становится очевидной огромная трудоёмкость, затратность этого метода. Можно перепробовать тысячи вариантов, и ни один из них не будет правильным. В этом случае важно подбирать ближайшие аналоги, и последовательно, системно пробовать находить решение тем же методом проб.

12.1 Интеллект

Об интеллекте люди говорят уже сотни лет, но нет чёткого «технического», конструктивного определения интеллекта, хотя мы и имеем интуитивное понимание сути этого термина. Однако вместе с попытками создания искусственного интеллекта возникла необходимость в чётком формальном определении интеллекта. Такое определение дал Тьюринг [37]. Но и это определение устраивает далеко не всех исследователей. Нам тоже необходимо «техническое» определение интеллекта. Поэтому дадим такое определение.

Можно сказать, что развитие интеллекта имеет две основных составляющих:

1) формируется носитель интеллекта (аппаратная часть). Формирование носителя (образование совокупности нейронов, на которых образуются структуры нервной системы, мозга) особенно интенсивно происходит в самом начале существования (сразу после зарождения), и продолжается всю жизнь с уменьшающейся интенсивностью.

2) как только появляется возможность, так сразу же под влиянием воздействий внешней среды на рецепторы организма (иногда в результате самовозбуждений нейронов, особенно в дородовой период) начинают образовываться следы событий – проводящие связи между нейронами. В этих связях отображается индивидуальный опыт организма. При достаточно мощном носителе и большом объёме опыта, зафиксированного в этом носителе, можно говорить о появлении интеллекта.

Можно сказать, что интеллект образуется в 2 этапа (двухступенчато).

На первом этапе образуется носитель будущего интеллекта в результате саморепликации (самокопирования) единственной исходной (материнской) клетки (с вариациями процесса в зависимости от окрестностей данной само-реплицирующейся, само-дублирующейся клетки). Так формируется множество нейронов (рецепторы, эффекторы + вставочные нейроны).

На втором этапе носитель заполняется следами прошедших сигналов – проводящими ассоциативными связями между нейронами.

Следует отметить, что между этапами нет жёсткой границы.

Первый этап продолжается с разными скоростями всю жизнь организма.

Второй этап начинается, как только образуется минимальная основа (минимальное количество нейронов).

То, что явление образования интеллекта происходит не однонаправленно, не монотонно, не является необычным в природе, даже в неживой. Из-за взаимодействия различных процессов, сил, процессы протекают так везде. Например, колебания происходят из-за взаимодействия сил, влекущих систему к равновесию, и сил инерции (Епотенц + Екинетич).

Интеллект – способность в результате внутреннего многозвенного прогноза определить цель (локальный минимум раздражений) и найти (наметить) пути её достижения. То есть, в результате деятельности интеллекта организм будет действовать не по воле течения событий, а по пути, намеченному на основании опыта, с использованием цепочки процессов для достижения цели. При этом каждый процесс протекает естественным образом, не «ДЛЯ», а «ИЗ-ЗА».

При этом результаты многозвенных прогнозов воспринимаются как приближающиеся раздражители, и намечаются пути уклонения от этих спрогнозированных раздражителей (опасностей). То есть, на основе прогноза намечают далёкие цели (уклонение) и пути их достижения – уклонения от далёких возможных неприятностей, от спрогнозированных раздражений.

Такое состояние преобразователя информации мы называем интеллектом.

Интеллект – способность к выявлению далёких следствий, вытекающих из текущей обстановки, опасностей (неприятностей) и положительных событий на основе многоступенчатого прогноза (мышления), а также способность к определению путей к далёкому успеху и уклонения от опасностей в будущем. Чем длительнее прогнозы, тем выше интеллект.

13 Личность. Невозможность клонирования личности. Свобода воли

13.1 Формирование личности на основе безусловных рефлексов

Личность есть отражение мира, окружающего человека, (или другое существо). Подразумевается отражение с пониманием, осознанием своей отдельности от отражаемого мира. Отсюда и относительная независимость личностей друг от друга.

Даже, казалось бы, чисто физиологическая сторона нашего организма – рост человека – достаточно сильно зависит от условий, в которых существует организм. Так, после второй мировой войны, за годы более сытой жизни рост японцев, увеличился, в среднем, на целых 15 сантиметров [165]!

А что уже говорить о сознании – отражении всей окружающей действительности и давней, и нынешней в структурах нашего мозга? Это отражение подобно фотографии: снимок больше зависит от отображаемого объекта, чем от структуры материала, на котором он фиксируется. Хотя, конечно же, есть зависимость качества отображения и от фиксирующего материала, и от оптической системы, преобразующей, проецирующей, интерпретирующей информацию о мире перед её фиксацией, как на фотопластинке, так и в мозге человека. Если мы воспринимаем мир через призму француза, то мы и говорим по-французски, и лягушачьи лапки любим. Если мы воспринимаем этот же мир через украинскую призму, то говорим по-украински и любим борщ. Но даже среди любителей борща, в зависимости от особенностей своей местной или личной психологической призмы, одни болеют за одну футбольную команду, а другие – за другую.

В связи с тем, что личность начинает развиваться на основе безусловных рефлексов, следует принять утверждение: **«мужчины и женщины — разные существа»**. По той причине, что уже изначально они имеют несколько **различающееся** строение тела и связанные с этими различиями тел несколько различающиеся наборы рецепторов и генерируемых ими ощущений. Потому и отличаются безусловные рефлексы, с которыми появляются на свет мальчики и девочки. На основе их безусловных рефлексов, текущих ощущений и окружающей жизни с её нормами общественной жизни начинают складываться условные рефлексы, реакции на различные события, начинает и продолжает строиться всю жизнь психика мужчины и женщины.

13.2 Невозможность клонирования личности

Мы увидели, что человеческая личность материализована на огромном количестве связей между нейронами. Можно ли каким-либо образом составить таблицу этих 10^{14} связей с целью их копирования? Практически такое количество связей невозможно отсканировать или вычислить каким-либо образом за сколько-нибудь приемлемое время никакими фантастическими техническими средствами. Для статического случая, т.е., для неизменной конфигурации связей с постоянными характеристиками (не меняющимися в течение нескольких лет), задача определения всех связей между элементами мозга и вычисления их весов по откликам выходов на комбинации входных сигналов, в принципе, ещё может быть решена, но с неприемлемо большими затратами времени. Однако для живого мозга, с его динамичными порогами возбуждения для каждого нейрона и быстро изменяющимися по ходу жизни связями и их весами, такое вычисление невозможно в принципе.

В свете сказанного выше совершенно ясно, что нет никакого смысла в клонировании даже самых выдающихся, всем известных людей. Потому что максимальным результатом клонирования человека может быть создание почти идентичного дубля физической оболочки человека, но не дублей и оболочки, и её информационного наполнения. То есть, **полное дублирование (копирование, повторение) личности невозможно**. Поясним наше утверждение.

Во-первых, невозможно идентичное повторение дублируемого организма даже в чисто физиологическом аспекте. Так, однойцевые близнецы, имеющие одну и ту же общую исходную материнскую яйцеклетку и развивающиеся, казалось бы, в одних и тех же, в идентичных условиях, уже сразу при рождении имеют достаточно большие внешние различия – разные отпечатки пальцев, разную сеть кровеносных сосудов. Понятно, что и внутренняя структура их тел, в том числе, и нейронных цепочек, различается уже при рождении. Все эти отличия близнецов обусловлены тем, что условия формирования их тел все-таки слегка различались – с самого начала один находился «слева», а другой – «справа».

Но главное состоит в том, что даже совершенно одинаковая, идентичная физиологическая структура тела – носителя личности – никак не может обеспечить полной идентичности повторяемой и повторяющей личностей. Повторение физиологической оболочки эквивалентно повторению аппаратной части компьютера. Как говорят о компьютерах – у них одинаково лишь «железо». Тогда как личность человека представляется, скорее программным обеспечением, функционирующим, возможно, на захудалом «железе» с его низкими скоростными и объёмными характеристиками. Это конкретное программное обеспечение на разных экземплярах даже аппаратно идентичных компьютеров всегда различается хотя бы в малой степени, начиная от драйверов внешних устройств – аналогов управляющих и проводящих цепей рецепторов и исполнительных механизмов организмов (мышц), и заканчивая прикладными программами самой высокой сложности и надёжности – от разных игрушек до АСУ атомных электростанций.

Причём, даже достаточно легко контролируемое программное наполнение каждого компьютера, в конце концов, становится сугубо индивидуальным. Оно уникально! Обратим внимание на информационный объём человеческого мозга, как носителя личности, и скорость его заполнения через следующие входные каналы.

1÷5. Пять общепринятых чувств: зрение, слух, осязание, обоняние, вкус.

6. Чувство голода.

7. Чувство боли внутри и снаружи.

8. Чувство равновесия.

9. Чувство координации (с закрытыми глазами мы легко дотрагиваемся до носа).

10. Зачатки или рудименты электрических органов, как у рыб.

Вся воспринимаемая нами информация об окружающем мире и о себе поступает в мозг с огромной скоростью, в среднем десятки и сотни килобайт в секунду, как было показано в главе «Информационная ёмкость мозга человека». Эта информация поступает разными путями, которые в полном объёме практически невозможно проконтролировать. Она непрерывно формирует в мозге все новые связи со средней скоростью порядка 30 000 новых связей в секунду, существенно влияющие на дальнейшее формирование новых связей. По существу, сложившаяся к данному моменту структура мозга представляет собой фильтр, через который в него же (в мозг) поступает всё новая информация.

После этих замечаний можно с полной уверенностью сказать, что даже для идентичных физиологических оболочек невозможно создать идентичные внешние условия, которые вместе с идентичностью оболочек смогли бы сформировать сотни тысяч миллиардов связей, идентичных связям в повторяемом человеческом мозге.

Так что повторить в полной мере человеческую личность невозможно. Тем более что некоторая часть связей между нейронами образуется чисто случайно, под влиянием совершенно неконтролируемых факторов, начиная от попадания в мозг ионизирующих излучений и кончая различными неоднородностями, например, создаваемых принимаемой пищей, или под влиянием случайных событий – муха укусила, или вспыхнула сверхновая. Далее это минимальное отличие может мультипликативно разрастаться.

Личность представляет собой совокупность индивидуального опыта, знаний, способностей к анализу и синтезу, системы жизненных ценностей, эмоций и, наконец, рефлексов, как условных, так и безусловных. И повторить её даже в генетически и физиологически идентичной оболочке невозможно.

Другое дело, если мы говорим о воссоздании простейшего, примитивного индивида с какой-то, совсем не абсолютной, точностью. Для этого нужно.

1. С максимальной точностью воссоздать физиологическую оболочку – аналог компьютерного «железа».

2. С максимальной точностью воссоздать все обстоятельства развития повторяемого, дублируемого индивида. Для того чтобы обеспечить образование хотя бы подобных связей между нейронами повторяющей, дублирующей личности, придётся обеспечить идентичность условий, начиная с режима питания и кончая каждым услышанным звуком. Причём условия, события, должны происходить в один и тот же момент (относительно Солнца и Луны и даже планет и сверхновых звезд – вдруг воспитанник станет астрономом!).

Даже для создания, воспитания примитивной дублирующей личности нужны огромные затраты времени и труда. Так что нет особого смысла бояться клонирования личностей – идентичный дубль личности невозможен.

Из приведённых соображений видим также, что воспитанием человека нужно начинать заниматься ещё задолго до его рождения. И нет никакого смысла перекладывать ответственность за ненадлежащее воспитание на гены. Конечно, наследственность на генном уровне тоже сказывается на развитии личности, но не со стороны наклонностей формирующейся личности, а опосредованно, со стороны скорости и легкости восприятия, возбудимости, порога срабатывания нейронов, физического здоровья. Когда на одного человека некий фактор ещё не действует, другой человек уже возбудился, «завёлся». Одному человеку необходимы постоянные внешние раздражители, иначе его одолевает сонливость, вялость, а другому – достаточно малейшего внешнего толчка, чтобы его мысль уже «понеслась вскачь» без остановок до полного изнеможения. На развитие человека влияет даже его питание. Некоторые вещества могут способствовать избыточной «заряженности» нейронов мозга, что будет способствовать активному первоначальному прокладыванию новых связей между нейронами. Это особенно важно на самых ранних стадиях формирования организма и личности.

Кроме того, возможны потенциально большие способности человека к какой-то определённой деятельности, если на данном участке мозга, где достаточно случайно

«поселилась», скажем, математика, нейроны имеют большую разветвленность. Способности можно развивать, постоянно задействуя данную область мозга. Нужная загрузка, активация нейронов вызывает существенное увеличение как количества реализованных и потенциальных связей между нейронами, расположенными именно в этой области мозга, так и количества связей нейронов из данной области с нейронами из других участков мозга. Эта загрузка приведет также к увеличению объёма, к пространственному расширению области мозга, «населенной» математическими понятиями. Увеличение объёма данной зоны подобно смещению зоны зрения у котят с удалённой зоной мозга, обычно ответственной за зрение у кошек. Все это и составит развитие способностей к восприятию внешних обстоятельств и математических соотношений, отражающихся преимущественно в данном участке мозга.

Для развития способностей нужно давать детям максимальную свободу в их познавательной деятельности, и расширять круг их чувственного опыта, начиная с самого рождения, и даже до рождения. Это будет способствовать созданию максимального количества взаимосвязей между различными образами одного и того же явления. Например, звук колокольчика, его яркие цвета, ощущения его тяжести, прикосновения, и каков он на вкус, создают цельный синтетический образ явления в младенческом, наиболее продуктивном возрасте. Кроме того, сопоставляются образы одного объекта, воспринимаемого через разные органы чувств, уточняется само восприятие окружения через разные каналы. В это время нервная система ребёнка наиболее пластична, восприимчива и, можно сказать, гениальна – в возрасте одного года ребёнок уже понимает китайский, русский, или английский язык, хотя начинает с абсолютного нуля, стартуя за несколько месяцев до своего рождения! Такое глубокое проникновение во все особенности жизни и в язык неведомой для младенца цивилизации за такое короткое время недоступно даже подготовленным специалистам.

14.Внимание и сон

14.1 Внимание

ВНИМАНИЕ – ПРЕВАЛИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МЫСЛИ. Во всяком случае, не слишком расплывчатое распространение мысли.

Мозг, как и вся НС, функционирует без централизованного управления. НС, мозг одновременно воспринимают сигналы от всех рецепторов. Сигналы от этих рецепторов порождают множество независимых цепочек следования сигналов через НС, мозг. Не все из этих сигналов достигают эффекторов. Часть из них угасает по пути. Это может происходить по той причине, что эти сигналы и их затухающие порождения не имеют достаточной поддержки от других сигналов, инициированных в других рецепторах.

Некоторые сигналы будут получать поддержку - добавочные потенциалы на входах нейронов, через которые ретранслируются интересующие нас сигналы (касающиеся образов объектов, находящихся в «фокусе» внимания). Добавочные, поддерживающие потенциалы могут происходить как непосредственно от каких-то рецепторов, так и от синтезированных источников сигналов – образов внутри мозга, порождённых некоторыми комбинациями входных сигналов, или какими-то мыслями, долго бродившими по лабиринтам структур мозга. Ретранслированные при этом сигналы сами могут поддерживать активность определённых цепочек нейронов и препятствовать активности других цепочек за счёт активации рядом расположенных. Так что процесс распространения сигналов по мозгу будет поддерживать сам себя, пока какая-то мощная группа сигналов не переключит этот поток сигналов на другие пути. Часто – это сигнал от

мощного раздражителя. Например, яркое событие, сильная боль или холодная вода легко переключают внимание.

Физический процесс, поддерживающий активность одних цепочек, и препятствующий активности других цепочек обычно представляет собой поступление положительных потенциалов от ассоциативных событий. Тогда как активность окрестных цепочек угнетается отрицательными потенциалами с входов возбужденных нейронов. В итоге по мозгу будет распространяться группа сигналов, как бы находящаяся в световом пятне. Вне светового пятна сигналы будут очень быстро угасать без поддержки.

Так же, как и «торможение», сосредоточение внимания или единственность центральной мысли обеспечивается, в основном, отрицательной ОС самого низкого уровня: физического (физиологического) за счет резкого уменьшения потенциала на входе первого же возбужденного нейрона следующего каскада. Это резкое уменьшение потенциала на входе возбужденного нейрона уменьшает потенциал выхода возбуждающего нейрона предыдущего каскада. И потенциал этого выхода уже не в состоянии возбудить другие нейроны, входы которых связаны с выходом возбуждающего нейрона предыдущего каскада. Вход возбужденного нейрона следующего каскада может уменьшать потенциал возбуждающего нейрона предыдущего каскада через низкое сопротивление новой, образующейся при пробое связи, если возникшая разность потенциалов между выходом возбуждающего и входом какого-либо соседствующего возбуждаемого нейрона была достаточна для «пробоя».

Уменьшение потенциала выхода возбуждающего нейрона может происходить и без пробоя, без образования новой связи. В случае наличия свежей связи с малым сопротивлением разность потенциалов может и не доходить до напряжения следующего «пробоя». Уменьшение потенциала выхода возбуждающего нейрона происходит из-за компенсации возбуждающего потенциала отрицательным потенциалом на входе возбужденного нейрона. Поэтому возбуждающий нейрон уже не сможет активировать другие нейроны каскада, в котором он уже возбудил один (первый) нейрон. Так что, несмотря на то, что сигнал с аксона—выхода возбужденного нейрона приходит на множество входов-дендритов разных нейронов, связанных с возбужденным выходом—аксоном, в следующем каскаде, как правило, будет возбужден лишь один нейрон (в пересчете на один возбуждающий нейрон в предыдущем каскаде). Другими словами средний коэффициент размножения сигналов на очередных каскадах Крамножения не больше 1. То есть, мысль не будет размножаться взрывообразно (звездообразно). Не будет распараллеливаться, а будет продвигаться дальше, не нарушая существенно своей единственности.

Хотя в центральных зонах мозга, в среднем, K размножения чуть меньше 1, на различных участках НС (особенно на входе и на выходе) в соответствии с функциональной необходимостью, и благодаря локальным отличиям различных параметров, K размножения может существенно различаться. Так, сигналы от миллионов светочувствительных рецепторов редуцируются в гораздо меньшее количество сигналов визуальных образов при входе в центральные зоны мозга. С другой стороны, сравнительно малое количество сигналов, управляющих группами мышц, превращается в гораздо большее количество сигналов, управляющих отдельными мышечными клетками.

Но, если на каком-то участке мозга находится много других возбужденных нейронов, например, в результате сильного раздражения, то параллельно с первым нейроном может быть возбуждено и несколько других нейронов, почти параллельных с первым. Они будут возбуждены почти одновременно, с небольшим разбросом по времени. А на индикаторе экспериментального электрода, вживленного в мозг подопытного животного, мы увидим серию импульсов! То есть, предлагаемый нами механизм работы мозга позволяет дать ещё одно объяснение возможного механизма формирования серии импульсов при сильном многовходном раздражении. Дополнительно к данному ранее объяснению в главе «Схема электрическая принципиальная мозга» (из-за самоблокировки

входа возбуждённого нейрона), где показана генерация серии в чистом виде при длительном (сильном) одноходовом раздражении.

Единственность центральной мысли, находящейся в центре нашего внимания, поддерживается не только короткими цепочками, но и более длинными обратными связями. Скажем, человек вслед за мыслью (параллельно с нею) шевелит губами, или говорит вслух. Или разговаривает с кем-то. Так что новые входные сигналы – обратная связь от губ, от голосовых связок, слова собеседника через слух, поддерживают **наше внимание – состояние с данной «центральной» мыслью.**

При воспоминании чего бы то ни было данная вспоминаемая связь как бы обновляется. Для этого видны две возможности:

а) прокладывается новая, параллельная связь, возможно, с другими ассоциациями,

б) уменьшается сопротивление уже существующей связи, т.е. увеличивается вес связи и, тем самым, облегчается возможность воспоминания данной связи–события. По крайней мере, в ближайшем будущем.

Скорее всего, всегда прокладывается новая связь, если разность потенциалов выходов и входов соседствующих нейронов превышает ПОС. Такого механизма достаточно, чтобы обеспечивать обновление памяти при воспоминании.

Возникает практический вопрос. Как при разговоре можно изменить тему, которая в данный момент «единственна»? Здесь видны два пути:

— заготовить на предполагаемом пути развития диалога поворот на ответвление, возможно с помощью вопроса,

— резко, возможно, необоснованно, изменить тему разговора ярким доводом.

Есть и грубые физические методы переключения внимания воздействием на рецепторы: громкий звук, яркий свет, неприятный запах, холодная вода и т.д.

Внимание может угаснуть и из-за усталости нейронов в часто активируемых цепочках.

14.2 Сон

Почему все подсистемы организма имеют минимальную активность во время сна?

Запасов питания внутри нейрона (как и других клеток) достаточно лишь для выдачи сравнительно короткой серии импульсов при непрерывном возбуждении нейрона. Запасы, израсходованные при интенсивном функционировании нейрона, восстанавливаются во время отдыха. Наилучшим отдыхом для всех клеток является сон.

Утомление нейрона представляет собой снижение работоспособности. Оно обусловлено уменьшением доступных питательных веществ, находящихся внутри клетки, и соответствующим ростом концентрации побочных продуктов жизнедеятельности клетки за определённое количество циклов возбуждений клетки. Побочные продукты вредны для клетки. Для отдыха – восстановления работоспособности нейронов требуется время; большее, чем время их утомления. За время отдыха нейронов восстанавливается концентрация энергоносителей внутри оболочек клеток, выводятся отходы жизнедеятельности. Если нейроны будут лишены отдыха, они могут погибнуть из-за переутомления – из-за снижения уровня питательных веществ в них и превышения предельной концентрации отходов. Что приведёт и к гибели организма.

Как происходит управление бодрствованием и отдыхом–сном в организме, как происходит их смена? Известно, что мозг, лишённый сигналов от рецепторов, порождаемых раздражителями, впадает в сон, не выдаёт на эффекторы никаких сигналов. Сам мозг не генерирует сигналов (исключая случайные возбуждения нейронов), а только ретранслирует сигналы от рецепторов по тем или иным путям, соответствующим конфигурации сигналов и структуре ассоциативных связей, в которых отображён опыт организма, его память. Если бы сигналы генерировались в мозге, на эффекторы организма

выдавалась бы какофония множества ничем не обусловленных, неадекватных обстановке управляющих сигналов.

Сон наступает в широкой полосе возможностей.

1) При малом количестве раздражений сон может наступить даже при малой усталости НС и всего организма – водитель может заснуть за рулём на монотонной дороге.

2) Большое количество раздражений не позволяет НС заснуть даже при сравнительно большой усталости. Чем больше уровень раздражений, тем до большей усталости организм и НС остаётся в бодрствовании и не погружается в сон.

3) При очень большой усталости (истощении запасов питания в НС) требуется всё больший уровень раздражений, чтобы НС не заснула. Если же не давать возможности НС заснуть (всё время повышая уровень раздражения), НС с управляемым организмом может погибнуть.

В чём состоит феномен сна, почему во время сна количество сигналов в мозге уменьшается практически до нуля? При бодрствовании по мозгу распространяется большое количество сигналов, которые на сравнительно большой площади измерительного электрода взаимно компенсируются, поэтому частота колебаний *потенциала электрода* велика, а амплитуда мала. Во время сна количество сигналов в мозге мало. Поэтому сигнал дельта-ритма сна на электроде имеет меньшую частоту и большую амплитуду.

Быстрее всего расходуют питательные вещества те нейроны, которые возбуждаются чаще других – те, что находятся в достаточно узкой зоне входов сигналов от многочисленных рецепторов в центральные зоны мозга. Например, в мозг с большой скоростью поступают сигналы из десятков миллионов светочувствительных элементов глаз.

Каждый нейрон возбуждается суммой S сигналов X_i , $S = \sum X_i * W_i$, поступающих на его многочисленные входы W_i . Когда наиболее «утомлённые» нейроны перестают возбуждаться и доставлять через связи W_i дополнительный вклад ΔS к входным сигналам, нейроны, проводящие сигналы с периферии во внутренние зоны мозга, делают это со всё большими затруднениями. Так что при исчезновении «поддержки» ΔS от «уставших» нейронов, нейроны перестают проводить в мозг сигналы обычного уровня. Мощные сигналы поначалу они ещё могут проводить. Но по мере «уставания» нейроны перестают проводить даже мощные сигналы – наступает полное истощение нейронов. Нейроны перестают проводить сигналы в мозг, он погружается в сон. Погрузить мозг в сон можно планомерно, не допуская наступления полного истощения входных нейронов, уменьшая уровень раздражений.

Во сне входные нейроны перестают пропускать в мозг сигналы обычного уровня. Но сигналы очень мощных раздражений (громкий звук, яркий свет, холодная вода) возбуждают соответствующие входные нейроны (превышают порог возбуждения), им удаётся пробиться в мозг даже без поддержки со стороны других нейронов. Организм реагирует на сильный раздражитель и просыпается.

При отсутствии мощных раздражителей запасы питательных веществ внутри всех нейронов, не возбуждающихся во время сна, вырастают до нормы, их работоспособность полностью восстанавливается. Нейроны начинают пропускать сигналы обычного уровня – от звуков пения птиц за окном, от света дня, проходящего сквозь закрытые веки...

Прохождение сигналов в мозг из-за усталости входных цепей затрудняется. Редкие проникшие в мозг сигналы постепенно угасают, мозг погружается в сон. По мозгу перестают распространяться сигналы, порождённые внешними обстоятельствами. Они как бы блокируются на входе. По мозгу проходит очень мало сигналов, хотя многие нейроны не истощены (некоторые нейроны не возбуждаются годами, – ни разу их не вспоминали, не активизировали всё это время). Внутренние нейроны мозга во время сна могут возбуждаться лишь редкими флуктуациями, и человек видит сон, можно сказать,

бледную, мало-детальную картину, соответствующую опыту человека. Поэтому шахтеру снится шахта, а музыканту – оркестр. И мы видим сон, похожий на явь, или даже «вещий» сон на подспудно обдумываемую тему.

Кроме отдыха, «заряжения» нейронов, во время сна благодаря низкой активности мозга — малому количеству пропускаемых в мозг сигналов от внешнего мира огромное количество невозбуждаемых в это время нейронов «заряжается» до такой степени, что приближаются к состоянию самовозбуждения и даже иногда самовозбуждаются. И мы видим сон – развитие малодетального сюжета. Кроме того, во время сна кроме сновидений происходит разрастание нейронных структур за счёт образования связей между близко расположенными самовозбудившимися во время сна нейронами. И нейронные структуры в результате сна становятся способными к восприятию и фиксации новых ассоциаций, поскольку во время сна сами носители ассоциаций разрастаются за счёт самовозбуждений отдохнувших нейронов. Присоединяются к существующим структурам даже нейроны, ещё не имеющие связей с другими нейронами и рецепторами – это хорошо видно на примере детского мозга. Поначалу далеко не все нейроны задействованы в рефлексах. Кроме того, в последние годы было выяснено, что нейрогенез продолжается на протяжении всей жизни организма. И появившиеся в результате нейрогенеза нейроны поначалу не имеют никаких связей.

15 Подсознание, интуиция, «внутренний голос», свобода воли, субъективность, общественные отношения.

15.1 Подсознание

В мозге (и в НС) одновременно протекает множество достаточно независимых процессов. Какие-то цепи управляют перевариванием пищи, другие – сердцебиением, дыханием, поддержанием равновесия, ходьбой и т.д. Входящие внешние сигналы возбуждают не только единственную центральную мысль, находящуюся в центре нашего внимания (представляющую внимание, стремящуюся стать единственной в соответствии с принципом «Первый получает всё»), поддерживаемую обратными связями различной глубины. Но и множество одновременных параллельных мыслей, не выходящих на передний план нашего внимания, коротких, быстро затухающих без мощной положительной обратной связи. Но этих быстро затухающих коротких цепочек мыслей бывает достаточно для того, чтобы без отчёта перед единственной центральной мыслью, перед сознанием (перед центральным вниманием), без контроля со стороны центрального сознания, создать в мозге множество связей, которые будут оказывать существенное влияние на последующее протекание мыслей. Проявления этих неконтролируемых (ненаблюдаемых) центральным сознанием связей и называют подсознанием.

15.2 Интуиция

Интуиция представляет собой неформализованное знание. Некий прогноз, суждение делается не в результате логически обоснованных выводов (прослеживаемых цепочек связей), а на основе неформализованного неосознаваемого накопленного опыта подобно тому, как человек с развитым чувством пространства может, находясь в лабиринте, указать направление на вход или на выход, даже ещё не зная пути к ним.

15.3 Внутренний голос

У каждого из нас иногда вставляет своё слово «внутренний голос», который, по моему мнению, представляет собой цепочку мыслей, протекающих одновременно, и почти параллельно с «единственной» центральной мыслью, контролируемой вниманием. Такие цепочки могут проявляться в результате того, что на каком-то этапе случайно нарушается единственность нашей мысли – в очередном каскаде возбуждается не один нейрон, а два. Представляется вероятным, что нарушение единственности происходит достаточно часто. Но, в основном, параллельная мысль без положительной обратной связи от губ, голосовых связок и т.д. быстро затухает. Хотя иногда «внутренний голос» пробивается и на первый план.

15.4 Свобода воли

Если у нас будет протекать некая мысль с возможным разветвлением, то мы пойдём по одной из множества возможных веточек. А потом, если захотим, мы можем и вернуться к этому разветвлению. Но почему из многих вариантов мы выбираем один, именно этот вариант? Говорят, что по своей воле. Но как эта наша воля сформировалась? Почему при разветвлении возбудился именно «правый» нейрон, а не «левый»? При обсуждении этого вопроса в наших терминах становится очевидно, что сумма возбуждающих стимулов у «правого» нейрона была несколько больше. То есть, во-первых, конфигурация сигналов, пришедших к этим нейронам, была такой, что наибольшие шансы при существующей конфигурации связей были именно у этих двух нейронов. Во-вторых, благодаря тому, что веса входных связей у «правого» нейрона были несколько выше, суммарный потенциал на его входе достиг порога возбуждения несколько раньше, чем у «левого». Поэтому «правый» нейрон возбудился несколько раньше «левого» и, тем самым помешал возбудиться «левому», выдав при возбуждении на свой вход сигнал обратного знака, частично компенсировавший возбуждающие сигналы. Если же мысль вернулась к точке ветвления, то, опять же, очевидно, что нас к этому побудили обстоятельства, преобразованные во входные сигналы, плюс уже сложившаяся к этому времени структура нашего мозга. И то, и другое мы не в состоянии проконтролировать с бесконечной точностью, подобно тому, как невозможно бесконечно точно одновременно измерить координату и импульс квантовой частицы. Их можно измерить только с точностью до кванта действия \hbar . Точно так же и состояние **самопознающего** (исследующегося) мозга можно определить в лучшем случае лишь с точностью до одной связи. Да и то, только в принципе, а не практически. Так что мы видим, что наша якобы ничем не обусловленная «свобода воли» на самом деле представляет собой лишь конкретную реализацию случая, выражающуюся, в том числе, и в структуре нашего мозга, складывавшейся всю предыдущую жизнь, которую мы не в состоянии проследить до всех, самых отдаленных истоков этого случая. И, не видя всех, в том числе и малозначительных, составляющих мысли, мы начинаем говорить о необусловленности этой мысли, о свободе нашей воли. Хотя, на самом деле, наша мысль, наша «воля» формируется огромным, необозримым количеством факторов. Их, этих независимых факторов очень много: $1.5 \cdot 10^{14}$ связей между нейронами, все возможные конфигурации входных сигналов, все возможные пути к текущему состоянию мозга, веса всех связей между нейронами, состояние порогов чувствительности всех нейронов, как функция от предыдущих состояний и случайных внешних факторов. Понятно, что учесть все это не только практически, но даже и принципиально мы не в состоянии. А из-за принципиальной невозможности учёта всех случайных факторов и связей в собственном

или в чьем-то мозге мы в принципе не можем абсолютно точно предвычислить движение собственной или чьей-то мысли.

То, что произвольность, необусловленность нашей мысли внешними факторами, является только кажущейся, может быть проиллюстрировано следующим примером. Граждане США и России без всякого видимого влияния извне, в полном соответствии со своей, якобы совершенно свободной волей совершенно по-разному относятся к одному и тому же событию или факту. Например, к продаже Россией Аляски или к бомбежке самолётами США Югославии, или к выбору любимого литературного героя. В рассматриваемом примере очевидно, что отношение к различным событиям различных субъектов (граждан России и США) обусловлено воспитанием в широком смысле этого слова, с учётом традиций, материального благополучия и т.д. Очевидно, что структуры в мозге субъектов формируются, в том числе, и даже в первую очередь, информацией, предоставляемой субъектам через разные СМИ. А о свободе воли говорят лишь тогда, когда речь идёт о каких-то не очень контролируемых взглядах субъектов и воздействии на них неконтролируемых (невозможных для отслеживания) внешних обстоятельств.

Так что свобода воли, на самом деле, есть сугубо индивидуальный опыт личности плюс случайные факторы вместе с принципиальной невозможностью отслеживания всех без исключения факторов, формирующих нашу мысль. Поэтому и не может быть спрогнозирована реакция человека с бесконечной точностью. А возникающую из-за этого неопределённость и называют свободой воли.

15.5 Субъективность

Развитому индивидууму – личности - присуще осознание своих субъективных отношений с объективным окружающим миром, независимым от чьей бы то ни было воли. А субъективность личности представляет собой **уникальное** отображение объективного окружающего мира в некоем мыслящем объекте (существе), в значительной степени зависящее от уникальных процессов и структур **именно этого** отображающего объекта. К таким субъектам – индивидуально, уникально отображающим объектам, отнесем объекты с индивидуальным опытом, образовавшиеся самопроизвольно без поставленной кем-то цели. Будь это естественное существо с естественным мозгом, созданное самой природой или существо с искусственным мозгом, созданное человеком целенаправленно и соответствующим образом воспитанное.

Обычно, в повседневной жизни, словом «субъект» обозначают личность с негативными чертами. В данном же случае под словом субъект мы понимаем активную личность, обладающую какими-то правами (возможностями), и стремящуюся этими правами пользоваться.

15.6 Ценность отношений с влиятельными людьми

Используя отношения с влиятельными людьми сейчас, или потенциально, в будущем, можно рассчитывать на большую результативность своих действий при меньших затратах. Эти отношения ценны сами по себе (имеется в виду непосредственное использование этих отношений). Но чаще всего эти отношения используются не прямо, а просто афишируются с целью их опосредованного использования как неявного объявления в среде своего обитания о своей значительности. То есть, отношения с влиятельными людьми неявно обеспечивают возможности индивида за счёт повышения его общественного статуса (как будто эти отношения увеличивают возможности индивида). Сказанное может касаться не только отношений с влиятельными

государственными, политическими, финансовыми, силовыми или спортивными лицами. К числу влиятельных лиц можно отнести различных публичных людей, скажем, людей искусства, поскольку они могут способствовать усилению позиций индивида, повышению его места на иерархической лестнице – кто кому подчиняется, кто выше на соседних лестницах. Явному или неявному повышению статуса индивида может способствовать отношение с вожаком (можно просто находиться около него, хоть на молодёжной тусовке, хоть в обезьяньей стае). Этому же может способствовать даже отношение с красивыми мужчинами или женщинами по следующей схеме: если он обладает какой-то красавицей или влияет на неё, значит он несколько выше тех, которые не могут на неё влиять.

16. Инстинкты

16.1 Сложность инстинктов

Распространено мнение, что инстинкты являются врождёнными (и даже генетически предопределёнными) комплексами поведения подобно безусловным рефлексам. На самом деле такого не может быть, потому что для реализации инстинктов требуется огромное количество информации, которое не могло быть передано через механизмы, подобные механизмам образования сравнительно малочисленных безусловных рефлексов. Инстинкты представляют собой большие, сложные поведенческие комплексы, представляющие собой множество взаимосвязанных условных рефлексов, надстроённых в результате наслоения достаточно большого количества информации над сравнительно небольшим количеством безусловных, рефлексов, имевшихся ещё до рождения. То есть, инстинкты являются не врождёнными, а сложными комплексами поведения, полученными организмами в результате их жизненного опыта. Эти комплексы обеспечивают автоматическую реакцию организма в соответствующих обстоятельствах. Автоматическую в том смысле, что реакция уже определена предыдущим опытом, так что мозгу не надо решать задачу генерации линии поведения организма. Она формируется автоматически – мыслящим организмам не надо задумываться. Покажем это на примере наиболее известных инстинктов, хотя инстинктов можно насчитать великое множество. Но мы поговорим о наиболее важных инстинктах, известных всем.

16.2 Самосохранение

Казалось бы, уж этот-то инстинкт совершенно точно является генетически предопределённым. Но, как мы уже говорили, в исходной яйцеклетке нет места для описания поведения организма в различных ситуациях сверх информации о правилах самокопирования клетки. Благодаря самовозбуждениям нейронов в нервных тканях в ранний период развития организма образуются генетически предопределённые через топографическое расположение ещё не связанных между собой нейронов безусловные рефлексы, обеспечивающие реакцию организма лишь на простейшие раздражители. А уже на основе безусловных рефлексов, в ходе жизни образуются более сложные, динамически изменяющиеся условные рефлексы. Но для образования сложных рефлексов-знаний, обеспечивающих самосохранение, организму уже необходим жизненный опыт. Именно из-за отсутствия опыта падения даже с дивана малые дети по недосмотру воспитателей выпадают из окон многоэтажных домов. Они просто ещё не знают, что выглядывание из окна чревато падением. У них ещё не сложился в полной мере инстинкт самосохранения — недостаточно опыта. По этой же причине отсутствия опыта дети могут сунуть руку,

ногу в опасные места, лизнуть железные полозья саней на морозе и т.д. С другой стороны, разумные животные (волки, лисицы) для сохранения своей жизни могут перегрызть собственную лапу, попавшую в капкан. Так велит им их жизненный опыт.

16.3 Материнство

Очень часто говорят об инстинкте материнства. Он тоже складывается на основе опыта. В подтверждение этих слов можно привести следующие жестокие примеры: в последние годы участились случаи, когда в зоопарках хищные матери (тигрицы, медведицы) поедали своих только что родившихся детёнышей. Причём происходило это с теми животными, которые были рождены в неволе, и по каким-то причинам их выкармливали не их родительницы, а работники зоопарков. Поэтому в своём детстве хищницы не получили опыта материнства, направленного на них. И потому просто не знали, что нужно делать со своим потомством. Так что детей необходимо обучать, в первую очередь, своим примером, не только арифметике или охоте на косулю, но и материнству. Ну, а в зоопарках у хищниц, не обученных материнству, стали сразу же забирать только что родившееся потомство.

16.4 Продолжение рода

Этот инстинкт не менее сложен, чем инстинкт материнства, поскольку включает в себя инстинкт материнства как составную часть. А начинается этот инстинкт, в том числе, с тяги к размножению, в основе которой лежит раздражитель — физиологический дискомфорт (болезненное состояние при длительном отсутствии семяизвержения у самцов и соответствующее проявление у самок). Дискомфорт периодически обостряется в соответствии с ритмами жизни популяции организмов, в зависимости от сезонов времени года или от высоты приливов для прибрежных морских животных. Эволюционно сложившийся путь устранения этого дискомфорта изначально состоит в попытках избавления от раздражителя до тех пор, пока организм не найдёт путь избавления от дискомфорта через случайно нащупанный процесс копуляции (спаривания) разнополых особей. Высокоразвитые животные из-за сложности их жизненного пути перенимают опыт уклонения от дискомфорта через акт копуляции от других членов сообщества. При этом между членами сообщества возникает конкуренция различного уровня за право обладания ресурсом уклонения от дискомфорта. На низшем уровне конкурирующие особи просто отталкивают друг друга от средства ухода от дискомфорта. Но по мере развития физиологии, возможностей, «разумности» животных эта конкуренция превращается в бой с помощью рогов и зубов. А потом и с палками, шпагами, пистолетами, цветами и куплетами, деньгами, автомобилями и другими моральными и материальными благами. Этот акт обрастает различными условными рефлексам, красивыми и убедительными ритуалами ухаживаний, подтверждающими готовность животных к совместному выкармливанию и защите потомства. Более того, из-за важности тяги к размножению (если не будет тяги к размножению, то не будет и продолжения жизни этих индивидуумов в виде потомства) эта сторона жизни всячески приукрашивается, романтизируется, совершаются подвиги и пишутся романы. Из-за неё происходят различные драмы и даже трагедии. Ей посвящаются, так или иначе, все произведения человеческих искусств. Да и вся жизнь вращается вокруг этой тяги.

Но в физиологическом основании инстинкта размножения лежит всё же ощущение дискомфорта, которое и позволяет размножаться низшим животным. По мере усложнения жизни животных, их перехода к общественной жизни, можно сказать, что большее

значение приобретает обучение через наблюдаемую практику, поведение других членов сообщества. В подтверждение можно привести такой факт из жизни зоопарков. Во многих зоопарках в настоящее время живут животные, выросшие вне природного сообщества своих биологических сородичей, поэтому у них отсутствует большое количество знаний, необходимых даже для продолжения существования своей популяции. Мы уже приводили пример отсутствия инстинкта материнства у хищников, выросших в отрыве от своих биологических матерей. То же самое касается и инстинкта продолжения рода. Так, в одном из зоопарков образовалась пара гигантских панд, выкормленных работниками зоопарка. Панды были дружны и как будто не против продолжения рода. Но они просто не знали, как это делается! Тогда работники зоопарка начали показывать паре видео секса другой пары панд, живущих в дикой природе. Такое обучение имело успех, и через положенное время у неопытной пары панд появилось потомство [18].

17. Внутренние критерии правильности распознавания

Этот раздел написан по материалам доклада [166].

17.1 Критерии функционирования НС. Фундамент МОТИВОВ

Появление в организмах зачатков нервной системы и её последующее развитие произошло потому, что нервная система способствовала выживанию (и последующей экспансии) путём уклонения от опасностей в результате реакции на простые раздражители. То есть, нервная система осуществляет реакцию организма на раздражения. Есть раздражение — есть реакция. Нет раздражения — нет реакции. Нервная система пребывает в ожидании сигналов раздражения, которые приходят в НС только извне, из окружающей среды через рецепторы. При отсутствии раздражений НС и вместе с ней организм остаются в состоянии покоя. При этом внутри организма идут какие-то физиологические процессы, внешние по отношению к НС, в результате которых внутри организма (но вне НС!) возникают раздражения (скажем голод или переполнение мочевого пузыря). В результате складывается такое положение вещей, что НС стремится к минимизации раздражений, как внешних, от воздействия среды на организм, так и внутренних, из организма, но внешних для НС. Как текущих, так и прогнозируемых в будущем, возникающих не из-за конкретных внешних раздражителей, а вследствие многозвенного прогнозирования, поскольку нейроны возбуждаются, не различая, откуда приходят возбуждающие их сигналы — непосредственно от рецепторов, или от других нейронов, находящихся очень далеко от начала пути сигнала. У них просто нет механизма отслеживания источников сигналов, поступающих на их входы-дендриты. В итоге получается, что критерием функционирования НС является минимизация раздражений.

С другой стороны, минимизация сигналов раздражения сейчас и в будущем идёт по пути увеличения результативности усилий индивида в условиях ограничений, накладываемых на возможное поведение сложившимися рефлексам, как безусловными, так и условными. У членов сообществ эти ограничения складываются в систему ценностей, которой и руководствуются члены сообщества. У разных членов сообщества системы ценностей (ограничений) достаточно индивидуальны (хотя эти системы взаимно корректируются при взаимодействии индивидуумов). Увеличение результативности действий идёт как по пути координации действий всего сообщества с завоеванием индивидуумом места в иерархической системе осуществления совместных действий (с отношениями взаимодействия и соподчинения), так и по пути создания различных

технических устройств, способных усилить действия организма (рычаги, лопаты, подъёмные механизмы, лодки, корабли, трактора, шагающие экскаваторы). И в сообществах складываются (и создаются целенаправленно) условия, которые позволяют члену сообщества обеспечить своё благополучие не материальными действиями, а управляя другими членами сообщества, находясь при этом на разных ступенях системы управления: от вождя на вершине пирамиды до его помощников и посыльных, расположенных на самых низких уровнях. Складываются сложные иерархические системы, в которых члены сообщества стараются получить для себя более выгодное место, позволяющее получать максимальные результаты при минимальных затратах. И мы получаем современное человеческое сообщество с его достоинствами и недостатками, достижениями и противоречиями.

Всё, о чём мы только что говорили, лежит в неконтролируемой основе нервной системы. В том числе, и НС человека. Независимо от того, хочет он этого или нет. И эта основа, изменённая, скорректированная системой ценностей, надстроенной над основой и представлениями о путях достижения той или иной конкретной цели данного индивида, определяет поведение человека на всём широком спектре отношений между людьми. Будь это стяжательское накопление богатств с обманом и мародёрством. Сравнительно честное создание богатств не в ущерб другим людям и совместно с ними. Или высокое служение другим людям, близким и далёким, в соответствии со своей, сложившейся в самом человеке системе ценностей, и его представлениями о допустимости поведения по отношению к другим членам сообщества. Человек стремится к расширению своей власти над окружающей обстановкой в соответствии со своей системой ценностей — это обеспечивает максимум результатов при минимуме затрат, при минимуме раздражений его индивидуальной НС. Стремится, грубо говоря, к тому, чтобы шевельнул мизинцем, и все желания исполнились с учётом ограничений, налагаемых системой ценностей. Примерно в этой же области лежит стремление неразвитых, примитивных личностей (часто подростков) к повышению статуса в своей среде обитания разрушительными действиями и насилием – своими малыми усилиями существенно изменил среду – разбил окно, повалил забор. Тем более, что этим нарушаются общепринятые критерии.

Если для естественных существ критерии функционирования НС (мозга) сложились в ходе эволюции естественным образом, сами по себе, то для создания технических самообучающихся устройств, функционирующих подобно биологическому мозгу, необходимо задаться неким критерием, оптимизация которого должна достигаться в результате функционирования этого устройства. Этот критерий, как и для естественных существ, складывается автоматически - устройство должно уклоняться от раздражений. И от прямых, от истоков раздражений-рецепторов, и от синтезированных в мозге, спрогнозированных уже сложившимися структурами на основе каких-то исходных раздражений. Критерий минимизации раздражений складывается автоматически, исходя из принципа функционирования в режиме реакции: есть раздражители – есть реакция; нет раздражителей – нет реакции.

17.2 Критерии окончания распознавания в биологическом мозге

В настоящее время в технике достаточно успешно решаются задачи распознавания – установления соответствия (подобия) наблюдаемого объекта одному из образов, хранящемуся в памяти распознающей системы. Эти задачи решаются, в основном, на быстродействующих универсальных или специализированных компьютерах путём достаточно сложных расчётов по заранее определённым алгоритмам, а также с использованием искусственных предварительно обученных нейросетей.

Несмотря на то, что производительность элементов современных технических средств на несколько порядков выше производительности элементов биологических средств обработки информации (нейронов), биологические системы распознавания (мозг человека, животных) производят распознавание быстрее и надёжнее технических средств. Для животных это хорошо видно по точности их движений – и охотников, и добычи. При этом биологические системы намного быстрее научаются распознавать новые типы объектов. Это свидетельствует о том, что методы распознавания, реализующиеся в природе, причём **самопроизвольно складывающиеся в мозге каждого индивида** в начальный период его жизни, более эффективны, чем изобретённые к настоящему времени методы, используемые в технических средствах.

Совокупные процессы, происходящие в биологическом мозге, чрезвычайно сложны. С другой стороны, составляющие этих процессов предельно просты. В простоте природных процессов мы убеждаемся каждый раз, когда нам удаётся выделить базисные процессы, совместно составляющие рассматриваемый процесс.

При функционировании мозга по нему проходят электрические сигналы, которые можно наблюдать с помощью осциллографа (или других приборов). Или, наоборот, можно подавать электрический потенциал на какой-то участок мозга и наблюдать при этом реакцию мозга и организма на действие поданного электрического сигнала.

Кроме сравнительно легко наблюдаемых электрических потенциалов, процессы в мозге синтезируют множество различных веществ (гормонов и др.), а также испытывают воздействие веществ, синтезируемых в других участках организма. Влияние этих веществ на функционирование мозга очень трудно однозначно определить (из-за трудностей доступа, выделения, измерения). И в условиях влияния множества трудно разделяемых и измеримых параметров очень сложно в каждом отдельном случае однозначно определить функциональную зависимость путей и характеристик прохождения сигналов по структурам мозга от упомянутых факторов.

Определение функциональной зависимости путей следования сигналов по структурам мозга маскируется и различными побочными эффектами, сопутствующими полезным процессам в мозге, но не несущими полезной функциональной нагрузки.

Поэтому при рассмотрении механизмов функционирования структур мозга не обойтись без гипотез. Гипотезы могут быть обоснованы и достаточно хорошо, и не очень (хотя и соответствуя при этом природе процессов мышления).

В случае недостаточной обоснованности гипотез необходимо особо тщательно сверять следствия, вытекающие из этих гипотез, с реально измеренными результатами. Такой путь вполне возможен и успешно используется в науке. Например, при построении квантовой механики принимают без доказательств постулаты (гипотезы), на их основе логическим путём получают теоретические результаты и сравнивают результаты с практически измеряемыми параметрами наблюдаемых объектов.

На наш взгляд, наиболее сложная функция, выполняемая мозгом, представляет собой непрерывное распознавание ситуации, в которой в данное время находится организм, управляемый мозгом. А уже на основе знания позиции организма в окружающей среде, получаемого в результате распознавания, мозг, используя накопленный опыт, достаточно легко находит оптимальную линию поведения, соответствующую распознанной ситуации.

С целью продвижения в понимании процессов распознавания в естественных системах в данной работе предлагаются две гипотезы, относящиеся к процессам распознавания в самоорганизующихся биологических системах.

Первая гипотеза касается механизма формирования выводов по решению текущих задач распознавания и достаточно хорошо обоснована в [1]. Гипотеза раскрывает механизм фиксации событий в памяти в виде следов и использования зафиксированных следов событий впоследствии для выполнения простейших прогнозов развития событий и уклонения от раздражителей, спрогнозированных на основе следов. Согласно этой

гипотезе появления на многочисленных (ассоциативных) входах нейрона конфигурации сигналов (потенциалов), превышающей порог возбуждения данного нейрона, приводит к возбуждению нейрона. Возбуждение нейрона заключается в выдаче мощного сигнала (через малое выходное сопротивление) на выход нейрона, и мощного сигнала (потенциала) противоположного знака на собственные входы возбуждённого нейрона. Сигнал с выхода возбуждённого нейрона распространяется дальше. А появление потенциала противоположного знака на входе возбуждённого нейрона обеспечивает возможность фиксации следов событий – образования новых входных связей возбуждённого нейрона с выходом одного из возбуждённых окрестных нейронов (за счёт достаточной разности потенциалов).

Благодаря наличию механизма фиксации следов событий, воздействующих на рецепторы организма – входы сигналов внешней среды (раздражителей) в мозг и совмещённого с фиксацией воздействия следов прошлых событий (опыта организма) мозг формирует реакцию организма на воздействие среды, опираясь на ассоциации со своим предыдущим опытом, зафиксированном в следах предыдущих событий.

Этот механизм очень прост, что и обеспечивает самопроизвольное образование следов событий - связей между нейронами и их последующее влияние на формирование путей следования сигналов. Функционирование этого механизма достаточно подробно изложено в [1].

Кроме обеспечения образования следов текущих событий, потенциал обратного знака на общем входе возбуждённого нейрона частично нейтрализует возбуждающие потенциалы на множестве отдельных входов этого нейрона. Эта нейтрализация препятствует возбуждению других нейронов, на входы которых поступают сигналы, возбудившие рассматриваемый возбудившийся нейрон. Так что другие нейроны, не успевшие возбудиться, по большей части уже и не смогут возбудиться в данном эпизоде, поскольку **«первый получил всё»**. Первым же возбуждается нейрон, конфигурация входных связей (и веса связей) которого наилучшим образом соответствует конфигурации сигналов на его входах. То есть, на каждом этапе обработки сигналов дальше они продвигаются по путям, которые больше всего соответствуют локальной ситуации на каждом отдельном участке на входах соответствующих нейронов.

Потенциалы на суммарных входах других нейронов нарастают несколько медленнее, чем на входе первого возбудившегося нейрона, и часто уже не смогут превысить порог возбуждения нейрона (из-за уменьшения возбуждающих входных сигналов в результате компенсации при возбуждении первого же нейрона). Так что после возбуждения первого нейрона другие нейроны с участием тех же сигналов на их входах уже не смогут возбудиться.

Такое положение дел с «распознаванием» локальной ситуации на входах различных нейронов может быть проиллюстрировано рисунком 26.

На следующие этапы обработки сигналов будут продвигаться всё более обобщающие сигналы от нейронов, на суммирующие входы которых поступят сигналы достаточного уровня – в сумме выше порога возбуждения нейрона в зависимости от его состояния и от уровня возбуждающих сигналов (или сигналы мощные, или их много).

Причём формирование сигналов происходит асинхронно, и нет жёсткого разделения нейронов по удалённости от первоисточников сигналов, по положению в иерархии.

В результате рассмотрения влияния сигналов на возбуждение нейронов в последующих каскадах видим, что наибольшее влияние на процесс и результаты распознавания оказывают наиболее сильные раздражители.

Таким образом, первая приводимая гипотеза раскрывает механизм фиксации следов событий и влияние этих следов на пути следования сигналов впоследствии путём автоматического сравнения соответствия конфигураций входов нейронов и конфигураций поступающих сигналов за счёт сравнения скоростей нарастания потенциалов на суммирующих (общих) входах нейронов.

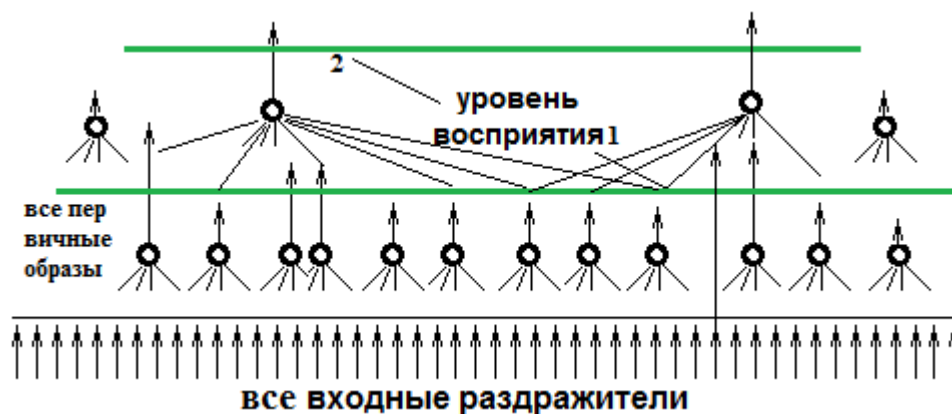


Рисунок 26. Ретрансляция сигналов на следующие этапы распознавания

Вторая гипотеза касается внутренних критериев успешности распознавания.

У реальных биологических систем распознавания нет внешней, стоящей над ними, вне их собственного опыта, системы распознавания, нет внешнего механизма определения успешности, правильности распознавания, непрерывно производимого мозгом в непрерывно изменяющемся окружении организма. Тогда как в технических системах распознавания оценка эффективности распознавания и соответствующая корректировка реакции производится внешним супервизором, которому техническая система распознавания подконтрольна.

Рассмотрим в общих чертах прохождение сигналов через мозг биологического существа от рецепторов (воспринимающих сигналы воздействия окружающей среды на организм) к манипуляторам (осуществляющим реакцию организма на распознанную ситуацию). Воздействие на организм внешнего мира порождает в рецепторах этого организма сигналы, которые поступают в мозг, управляющий организмом.

Эти сигналы, порождаемые воздействием среды, относительно независимы друг от друга, асинхронны, поступают непрерывно и не могут быть буферизованы (задержаны на время) на входе в мозг. То есть, входные сигналы непрерывно обрабатываются на множестве участков мозга. В результате непрерывного локального «микрораспознавания» ситуаций на входах множества нейронов формируются миллионы выводов первого уровня. Например, в изображении выделяются точки, линии, перепады яркостей.

Эти результаты формируются по принципу: «первый возбужденный (в данном месте) нейрон получает всё» (от возбужденных его нейронов предыдущего уровня), препятствуя при своём возбуждении возбуждению других окружающих нейронов.

Поскольку быстрее всего вырастают потенциалы на входах нейронов, входные связи которых оптимально соответствуют конфигурации поступивших на их входы сигналов, то получается, что первыми возбуждаются нейроны, максимально соответствующие сигналам, пришедшим на данный участок. Нейроны, возбужденные первыми, препятствуют возбуждению других нейронов.

Так что на первом уровне получаем множество пирамидальных информационных структур, отображающее результаты первичного распознавания (обобщения) поступающих сигналов с некоторым пространственно-временным разрешением.

На следующем уровне распознавания в качестве первичных сигналов выступают «выводы» первого уровня. А на множестве выходов второго уровня формируется ещё более обобщённое, чем на выходах первого уровня, отображение сигналов, воздействующих на мозг. Причём, можно сказать, что, с точки зрения обработки поступающей информации, второй уровень, так же, как и первый, представляет собой пирамидальные структуры. И так далее. Это схематически изображено на рисунке 27.

То есть, на каждом последующем этапе распознавания происходит обобщение сигналов с предыдущего уровня, в результате которого непрерывно формируется множество всё более обобщающих выводов.

Отметим, что функционирование нейронов на всех уровнях совершенно одинаково, и нет жёсткого разделения уровней, из которых нейроны получают входные сигналы.

Причём нет гарантий соответствия вывода, сформированного на выходе структуры существующему положению дел. Каждый вывод локален, и соответствует уровням сигналов, поступивших с предыдущих уровней и входам распознающего элемента. То есть, каждый вывод может быть лишь похожим на истинный, но не быть таковым. Больше всего это замечание относится к более высоким уровням обобщения.

Такой механизм получения выводов на всех уровнях обеспечивает очень быструю обработку потока входных сигналов, и, соответственно, сравнительно малое время адекватной реакции организма на события внешнего мира, воздействующие на него.

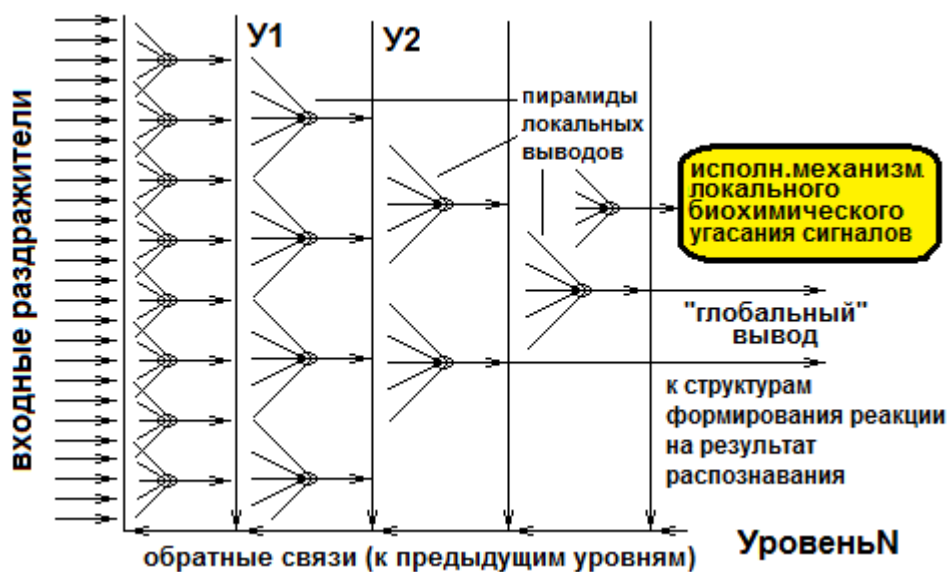


Рисунок 27. Асинхронное формирование текущих выводов в системе параллельной обработки информации и химическое регулирование порогов возбуждения

Иногда сигналы–выводы попадают на нейроны, осуществляющие механическую или химическую реакцию, манипуляцию (обычно вне мозга) и возбуждают их, что и обеспечивает полезность мозга для существования организма, управляемого этим мозгом. При этом сигналы выбывают из дальнейшего циркулирования в мозге.

Часто сигналы через обратные связи возвращаются на предыдущие уровни. Так осуществляется удержание внимания на каких-то деталях входной информации.

Но чаще всего сигналы продвигаются вперёд, представляя при этом фрагменты мысли и распознанного образа.

Кроме того, часть сигналов с последующих уровней могут попадать на предыдущие, осуществляя обратные связи. За счёт обратных связей активируются участки нейронных структур, соответствующие аспектам различных образов, обладающих распознанными к данному моменту признаками, которые могут соответствовать самым разным объектам.

Из-за наличия обратных связей пути движения сигналов будут частично закольцованы. Так что в результате частичного распознавания на каких-то закольцованных участках сигналы могут пробегать много раз, реализуя механизм локального внимания, рассмотренного выше. Одновременно результаты воздействия предыдущих сигналов будут передаваться и на следующие уровни (далее).

Если при этом будет возбуждаться достаточное количество участков структуры, соответствующих аспектам возможных объектов (по обратной связи от уже распознанных

признаков) и распознаваемого объекта, количество одновременно возбуждённых нейронов в окрестностях структур, соответствующих распознанным объектам, будет стремительно нарастать. Что приводит к перевозбуждению данного участка структур, которое продолжалось бы неопределённо долго, до тех пор, пока не истощились бы запасы питательных веществ у нейронов на данном участке. Другими словами, коэффициент размножения сигналов на рассматриваемом участке существенно превысил бы единицу – наблюдалось бы самовозбуждение окрестностей. Вероятно, так и происходит на коротком временном отрезке. Возбуждённое состояние нейронных структур на данном участке препятствовало бы восприятию других текущих актуальных сигналов от внешнего мира, что отрицательно сказывалось бы на жизнеспособности организма с неконтролируемым нарастанием количества возбуждённых нейронов и игнорированием актуальных входных сигналов из-за возбуждения нейронов продолжающимся циркулированием уже подействовавших сигналов.

Такое нарастание количества возбуждённых нейронов на данном участке препятствовало бы восприятию всех действующих сигналов от раздражителей и уменьшало бы жизнеспособность организма. Но это нарастание могло бы быть заблокировано неким «силовым» способом. Например, химическим путём, не доводя участок мозга до истощения, что способствовало бы выживанию и экспансии организмов именно с такой блокировкой (в результате постоянных мутаций при появлении новых поколений). Блокирование могло бы осуществляться некоторой микрожелезой, повышающей химическим способом порог возбуждения нейронов в своих окрестностях и активируемой при большом количестве возбуждённых нейронов в её окрестностях. Такие организмы с блокировкой дальнейшего распознавания при достаточном количестве возбуждённых нейронов на данном участке, то есть, при достижении достаточно высокой вероятности успешности распознавания, выживали бы и продвигались в будущее с большей вероятностью.

Эта (вторая) гипотеза соответствует также общей естественной картине мира, в которой сравнительно устойчивые состояния произвольных динамических систем возникают в результате протекания противоположных процессов, или взаимодействия противоположных сил. Например, различные потенциальные ямы возникают в результате взаимодействия сил притяжения и отталкивания. В нашей гипотезе взаимодействуют (противодействуют) почти экспоненциальное увеличение количества возбуждённых нейронов при успешном распознавании объекта (при совпадении множества аспектов, признаков) и химическое препятствование этому возбуждению при слишком большой плотности возбуждённых нейронов на данном участке. Эта гипотеза может подтверждаться тем фактом, что в мозге действительно генерируются различные секреты (дофамин, серотонин), механизм генерации и назначение пока не вполне ясны.

Таким вот образом мог возникнуть внутренний регулятор уровня возбудимости нейронов – порога возбуждения. Он же – критерий успешности распознавания. Суть его функционирования состоит в том, что при совпадении с имеющимся в памяти «эталонным – образцом» признаков распознаваемого объекта, распознанных на первых уровнях, начинает действовать контекстная зависимость, начинают возбуждаться нейроны, соответствующие другим аспектам распознаваемых объектов. Эти нейроны активизируются входными сигналами через обратные связи (можно сказать, при самопроизвольно возникающей вследствие существования обратных связей дополнительной сверке всех аспектов, даже ещё не проявившихся на начальных этапах распознавания). Когда количество возбуждённых на данном участке нейронов превышает некоторый уровень, включается механизм принудительного блокирования генерации сигналов путём существенного увеличения порога возбуждения окружающих нейронов. Этот механизм может быть реализован, например, путём синтеза химических регуляторов (гормонов) при плотности возбуждённых нейронов на данном участке, превышающей некоторый уровень. Этот механизм химического регулирования приводится в действие,

когда сумма вкладов возбуждённых окрестных нейронов в сигнал на входе нейрона – манипулятора, управляющего микрожелезой, генерирующей блокирующие гормоны, превышает порог возбуждения манипулятора, выделяющего нейросекрет. А он увеличивает пороги возбуждения окрестных нейронов.

Для иллюстрации рассмотрим процесс распознавания на примере собственного мышления. Предположим, мы вспоминаем какого-то человека (артиста кино или просто знакомого) по его признакам. Пусть нам постепенно становится доступным всё больше признаков этого человека. Например, пытаемся вспомнить всё о пожилом человеке высокого роста с седыми волосами. Но этих признаков может оказаться недостаточно для его идентификации. Для узнавания этого человека мы пытаемся вспомнить какие-то другие признаки: какой он национальности? Но и этого оказывается недостаточно для его идентификации. Процесс распознавания продолжает протекать в нашем мозге, потому что активированы какие-то структуры, сигналы распространяются по ним, затрагивая всё новые участки мозга. Затем мы вспоминаем, что вот, вроде бы он снимается в боевиках. Но и этого оказывается мало для узнавания. Наконец, нам подсказывают, или мы сами в результате хождения сигналов почти по кругу в окрестностях продолжающих возбуждаться нейронов, отвечающих за уже распознанные черты, характеризующие данного человека, вспоминаем, что артист снимался в таком-то фильме. Действительно, он снимался. Эта версия активизирует массу аспектов (черт) сохранившегося у нас образа этого человека. Эти сохранившиеся черты находят подтверждение в наблюдаемом (обсуждаемом) образе. Благодаря чему на данном участке возбуждается масса нейронов, соответствующих различным аспектам распознаваемого объекта.

Так что количество возбуждённых нейронов на данном участке мозга резко увеличивается, что является объективной характеристикой величины вероятности правильности распознавания. При превышении некоторой величины локальной плотности возбуждённых нейронов в мозге, и сигналов от них, поступающих на химический «индикатор успешности распознавания», этот индикатор срабатывает. То есть, превышает порог возбуждения нейрона манипулятора, активирующего некую локальную железу, блокирующую возбуждение нейронов в своих окрестностях путём выдачи на этот участок нейросекрета, повышающего порог возбуждения окрестных нейронов химическим воздействием. Так что наряду с прохождением на последующие пути следования мощных сигналов результатов распознавания образа (результатов сравнения с имеющимся образцом) химическим воздействием увеличиваются пороги возбуждения нейронов в данных окрестностях, так что циркуляция сигналов на данном участке быстро затухает. И вскоре данный участок полностью восстановится для продолжения следующих распознаваний – проведению (ретрансляции) новых поступающих сигналов по путям, соответствующим конфигурации входных сигналов. А также сложившейся к этому времени конфигурации межнейронных связей (зафиксированному в этих структурах опыту организма) и состоянию этих структур (их бодрости или истощённости). Результат нового распознавания начнёт продвигаться на следующие этапы рассмотрения, наблюдения за протекающими вокруг процессами.

Такова наша гипотеза о внутреннем критерии успешности распознавания в биологических структурах обработки информации.

Возможен ли предлагаемый механизм в природе?

Такие механизмы не противоречат нынешним представлениям о структуре неокортекса, которая может быть представлена в виде слоя с неоднородностями – «колонками» размером 0.5 мм в диаметре и длиной (глубиной) в 5 мм [167]. В процессе развития организма нейронные клетки порождаются и специализируются в зависимости от своего расположения. В том числе образуются и нейросекреторные клетки, обладающие свойством вырабатывать гормоны, влияющие на свойства окрестных нейронов, названные нейросекретами [168].

Этот механизм локального химического уменьшения возбудимости нейронов обеспечивает динамическое регулирование порога возбуждения нейронов и поддержание за счёт этого регулирования коэффициента размножения сигналов в структурах мозга на уровне приблизительно единицы благодаря тому, что:

- с одной стороны, максимально возможный коэффициент размножения сигналов (больше 1) способствует свободному продвижению сигналов по структурам мозга, иначе сигналы быстро затухали бы, не обеспечивая должной базы сравнений при формировании реакции организма,

- с другой стороны, при слишком свободном распространении сигналов (Кразмножения > 1) могло бы возникать самовозбуждение мозга. Но наличие химического блокирования при слишком большом количестве возбуждённых нейронов на данном участке обеспечивает динамическое регулирование коэффициента размножения сигналов Кразмножения вблизи 1.

Механизм уменьшения возбудимости НЭ легко реализуется и в электронном ИНИ путём резкого увеличения порога возбуждения для группы нейронов, имитирующих колонку неокортекса. Для реализации такого уменьшения в вершине группы НЭ предусматривается специальный НЭ – манипулятор, который при своём возбуждении не воздействует на входы других НЭ, а повышает Уопорн для группы НЭ. Входные связи такого манипулятора образуются по общей схеме.

18. Экспериментальные исследования создания и применения искусственного интеллекта. Моделирование работы мозга на компьютере

18.1 Возможно ли полномасштабное моделирование работы нашего человеческого мозга на компьютере в соответствии с приведёнными представлениями о принципах функционирования мозга?

Принципиальных препятствий как будто нет. Но хватит ли вычислительных ресурсов существующих сегодня компьютеров для полномасштабного моделирования работы человеческого мозга в реальном времени?

Сегодня ответ на этот вопрос почти однозначный – нет! Прокомментируем это утверждение. Информационная ёмкость мозга порядка $5 \cdot 10^{14}$ байт (500 терабайт). Так что нашему моделирующему компьютеру понадобится, как минимум, память такой ёмкости. Мозг представляет собой 15 миллиардов асинхронных логических элементов, каждый из которых имеет быстроедействие порядка $10 \div 100$ переключений в секунду. Возможность переключения определяется сигналами на входах нейрона. Входов у каждого нейрона до 10 000. Причём входы эти скорее аналоговые (мы пока условно приняли разрешение аналоговых сигналов в $2^{12} = 4096$ уровней, то есть, 12 бит). Так что для определения того, возбудится нейрон в какой-то момент времени или нет, нужно на каждом шаге (такте) моделирования проводить суммирование сигналов на всех его входах с учётом их весов – электрических проводимостей (сопротивлений) и сравнить полученную сумму с пороговым значением уровня возбуждения для данного нейрона в данный момент. Порог этот может меняться с течением времени. Он определяется тем, насколько «отдохнул», разрядился/зарядился данный нейрон, текущей физиологической (химической) обстановкой на данном участке мозга. Так что нам в процессе моделирования в реальном времени функционирования мозга человека придётся не менее 10 раз в секунду (скорее 100 раз) просматривать и суммировать потенциалы всех $1.5 \cdot 10^{14}$ связей для определения

включения возбужденности каждого из $15 \cdot 10^9$ нейронов на следующем шаге, если суммарный входной сигнал превысит порог возбуждения нейрона. Число $1.5 \cdot 10^{14}$ связей есть $15 \cdot 10^9$ нейронов по 10 000 входов/нейрон. На самом же деле, необходима раз в 10 большая скорость просмотров, чтобы решать задачи сравнения и конкуренции моделей нейронов за первенство возбуждения.

Для каждой связи нужно иметь не менее 3.5 байт (28 бит), а именно:

а) 16 бит – адрес нейрона в пределах окрестностей рассматриваемого нейрона, возбуждающий выход которого связан с данным входом, а не в пределах всего мозга, а

б) 12 бит – вес, проводимость данной связи, представляемый 12 битами логического веса связи. Вес является функцией времени существования входа–связи. Вес уменьшается со временем.

При этом нужно учитывать топологию (расположение) возможных связей каждого нейрона. То есть, надо учитывать, с какими нейронами может соединиться на данном отрезке времени рассматриваемый нейрон при своём возбуждении.

Даже если мы сможем на одном процессоре полномасштабно моделировать работу 1000 нейронов со скоростью порядка 100 000 000 арифметических операций в секунду (сложений, умножений, а иногда и делений), то для моделирования в реальном времени всего мозга человека понадобится **15 000 000** таких процессоров. Значение 100 000 000 получается из 1000 нейронов * 10 000 вкладов-входов/нейрон * 10 просмотров/секунду.

Пока что такая задача при решении её «в лоб» непосильна даже для самых могучих на сегодня компьютеров. Но для подтверждения адекватности нашей модели совсем не обязательно проводить полномасштабное моделирование развитой человеческой личности, базирующейся на $5 \cdot 10^{14}$ байтах ($1.5 \cdot 10^{10}$ нейронов * 10^4 связей/нейрон * 3.5 байта/связь). Для доказательства правильности нашего подхода достаточно было бы промоделировать поведение и выживание (в зависимости от способностей к адаптации к изменяющимся условиям существования) нескольких разновидностей «организмов», имеющих в своём составе по $20 \div 100$ нейронов с $10 \div 20$ входными рецепторами каждый и $5 \div 10$ выходными нейронами—манипуляторами на выходе. Эти разновидности компьютерных «организмов» имеют изначально установленные связи, реализующие адекватные реакции организма на действующие на их «рецепторы» раздражители (безусловные рефлексy), при этом связи могут быть такими:

а) У одной разновидности компьютерной модели организма новые связи между НЭ не могут образовываться (кроме установленных изначально).

б) У другой разновидности новые связи образуются случайным образом между произвольными НЭ.

в) У третьей разновидности могут образовываться новые постоянные связи между двумя возбужденными НЭ.

г) У четвертой разновидности могут образовываться связи между двумя возбужденными нейронами с угасающей со временем проводимостью (весом) каждой связи. Причём по истечении длительного промежутка времени проводимость, логический вес связей уменьшается так сильно (увеличивается сопротивление), что связь можно считать полностью утраченной. И вместо выбывшей связи может образоваться новая. Так, чтобы у нейрона в каждый момент было не более 20 связей.

Можно «поместить» модели этих 4-х разновидностей мелких компьютерных «организмов» в условия с одинаковыми опасностями и полями питания с градациями результатов воздействия на них опасностей (от легких «травм» до «гибели») и понаблюдать, как эти «организмы» будут выживать. Сколько из них дойдет до точки размножения, и посмотреть на результаты отбора – выживания этих компьютерных «организмов». Учитывая сравнительно малые масштабы вычислений, обусловленные примитивностью «организмов», их моделирование вполне можно провести даже на персональном компьютере. Даже без какого бы то ни было моделирования понятно, что наиболее предпочтительны шансы на выживание у 3-й и 4-ой групп. А при изменчивости

условий наибольшие шансы будут у 4-й группы, способной к переучиванию. Но будет гораздо более доказательно, если ожидаемый результат даст не наша уверенность в правильности модели – нашего представления о работе мозга, а слепой бесстрастный статистический компьютерный эксперимент. И, тем самым, будет показана полезность для выживания организма даже простейшей нервной системы с очень просто организованной памятью. Хотя выше, в разделе «Мозг – орган обработки информации и управления организмом» мы уже показали с помощью калькулятора полезность нервной системы, состоящей даже всего лишь из двух-трех нейронов для выживания простейшего организма.

Чтобы полномасштабно промоделировать становление человеческой личности, нужно «воспитать» эту личность в ходе её развития, начиная практически от зачатия организма и хотя бы до года. При этом приятно было бы увидеть, что компьютерное «дитя» с умом на искусственном носителе разума (каковым будет являться программно-аппаратный или электронный моделирующий комплекс) научилось узнавать своих создателей. Говорить слово «МАМА» без какого бы то ни было силового вмешательства в свою «психику» со стороны, устанавливающего «вручную», внешним образом, какие-то правила или связи в его мозге. То есть, чтобы у искусственного «ребёнка» все происходило так, как это и происходит у естественных детей – без грубого вмешательства в его мозг, с воздействием только на рецепторы организма. А ещё лучше воспитать, обучить это «дитя» до самого «совершеннолетия». Но для такой длительной «воспитательной» работы необходима могучая в вычислительном плане сверхнадёжная техника, могущая работать без «летальных» сбоев долгие годы.

Понятно, что при этом нужно решить множество задач и даже проблем:

1. Обеспечить формирование и ввод входных сигналов, отражающих влияние окружающего мира на искусственный «организм» с набором «органов чувств», по полноте восприятия окружающего мира подобных человеческим.

2. Образовать исходные сети, проводящие эти сигналы – реализующие безусловные рефлексы. Подготовить, «вырастить» нейроны, пока ещё без связей, но с возможностью образования связей, из которых впоследствии образуются сети.

3. Обеспечить запоминание информации – образование связей (уже выполнено).

4. Обеспечить воспроизведение информации (выполнено вместе с запоминанием).

5. Обеспечить передачу обработанного сигнала к эффекторам, осуществляя результативную действенную реакцию ИМ на внешние обстоятельства.

6. Обеспечить образование цепей положительных и отрицательных обратных связей (ОС) различной глубины и веса путём воспитания – обучения, начиная от «безусловных» рефлексов, через условные и далее к осознанному поведению.

7. Обеспечить «самочувствие» носителя искусственного мозга. Где его боль, ощущения, цели? За что бороться? Чего бояться, опасаться? Скорее всего, путь от сигнализирующего рецептора до уклоняющегося эффектора и есть путь боли.

8. Как для электронных организмов эмулировать тягу, стремление к размножению, необходимую для продолжения существования популяции биологических организмов? Или заменить эту тягу бессмертием? Или возложить функцию тиражирования носителей ИМ на людей? Если человек будет участвовать в цепи воспроизводства электронных организмов, то вопрос гарантии для человека от уничтожения со стороны носителя ИМ автоматически разрешается – человек становится необходимым звеном воспроизводства ИМ! То есть, человечество будет выступать даже не в роли акушерки, а в роли матери для ИМ, вступая с ним в симбиоз.

9. По ходу дела нужно обеспечивать «рост» аксонов и дендритов, отслеживая траектории их роста, с тем, чтобы определять возможность возникновения связей между различными нейронами (из разных зон). Понятно, например, что в человеческом мозге произвольный нейрон не может связываться напрямую с любым другим нейроном, что ясно видно на примере головных полушарий. Не может нейрон из одного полушария

связаться с нейроном другого полушария без посредников. В живых организмах траектория роста нервных волокон задаёт возможность связи нейронов с рецепторами и возможные безусловные рефлексы. Разная начальная конфигурация (состав и расположение) рецепторов даёт основу для дальнейшего формирования различных личностей, но не определяет их полностью.

10. Совсем не обязательно, чтобы дендриты (их около 10 000 у каждого человеческого нейрона) росли по отдельности. На одном длинном дендрите (паутинке из слизи) может быть очень много возможных точек-контактов – потенциальных парных связей с близлежащими аксонами.

Замечания к пункту 6. Положительная обратная связь (ОС) образуется в результате физиологического самостимулирования, в том числе, через эндокринную систему; психологического само- и взаимного стимулирования: игры, шутки, смех, истории, анекдоты, чтение книг, просмотр TV. Более длинные положительные ОС образуются в процессе созидательной работы: от выпаса гусей, доения коров до посадки деревьев, до написания книг, строительства домов, мостов и городов, воспитания детей, и вплоть до негромкого, не афишируемого самопожертвования (хотя смерть красна только на миру). Ведь бывает и так, что люди для отстаивания своих, сформировавшихся у них ценностей идут на смерть, точно зная, что никто из тех, чьим мнением они дорожат, не сможет оценить их самопожертвования, поскольку не будет об этом знать.

Положительная ОС включает в себя и вредные зависимости:

- никотиновая,
- алкогольная,
- наркотическая,
- токсикологическая,
- азартная (различные игры).

С точки зрения стремления НС к минимизации раздражающих сигналов, с точки зрения увеличения результативности своих действий с минимизацией затрат, погружение индивидуума в игру или в принятие наркотика вводит зависимого в виртуальный мир индивида, делает виртуальный мир зависимого более подвластным самому патологически зависимому индивиду. На самом деле этот мир индивида не объективен, а субъективен. Воспринимаемый индивидом окружающий его мир не таков, как он в реальности, а таков, каким его ощущает и чувствует личность. Суть поведения зависимого индивида заключается в увеличении своей значительности в своём виртуальном мире. Наркоман чувствует увеличение своих сил, ему всё кажется по плечу. Картёжник чувствует свою значительность по сравнению с некартёжниками, да и с другими партнёрами; как он может выйти победителем из сложных ситуаций, как он ориентируется в карточных раскладах — гораздо лучше, чем охотник при чтении звериных следов или альпинист при штурме отвесной скалы.

И преодолевать эти вредные, пагубные положительные обратные связи (ПОС), погружающие индивида в мир его виртуальной власти над его собственным окружающим виртуальным миром, можно только путём создания в поражённой личности конкурирующих, более сильных ПОС, подобно созданию новых условных рефлексов. Можно сказать, изменением индивидуальной системы ценностей индивида.

Глубина и вес обратной связи, образовавшейся и меняющейся в индивиде по ходу его жизни, зависит от системы ценностей индивида. Ценность, вес связи зависит также от степени её влияния на конечный результат. А результат всего один:

– разные степени прямого непосредственного ощущения боли и прогнозирования ожидаемого уровня боли (различных раздражителей) в будущем.

Но, кроме ощущений, у нас есть ещё и чувства — надстройка над ощущениями, образующаяся в ходе жизни. И мы чувствуем не только боль, но и удовольствие. По данному поводу можно сказать, что боль мы ощущаем непосредственно через рецепторы и чувствуем опосредованно, с задействованием коротких и длинных нервных связей.

Удовольствие же мы **не ощущаем** непосредственно, а **чувствуем** как отсутствие, как гарантию отсутствия боли сейчас или в будущем. Этому чувству удовольствия могут способствовать различные химические вещества, вырабатываемые в мозге. Они могут просто способствовать более быстрому затуханию сигналов при их движении по мозгу.

В двоичной системе связь чувств удовольствия, радости, с одной стороны, и боли, с другой, можно представить как: «радость равна отрицанию ожидаемой боли», и наоборот.

Ценность связи определяется не только её прямым непосредственным весом, но и тем, с какого количества различных связей более раннего уровня (ближе к истокам сигналов) эта связь в конечном итоге задействуется, активизируется. Какая-то связь может быть многократно продублирована и для конкретного индивида может иметь ценность, недоступную для понимания других. Например, некто очень дорожит расческой, как правило, без афиширования этого факта. Откуда возникло это отношение? Может быть, что эта расческа когда-то доставила человеку необычайную радость:

- была подарена в счастливый момент,
- спасла человеку жизнь,
- может, она для человека символ успешного постоянства,
- или напоминание о счастливом времени и так далее.

Конечно, из-за нашего исходного незнания множества деталей моделирования процесса мышления может оказаться, что мы поначалу задались неверными значениями уровней возбуждения нейронов, временем их возбуждения, временем восстановления нейрона после возбуждения, коэффициента разветвления, соотношения весов–проводимостей (сопротивлений) выходов и входов и так далее. И модель мозга сначала будет вести себя не совсем адекватно, подобно тому, как ведет себя и обычный мозг при попадании в него различных психотропных, алкогольных или наркотических веществ. Зато при поиске нужных соотношений между значениями всех параметров—уровней, времен, коэффициентов функционирования модели мы сможем в достаточной мере изучить действие различных психотропных, в том числе, наркотических веществ не на живом человеке, а на компьютерной модели.

Чтобы проверить, насколько выдвинутые нами принципы организации работы мозга соответствуют функционированию нашего биологического мозга, или отвергнуть предлагаемые нами принципы и механизмы функционирования мозга, необходимо провести большую работу по исследованию образования межнейронных связей в биологическом мозге. Если такая работа будет проведена, то может оказаться, что некоторые из рассмотренных нами принципов функционирования мозга не совсем соответствуют природе естественного мозга, или даже совсем не соответствуют ей. Но даже в этом случае предлагаемые нами принципы позволяют создать, построить искусственный мозг, способный к самоорганизации, могущий функционировать, начиная с «чистого листа», подобно мозгу младенца, начиная от его зачатия, к рождению, и далее. Что подтверждается работоспособностью уже созданных компьютерной и электронной моделей минимальной нервной системы. Такой искусственный мозг сможет обеспечить выживание и жизнестойкость организма, управляемого этим мозгом и даже продвижение этого организма через цепочку его потомков в сложных меняющихся обстоятельствах к потенциально высокоинтеллектуальному состоянию.

К настоящему моменту создана компьютерная модель простой НС с небольшим количеством в её составе нейроподобных элементов — компьютерных моделей нейронов, соответствующих нашим описаниям. Эта модель доказала действенность описанных принципов функционирования мозга. Модель успешно выживала благодаря своей способности запоминать и образовывать условные рефлексy. Если же условия менялись, то модель изменяла своё поведение на адекватное новым условиям. То есть, модель не только обучалась, но и переучивалась.

Более того, в рамках проведения НИР 9006 в Томском государственном университете была создана электронная модель минимальной нервной системы из 3-х

электронных нейроподобных элементов [95]. Эта минимальная модель, собранная из обычных электронных элементов, также показала способность к обучению и переучиванию, чем и была подтверждена работоспособность описанных принципов функционирования мозга, который может быть реализован на электронных элементах, которые имеют гораздо большее быстроедействие, чем биологические нейроны. В созданной в ходе НИР электронной схеме при приблизительно одновременной подаче на её входы сигналов-«раздражителей» самостоятельно, без стороннего управления, образуются новые связи между входами и выходами нейроподобных элементов. То есть, в электронной схеме образуется след события. При последующей подаче сигнала-«раздражения» на вход только первого нейроподобного элемента на выходе второго появляется реакция-«прогноз». Как будто сигнал-раздражитель поступил на вход следующего, второго элемента. Эта реакция позволяет уклоняться от второго раздражителя уже при появлении первого раздражителя, предваряющего второй раздражитель. И, тем самым, уклоняться и от «прогнозируемого» второго раздражителя. Если же при изменении обстоятельств исчезнет второй раздражитель, а за первым раздражителем (совместно с ним) будет подаваться третий раздражитель, то включение первого раздражителя будет приводить к включению ставшей бесполезной реакции на прогнозируемый второй раздражитель. Но реакция модели (возбуждение 2-го НЭ) уже не будет приводить к избавлению от первого раздражителя. В результате продолжающегося постоянного возбуждения (через первый элемент) второй нейроподобный элемент «устаёт» - повышается порог его возбуждения. Из-за уставания второй элемент перестаёт возбуждаться и компенсировать потенциалом на своих входах возбуждающий потенциал на выходе первого электронного нейрона. В результате появляются условия для образования связи между выходом первого нейрона и входом третьего, и эта связь образуется. Недавно образовавшаяся связь имеет меньшее сопротивление – большую проводимость – больший вес, чем ранее образовавшаяся связь между первым и вторым нейроном. Поэтому впоследствии из-за большего веса связи первого нейрона с третьим третий нейрон будет возбуждаться раньше второго (хотя связь первого со вторым сохранилась!) и отрицательным потенциалом на своём входе при своём более быстром возбуждении будет препятствовать возбуждению второго нейрона. Схема начинает реагировать на раздражение первого нейрона возбуждением третьего и «предусмотрительно» уклоняться от третьего раздражителя, включив нужный 3-й манипулятор, и, тем самым, прекращать действие первого раздражителя. То есть, произошло самостоятельное переучивание схемы, поскольку предыдущая реакция не приводила к успеху – к уклонению от первого раздражителя за счёт «предусмотренного» ранее срабатывания 2-го манипулятора. Так что полноценный искусственный мозг на электронных элементах (даже превосходящий естественный мозг) вполне может быть изготовлен уже в недалёком будущем. Хотя для этого придётся решить некоторое количество технических задач, связанных с огромным количеством нейроподобных элементов в искусственном мозге, который по своим возможностям мог бы сравниться с человеческим мозгом или даже превзойти его. А также решить задачу обеспечения возможности образования связи между соседствующими нейроподобными элементами созданием специальной изолирующей среды, в которой могут образовываться проводящие каналы при образовании связи между соседствующими возбуждёнными нейронами.

18.2 Моделирование нервной системы для изучения её патологий

Вопрос моделирования нервной системы для борьбы с патологиями рассматривался в статьях [169, 170].

Нами были созданы компьютерная и электронная модели простейших нервных систем [98, 144, 102], действующие на выдвинутых принципах функционирования биологических нервных систем. Модели продемонстрировали реакцию на внешние раздражители и их изменение, подобную поведению простейших биологических организмов. Такое подобие поведения созданных моделей и биологических организмов свидетельствует о том, что модели достаточно верно отражают функционирование биологических нервных систем.

Для того, чтобы усилить доказательность соответствия созданных моделей реальным биологическим нервным системам, следует всесторонне подтвердить соответствие моделей биологическим нервным системам в существующих живых организмах. Для этого подтверждения необходимо получить диаграммы потенциалов на входах и выходах нейронов простейших биологических организмов, таких, например, как аплизия калифорнийская. Сделать это нужно для того, чтобы убедиться, что диаграммы потенциалов в биологических нервных системах и в наших моделях соответствуют друг другу. В настоящее время такие работы проводятся.

Подтверждённое соответствие программной и электронной моделей биологической нервной системы позволит с большей уверенностью в соответствии изучать поведение биологических нервных систем на компьютерной модели.

Если биологический эксперимент подтвердит соответствие выдвинутых положений процессам, протекающим в биологических нервных системах, то на основе изучения поведения моделей можно будет давать рекомендации по диагностике, преодолению болезней биологических нервных систем.

Уже сейчас можно дать некоторые рекомендации относительно поиска путей преодоления болезней. Бывает так, что человек достаточно хорошо помнит давно прошедшие события. Но у него расстроился механизм запоминания новых событий. Согласно нашей модели функционирования нервной системы – образования новых связей между нейронами в качестве элементов памяти, такое расстройство памяти могло быть обусловлено тем, что по какой-то причине в нервной системе перестали образовываться новые связи в зоне мозга, где располагается долговременная память.

Такой причиной может быть уменьшение величины потенциалов возбуждённых нейронов (скажем, из-за увеличения утечек). Так что величина этих потенциалов становится недостаточной для образования новых связей в этой зоне. С другой стороны, невозможность образования новых связей может быть обусловлена увеличением величины потенциала образования новой связи. Например, увеличением напряжения пробоя мембран, разделяющих соседние нейроны.

В обоих случаях требуется некое изменение биохимической обстановки в мозге, которое могло бы изменить сложившиеся в мозге неблагоприятные условия и восстановить способность структур мозга к образованию связей.

Вопрос изучения болезней и путей их излечения относится к компетенции медиков–исследователей. Наша задача – дать медикам удобный инструмент для изучения на компьютерной модели различных заболеваний нервной системы. Эта модель должна позволять оперативное изменение различных параметров, влияющих на функционирование модели памяти, и наблюдать реакцию модели на эти изменения параметров. Такие работы по созданию программной модели нервной системы с удобным для исследователей–медиков интерфейсом проводятся в настоящее время.

Вместе с работами биологов по подтверждению соответствия наших моделей процессам функционирования биологических нервных систем компьютерная усечённая модель с удобным интерфейсом это создаст удобную платформу для изучения различных патологий нервной системы, их профилактики и лечения. Такое изучение не требует травмирующего вмешательства в жизнь биологического организма. Оно гуманно, экономично, эффективно (действительно).

18.3 О возможности электронного искусственного носителя интеллекта

Рассмотрим возможность создания полномасштабного искусственного носителя интеллекта. Известно, что мозг человека состоит из огромного количества нейронов, каждый из которых представляет собой логический элемент, обладающий некоторыми электрическими характеристиками. Чтобы искусственный мозг – искусственный носитель интеллекта – мог сравниться по возможностям с мозгом человека, его информационная ёмкость должна быть такого же порядка, что и мозг человека.

Возможно ли это? Можно ли создать электронную модель мозга на основе электронных элементов, функционально подобных нейронам? Электронная модель минимальной нервной системы уже создана нами [144]. А возможно ли при нынешнем уровне технологий создание полномасштабной модели человеческого мозга? Возможно, даже превосходящей его, по той причине, что электронные элементы действуют на несколько порядков быстрее биологических. А достигнутая плотность размещения электронных элементов такова, что в нескольких кубических дециметрах может быть размещено такое же количество электронных аналогов биологических нейронов – нейроподобных элементов (НЭ), как и нейронов в человеческом мозге.

Нейроподобные элементы обладают такими же электрическими характеристиками, что и биологические нейроны. Перечислим их, пока без указания значений этих параметров:

- индивидуальные проводимости каждого из 10 000 входов (вес связи),
- суммарная проводимость всех входов НЭ (и формирователя, и нейрона),
- порог срабатывания логического элемента (формирователя),
- выходное сопротивление (обеспечивающее нужный коэффициент размножения),
- потенциалы спокойного НЭ (пусть и на выходе, и на входе равны 0),
- потенциал возбуждённого выхода ($U_{out} > 0$),
- потенциал возбуждённого входа ($U_{in} < 0$),
- энергия (порция энергии) ретранслируемого сигнала
- время пребывания НЭ (нейрона) в возбуждённом состоянии,
- время отдыха НЭ (нейрона - восстановления работоспособности).
- время перехода в возбуждённое состояние (нарастания потенциала на входе),

Работают НЭ, как и нейроны, асинхронно, совершенно независимо от других НЭ. Делает это НЭ следующим образом: сигналы, поступающие на многочисленные входы НЭ (нейрона), суммируются аналоговым способом по проводному «ИЛИ». На самом же деле, «суммирование» — это слишком громко сказано. Просто разветвлённые выходы НЭ (нейронов) предыдущих каскадов связаны с различными участками входной части НЭ, что логически и электрически эквивалентно приходу выходов НЭ (нейронов) предыдущих каскадов через входные связи в одну общую точку рассматриваемого НЭ (нейрона). При достижении потенциала в этой точке величины порогового потенциала на входе усилителя-формирователя (нормализатора) НЭ (нейрон) возбуждается, и потенциал выхода НЭ (нейрона) скачком (за время срабатывания) изменяется от потенциала покоя до потенциала возбуждённого выхода. То есть, активный логический элемент-НЭ (нейрон)

имеет пороговый аналоговый вход, но при этом его выход работает фактически в цифровом режиме, что обеспечивает приемлемую помехоустойчивость и, главное, обеспечивает незатухающее распространение сигналов. Усиленный до стандартного уровня (нормализованный) сигнал с выхода рассматриваемого логического элемента совместно с сигналами от других элементов поступает на входы логических элементов-нейронов следующего каскада, связанные с его выходом. И так далее.

Сигналы, затрачивая энергию в ходе продвижения по путям следования, с необходимостью угасают. Поэтому в ходе эволюции образовались активные элементы – нейроны, а нами созданы НЭ, осуществляющие усиление поступающих на их входы сигналов и продвижение их дальше. НЭ, как и нейроны, обеспечивают не только продвижение сигналов без затухания, но и выбор оптимального пути следования сигналов (благодаря процедуре возбуждения нейрона и НЭ) и накопление опыта путём образования следов событий – ассоциативных связей между НЭ - нейронами (благодаря превышению потенциала образования связи между НЭ - нейронами). Можно сказать, что образование следов прохождения сигналов есть обучение. Причём это обучение системы обработки информации происходит без переключения режимов «обучение»/«функционирование». Новые связи между НЭ - нейронами – следы прохождения сигналов - образуются в темпе поступления сигналов. Впоследствии эти следы участвуют в формировании путей следования сигналов.

Несмотря на сравнительно малое быстродействие элементов естественных систем обработки информации, как активных (нейронов), так и пассивных (связей между нейронами), выбор путей следования сигналов через НС и образование новых связей – следов прохождения сигналов происходит с огромной скоростью. Со скоростью событий в окружающей среде.

Для инженеров задача создания электронного нейроподобного элемента, возбуждающегося, когда входной потенциал превышает некоторый порог, с выдачей мощного положительного сигнала определённой продолжительности на выход элемента, и выдачей мощного отрицательного импульса такой же продолжительности на вход элемента, выглядит достаточно простой.

Вариант такого устройства представлен на рисунке 28

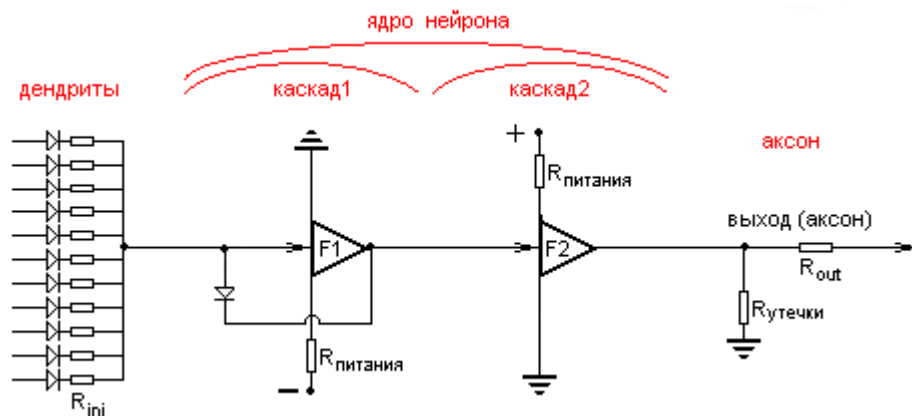


Рисунок 28. Схема электрическая принципиальная 2-х каскадного нейрона

По поводу схемы НЭ нужно сделать следующие замечания: в электронной схеме трудно создать накопители заряда необходимой ёмкости в микроминиатюрных размерах, чтобы получить нужную плотность элементов. Кроме того, возникают проблемы с автономной зарядкой этих емкостей. Поэтому имеет смысл перейти к схеме с 2-мя мощными общими источниками питания разной полярности. Тогда отпадает необходимость в накопительной ёмкости и механизме её заряда.

На этом рисунке на общей точке входов-дендритов естественным образом суммируются сигналы, приходящие на входы от разных источников – от НЭ предыдущих каскадов. Каждый вход имеет свою проводимость – вес связи. Каждый вход благодаря наличию диодов проводит положительные сигналы в одном направлении. Это предотвращает воздействие большого потенциала выхода одного НЭ (нейрона) предыдущего каскада на выход другого НЭ из предыдущего же каскада.

Если потенциал на общей точке входов (на входе в формирователь **F1**) превышает определённый порог, срабатывает каскад1 НЭ, и формирует мощный отрицательный импульс определённой продолжительности Δt . Этот отрицательный импульс сразу же попадает на общую точку входа, что порождает такие же богатые функции НЭ, как и у нейрона.

Кроме того, импульс с выхода F1 приходит на формирователь F2, который просто инвертирует потенциал с выхода F1 и выдаёт на выход НЭ мощный положительный сигнал. Этот сигнал участвует в возбуждении НЭ последующих каскадов, а также участвует в образовании следов прохождения сигналов – связей с входами других НЭ, с которыми соседствует выход НЭ, и которые возбуждены в это же время. При наличии таких НЭ между ними образуются ассоциативные связи. Ассоциативность связей состоит в том, что связывающиеся НЭ одновременно возбуждены какими-то сигналами, порождёнными воздействием внешнего мира на модель.

Усилитель-формирователь **F1** формирует не только уровень, но и длительность выходного сигнала (имитируя разряд накопительной ёмкости). Так что даже при очень коротком входном сигнале, возбудившем НЭ, выходной сигнал будет длиться не менее некоторого стандартного промежутка времени, что обеспечивает надёжное распространение сигнала без затухания.

Точно так же и при слишком большой длительности входного сигнала (выше порога) формирователь генерирует выходной сигнал стандартной длительности. Вместе с тем формирователь подаёт на свой вход сигнал такой же длительности, но противоположной полярности, блокируя воздействие на собственный вход на некоторое время. Кроме того, F1 блокирует своё возбуждение на сравнительно длительное время, имитируя заряд накопительной ёмкости до работоспособного состояния. По окончании блокирования возбуждения НЭ снова готов к возбуждению. Поэтому при длительном возбуждающем сигнале формирователь снова возбуждается, и так далее. Так что в результате подачи на вход формирователя длительного мощного сигнала он автоматически генерирует серию импульсов на выходе НЭ, пока не закончится входной сигнал. В этом и состоит загадочный (пока) механизм «кодирования» нейронами мощных сигналов от раздражителей **сериями** импульсов.

Сигнал на входе формирователя может иметь различную величину (рисунок 8г). Ступенчатость входного сигнала формирователя обусловлена тем, что асинхронные входные цифровые сигналы (0 или 1 на каждом входе) от выходов НЭ (нейронов) предыдущего уровня суммируются приблизительно на десяти тысячах разных по величине и достаточно больших сопротивлений входов-дендритов данного НЭ (нейрона). Изредка сумма сигналов на входе формирователя **F1** превышает порог, и тогда НЭ (нейрон) возбуждается со всеми вытекающими последствиями. Но большую часть времени сумма вкладов от разных входов остаётся ниже порогового уровня. И НЭ (нейрон) остаётся неактивированным, и почти всегда готовым к возбуждению. За исключением некоторого промежутка времени, следующего непосредственно за возбуждением НЭ, пока потенциал входа НЭ остаётся отрицательным из-за предыдущего возбуждения (до тех пор, пока потенциал входа НЭ не вернётся к 0 благодаря утечкам). Кроме того, должны прийти в работоспособное состояние все внутренние параметры НЭ (нейрона). У биологического нейрона «мёртвое время» после возбуждения, после разряда накопительной ёмкости обусловлено временем зарядки ёмкости.

Сигнал с единственного выхода НЭ поступает на большое количество входов НЭ следующего каскада – на один выход приходится до 10 000 входов-дендритов, и при таком разветвлении, соответственно, уменьшается уровень сигнала; конечно, не в 10 000 раз, поскольку сопротивление отдельного входа намного больше сопротивления электронного ключа на выходе возбуждённого НЭ (нейрона). Очередной возбуждённый нейрон за счёт запасённой в нём раньше энергии из поступавших питательных веществ снова выдаёт нормализованный сигнал, можно сказать, стандартной амплитуды и длительности. В электронной схеме с двумя мощными источниками питания отпадает необходимость в накопительной ёмкости, но различные временные параметры эмулируются НЭ. Из-за выдачи мощного сигнала и не происходит затухание входного сигнала, и он, как правило, доходит до какого-то эффектора. Но иногда входной сигнал все-таки гаснет на каком-то очередном звене цепи НЭ (нейронов), поскольку ни у одного из НЭ (нейронов) следующего каскада на этом этапе не был превышен порог возбуждения. И, соответственно, ни один из НЭ (нейронов) не был возбуждён, и не передал сигнал дальше. В среднем коэффициент размножения (**Кразмножения**) сигнала (отношение количества выходных сигналов к количеству входных) в мозге при нормальных условиях колеблется около 1, но никак не больше единицы. В противном случае (при **Кразмножения** >1) мозг самовозбуждался бы. Поэтому без внешних раздражителей сигналы, циркулировавшие до того в мозге, довольно быстро затухают, и мозг засыпает.

Точно так же, как при отсутствии входных сигналов, мозг постоянно засыпал бы даже при наличии входных сигналов, если бы коэффициент размножения сигналов в мозге был существенно меньше 1.

Отметим, что в зонах расположения нейронов, принимающих информацию от внешней среды в мозг, коэффициент размножения может быть существенно меньше 1 благодаря особенностям параметров нейронной среды в зоне восприятия – предварительной обработки входных сигналов, как это имеет место, например, при восприятии изображений. Миллионы исходных сигналов от миллионов рецепторов (палочек и колбочек в глазу) по пути в центральные зоны мозга предварительно фильтруются, объединяются, проходя по ранее образовавшимся следам - межнейронным связям, оставшимся от предварительного обучения системы зрения у молодых организмов. В результате чего количество прошедших в мозг сигналов после предварительной обработки-сжатия информации, поступающей от наблюдаемых объектов, существенно уменьшается. Сжатие информации происходит путём её прохождения по следам прошлых событий-изображений, путём проекции этой информации на имеющиеся в мозге следы. Те конфигурации сигналов от светочувствительных элементов, которые соответствуют конфигурациям, встречавшимся ранее (что определяется следами предыдущих событий), проходят дальше, и затрудняют прохождение сигналов через конфигурации нейронов, сравнивающие конфигурации поступающих сигналов с другими образами. Как именно происходит установление наилучшего соответствия, мы уже рассматривали. Так что после сжатия зрительная информация представляется в виде, удобном для обработки в мозге - для осуществления адекватной реакции организма на наблюдаемую визуальную картину. Обучение системы зрения молодого организма происходит путём рассматривания некоего объекта с одновременным восприятием этого объекта другими органами чувств или сопоставления нескольких изображений. НС автоматически, без какого бы то ни было желания субъекта, сопоставляет образы объектов, поступающих от разных органов чувств. И в мозге остаются следы - различные аспекты этих сопоставлений, используемые впоследствии. Особенно активно это сопоставление зрительных образов происходит с осязательными образами объектов в период первоначального обучения (в раннем детстве).

Из этого замечания видна необходимость существования у организмов по возможности большего количества различных органов чувств. Для организмов,

обитающих в различных средах, различаются и наборы чувств, обеспечивающие поведение организмов, адекватное среде их обитания. Более информативные для данной среды чувства имеют и большую относительную важность для организма. У одних животных это осязание (кроты, землеройки). У других – зрение (особенно у хищных птиц). У третьих – слух (практически у всех животных). Какие-то животные полагаются на нюх. У некоторых животных роль зрения выполняет ультразвуковая эхолокация. И так далее. Каждый читатель может расширить этот список

Модель нейрона, приведённая на рисунке 28 (Схема электрическая принципиальная 2-х каскадного нейрона) доказала свою состоятельность, работоспособность. Она обеспечивает выполнение всех функций, требуемых для успешного функционирования мозга. В соответствии с этой моделью создана модель минимальной нервной системы из 3-х нейронов в рамках НИР 9006 в ТГУ. Подробное описание её устройства и функционирования приведено в отчёте по данной НИР, докладывалось на конференциях.

Но приведённая модель проста лишь для квалифицированных инженеров. Природа сама по себе со своим статистическим стремлением к положению равновесию в окружающей среде не может создать такого устройства. Поэтому нами была представлена гораздо более простая модель нейрона, устройство которой может быть обеспечено сугубо природными процессами, без участия инженеров. Естественные процессы (в том числе, в мозге) протекают без какого бы то ни было внешнего централизованного управления. Поэтому они могут протекать только под влиянием разностей потенциалов (электрических, химических, термодинамических). С влиянием инерции различного типа. То есть, процессы имеют характер автоколебаний. Начинаются такие процессы при превышении разностей потенциалов каких-то пороговых величин: прочности, устойчивости ... Раз начавшись, процессы продолжают до исчерпания потенциала движущих сил, до равенства движущих сил и сил сопротивления. Затем идёт нарастание движущих сил; опять до пороговой величины, и так далее.

Поскольку мы не можем в точности повторять процессы в микроминиатюрных масштабах, при создании электронных ИНИ следует придерживаться логики процессов, но без слепого копирования природных процессов.

Созданные нами НЭ могут быть повторены в микроминиатюрных размерах. Так что нынешний уровень электронных технологий позволяет уже сегодня создавать на основе НЭ устройства, по возможностям сопоставимые с мозгом человека, в объёмах, сравнимых с объёмом мозга человека.

Возможной проблемой может стать лишь свойства поверхностей, разделяющих соприкасающиеся входы и выходы НЭ. эти поверхности (плёнки) должны обеспечивать электрический пробой при малой разности потенциалов в одной точке на противоположных поверхностях этой плёнки. В результате пробоя должен образовываться проводящий канал, проводимость которого уменьшается со временем, например, в результате диффузии.

Более подробно вопросы создания электронного ИНИ рассмотрены в дополнении Д5 «Пути создания полномасштабного искусственного носителя интеллекта»

18.4 Пути создания полномасштабного искусственного носителя интеллекта

Результаты, полученные в представленной работе, позволяют наметить пути создания искусственного носителя интеллекта – самообучающегося устройства обработки информации на выявленных принципах, сопоставимого по своим информационным и адаптивным возможностям с мозгом человека.

Схема электрическая полномасштабного самообучающегося устройства управления

Для создания полномасштабного СУОИ, которое могло бы сравниться по своим возможностям с естественным носителем интеллекта – с мозгом человека, необходимо создать устройство с количеством активных нейроподобных элементов примерно равным количеству нейронов в мозге человека и примерно с такой же информационной ёмкостью. Покажем, что это вполне возможно для современных технологий уже сегодня.

Приведём схему электрическую полномасштабного СУОИ, в состав которого входит достаточно большое количество активных элементов и потенциальных связей между ними (рисунок Д4.1). Эта схема в точности повторяет схему, предположительно отображающую строение мозга человека. Отличаются только термины. Например, «нейроподобный элемент» вместо «нейрон» и т.д.

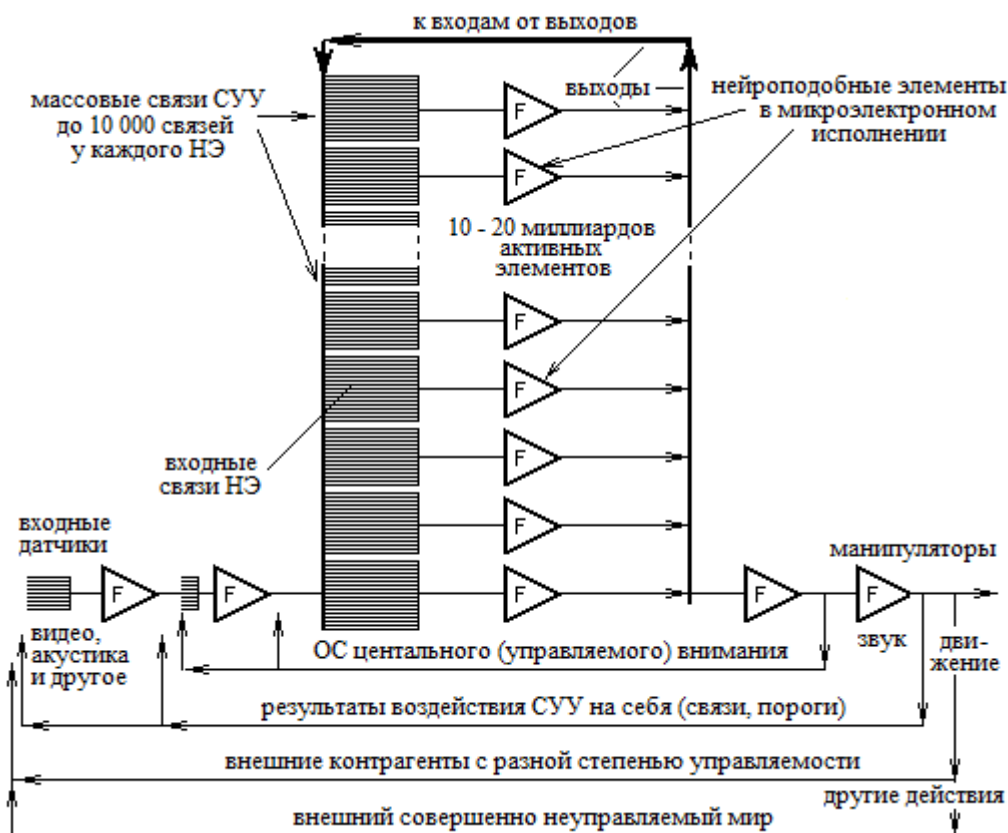


Рисунок Д4.1. Схема полномасштабного СУОИ

Базовые элементы для создания управляющих устройств с информационной ёмкостью, сравнимой с ёмкостью мозга человека

Начнём с нейроподобного элемента – основного элемента, обеспечивающего образование следа события – связи между НЭ. Для удобства работы с НЭ следует создать СБИС с большим количеством НЭ в одном Блоке Нейроподобных Элементов (БНЭ). Эти БНЭ должны обеспечивать образование связей между НЭ из разных СБИС. Это удобно организовать следующим образом: сделать площадку с большим количеством параллельных электродов – входов, и площадку с большим количеством параллельных электродов – выходов, а между ними разместить площадку с усилителями–

формирователями в микроэлектронном исполнении. При современных 20 нанометровых технологиях [110] можно обеспечить плотность параллельных проводников входо-выходов порядка 10 000 проводников / 1 мм. Следовательно, (без учёта веса связей) в одной двумерной матрице, представляющей собой четырёхслойный «сэндвич» размером (1мм*1мм) может быть размещено 10^8 бит информации – по 1 биту на каждом пересечении. Эта матрица образуется двумя слоями проводников (параллельные электроды входов, перпендикулярные выходам, также представляющим собой набор параллельных электродов). Плюс слой диэлектрика и слой полупроводника для обеспечения образования проводящих каналов в результате пробоя между входом возбуждённого НЭ последующего каскада и выходом возбуждённого НЭ предыдущего каскада.

Так что информационная ёмкость входов одного НЭ в нашем случае будет порядка 10 000 бит \approx 1.2 Кбайт вместо 20 Кбайт у нейрона в мозге человека. Это различие обусловлено гораздо меньшим количеством возможных источников сигнала для НЭ. Если же каждый такой «сэндвич» будет иметь толщину порядка 0.1 мм, то в 1 мм³ может быть размещено 10^9 бит. Но СБИС должна иметь площадку входов, площадку выходов и площадку формирователей, то есть, три площадки. А в объёме такой памяти (собранный из СБИС), равном геометрическому объёму человеческого мозга, может быть записано до 63 терабайт: $1500\text{см}^3 * 1000\text{мм}^3/\text{см}^3 * 10^9\text{бит}/\text{мм}^3 / 3 = 500 * 10^{12}$ бит = 500 терабит \sim 63 терабайта. Так что для современной микроэлектроники создание СБИС НЭ и СУОИ на их основе является не проблемой, а вполне решаемой задачей [111].

Учитывая сказанное, можно изобразить блок элементов, состоящий из 10 000 усилителей–формирователей с параллельными входами и выходами в виде СБИС – прямоугольной плоской пластины размером 1*3 мм². На этой пластине изображены 10 000 входов, 10 000 формирователей, 10 000 выходов. Площадки входов, формирователей и выходов занимают по одному мм². Так что физический объём всей операционной части СУОИ с информационным объёмом в 187 терабайт будет составлять 4 500 см³.

В качестве основной единицы блока элементов (электрически активных формирователей и пассивных связей – памяти) для создания СУОИ можно принять только что упомянутый блок нейроподобных элементов, изображённый на рисунке Д4.2. Этот Блок НЭ имеет толщину 0.1 мм, состоит из плоского поля Д (входы-дендриты), поля F (площадки в 1 мм²), на котором размещены 10 000 микроэлектронных формирователей и поля А (выходов–аксонов). Проводники поля А покрыты слоем диэлектрика (с малым напряжением пробоя), а проводники поля Д – слоем полупроводника.

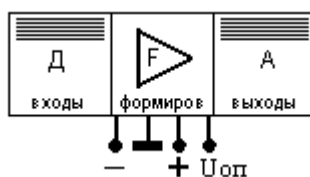


Рисунок Д4.2. Базовый блок нейроподобных элементов (БНЭ)

Электрод каждого входа представляет собой суммирующий вход и может образовать короткие резисторно–диодные связи с 10 000 выходов другого блока НЭ. Из поля F выходят в сторону 4 шины питания (–U), («земля»=0V), (+U) и опорного напряжения Uопорн, которые могут иметь совершенно макроскопические размеры, скажем, ширину порядка 0.2мм. Так что базовый блок легко обеспечить электрическим питанием. Эти же шины питания можно использовать для отвода тепла.

Что касается создания нужного количества активных элементов в микроэлектронном исполнении, то это вполне возможно при современном уровне технологий, уже используемых при производстве микроэлектронной техники. С 2010 года на Тайване серийно выпускаются электронные приборы по 28 нм технологии [116, 117].

Ведутся работы по внедрению 20 нм технологии [118] и разработки даже 10 нм технологий [119]. При 28 нм технологиях 1 ячейка памяти SRAM, состоящая из множества полупроводниковых элементов, занимает на кристалле всего 0.1 мкм². Так что на 1 мм² может быть размещено до 10 000 000 ячеек памяти.

При микроэлектронной реализации предлагаемых нами активных элементов (усилителей–формирователей) нам нужно размещать несколько более сложные структуры, чем элементы памяти, которые, к тому же, при возбуждениях могут выделять несколько больше тепла, чем ячейки памяти. При использовании уже достигнутых технологий можно разместить на 1 мм² с большим запасом до 10 000 активных элементов (в 1000 раз меньше, чем ячеек памяти).

Так что $15 \cdot 10^9$ активных НЭ может быть размещено на общей площади кристалла $1.5 \cdot 10^6$ мм² или на полутора квадратных метрах. Если принять толщину пластины равной 0.1 мм (что также вполне возможно для современных технологий [120]), то общий объём 15 миллиардов НЭ составит 150 000 мм³, или 150 см³. То есть, даже при оценке сверху 15 миллиардов искусственных НЭ, имитирующих естественные нейроны, при современных технологиях их изготовления могут занимать всего лишь 1/10 объёма, занимаемого мозгом человека. Но, на самом деле, из-за необходимости обеспечения пересечений выходов и входов последующих каскадов, физический объём центральной (операционной) части СУОИ с информационной ёмкостью, приблизительно равной ёмкости человеческого мозга, будет составлять порядка 0.45 дм³. Но, если ориентироваться на рядовые микроэлектронные технологии, то, как мы уже говорили, объём ИНИ, равного по возможностям мозгу человека будет составлять не более 4.5 дм³.

Создание среды формирования связей

Для создания полномасштабного СУОИ нужно обеспечить не только создание необходимого количества активных нейроподобных элементов, но и создание соответствующего количества возможных входных (информационных) связей для каждого НЭ – до 10 000, как и у естественного нейрона. Из радиотехнической практики известно, что сигнал на фоне шумов от других входов можно выделить как раз примерно при 10 000 входов. Как можно было бы обеспечить создание таких потенциальных связей?

Что касается топологии, механического взаимного расположения выходов и входов НЭ, то это можно легко обеспечить образованием решётки из условно вертикальных выходов и горизонтальных входов, как на рисунке 18 в разделе 7 («Механизм образования следов событий, воздействовавших на организм»), в основном тексте.

Главный же вопрос в настоящее время состоит в создании специальной изолирующей плёнки между «вертикальными» выходами и «горизонтальными» входами соседствующих НЭ, в исходном состоянии изолирующей входы от выходов. Подобные структуры (плёнки) создавались в мире ещё несколько лет назад. По крайней мере, есть их описание в литературе [121]. Эта плёнка должна обладать следующими свойствами:

А) В исходном состоянии плёнка является диэлектриком с малым напряжением пробоя. Напряжение пробоя должно быть одинаково на всей площади плёнки. Потенциалы, подаваемые на электроды входов и выходов формирователей, между которыми должна образоваться очередная связь, подбираются в зависимости от напряжения пробоя. Малое напряжение пробоя необходимо для минимизации тепловыделения. Чтобы не возникало проблем с теплоотводом при высокой плотности активных элементов. Поскольку в технике обычно борются за высокие напряжения пробоя, и приводятся данные по материалам с наибольшими пробойными напряжениями, то для оценки возможности создания плёнок с малым напряжением пробоя следует ориентироваться не на электротехнику, а на природу. Так, биологические мембраны

имеют напряжения пробоя в десятые доли вольта. А амплитуда электрических импульсов, генерируемых клетками различных тканей от 60 до 120 милливольт [122].

Б) В результате пробоя в той точке плёнки, где разность потенциалов на её противоположных поверхностях достаточна для пробоя плёнки, должен образовываться долговременный проводящий канал – гальваническая связь между активными элементами (она же – логическая, информационная). Проводимость канала непосредственно после пробоя имеет максимальную величину, а затем, со временем, уменьшается (например, из-за диффузии). Тем самым реализуется функция забывания, необходимая для обеспечения переуличивания, для изменения поведения при изменении обстоятельств.

Рассмотрим геометрическую возможность создания нужной структуры СУОИ с использованием предложенной СБИС с большим количеством НЭ и специальной плёнки (в попытке размещения СУОИ в минимальном объёме).

Компоновка самообучающегося устройства управления

В разделе Д4.1 было показано, что СУОИ с информационной ёмкостью, приблизительно равной ёмкости мозга человека, при современном уровне технологий может быть размещено примерно в 4.5 дм³. Там же приведены рисунок Д4.2 и описание возможной СБИС – блока нейроподобных элементов.

Этот блок (рисунок Д4.2) можно рассматривать как базовый для создания на его основе полномасштабного СУОИ.

Проводники поля Д (дендриты) приходят на входы 10 000 усилителей-формирователей (поле F). С выходов формирователей (также площадка размером 1мм*1мм) сигналы по 10 000 проводников приходят на поле выходов А (аксоны). Проводники поля А покрыты слоем диэлектрика (с малой электрической прочностью – напряжением пробоя).

Входы покрыты полупроводниковой плёнкой, а выходы – диэлектрической. Поэтому при соприкосновении плоской поверхности выходов (А) одного базового блока с плоской поверхностью другого базового под углом 90° (или под любым другим, удобным), как на рисунке Д4.3а, будет образовываться структура, подобная изображённой на рисунке 18 (в разделе «Механизм образования следов событий, воздействовавших на организм»). Эта структура и обеспечит образование гальванической связи между входами и выходами возбуждённых НЭ двух базовых блоков. То есть, будут задействоваться не все входы и выходы (во всяком случае, не за один раз), а только необходимые для фиксации ассоциации, наблюдаемой в период изготовления и функционирования устройства.

Многokrатно повторяя сочленение 2-х базовых блоков НЭ (рисунок Д4.3а), можно создать произвольную многозвенную структуру (рисунок Д4.3б), представляющую собой каскады незаполненной ассоциативной памяти (АП).

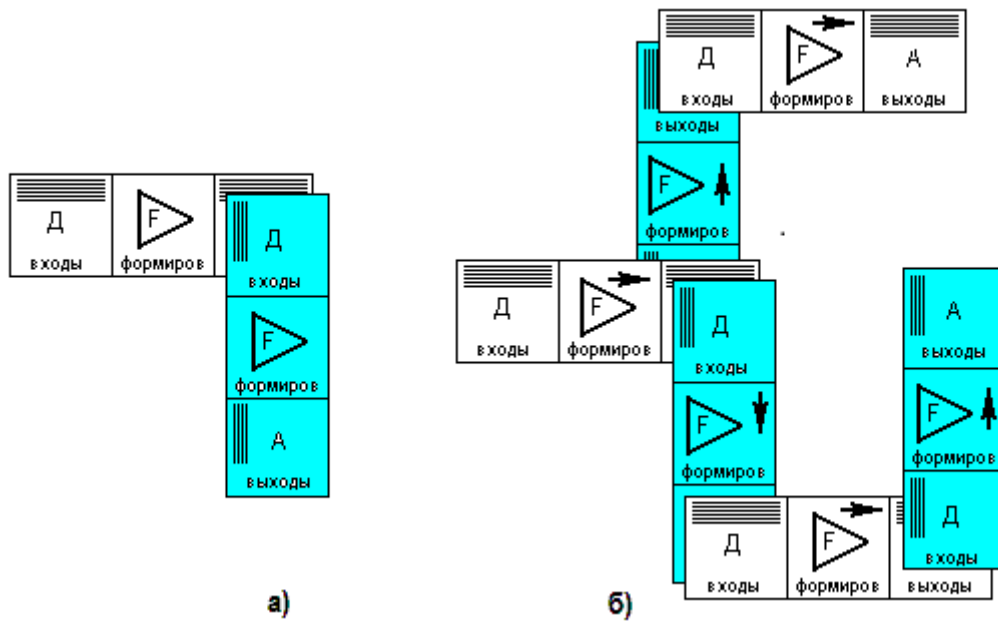


Рисунок Д4.3. Сопряжение 2-х и более блоков нейроподобных элементов

Кроме аналогов вставочных нейронов в НС, в искусственном мозге могут быть изготовлены и применены БНЭ с различными особенностями; например, с возможностью создания коротких обратных связей.

Некоторые специализированные блоки должны быть созданы в обязательном порядке. Это – входные и выходные сопрягающие устройства, обеспечивающие взаимодействие СУОИ с окружающим миром путём принятия сигналов о воздействии среды, и воздействие на среду в результате реакции СУУ. Такие входные и выходные блоки, условно названные рецепторами и эффекторами, изображены на рисунке Д4.4А. Рецепторы измеряют входные воздействия, электрические сигналы, или преобразуют оптические, механические, термодинамические, химические и другие параметры в электрические сигналы и подают их на входы обычных вставочных НЭ. Эффекторы выдают вовне электрические сигналы достаточной мощности (а не просто информационные), или даже выполняют какие-то механические или химические действия.

Располагая таким набором блоков, выполняющих функции вставочных нейронов, рецепторов и эффекторов, можно собрать и искусственный мозг – искусственный носитель интеллекта, могущий действовать в соответствующей среде – рисунок Д4.4Б.

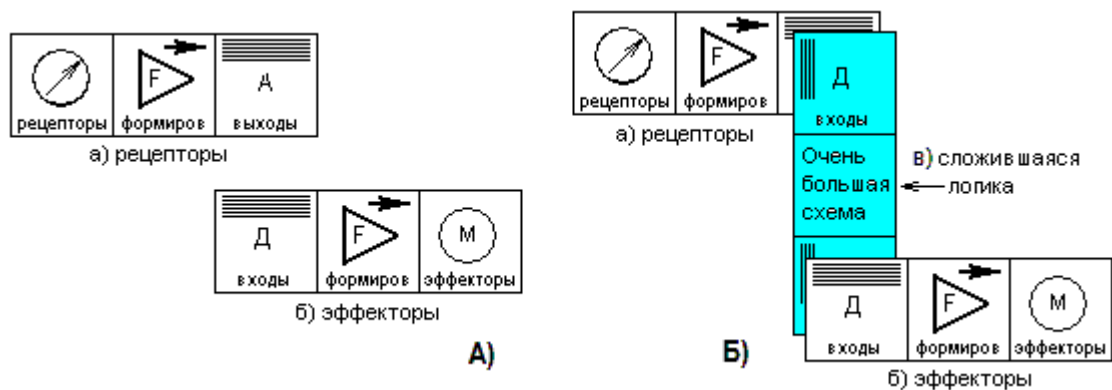


Рисунок Д4.4. Входные и выходные блоки. ИНИ в сборе

Понятно, что при создании полномасштабного СУОИ обнаружатся какие-то нерешённые вопросы, несоответствия и ошибки. Но их вполне можно преодолеть, пусть даже пошагово, и даже методом проб и ошибок, испробовав множество вариантов. Слепая природа за сотни миллионов лет слепо перепробовала множество различных вариантов. Понятно, что человеку, вооружённому знаниями и имеющему ясную цель, понадобится гораздо меньше шагов и времени.

Приведённые материалы, хотя и очень близки к реализации ИНИ «в железе», требуют дальнейшей проработки, на что и направлены наши нынешние усилия. Для воплощения изложенного в действующие СУОИ, сопоставимые по возможностям с мозгом человека, требуется решить достаточно большие технические задачи создания СБИС, и, возможно, научные проблемы создания специальной изолирующей среды, в которой должны образовываться связи.

Поэтому для создания полномасштабного ИНИ требуется обеспечить взаимодействие различных специалистов по микроэлектронике и средам.

Судя по появляющимся публикациям, и программисты, и инженеры медленно (учитывая всё новые проверенные варианты фрагментов ИИ) приближаются к созданию ИИ в русле существующей концепции (программно на базе суперкомпьютеров). То есть, когда-то Искусственный Интеллект, в принципе, может быть создан, хотя его создание потребует огромных затрат, что нецелесообразно экономически. Но для понимания функционирования мозга создание ИИ при современных подходах мало что даёт.

Разработка самообучающегося устройства управления – модели мозга для медицинских целей

Мы уже приводили схему электрическую мозга. В этой схеме все процессы реализуются исключительно за счёт электрических потенциалов. Однако в биологических системах, в условиях жёсткого ограничения ресурсов в ходе эволюции сложилась более экономная и всеобъемлющая, но зато и более сложная схема взаимодействия отдельных элементов схемы с использованием различных биохимических реакций, превращений, преобразований. Все эти биохимические превращения происходят эквивалентным образом, в соответствии с законами сохранения и преобразования химических и электрических потенциалов. Поэтому могут быть приведены к одному – электрическому потенциалу путём эквивалентных подстановок, как, собственно, и выполняется любое моделирование.

Чтобы доказать однозначное соответствие созданной модели реальным процессам в НС, необходимо получить диаграммы потенциалов на входах и выходах нейронов простейших биологических организмов. Таких, например, как аплизия калифорнийская. Сделать это нужно для того, чтобы убедиться, что диаграммы потенциалов в биологических нервных системах и в наших моделях соответствуют друг другу, в частности, в момент образования новой связи между нейронами (НЭ).

В этом случае можно уверенно использовать адекватные компьютерные модели НС для изучения различных патологий НС, мозга с целью их диагностирования, назначения лечения и профилактики.

Заключение. Рекомендации по созданию самообучающегося устройства управления

Наши логические построения, которые имеют уже и практическое воплощение в виде электронной модели простейшей нервной системы, показавшей способность к самообучению и переучиванию, можно широко внедрять в практику. Они найдут применение и в производстве, и в медицине. Но для этого необходимо выполнить работы по созданию СБИС и среды:

- необходимо создать СБИС базового блока НЭ примерно с такими характеристиками, как мы уже рассмотрели.
- необходимо создать специальную среду, обеспечивающую функционирование памяти, аналогичной биологической, в которой в качестве запоминающих элементов выступают самообразующиеся проводящие связи между активными нейроподобными элементами. Такую среду может создать только организация, компетентно занимающаяся материаловедением. Поэтому необходимо провести совместные работы по созданию такой среды.

Решение этих двух задач позволит создавать СУОИ с произвольной, в том числе, полномасштабной информационной ёмкостью. На этой основе можно создать искусственный носитель интеллекта, равный, или даже превосходящий по своим возможностям мозг человека. И уже в этом искусственном носителе интеллекта воспитать такой интеллект, какой нам удастся. Для успеха такого воспитания необходимо понимать психологию интеллекта, вырастающего на искусственной основе носителя интеллекта, созданной трудом инженеров. Может случиться, что для проведения такой работы потребуется развивать новый раздел психологии – психологию интеллекта ИНИ.

Кроме того, следует провести биологический эксперимент по наблюдению процесса образования связи между двумя возбуждёнными живыми биологическими нейронами. Результаты такого эксперимента, по нашим обоснованным ожиданиям, могут (должны) на примере биологического объекта подтвердить правильность выявленных принципов функционирования мозга, выдвинутых нами.

Результаты биологических экспериментов по образованию связей между нейронами дадут основания для создания компьютерной модели – стенда, на котором медики смогут моделировать различные болезни нервной системы и мозга, пути их излечения и профилактики.

18.5. Бионическая модель и методы оценивания и прогнозирования состояния развивающихся систем с учетом управляющих воздействий

Бионическая модель выбора управляющих воздействий

В развивающихся биосистемах естественным образом формируются структуры, обеспечивающие магистральную траекторию их развития и необходимые информационные средства контроля и адаптивного управления в изменяющейся среде: генетическая система; центральная нервная система.

В настоящее время широко используются искусственные системы обработки информации, структурно отражающие функционирование генетических и нейросетевых алгоритмов. Совокупность таких методов, как генетические алгоритмы и нейронные сети, позволяет создать адаптивную систему, объединяющую лучшие свойства данных подходов. Известны работы, в которых делается попытка комплексного использования этих подходов как в технических [6, 178, 179], так и социальных областях [185, 195]. Назовем такой подход бионическим.

По мнению А.И. Берг, основными направлениями бионики являются:

- изучение: методов обмена информацией в биологических системах на уровне коллектива и отдельного организма; принципов надежности биологических систем и способности к адаптации;
- моделирование нейронов и нейронных сетей;
- получение энергии в технических системах по аналогии с биологическими.

Одной из наиболее важных тенденций в бионике является разработка методов, базирующихся на достижениях природы, являющихся результатом эволюционного процесса.

Под бионическими моделями будем понимать математические модели, построенные по принципу функционирования и организации биосистем.

Для проведения оценивания и прогнозирования эффекта от применения управляющих воздействий необходимо располагать адекватной математической моделью. В работе эту роль выполняет разработанная бионическая модель выбора управляющих воздействий на основе сочетания метода обобщенного показателя МиП (I), нейронных сетей (NS) и генетического алгоритма (GA). На рисунке 16 приведена структурная схема бионической модели выбора управляющих воздействий.

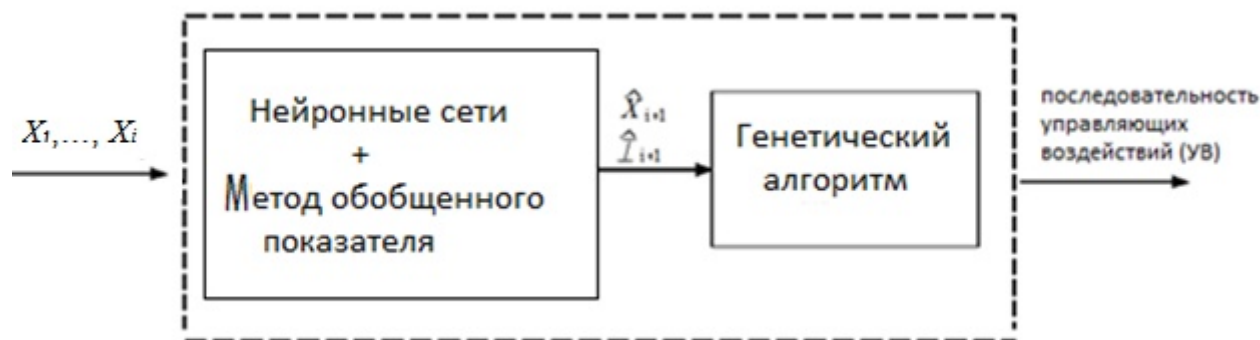


Рис. 16 Структурная схема бионической модели выбора управляющих воздействий.

Таким образом, каждый объект исследования описывается бионической моделью вида

$\langle NS, GA, I, A \rangle$,

где A – алгоритмы настройки моделей.

Синтез в бионических моделях нейронной, генетической и информационной (метод обобщенного показателя МиП) систем позволил системам обмениваться информацией и передавать в качестве входных воздействий значения своих характеристик.

Оценивание эффекта от применения управляющих воздействий на основе бионической модели может быть реализовано как самостоятельная компонента автоматизированной системы, так и элемент комплексного оценивания функционального состояния развивающихся биосистем с учетом управляющих воздействий в зависимости от полученной априорной информации по отнесению объекта исследования к одному из классов критических ситуаций:

- норма, предкризис, кризис;
- норма, легкая степень тяжести, тяжёлое состояние;
- адаптация, компенсация, дезадаптация, срыв и т. д.

В зависимости от принадлежности исследуемого объекта к классу выбор управляющих воздействий осуществляется в соответствии со стандартами коррекции (лечения).

На вход бионической модели, в случае неявного задания управляющих воздействий, поступают значения признаков, характеризующих состояние организма и динамические параметры, определяющие тенденции развития. В случае явного задания управляющих воздействий на вход дополнительно подаются значения, соответствующие управляющим воздействиям в бинарном виде.

Целью бионического моделирования является оценивание эффекта от применения управляющего воздействия и выбор среди множества управляющих воздействий (УВ), определяемых хромосомами, схемы лечения (последовательности воздействий), при которой отклонение прогнозируемой обобщенной оценки функционального состояния (с разным горизонтом прогноза) от желаемого (магистрального) – минимально.

Опишем структуру обобщенной рекуррентной сети, в основе которой лежит многослойный перцептрон. Модель построена по принципу распределения памяти на линиях задержки, включающей в себя q элементов. Содержимое блока памяти используется для подачи входного сигнала. Вектор значений, который подается на входной слой сети, состоит из окон данных, включающих в себя:

- Текущее значение входного сигнала $X(n)$;
- Вектор управляющих значений $U(n)$;
- Предыдущие значения входной и выходной информации $X(n-1), X(n-2), \dots, X(n-p), y(n-1), y(n-2), \dots, y(n-q)$, где p – количество временных задержек, q – количество обратных связей.

В результате модель будет представлена в виде

$$y(n) = F(y(n-1), \dots, y(n-q), X(n), \dots, X(n-p), \Phi(U(1), \dots, U(l))),$$

где F – некая нелинейная функция своих аргументов, Φ – функция оптимизации выбора управляющих воздействий (посредством генетического алгоритма), l – количество управляющих воздействий, y – желаемый отклик сети, взятый из обучающей выборки.

Нейроэволюционный метод формирования последовательности управляющих воздействий

Нейроэволюционный метод формирования последовательности управляющих воздействий (в частности, выбор стратегии лечения) позволяет выделить несколько базовых, неизменяемых элементов структуры: бионическая модель; управляющее воздействие; объект исследования, описываемый значениями некоторых показателей; метод обобщенного показателя МиП, представленный в [195].

Приведем способы взаимодействия между основными элементами системы:

- Управляющее воздействие определяет совокупность воздействий на объект исследования, направленных на минимизацию возможности перехода в неблагоприятное состояние.
- В каждый момент времени вычислены значения обобщенного показателя МиП и проведена оценка их отклонения от нормы.
- С помощью нейронных моделей получены прогнозные значения: переменных, характеризующих состояние объекта исследования; обобщенных оценок состояния на $(t+1)$ -момент времени по t предыдущим моментам.
- Посредством бионической модели моделируется возможный эффект управляющего воздействия на состояние объекта исследования. Среди множества управляющих воздействий выбирается то, при котором значение целевой функции отклонения прогнозного значения обобщенной оценки МиП от желаемого (соответствующего референтному состоянию) минимально.

Прогнозирование функционального состояния объекта исследования на основе бионической модели с учетом управляющих воздействий

В качестве базовой технологии при прогнозировании как значений переменных, характеризующих состояние биосистемы, так и обобщенного показателя, позволяющего получить количественную оценку состояния при выборе того или иного управляющего воздействия, применена нейронная сеть, что обусловлено:

- высокой эффективностью прогнозирования;
- возможностью реализации комплекса для получения оптимального эффекта от применения управляющих воздействий;

• использованием рекуррентных нейронных сетей для вектора переменной структуры.

Оценивание эффекта от применения последовательности управляющих воздействий на состояние развивающейся биосистемы, в основе которого заложен принцип минимизации отклонения прогнозируемого значения обобщенного показателя МиП от желаемого, поднимает вопрос о встраивании в модель некоторых априорных данных. По аналогии с концепцией представления времени в динамических нейронных сетях в работе предложен новый принцип представления данных в бионических моделях в форме явного (рисунок 17) и неявного представления управляющих воздействий (рисунок 18).

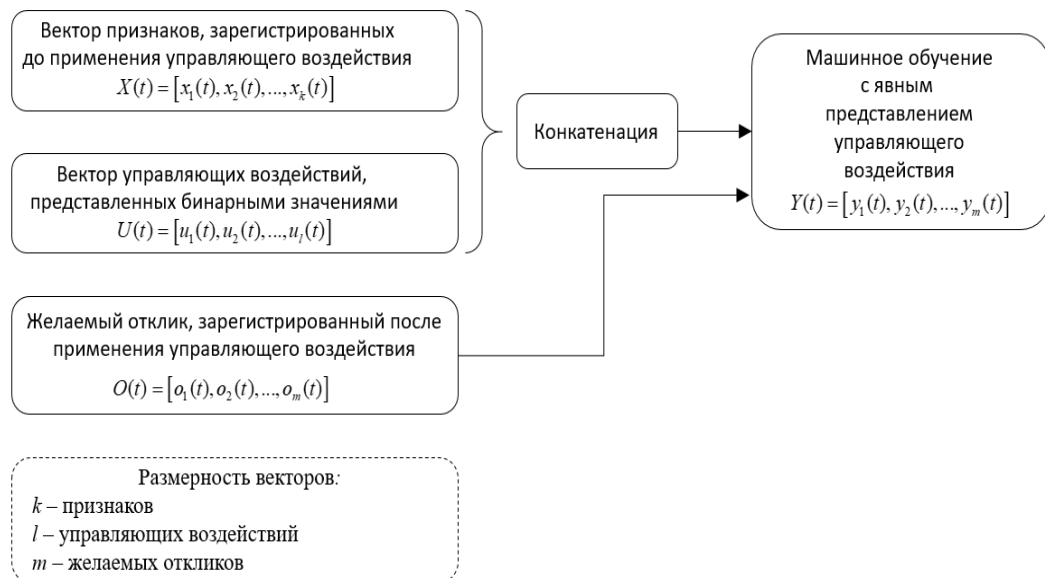


Рисунок17 Машинное обучение с явным представлением управляющих воздействий

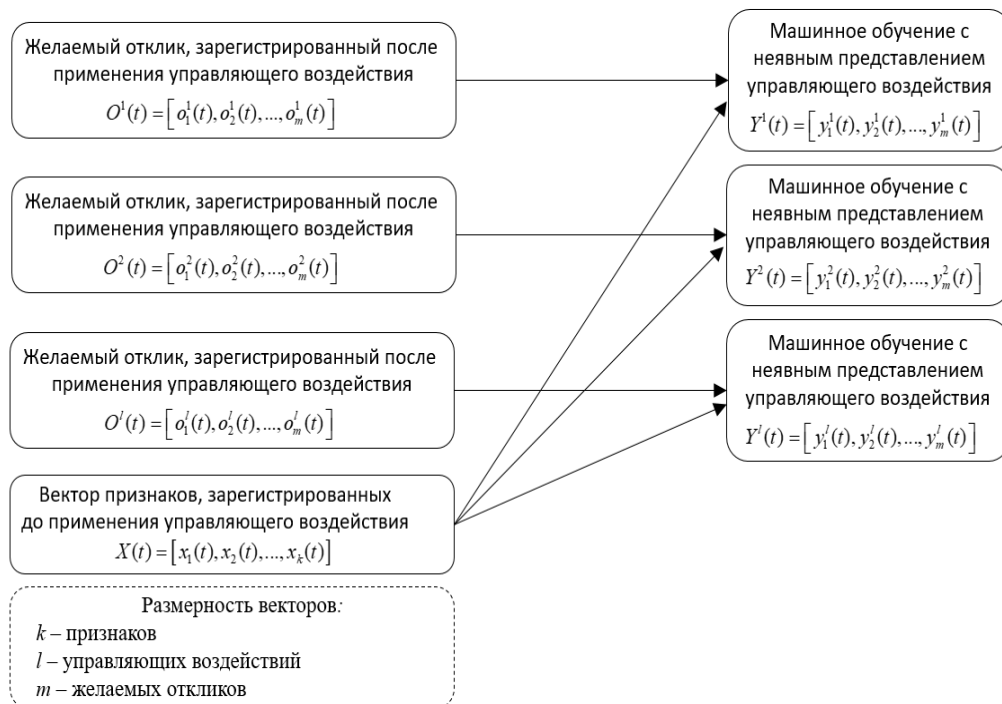


Рисунок18 Машинное обучение с неявным представлением управляющих воздействий

При использовании подхода с явным представлением управляющих воздействий результатом машинного обучения является единственным образом представленная модель

(синглтон), описывающая эффект любого из управляющих воздействий, участвовавших в обучении. Такая модель принимает на вход не только значения показателей, описывающих объект исследования, но и логические переменные, в которых закодировано управляющее воздействие (0 – воздействие отсутствует; 1 – воздействие осуществляется).

При неявном представлении результатом машинного обучения является совокупность моделей, каждая из которых описывает эффект лишь одного управляющего воздействия. Каждая из моделей принимает на вход только вектор показателей объекта исследования, а информация о типе моделируемого воздействия неявно (распределённо) представлена во всех весовых коэффициентах модели.

Необходимость представления информации в двух видах оправдана тем, что явное представление позволяет регулировать «интенсивность» воздействия, но требует тщательной предварительной настройки весов и коэффициентов регуляризации, которые бы определили информативность входных нейронов, принимающих на вход значения, описывающие управляющее воздействие.

При обучении моделей с неявным представлением УВ отсутствует проблема потери информативности значений входных нейронов. Каждая модель содержит меньшее количество настраиваемых параметров. Однако тип воздействия и его «интенсивность» остаются неизменными после обучения, а большое количество моделей приводит к большим временным затратам, по сравнению с моделью, использующей явное представление.

Описанные выше подходы применимы к широкому классу моделей – от линейной регрессии до динамических и глубоких нейронных сетей. Оптимизация параметров глубоких нейросетей является вычислительно более сложной задачей, так как «слоистые» архитектуры содержат комбинации нелинейностей, определяющих широкий спектр проблем, связанных с обучением, описываемых общим термином «глубокое обучение» (deep learning).

Проблемы обучения динамических нейронных сетей

Обучение глубоких и динамических нейронных сетей сопряжено со схожими проблемами. Это происходит из-за того, что динамическая сеть в процессе развертывания дополняется новыми слоями, количество которых зависит от длительности входного сигнала.

Несмотря на наличие множества эвристик, направленных на упрощение процесса обучения, алгоритм обратного распространения менее эффективен при обучении сетей, у которых имеется несколько скрытых слоев. В работах [195, 196] математически показана сходимость алгоритма обратного распространения для любой сети при условии бесконечно малого изменения весов. На практике же эффект обучения не доходит до дальних слоев сети в связи с обращением градиентов в ноль.

На рисунке 19 показано изменение скорости обучения порогового смещения в зависимости от слоя. Значение скорости в данный момент времени определяется как значение локального градиента нейрона – произведения производной активационной функции на ошибку. В случае с производной целевой функции, взятой не по весу нейрона, а по смещению b , можно записать:

$$\frac{\partial E(n)}{\partial b_j^l(n)} = \frac{\partial E(n)}{\partial v_j^l(n)} = \delta_j(n), \quad (3.1)$$

где l – индекс слоя; j – индекс нейрона в слое; v – активационный потенциал нейрона; E – целевая функция (общая энергия ошибки сети). Длину вектора $\delta_j^l(n)$ можно использовать как оценку скорости изменения весового коэффициента.

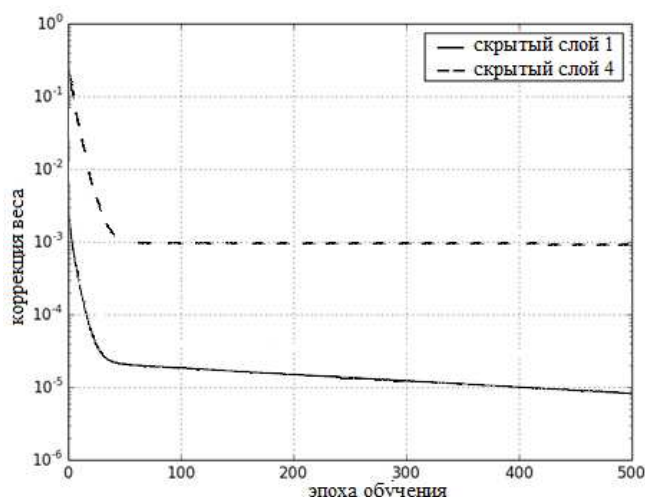


Рисунок 19 Коррекция веса в нейронной сети в зависимости от удаленности скрытого слоя от выходного слоя

В качестве сети использовался многослойный перцептрон, обученный на базе данных рукописных изображений MNIST. Весовые коэффициенты инициализированы случайным образом в диапазоне $[-1; 1]$. Как видно из рисунка 19, чем дальше нейрон находится от выхода сети, тем меньшим будет изменение принадлежащих ему весовых коэффициентов за итерацию. Порядок максимального изменения весов в первом скрытом слое равен минимальному в четвертом, что свидетельствует о затухании градиента нейрона в 1-м скрытом слое.

Предположение о том, что малое изменение весовых коэффициентов свидетельствует о близости к минимуму функции, является ошибочным, так как весовые коэффициенты определены случайным образом.

Целевая функция и обучение нейронной сети

Комбинированные нелинейности приводят к тому, что бесконечно малые изменения в удаленном во времени входном сигнале могут практически не оказывать воздействие на обучение сети. Эта проблема возникает и в случае, когда большие изменения в отдаленных во времени входных сигналах оказывают влияние, но эффект не измерим градиентом. Описанная проблема делает сложным, а иногда и невозможным обучение долгосрочным зависимостям в градиентных алгоритмах.

Модификация алгоритма обучения нейронной сети, заключающаяся в изменении целевой функции на кросс-энтропию, позволила решить проблему зависимости величины коррекции веса в глубоких слоях от значений производных, а также повысить точность тестирования относительно линейной регрессии и нейросетевой модели, где в качестве целевой функции выступает MSE.

Известной проблемой использования сигмоидальных активационных функций при обучении является то, что при приближении выходных значений нейрона к единице частные производные стремятся к нулю. Отсюда может возникнуть парадокс, противоречащий биологической природе обучения: чем выше значение ошибки, тем меньшей будет коррекция веса. Для решения вышеописанной проблемы приведем следующую целевую функцию (3. 2):

$$L = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^{(i)} \ln f(v^{(i)}) + (1 - d^{(i)}) \ln(1 - f(v^{(i)})), \quad (3. 2)$$

где $D = \{d^{(1)}, d^{(2)}, \dots, d^{(n)}\}$ – соответствующие желаемые отклики; $f(v^{(i)})$ – выходное значение, где аргумент функции f – активационный потенциал нейрона, соответствующий i -му примеру из выборки; $X = \{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)}\}$ – набор обучающих векторов.

Два свойства данной функции позволяют рассматривать ее в качестве целевой: функция является строго положительной; при выходных значениях, близких к желаемым откликам сети, значение функции будет стремиться к нулю. Этими же свойствами обладает и квадратическая целевая функция.

Покажем, что использование (3. 2) решает проблему замедления скорости обучения. Для этого найдем частную производную целевой функции по весу

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial w_j} &= -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d^{(i)}}{f(v^{(i)})} - \frac{1-d^{(i)}}{1-f(v^{(i)})} \right) \frac{\partial f}{\partial w_j} \\ &= -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d^{(i)}}{f(v^{(i)})} - \frac{1-d^{(i)}}{1-f(v^{(i)})} \right) f'(v^{(i)}) x_j^{(i)}. \end{aligned} \quad (3. 3)$$

Проводя вычисления в (3. 3), получим

$$\frac{\partial L}{\partial w_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{f'(v^{(i)}) x_j^{(i)}}{f(v^{(i)})(1-f(v^{(i)}))} (f(v^{(i)}) - d^{(i)}). \quad (3. 4)$$

В случае логистической активационной функции (3.4) примет вид

$$\frac{\partial L}{\partial w_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_j^{(i)} (f(v^{(i)}) - d^{(i)}). \quad (3. 5)$$

Таким образом, коррекция веса не зависит от значения производной активационной функции по коррекции веса, т. е. чем большей будет ошибка обучения, тем большей будет коррекция веса.

В работе оптимизация параметров выполнялась с помощью метода Adadelta [295]:

$$\begin{aligned} \Delta \theta_t &= -\frac{RMS[\Delta \theta]_{t-1}}{RMS[g]_t} g_t, \\ \theta_{t+1} &= \theta_t - \frac{RMS[\Delta \theta]_{t-1}}{RMS[g]_t} g_t, \end{aligned} \quad (3.$$

б)

где θ – настраиваемый параметр; g – производная целевой функции по отношению к настраиваемому параметру; RMS – корень суммы предыдущих значений g .

Adadelta принадлежит к семейству адаптивных алгоритмов обучения (AdaGrad, AdaMax, Adam, RMSprop), базирующихся на понятии «момента» обучения, и определяющих коэффициент коррекции веса индивидуально для каждого весового коэффициента.

При таком подходе, во-первых, отсутствует необходимость подбора начальной константы η – скорости обучения; во-вторых, коэффициенты скорости обучения уникальны для каждого настраиваемого параметра. По сравнению с классическими методами данные особенности обучающих алгоритмов позволили избежать обращения градиентов в ноль и застревания в локальном минимуме.

При машинном обучении оптимизация гиперпараметров моделей невозможна с использованием градиентных методов. Вариации grid-search хоть и решают данную задачу, но их использование сопряжено со значительными вычислительными затратами.

Кросс-валидационная оценка качества работы алгоритма прогнозирования функционального состояния развивающихся систем

Для проверки адекватности обучения модели использовался подход, при котором параллельно обучалось N -моделей, где N – количество примеров в выборке. Индекс модели соответствовал индексу примера из обучающей выборки, который использовался для тестирования, в то время как остальные использовались для обучения. Таким образом реализуется простейшая форма полной кросс-валидации, при которой каждый экземпляр выборки принимает участие в тестировании независимо от остальных примеров.

Применение глубоких нейронных сетей как элемента бионической модели позволило выявить закономерности в данных, получив прогнозные значения обобщенных оценок состояния биосистемы Мать-плод.

Эволюционный подход в структуре бионической модели

Применение эволюционного подхода в структуре бионической модели дало возможность как осуществлять поиск наиболее эффективных управляющих воздействий, так и оптимизировать гиперпараметры моделей. В данном случае новизна заключается в представлении информации в хромосоме при явной и неявной форме управляющих воздействий (УВ):

- при явном задании УВ хромосома строится из генов, каждый из которых определяет совокупность управляющих воздействий, применяемых к объекту исследования в некоторый момент времени;

- при неявном – хромосома определяется генами, характеризующими определенные свойства модели (количество слоев, нейронов в них, емкость краткосрочной памяти, степень связности сети, тип активационной функции, тип развертывания динамической сети и др.).

На рисунке 20 приведена схема для общего случая, когда на объект исследования в каждый момент времени оказывается несколько зависимых управляющих воздействий. В таком случае каждая хромосома, участвующая в формировании популяции, представляет собой матрицу M_{ij} , где i – тип воздействия; j – момент времени.

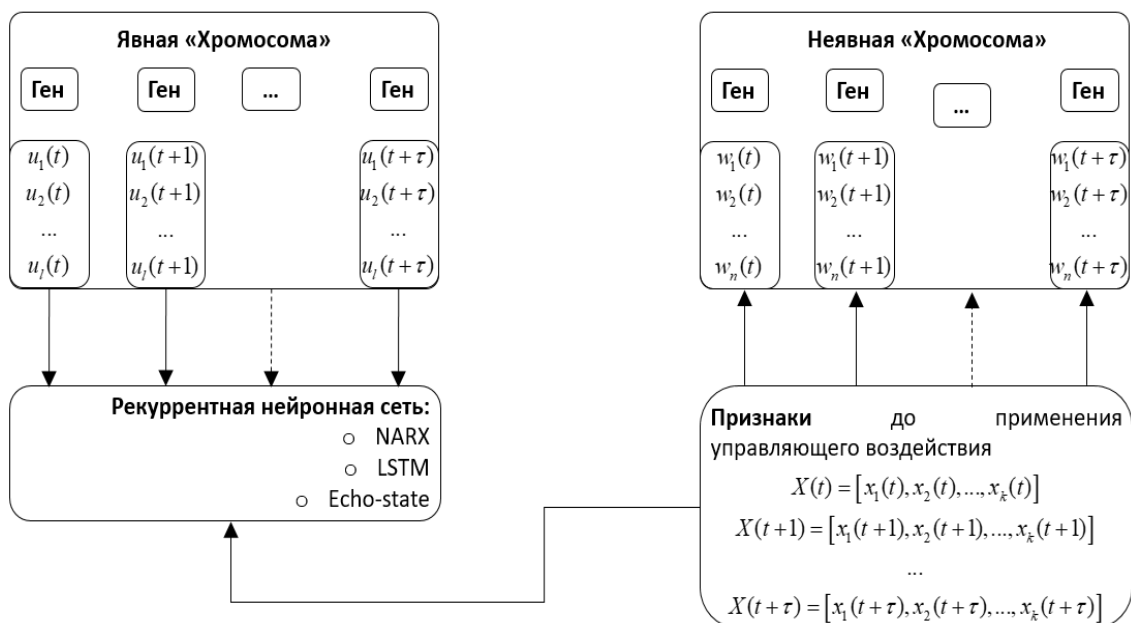


Рис. 20 Тип хромосомы, определяемый в зависимости от способа представления управляющих воздействий в модели

Примечание: $U = (u_1, u_2, \dots, u_1)$ – вектор управляющих воздействий;

$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ – вектор параметров нейронной модели;

$T = (t_1, t_2, \dots, t_r)$ – моменты времени.

Два способа представления априорных данных нашли отражение как при построении хромосомы, так и при вычислении целевой функции.

При явном представлении ген является вектором логических переменных, каждая из которых определяет наличие или отсутствие управляющего воздействия в процедуре лечения. При вычислении целевой функции каждый ген конкатенируется с вектором значений переменных, описывающих функциональное состояние объекта исследования, и подается на вход некоторой модели. Выходное значение модели посредством обобщенной оценки отражает эффективность лечения и риск снижения адаптационных свойств.

При неявном задании управляющих воздействий каждый ген представляет собой вектор параметров нейросетевых моделей, описывающих определенное воздействие. Таким образом, формируется некоторый «банк» обученных моделей, векторы весовых коэффициентов остаются неизменными по ходу эволюционного процесса, но участвуют в формировании хромосомы.

Каждый ген, поскольку является полностью функциональной моделью, принимает на вход вектор переменных, описывающих объект исследования, а его выход, посредством получения на основе метода вычисления обобщенного показателя МиП прогнозного значения интегральной оценки функционального состояния, определяет эффективность лечения.

Схема нейроэволюционного подхода к формированию последовательности управляющих воздействий и определения эффективности лечения с целью минимизации отклонения состояния биосистемы от нормы приведена на рисунке 21.

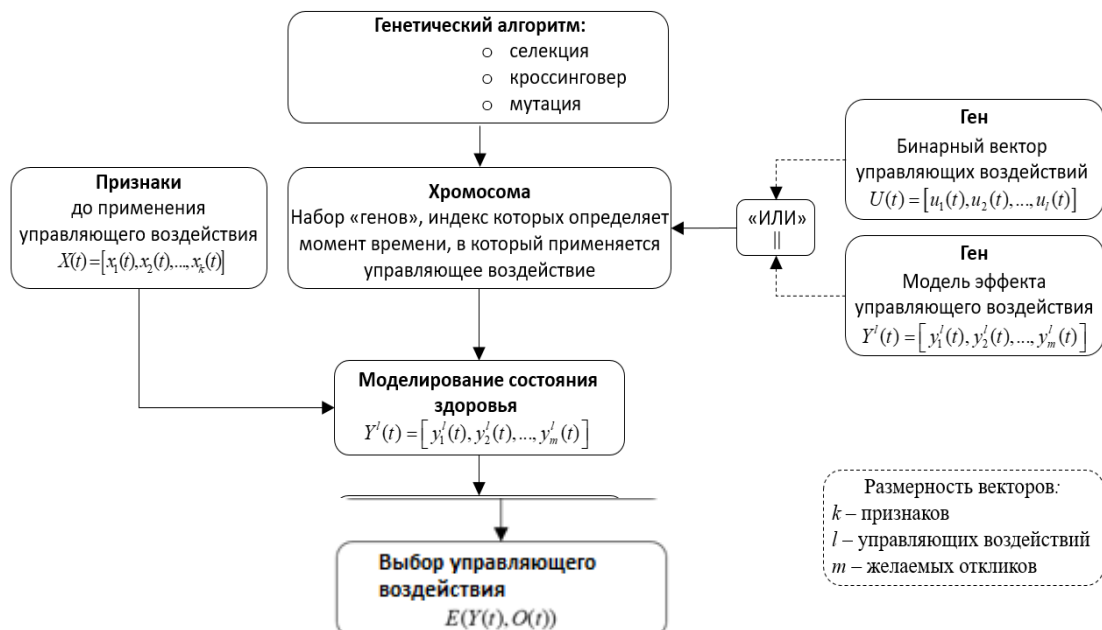


Рис.21 Схема эволюционного поиска управляющего воздействия

Операторы «скрещивания» и «мутации» не зависят от типа представления информации, однако оба содержат важное ограничение: в результате применения этих операторов последовательность значений, заданных в гене, должна оставаться неизменной относительно представленных в ходе обучения. Оба оператора формируют хромосому только из генов, представленных в обучающей выборке, в противном случае теряется возможность интерпретации хромосомы.

Таким образом, оператор «мутации» посредством случайно сгенерированного значения определяет вероятность изменения текущего управляющего воздействия на любое из тех, которые были представлены в ходе обучения. Оператор «скрещивания» меняет местами всю последовательность инкапсулированных значений гена.

Среди множества управляющих воздействий, определяемых хромосомами, выбирается то, при котором значение целевой функции отклонения моделируемого (прогнозного) значения обобщенной оценки состояния биосистемы от желаемого – минимально.

Синтез в бионических моделях нейронных сетей, генетического алгоритма и метода вычисления обобщенного показателя МиП позволяет системам обмениваться информацией и передавать в качестве входных воздействий на другую подсистему значения своих характеристик, что повышает качество функционирования и интерпретируемость.

Эффективность решений, полученных на основе бионического моделирования, оценена на основе контрольно-тестовых групп и поиска аномальных выбросов с помощью кросс-валидации.

Результаты бионического моделирования выбора управляющих воздействий

Вычисленный на первом этапе исследования обобщенный показатель МиП позволяет: получить количественную оценку состояния биосистемы с учетом динамических параметров формирования признаков на каждом временном срезе; оценить динамику развития организма; классифицировать объекты исследования в соответствии с одним из непересекающихся классов <Норма, Предкризис, Кризис>. В случае необходимости, исходя из текущего функционального состояния (класса) и динамики изменения переменных, на основе бионической модели осуществляется выбор последовательности управляющих воздействий. Реализация алгоритмов прогнозирования значений обобщенных показателей функционального состояния биосистемы происходит посредством искусственных нейронных сетей прямого распространения и линейной регрессии.

В книге объектом исследования является система Мать–плод – сложная развивающаяся система, в которой подсистема «Мать», находясь в переходном состоянии, обеспечивает развитие другой, не менее важной подсистемы – «Плод». Адаптируясь и взаимодействуя друг с другом и внешней средой формируется траектория развития данной биосистемы.

Набор обучающих данных сформирован из информации о 210 пациентках, разделенных на 5 групп:

- контрольная группа (группа условно здоровых женщин, комплекс управляющих воздействий не осуществлялся) – 55 чел.;
- группа сравнения (группа женщин, в анамнезе которых диагностировано заболевание Анемия, не получавшие комплекс коррекционных мероприятий (в контексте работы «управляющих воздействий») – 48 человек;
- основная группа (группа женщин, в анамнезе которых диагностировано заболевание Анемия, получающие комплекс коррекционных мероприятий):
 - группа 1 – УВ№1. В комплекс терапии пациентов данной группы входил препарат железа (Sorbifer Durules) – 35 чел.;
 - группа 2 – УВ№2. В комплекс терапии входили: препарат железа + энергетический препарат – 36 чел.;
 - группа 3 – УВ№3. В комплекс терапии входил препарат железа, аквагимнастика и дыхательная гимнастика – 36 чел.

Состояние здоровья каждой женщины характеризовалось вектором, включающим в себя значения показателей крови: гемоглобин (HGB), g/dl эритроциты (RBC) $\times 10^6$ /mm³, трансферрин, мг/дл, лейкоциты (WBC) $\times 10^3$ /mm³ и др и показателей сердечно-сосудистой

системы (приложение 3 рисунок 57). Полный список показателей и референсные значения представлены в приложении 3.

Показатели сердечно-сосудистой системы плода вычислялись посредством выделенной из абдоминальной электрокардиограммы плодовой составляющей (Глава 4).

На основе данных векторов были сформированы 3 обобщенные оценки состояния объекта исследования, которые независимо друг от друга использовались в качестве желаемого отклика для машинного обучения. Оценки были получены на основе применения:

1) обобщенного показателя МиП, базирующегося на принципе предпочтительности поведения биосистемы, в случае, когда отклонения значений переменных, характеризующих состояние, рассчитывалось относительно граничных значений интервалов нормы;

2) обобщенного показателя МиП, базирующегося на принципе представления информационной меры Кульбака, а отклонение значений переменных, характеризующих состояние, рассчитывалось от среднестатистических значений для контрольной группы;

3) интегрального критерия, в основе которого лежит оценка меры близости областей наблюдаемого и референтного состояний (интегральный критерий Махаланобиса).

Работа генетического алгоритма осуществлялась по следующей схеме:

- При явном представлении управляющего воздействия: Хромосома состоит из 7 генов (7 временных точек), длина гена равна 3.
- При неявном представлении управляющего воздействия: Хромосома состоит из 7 генов, длина гена равна 48.

Поскольку существует большое количество способов селекции и кроссинговера, в ходе исследования сравнивались показатели эффективности 5 алгоритмов: Селекция: наилучший + случайно выбранный (BestRand) и одноточечный оператор кроссинговера (1pCrossing); Селекция: наилучший + случайно выбранный и двухточечный оператор кроссинговера; Селекция: наилучший + случайно выбранный и кроссинговер, зависящий от родителей $u^1 \otimes_k u^r$, $k = \frac{f(u^1)}{f(u^1)+f(u^r)}$, где u^1 – первый родитель; u^r – второй родитель; k принадлежит интервалу от 0 до 1; Селекция: рулеточный отбор и одноточечный оператор кроссинговера; рулеточный отбор и двухточечный оператор кроссинговера; рулеточный отбор и $u^1 \otimes_k u^r$ – кроссинговер, при 100 независимых запусках. Результаты исследования приведены в таблице 8.

Таблица 8

Результатов работы генетического алгоритма

Способ селекции и скрещивания	Достижение оптимума (да/нет)	Среднее время выполнения итерации (сек.)	Среднее количество итераций
BestRand+1pCrossing	да	0.172	146
BestRand+2pCrossing	да	0.301	290
BestRand+ \otimes Crossing	да	0.214	74
Roulette+1pCrossing	да	0.280	290
Roulette+2pCrossing	да	0.289	284
Roulette+ \otimes Crossing	да	0.206	103

Из таблицы видно, что реализация генетического алгоритма с комбинацией элитного отбора (лучших особей + случайно выбранные) и $u^1 \otimes_k u^r$ – кроссинговера требует меньшее число итераций для достижения оптимума и осуществляется быстрее, чем другие рассмотренные комбинации, следовательно является предпочтительным среди рассматриваемых подходов для решения данной задачи генетическим алгоритмом.

Целью эксперимента с вышеописанными исходными предпосылками являлось выделение типа модели, типа интегрального критерия, способа представления управляющего воздействия (явное или неявное), которые бы позволили моделировать

эффект от применения управляющих воздействий с наибольшей адекватностью на основе имеющихся данных. Основные результаты, полученные в ходе исследования, приведены в приложении 3 рисунки 62-70; на рисунках 22-25; в таблицах 9,10.

На рисунке 22 показана гистограмма, отражающая результаты кросс-валидационного подхода. Величина столбца соответствует процентному отклонению прогнозируемого значения обобщенной оценки функционального состояния от реального, в случае если данный объект выборки является тестовым и не присутствовал в обучении нейронной сети.

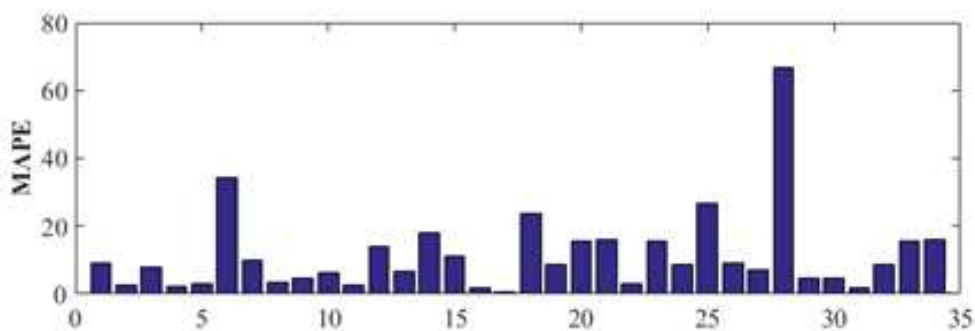


Рис.22. Кросс-валидационное тестирование нейросетевой модели эффекта управляющего воздействия

Особое внимание вызвало значение столбца с индексом 28, так как его высокое значение ошибки может сигнализировать либо о плохом качестве обучения, либо о наличии аномальных экземпляров в выборке.

Сравнение результатов, полученных с помощью нейросетевой модели (рисунок 22) и линейной регрессии (рисунок 23), наличие экспертной оценки, позволило сделать вывод о том, что высокая ошибка прогнозирования связана именно с данными, а не с разработанными моделями, а также дало возможность выявить аномальные объекты в выборке. Медицинская природа аномальности данного объекта была в дальнейшем подтверждена экспертами, однако именно машинное обучение в качестве системы выявления закономерностей при интеллектуальной поддержке принятия решения позволило экспертам обнаружить новые знания, содержащиеся в исходных данных.

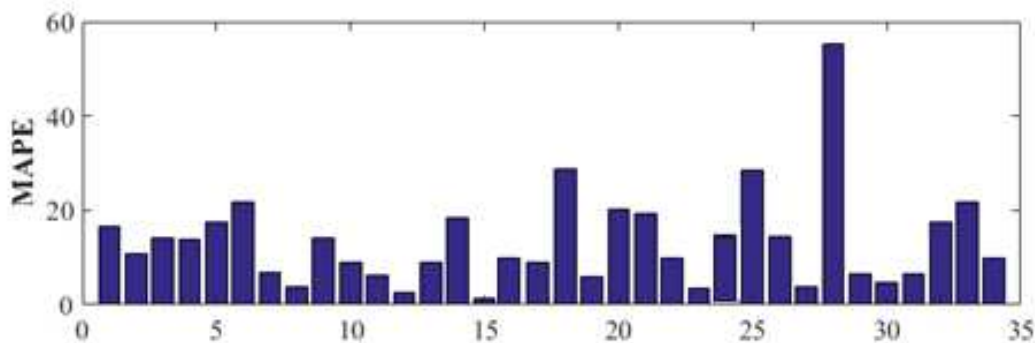


Рис.23. Кросс-валидационное тестирование линейной модели эффекта управляющего воздействия

Среднее значение по столбцам гистограмм, а также дисперсия для каждой модели и способа вычисления обобщенной оценки приведены в таблицах 9, 10 и на рисунках 24, 25.

Таблица 9

Результаты моделирования управляющего воздействия для первой группы

Метод	Линейная регрессия		Нейросетевая модель (MSE)		Нейросетевая модель (кросс-энтропия)	
	\overline{MAPE}	σ	\overline{MAPE}	σ	\overline{MAPE}	σ
Обобщенного показателя МиП	18.0886	17.0892	14.3796	10.1201	6.2660	8.1696
Кульбака	20.1757	18.2775	18.8309	17.9282	12.0418	10.3283
Махаланобиса	28.5250	20.8615	32.1998	27.5833	29.5526	22.2530

Таблица 10

Результаты моделирования управляющего воздействия для второй группы

Метод	Линейная регрессия		Нейросетевая модель (MSE)		Нейросетевая модель (кросс-энтропия)	
	\overline{MAPE}	σ	\overline{MAPE}	σ	\overline{MAPE}	σ
Обобщенного показателя МиП	21.9168	12.0366	16.3549	10.8148	11.0251	6.6560
Кульбака	19.8877	20.9268	19.9437	15.7115	13.4789	11.0622
Махаланобиса	38.0110	27.2864	30.2685	24.2794	25.0385	22.5701

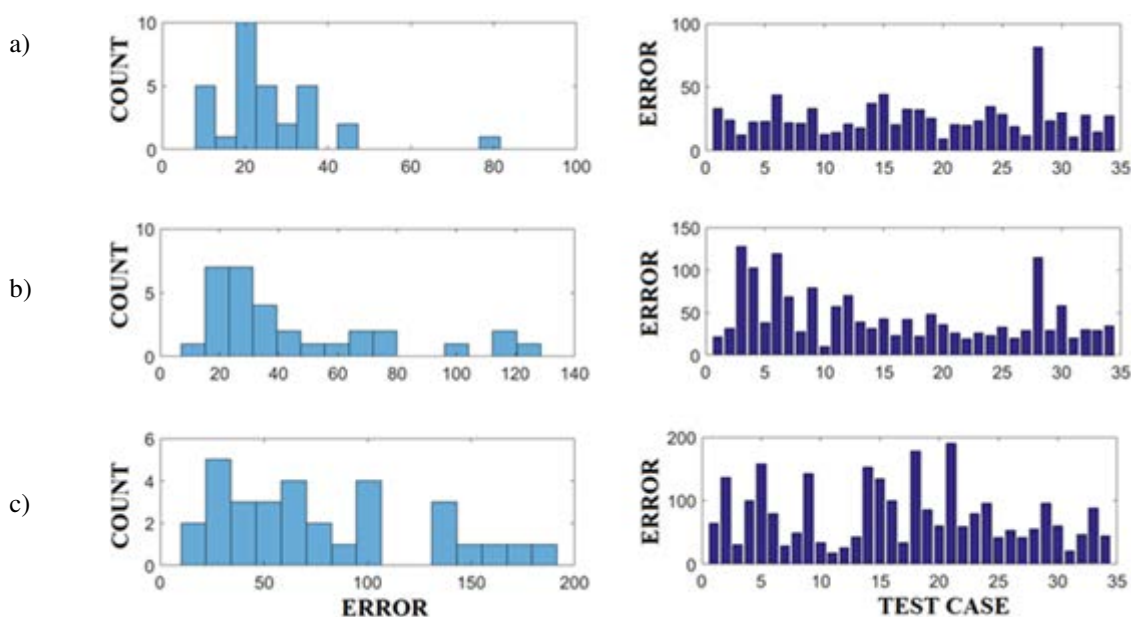


Рис. 24

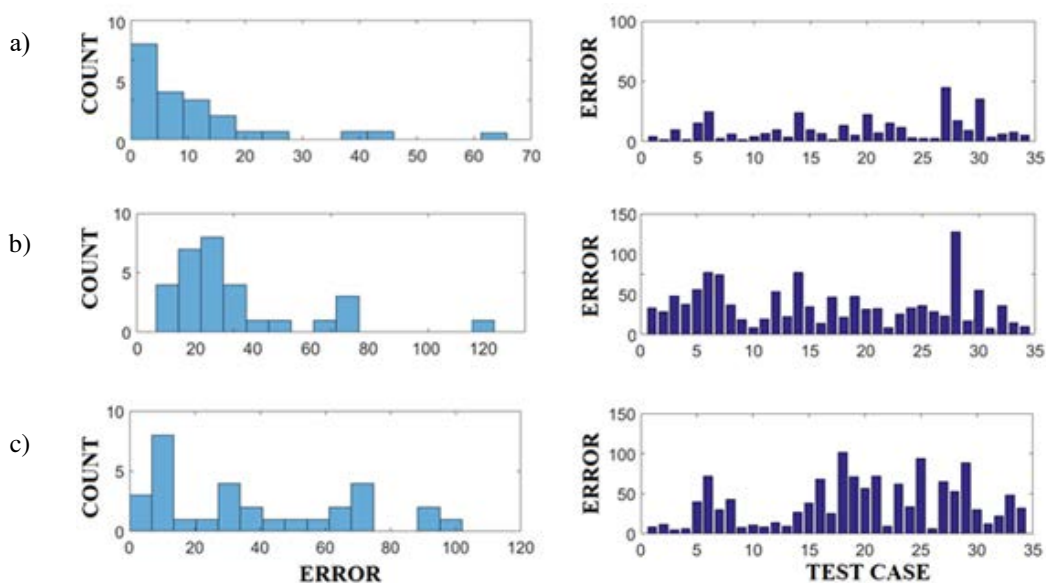


Рис. 25 Результаты вычислительного эксперимента для второй группы на основе нейросетевой модели (MSE): а – Обобщенный показатель МиП, отклонение от границ нормы; б – Обобщенный показатель МиП, отклонение от среднестатистических значений нормы; с – Интегральный критерий, основанный на метрике Махаланобиса

Результаты вычислительного эксперимента для второй группы на основе линейной регрессии в случае когда интегральная оценка основана на: а – Обобщенный показатель МиП, где δ рассчитано от верхней и нижней границы нормы; б – Обобщенный показатель МиП, где δ рассчитано от среднестатистических значений для контрольной группы; с – Интегральный критерий, основанный на оценке близости наблюдаемого и предпочтительного состояний.

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что интегральные оценки, полученные с помощью метода, в основе которого информационная мера Кульбака, рассматривается как мера предпочтительности поведения биообъекта, позволяет более точно прогнозировать эффект управляющего воздействия, чем критерий, основанный на расстоянии Махаланобиса. При вычислении отклонения значения признака от границ интервала достигается большая адекватность машинного обучения, чем при вычислении отклонения от равновесных значений признаков в контрольной группе.

Наиболее же адекватной моделью выбора управляющих воздействий является нейросетевая модель, алгоритм решения задачи обучения, которой модифицирован таким образом, что минимизировалось не среднеквадратическое отклонение, а значение кросс-энтропийной функции, что позволило снизить зависимость коррекции веса от значений производных.

Подтверждением независимости результатов, представленных в таблицах, от случайной инициализации весовых коэффициентов является тот факт, что для каждого случая кросс-валидации генерировалось 50 наборов начальных весов, использовавшихся для независимо обучаемых моделей. Например, для получения результатов, представленных на рисунке 22, было обучено 1750 моделей с разными начальными весовыми коэффициентами.

Обобщим полученные результаты:

- Применение метода вычисления обобщенного показателя МиП для оценки функционального состояния развивающихся биосистем позволяет получить наибольшую

точность при оценке отклонения текущего значения переменной, характеризующей функциональное состояние, от границ нормы, в отличие от расчета отклонений значений переменных от среднестатистических значений для контрольной группы.

- Оценка, полученная на основе метода вычисления обобщенного показателя МиП, позволяет сделать вывод о (об): функциональном состоянии организма в определенный момент времени; адаптационном потенциале; эффекте управляющих воздействий.

- В соответствии с выбранными управляющими воздействиями формируется модель выбора УВ, позволяющая оценить развитие ситуации, построив прогнозные обобщенные оценки функционального состояния.

- При нейроэволюционном подходе информация об управляющих воздействиях инкапсулирована в ген. Невозможно оценить эффект совокупности управляющих воздействий, не применявшихся ранее ни к одному из объектов исследования.

- Для построения общей модели эффективности лечения формируется банк (фиксированное множество) управляющих воздействий. При таком подходе курс лечения $K \subset D$, где $D = D_1, D_2, \dots, D_N$, где N – количество УВ, сформированных индивидуально и актуальных в определенный момент времени t .

- Для каждого объекта формируется управляющее воздействие в определенный момент времени t , выбор которого осуществляется посредством минимизации целевой функции отклонения прогнозного значения обобщенного показателя от желаемого (магистрального значения).

Методологические основы информационного анализа данных и выбора последовательности управляющих воздействий

Пусть имеется база данных, хранящая значения свойств объектов исследования в моменты времени: до применения некоторого управляющего воздействия и после.

1. Для каждого объекта исследования в каждый момент времени вычисляются значения обобщенного показателя МиП и оцениваются их отклонения от нормы.

2. Эффект управляющего воздействия на каждый объект исследования моделируется посредством нейронной сети. В качестве входных данных используются значения переменных, характеризующих состояние объекта исследования до применения управляющего воздействия. В качестве желаемых откликов используются как значения переменных, так и значения обобщенного показателя МиП после применения управляющего воздействия. Минимизируемая целевая функция определяется как отклонение обобщенного показателя МиП от нормы.

3. Полученное множество нейросетевых моделей формирует множество генов, которые могут быть заданы вектором параметров нейронных сетей (для неявной формы) и вектором логических переменных, в которых закодировано управляющее воздействие (при явной форме).

4. По известным предыдущим состояниям (переменным состояниям) и прогнозным значениям переменных состояния с помощью генетического алгоритма определяется последовательность управляющих воздействий. В процессе работы генетического алгоритма происходит запрос к нейронным сетям для получения прогнозных значений состояния на все будущие интервалы времени.

4. Генетический алгоритм посредством селекции, кроссинговера и мутации формирует и выбирает экземпляры нового поколения.

5. Значения фиттинг-функции генетического алгоритма определяются как отклонения прогнозируемого нейронной сетью (геном) значения обобщенного показателя от нормы. Среди множества управляющих воздействий, определяемых хромосомами, выбирается то, при котором значение фиттинг-функции будет минимальным (установлен диапазон $[0,1; 1]$).

18.6 Применение искусственного носителя интеллекта

Рассмотрим вопросы практического применения ИНИ для протезирования человека, в робототехнике и диагностике. На рис. 26 дана блок-схема распределенного ИНИ, которая содержит: компьютерный перестраиваемый нейро-сетевой двойник мозга, электронный био-физиолого-электрический двойник мозга, интеллектуальный параллельный блок управления, интеллектуальный интерфейс, адаптивный блок памяти, адаптивные датчики информации (внешние и внутренние) и адаптивный блок памяти. Структура и функционирование компьютерного перестраиваемого нейро-сетевого двойника мозга и электронного био-физиолого-электрического двойника мозга рассмотрены в предыдущих разделах монографии. Интеллектуальный интерфейс и адаптивный блок памяти выполнены в соответствии с известными требованиями. Адаптивный блок памяти состоит из источника постоянного тока (с преобразователем в постоянный ток) и источника постоянного тока на солнечных батареях. Адаптивные датчики информации обеспечивают восприятие внешней информации об окружающей среде (3D цветные телекамеры, химические датчики, звуковые датчики и др.), а внутренние датчики воспринимают информацию о состоянии объекта (положения исполнительных органов). Интеллектуальный параллельный блок управления функционирует в реальном времени, обеспечивает распределение объема и типа выполняемых задач.

Робототехника

Принципы, изложенные в монографии, использованы в создании такой интеллектуальной робототехники, как мониторинг территорий, диагностика трубопроводного транспорта и охрана территорий [177, 191-194].

На рис. 26 приведена обобщенная блок-схема интеллектуальных роботов для мониторинга территорий, диагностики и ремонта трубопроводного транспорта. Интеллектуальные роботы представляют интеграцию аэродинамической платформы и коптеров-дронов (с двумя, четырьмя, шестью двигателями с пропеллерами). На платформе также размещены приборы мониторинга внешней среды системы навигации, связи и управления роботом (см. рис. 26). Интеллектуальный робот в такой комплектации может перемещаться по любой поверхности (грунт, снег, вода). А также горизонтальной, вертикальной и наклонной поверхности или трубам различного диаметра, используя навигационное оборудование (определитель координат) робот может перелетать препятствия. Мониторинг территорий обеспечивается в любое время суток, для этого используется интеллектуальная система технического зрения с такими датчиками информации, как цветная 3D видеокамера, локатор, тепловизор, прибор ночного видения и анализатор радиационной, химической и газовой утечки. Интеллектуальный робот функционирует в автоматическом и автоматизированных режимах и управляется интеллектуальным микроконтроллером управления (ИНИ интеллектуальным носителем информации), который использует универсальный пульт управления, содержащее рабочее место пилота и инженера. На мониторе рабочего места пилота отображается навигационная информация, а на мониторе инженера – техническое состояние интеллектуального робота, информация о мониторинге и восстановлении объекта. Связь универсального пульта управления с интеллектуальным роботом осуществляется цифровым блоком телеметрии, блоком шифрования и приемопередатчиком. Комплексный блок разметки фиксирует состояние объекта в электронном виде на мониторе пульта и путем размещения меток на территории. Если робот используется в задачах трубопроводного транспорта, тогда он способен устранять повреждения трубы (трещины, пробой) путем цементирование специальным веществом.

Таким образом, блоком интеллектуального робота является ИНИ, который обеспечивает навигацию, связь, мониторинг объектов навесным оборудованием через блок управления

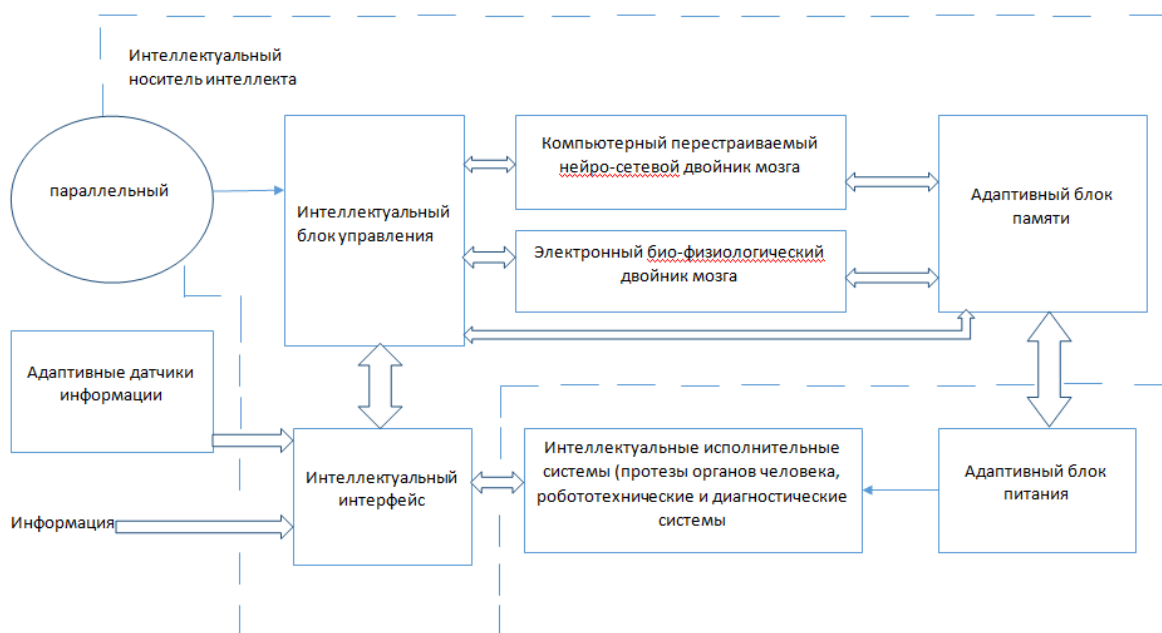


Рис. 26. Блок – схема распределенного интеллектуального носителя интеллекта

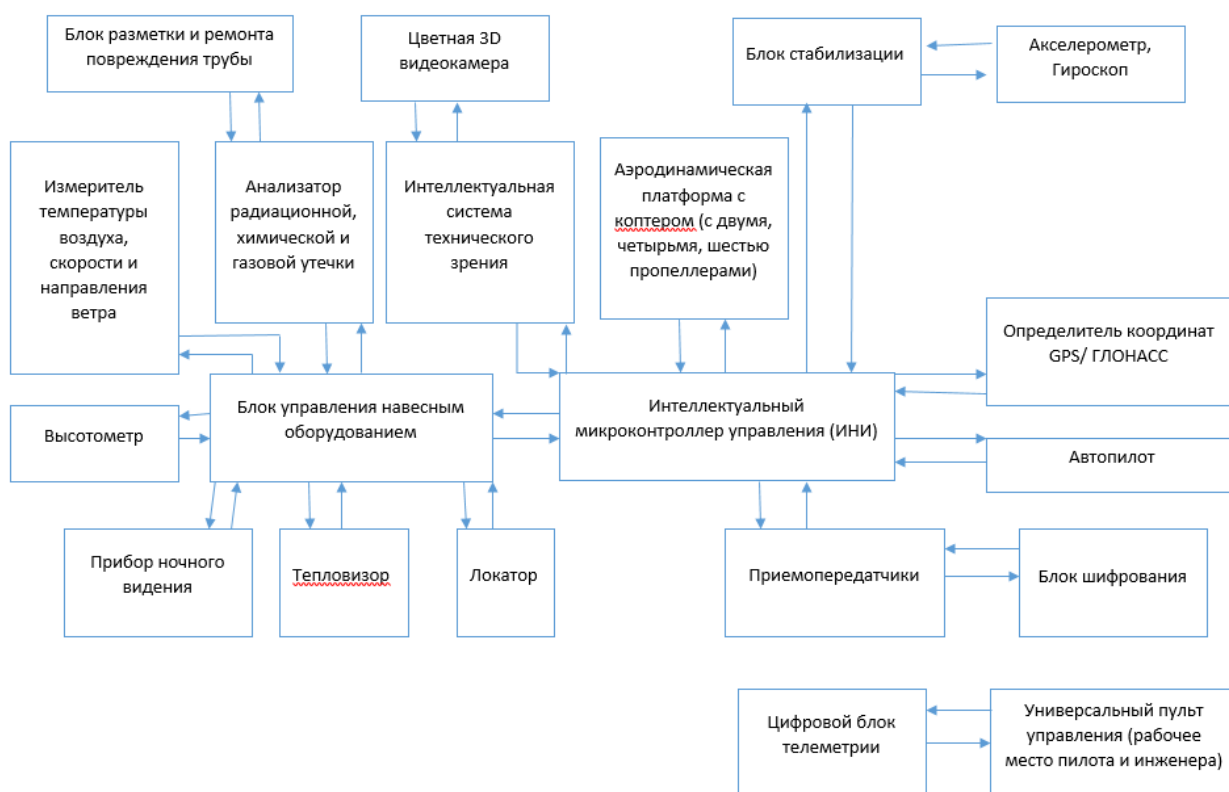


Рис. 27. Блок – схема интеллектуальных роботов для диагностики и ремонта трубопроводного транспорта



Рис. 28. Общий вид

19. Опасности создания цивилизации разумных существ с искусственными носителями интеллекта и возможность сосуществования с такой цивилизацией

К числу трудностей создания ИИ можно отнести и большие опасения специалистов, что ИИ может причинить вред всему человечеству, превратит людей в рабов или, вообще, уничтожит их. И этот вопрос очень серьёзен.

Давайте посмотрим, когда возникают конфликты, вражда, между какими-то субъектами. Все известные конфликты (особенно именно с антагонизмом, а не просто с конкуренцией) возникают, когда субъекты претендуют на один и тот же ограниченный ресурс. Пока европейцы были далеко от Америки, никаких конфликтов между европейцами и американскими индейцами не возникало, да и не могло возникнуть. Европейцы просто не знали, что есть такой ресурс, и им можно завладеть. Но как только европейцы добрались до нового континента, им захотелось обладать тем, что раньше принадлежало индейцам. На этой почве и произошло множество войн, в результате чего прежние хозяева страны были почти полностью истреблены, лишились практически всего.

Рассмотрим другой пример. Пусть имеется две колонии муравьёв. Пока они живут на разных территориях, никаких конфликтов нет. Если же обстоятельства заставляют одну из колоний переселиться, то, если при переселении будут задеты интересы другой колонии (при переходе через её территорию), между ними может начаться борьба или даже война до полного порабощения или даже уничтожения.

Более того, существуют колонии муравьёв, которые обеспечивают своё существование грабежами колоний муравьёв других видов [173].

Конфликт может происходить даже между колонией муравьёв и людьми. Например, когда колония муравьёв (термитов) живёт вне зоны интересов людей, то ни муравьям, ни людям нет никакого дела друг до друга. Но если колония начинает переселяться, она может нанести вред человеку. И тогда между ними начинается война.

Оптимисты с воодушевлением ожидают контактов с инопланетянами, надеясь на получение от них технологий, которые обеспечат безбедную, «райскую» жизнь.

Пессимисты же опасаются вторжения инопланетян, которым будут нужны ресурсы нашей планеты, а не благополучие людей. Из-за обладания ресурсами, которыми сейчас владеют земляне, просто уничтожить людей.

То же самое касается и отношений между сообществом людей, и ИИ. Хотя *с единственным* могущественным ИИ, хотя *с сообществом* носителей ИИ. Цивилизация ИИ может полностью уничтожить нас или превратить в своих рабов или в домашних животных для развлечения ИИ.

Но, если мы создадим ИИ, интересы которого не будут антагонистичны интересам людей, то и антагонистической конкуренции между людьми и ИИ не будет. В этом случае люди и созданный ими ИИ (возможно, более разумный, чем человек) будут жить в симбиозе, со взаимной пользой. Сосуществуем же мы сейчас со стаями достаточно разумных волков, или даже более тесно с собаками, которые и работают в охране, и просто живут во многих семьях. И, тем более, сосуществуют мужчины и женщины. Они просто не могут жить друг без друга.

20. Краткие итоги. Результаты применения созданного искусственного носителя интеллекта

Если в предыдущих книгах предлагались к рассмотрению, в основном, вопросы, то к настоящему времени уже есть и подтверждённые ответы: патент, компьютерная модель, результаты НИР с созданием электронной модели, аналогичной компьютерной.

Основной результат данной работы: показано, что след события в виде **парных ассоциативных связей, образовавшихся** между нейронами, возбуждёнными в один и тот же промежуток времени (ассоциированными событиями), **обеспечивает впоследствии опережающую реакцию** организма на последовательности событий внешнего мира в результате естественного произвольного (автоматического) прогнозирования на основе оставшихся следов. Такое **опережающее уклонение («предвидение»)** обеспечивает более успешное **выживание** и экспансию обладателей нервной системы за счёт уклонения от приближающихся, но ещё не успевших наступить опасностей. Обсуждены основные черты сугубо локального механизма, обеспечивающего выполнение этих функций. Главные из этих черт таковы:

- нейрон возбуждается при уровне суммарного сигнала на его входе выше некоторого порога. Если сигнал ниже порога (шум), он остаётся без реакции. При возбуждении нейрона энергия, запасённая во внутренней ёмкости нейрона (преобразованная из питательных веществ, находящихся внутри оболочки нейрона, оперативно доступных для нейрона), используется:

- для усиления, продвижения сигнала дальше по оптимальным путям в структурах мозга,

- для автоматического, произвольного образования следов произошедших событий в виде парных связей между возбуждёнными нейронами.

Существующие (образовавшиеся ранее) связи совместно с механизмом их образования и эволюции впоследствии определяют пути прохождения сигналов по мозгу.

То есть, обеспечивают адекватную реакцию организма (в результате самоадаптации к событиям), заключающуюся в уклонении от опасностей, подобных случившимся ранее, благодаря оставленным ими следам.

Все остальные черты функционирования мозга основаны на этих главных чертах.

В работе показано, что создание полностью контролируемого или прослеживаемого вплоть до последней связи между нейронами искусственного интеллекта (ИИ) невозможно в том смысле, что невозможно знать об информационном наполнении этого интеллекта абсолютно всё. Уже потому, что состояние самого ИИ непрерывно изменяется с большой скоростью. Даже очередной взгляд на совершенно чистое небо отличается от предыдущих взглядов на то же самое небо. Еще больше и быстрее меняется информационное содержимое мозга при восприятии потока речи или видеоряда. По поводу сверхточного контроля состояния мозга можно даже провести аналогию с квантовой механикой. Можно сказать, что текущее состояние мозга может быть измерено или представлено лишь с предельно возможной точностью до одной связи между нейронами – своеобразного кванта действия для мозга, аналога \hbar в квантовой механике.

Если же не требовать абсолютно полного контроля над состоянием этого ИИ, то создание такого ИИ принципиально вполне возможно. Может быть, даже на том же пути, который мы предлагаем для построения искусственного мозга. Другое дело, что проконтролировать информационное содержание такого интеллекта, содержащего порядка 10^{14} связей представляется нереальным. Даже если устанавливать по одному миллиону связей в секунду, для наполнения такого интеллекта понадобится около трех лет. Тем более, что действующий ИИ непрерывно изменяет своё информационное наполнение. Видим, что при наличии даже приблизительной оценки информационной ёмкости мозга человека становятся понятными и даже очевидными принципиальные трудности создания искусственного интеллекта путём проектирования и установления **всех** логических связей в носителе искусственного интеллекта. Здесь имеется в виду полномасштабный ИИ, способный конкурировать с человеческим интеллектом, материализованным на десятке миллиардов медленных, но зато параллельно и сравнительно независимых действующих логических элементов – нейронов. Чтобы получить ИИ с заданными характеристиками на традиционных сегодня путях, нужно сначала рассчитать, спроектировать сотни тысяч миллиардов логических межнейронных связей с их весами. Эта гигантская работа выльется в такое количество человеко-лет квалифицированного труда, что становится очевидным, что работа по созданию такого, с полностью спроектированными логическими связями, сразу готового к функционированию ИИ, экономически нецелесообразна. Перефразируя выражение знаменитого комментатора Н.Н. Озерова, можно сказать: «Такой ИИ нам не нужен!».

Другое дело – интеллект, размещённый на ином материальном носителе, чем наш биологический белковый мозг, но **воспитанный** (наполненный информацией), на протяжении довольно длительного времени. То есть, можно говорить о воспитании естественного интеллекта (ЕИ) в искусственном носителе интеллекта (ИНИ), в искусственном мозге (ИМ), который, без сомнений, может быть создан в соответствии с рассмотренными выше принципами работы мозга. А именно:

1. Мозг представляет собой огромное множество многовходовых логических элементов – нейронов. Нейроны возбуждаются, активизируются сигналами, поступающими на их входы, при превышении порога их чувствительности. Работают нейроны параллельно, асинхронно, достаточно независимо друг от друга, и возбуждают друг друга через множество парных связей, так что сигнал может продвигаться по нейронным структурам, проходя путь от рецептора, реагирующего на внешние раздражители, до исполнительных механизмов, позволяющих уклоняться от раздражителей.

2. Каждая межнейронная связь соединяют выход предыдущего нейрона с входом последующего. Связи самопроизвольно образуются между возбуждёнными в данный момент нейронами, находящимися в механическом контакте, посредством электрического пробоя (или логически эквивалентным способом).

3. Возбуждение нейрона длится некоторое конечное время. Поэтому и могут образоваться связи между нейронами — следы причинно-следственных связей, в которых фиксируется факт *приблизительно одновременного* возбуждения нейронов. На основе произошедшего образования связей между нейронами появляется способность «предвидеть» впоследствии наступление сопутствующего, *как в прошлый раз*, события и заранее уклоняться от него. Поэтому может иметь место опережающая реакция организма, хотя сопутствующее прошлый раз событие могло быть как до, так и после данного события. В этой опережающей реакции и заключена полезность возникающей связи для организма, так как «предвидение», опережение порождает дополнительные шансы на выживание благодаря уклонению от опасности.

4. Логические веса связей, определяющие силу влияния нейронов друг на друга – их проводимости, со временем уменьшаются. Этим уменьшением обусловлено забывание и «торможение», происходящее в результате появления новых, более сильных конкурирующих связей в логически близких цепочках нейронов, возникающих наряду со старыми связями. Новые связи, как и существовавшие до того, ослабевают со временем. Забывание (угасание связей) совместно с уставанием активных элементов обеспечивает возможность переучивания – изменения поведения в изменяющихся условиях. Если забыл, но при привлечении дополнительных связей – ассоциаций вспомнил, то это значит, что связь не была утрачена безвозвратно, просто её вес стал слишком маленьким, её сопротивление увеличилось.

5. Рассмотрены возможности образования связей между нейронами в совершенно «чистом» мозге, возникновение и расширение, уточнение понятий, материализованных сначала на отдельных нейронах, а при развитии понятий, при расширении опыта – на группах нейронов.

6. Рассмотрен механизм обеспечения «единственности» мысли – внимания. То есть, рассмотрен механизм, обеспечивающий «не взрывообразное», а почти одномерное, почти линейное, последовательное развитие, течение мысли с коэффициентом размножения сигналов не более 1. Этот механизм базируется на короткой отрицательной обратной связи – выход предыдущего, активизирующего нейрона «подсаживается», нейтрализуется входом первого же возбуждёвшегося нейрона последующей ступени. И возможность возбуждения других нейронов последующей ступени, кроме первого возбуждёвшегося, резко снижается. Этот же механизм обеспечивает и «торможение», переучивание при изменении последовательностей событий.

7. Предложено объяснение механизма и функции сна: входные каскады нейронов мозга в результате их «разряженности», наступающей в процессе бодрствования вследствие затрат на их возбуждения при функционировании, из-за возрастания порога возбуждения перестают пропускать в мозг внешние сигналы обычного уровня. При этом падает активность и других нейронов, так как на часть их входов перестают поступать фоновые активизирующие сигналы от нейронов-соседей. Поскольку для внутренних нейронов мозга средний коэффициент размножения сигнала не больше единицы (иначе происходило бы самовозбуждение мозга), то течение мыслей в мозге, лишённом внешних раздражителей, затухает. Мозг погружается в полное спокойствие. Когда нейроны мозга восстановятся, а некоторые из них зарядятся даже излишне («перезарядятся»), то они могут самовозбудиться. Тогда по спящему мозгу начнет бродить правдоподобный сюжет – сон. Начинается сновидение. По мере восстановления работоспособности входных нейронов они начинают пропускать входные сигналы – мозг просыпается после отдыха, можно сказать, «по плану». При поступлении во время сна на вход мозга слишком сильных раздражителей они также смогут проникнуть в мозг даже через высокие во время

сна пороги чувствительности входных нейронов, и мозг просыпается **вынужденно**, например, от яркого света, или от громкого шума.

В работе предложен принцип образования логических парных связей между двумя возбуждёнными нейронами, а также эксперимент, который может подтвердить или опровергнуть утверждение о справедливости этого принципа образования межнейронных связей не только для искусственных, но и для естественных биологических нервных систем. Описан механизм формирования серий нервных импульсов при воздействии на нейроны продолжительных (мощных) сигналов–раздражителей.

Несомненно, специалисты по нейробиологии и близким к ней дисциплинам обнаружат в тексте нашей книги некоторые противоречия. Они могут сказать, что не освещено и то, и другое, и третье. В ответ на возможную критику приведём 3 положения:

1. Мы рассматриваем *логику* функционирования мозга, поэтому для нас нет необходимости в рассмотрении различных взаимопревращений потенциалов, проводящих сигналы по структурам мозга. Это, в первую очередь, электрические потенциалы, электрохимические, термодинамические, переходящие друг в друга, где это необходимо для экономии ресурсов организма, а также в случаях, обусловленных эволюцией. К этим превращениям необходимо добавить и действие различных гормонов, производимых множеством желез внутренней секреции. Но все эти превращения могут быть замещены электрическими эквивалентами, поскольку нас не ограничивает необходимость жёсткой экономии ресурсов. Кроме того, для функционирования логики не имеет значения форма движения сигнала. Поэтому мы и рассматриваем движение сигналов в наиболее понятной и наиболее просто реализуемой форме – в виде электрических потенциалов.

2. Совсем не обязательно, что наши утверждения неверны по причине их несоответствия некоторым сегодняшним представлениям. Приведём исторический пример. Ещё сравнительно недавно Земля считалась плоской. Сейчас же, основываясь на человеческой практике, мы уже не считаем, а твёрдо знаем, что Земля круглая.

3. Компьютерная и электронная модели простейшей нервной системы, построенные нами в соответствии с изложенными принципами, показали действенность описанных принципов. Так что предложенные нами принципы функционирования мозга получили существенное подтверждение практикой.

Если удастся подтвердить выдвинутые принципы функционирования мозга в биологическом эксперименте, как это было описано, то будет ещё раз убедительно подтверждена правильность выдвинутых принципов. Понимание принципов функционирования нашего мозга, позволяющих построить достаточно адекватную компьютерную или схемную модель мозга, может помочь понять причины различных болезней–расстройств работы мозга человека и найти пути их преодоления. Так, например, из нашей модели мозга вытекает, что утрата способности к запоминанию новых событий связана с невозможностью или трудностью образования новых связей между нейронами. Возможны несколько причин такого нарушения: или стало слишком высоким напряжение пробоя, или стало недостаточным для пробоя выходное напряжение активных возбуждённых элементов, или стали слишком большими токи утечки через изолирующую оболочку нейронов, так что в результате утечек перестало достигаться нормальное напряжение пробоя. Поэтому и перестали образовываться новые связи, хотя уже существующие старые связи—воспоминания при этом работают достаточно хорошо.

Заключение

В работе сделана попытка понять, как работает наш человеческий мозг. По нашему мнению, принципы его работы очень просты, иначе он не смог бы образоваться в природе сам по себе. Из нашего изложения следует не только констатация простоты, элементарности принципов, в соответствии с которыми функционирует мозг, но и возможность уже при нынешнем уровне развития микроэлектроники в самом близком будущем создать искусственный мозг, по мощности равный нашему естественному мозгу, или даже превосходящий его. Описаны пути создания компьютерной (программной) и схемной (электронной) модели искусственного мозга и их применения для решения практических задач. Однако наполнять интеллект и стимулами этот искусственный мозг придётся обычным методом – через воспитание, обучение. Иначе огромное количество информации, необходимое для функционирования интеллекта, невозможно обработать и разместить в интерпретирующем ИИ устройстве. Так что рядом с человечеством вполне может вырасти высокоразвитая небелковая цивилизация, которая с высокой вероятностью может превзойти человечество. Станет ли она нашим конкурентом, соперником? Или даже противником, врагом? Чтобы такого не случилось, необходимо, чтобы наши цивилизации не стали антагонистическими конкурентами за жизнеобеспечивающие ресурсы - пищевые, энергетические. А, наоборот, имели бы общие цели в задачах выживания. И тогда эта цивилизация будет в симбиозе с нами, станет нашим помощником, соратником, другом!

Список использованной литературы

1. Саймон Хайкин, Нейронные сети. Полный курс. Второе издание. Университет McMaster. Гамильтон, Онтарио, Канада, Москва, Санкт-Петербург, Киев, 2006 <https://books.google.com.ua/books?id=lpmr0ia0muwc&pg=pa623&lpg=pa623&dq=%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D1%8B+%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F+%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85+%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC+%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8+%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8&source=bl&ots=4c9zba7rz7&sig=iftxaaqel-fvr--cpg70slbv-pw&hl=ru&sa=x&ved=0ahukewirrkhlqofsahwjc5okhsupd5gqbaeiqjai#v=onepage&q=%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D1%8B%20%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%20%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8%20%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8&f=false> (015.03.2017)
2. Брайнес С.Н., Свечинский В.Б. Проблемы нейрокибернетики и нейробионики М. 1968. <http://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=ru&blang=ru&page=book&id=105092> (015.03.2017)
3. М Джефф Хокинс, Дилип Джорж, Иерархическая темпоральная память <https://numenta.com/assets/pdf/whitepapers/hierarchical-temporal-memory-cortical-learning-algorithm-0.2.1-ru.pdf> (015.03.2017).
4. Модели нейронов https://www.google.com.ua/search?q=%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8+%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2&espv=2&biw=1366&bih=638&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKewj49N2kuefSAhXGDPoKHXF-CboQsAQIPg#imgrc=_ (015.03.2017).
5. Нейрон и его модели http://sernam.ru/book_gen.php?id=5 (015.03.2017)
6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. - М.: Горячая линия -Телеком, 2006. - 452 с. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы http://sernam.ru/book_gen.php (015.03.2017)
7. Лекция 2: Модели нейронов (ИНТУИТ) <http://www.intuit.ru/studies/courses/61/61/lecture/20436?page=2> (015.03.2017)
8. Гиппенрейтер Ю.Б. Введение в общую психологию. Курс лекций. http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Psihol/Gipp/02_Ob.php (01.03.2016)
9. Анисимов В.В. Искусственный интеллект. История развития искусственного интеллекта. <https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/knowledge/lecture/tema1> (01.03.2016).
10. Автоматический регулятор Ползунова <http://refer.in.ua/major/223/80581/> (01.03.2016).
11. Фрэнк Розенблатт. Принципы нейродинамики: перцептроны и теория механизмов мозга = Principles of Neurodynamic: perceptrons and the theory of brain mechanisms.— М.: «Мир», 1965.
12. У. Росс Эшби Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. — М.: ИЛ, 1962. — С. 398.

13. Мак-Каллок, У. С., Питтс, В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности = A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // Автоматы.: Сб.. — М., 1956. — С. 363—384.
14. Минский, М., Пейперт, С. Перцептроны = Perceptrons. — М.: Мир, 1971. — 261 с.
15. Н. Винер. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Советское радио, 1958.
16. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Учебник. — СПб.: Питер, 2000.
17. Джозеф Джарратано, Гари Райли «Экспертные системы: принципы разработки и программирование»: Пер. с англ. — М. Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1152 стр. с ил.
18. Питер Джексон. Введение в экспертные системы = Introduction to Expert Systems. — 3-е изд. — М.: Вильямс, 2001. — С. 624. — ISBN 0-201-87686-8.
19. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ: Пер. с англ. В. А. Кондратенко, С. В. Трубицына. — М.: Финансы и статистика, 1990.—320 с.
20. Уотермен Д. "Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. под ред. В. Л. Стефанюка. — М.: «Мир», 1989: — 388 стр. с ил.
21. «Голубой мозг» обретает реальные формы <http://nashagazeta.ch/news/14158> (01.03.2016)
22. В.Е. Пешкова. Мозг и психика. Теория системного подхода к психологии 2015, <https://books.google.com.ua/books?id=jGo5CwAAQBAJ&pg=PA84&lpg=PA84&dq=%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B2+%D0%A1%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2+%D0%9B%D1%83%D1%80%D0%B8%D1%8F+%D0%90%D0%BD%D0%BE%D1%85%D0%B8%D0%BD&source=bl&ots=rWKMCFIheD&sig=u72B0nyfG30fPmIvYK80pHcycS4&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwj2pIHfp7PKAhWH1xQKHUptCDUQ6AEIHzAB#v=onepage&q=%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B2%20%D0%A1%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%20%D0%9B%D1%83%D1%80%D0%B8%D1%8F%20%D0%90%D0%BD%D0%BE%D1%85%D0%B8%D0%BD&f=false>). (01.03.2016)
23. Институт мозга человека имени Н.П. Бехтеревой <http://www.ihb.spb.ru/> (01.03.2016)
24. Новый центр института мозга в Лас-Вегасе <http://www.capa.me/101909-novyj-centr-instituta-mozga-v-las-vegase.html>) (01.03.2016)
25. Институт мозга в Париже <http://ru.rfi.fr/frantsiya/20100927-institut-mozga-v-parizhe-chtoby-pobedit-nedug-vo-vsem-mire> (01.03.2016)
26. Вольф Зингер, директор института мозга имени М. Планка во Франкфурте: «Раскрыть код мозга» <http://www.goethe.de/ins/ru/lp/kul/dur/eri/ru3694289.htm> (01.03.2016) .
27. Научно-исследовательский институт мозга РАМН <http://dic.academic.ru/dic.nsf/moscow/3838/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%BE> (01.03.2016)
28. Клинический институт мозга в Екатеринбурге <http://www.kim.ekadoctor.ru/> (01.03.2016).
29. Brain Mind Institute, Лозанна <http://sv.epfl.ch/aboutBMI> (01.03.2016)
30. Карта активности головного мозга и созвездия нейронов <http://www.zdrav.kz/node/8710> (01.03.2016).
31. \$3 млрд в мозг: Обама перезапустит экономику США нацпроектом по изучению мозга <http://slon.ru/fast/future/obama-perezapustit-ekonomiku-ssha-natsproektom-po-izucheniyu-mozga-910832.xhtml> (01.03.2016).
32. Модель мозга и битва за миллиарды. <http://www.swissinfo.ch/rus/%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C->

- <http://www.intuit.ru/studies/courses/593/449/lecture/10011?page=4> (01.03.2016)
33. ЕС создаст цифровую модель мозга человека за €1 млрд
<http://texnomaniya.ru/technology/es-sozdast-cifrovuju-model-mozga-cheloveka-za-1-mlrd.html> (01.03.2016)
34. <http://www.intuit.ru/studies/courses/593/449/lecture/10011?page=4> (01.03.2016)
35. Маккалох Дж., Питтс У. Логические исчисления идей, относящихся к нервной деятельности. // Автоматы. М.: ИЛ, 1956.
36. Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн «Теория игр и экономическое поведение». М.: Наука, 1970.
37. «Turing Test: 50 Years Later» (англ.) — обзор 50-летней работы над тестом Тьюринга, с точки зрения 2000 г.
38. John McCarthy et al. LISP 1.5 Programmers Manual. MIT Press, 1962
39. Азимов, Айзек https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B2,_%D0%90%D0%B9%D0%B7%D0%B5%D0%BA (01.03.2016)
40. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга. М. Мир, 1965 Ф.
41. Литвинов В. П. Мышление Ноама Хомского: Курс лекций / Международная академия бизнеса и банковского дела.— Тольятти, 1999.
42. Гросс М., Лантен А. Теория формальных грамматик/ Пер. с фр. — М.: Мир, 1971. — 296 с.
43. Хомская Е. Д. Александр Романович Лурия. Научная биография. — М.: Воениздат, 1992. — С. 50.
44. Hebb, D. O. The organization of behavior: a neuropsychological theory. New York (2002) (Оригинальное издание — 1949).
45. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B5%D0%B1%D0%B1,_%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%B4 (01.03.2016)
46. Э.Хант, (Искусственный интеллект, М. 1978 г)
47. Эшби У.Р. Введение в кибернетику М – ГИС, 1959, 432 стр
48. Корнилов Е. Н. Программирование шахмат и других логических игр. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — ISBN 5-94157-497-5.
49. Продеус А. Н., Захрабова Е. Н. Экспертные системы в медицине. М.: Век +1998 - 361 с.
50. Хейес-Рот Ф., Уотермен Д., Ленат Д. Построение экспертных систем. – М.: Мир, 1987.
51. Представление и использование знаний, перевод с японского под редакцией Х.Уэно, М. Исидзука, Москва, Мир 1989
52. Курс лекций по дисциплине «Системы искусственного интеллекта»
<http://www.mari-el.ru/mmlab/home/AI/index.html> (01.03.2016)
53. Кулагина О. С. Исследования по машинному переводу. М., Наука, 1979
54. О. С. Кулагина. О современном состоянии машинного перевода // Математические вопросы кибернетики, вып. 3, М.: Наука, 1991, стр. 5—50. ISBN 5-02-014323-5.
55. О. Л. Голицына, Н. В. Максимов, Т. Л. Партыка, И. И. Попов Информационные технологии, (2006).
56. Направления и области применения искусственного интеллекта. Представление знаний
<http://homehelper.in.ua/expertsystems/napravleniya-i-oblasti-primeneniya-iskusstvennogo-intellekta.html> (01.03.2016).

57. В.М. Матросов, С.Н. Васильев, В.Г. Каратуев и др. Алгоритмы вывода теорем метода векторных функций Ляпунова. Ред. В.М. Матросов. Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 1981.
58. Виноград Т. Программа, понимающая естественный язык. М.: Мир, 1976.
59. Искусственный интеллект в сенсорных системах <http://www.controlengrussia.com/apparatnye-sredstva/iskusstvenny-j-intellekt-v-sensorny-h-sistemah/>) (01.03.2016).
60. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание, перевод с английского, Москва 2003)
61. Ник Бостром. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. Москва, 2016. Перевод С. Филина Под редакцией Бурцева Представлена в Интернете: <https://books.google.com.ua/books?id=Qzk5CwAAQBAJ&pg=PA200&lpg=PA200&dq=%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F+%D0%98%D0%98&source=bl&ots=wy-Mnqy6yR&sig=plLk4lZ41iv4i95jagMVlnD4d0A&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiAxvr87sXKAhVow3IKHQLvAus4ChDoAQhOMAk#v=onepage&q=%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%98%D0%98&f=false> (01.03.2016)
62. Михаил Бурцев, Что такое «искусственный интеллект» и где он применяется + видео <http://itandlife.ru/science/ai/chto-takoe-iskusstvennyj-intellekt-i-gde-on-primenyaetsya-video/> (01.03.2016).
63. Сергей Бобровский, Перспективы и тенденции развития искусственного интеллекта, <http://www.computer-museum.ru/frgnhist/aireview.htm> (01.03.2016)
64. Информация <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F> (01.03.2016)
65. Понятие «Информация» <http://informatika.sch880.ru/p17aa1.html> (01.03.2016)
66. Информация (Information) – это... http://forexaw.com/TERMs/Services/Media/11025_%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_Information_%D1%8D%D1%82%D0%BE) (01.03.2016).
67. Понятие информации <http://bourabai.kz/tpoi/inform/definition.htm> (01.03.2016)
68. Основы информатики <http://computer-lectures.ru/osnovnye-ponyatiya-informatiki/1-1-ponyatie-informacii-i-informatiki/> (01.03.2016).
69. Информация, её свойства <http://schoolinfo.ioso.ru/informaciya.htm> (01.03.2016)
70. П. Ершов, Л. Д.Кудрявцев, А. Л. Онищик, А.П. Юшкевич Математический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1988. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1558556> (01.03.2016)
71. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. - М.: Иностранная литература, 1963. <http://www.novsu.ru/file/1086154> (01.03.2016)
72. Гномон (статья в Википедии) <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%BD> (01.03.2016)
73. Свойства информации <http://elearn.oknemuan.ru/?p=7&id=179> (01.03.2016)
74. Статья в интернете «Позиционная система счисления» https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D1%81%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F (01.03.2016)
75. Н.П. Брусенцов, Рамиль Альмарес Хосе, Троичные ЭВМ «Сетунь» и «Сетунь 70» http://www.computer-museum.ru/histussr/setun_b.htm (01.03.2016).
76. Шумилов В.Н. Информационная ёмкость мозга человека. http://scorcher.ru/theory_publisher/show_art.php?id=26.
77. Обсуждение статьи Информационная ёмкость мозга человека. http://scorcher.ru/articles/art.php?id_art=798&sub_id=0&page_txt=4

78. Обсуждение статьи Информационная ёмкость мозга человека. http://scorcher.ru/articles/art.php?id_art=798&sub_id=0&page_txt=3
79. Статья в интернете Строение и функции нервной системы. <http://azps.ru/articles/cmmn/cmmn82.html> (01.03.2016)
80. Проничев И. В. Лекции по физиологии центральной нервной системы. Биолого-химический факультет УдГУ. http://www.distedu.ru/edu4/p_2 (01.03.2016).
81. А.А. Малыгин. Нервные клетки и их особенности <http://www.superidea.ru/intel/mozg/um13r.htm> (01.03.2016).
82. Статья в интернете Мозг в цифрах (инфографика) <http://medicena.ru/blogpost/mozg-v-tsifrah-infografika/> (01.03.2016).
83. Институт Киари, Барселона 18 интересных фактов о мозге <http://www.vitamarg.com/article/raznoe/2429-18-factov-mozg> (01.03.2016).
84. Четыре крупнейших мифа о человеческом мозге <http://mixednews.ru/archives/16163> (01.03.2016).
85. Сюзанна Геркулано – Хоузес. Какое количество нейронов в мозге человека <http://medicineno.com/kakoe-kolichestvo-neuronov-v-mozge-cheloveka.html> (01.03.2016)
86. Guang Yang, Feng Pan, Wen-Biao Gan. Stably maintained dendritic spines are associated with lifelong memories // *Nature*. Advance online publication 29 November 2009 Перевод в «Визуальное наблюдение адаптивного поведения нейронов» http://scorcher.ru/axiomatics/axiom_show.php?id=227 (01.03.2016)
87. Мышляев С.Ю. Концепция коррекционной педагогики <http://xn--b1afrd4dr4a.xn--p1ai/nauka/avtorskie-stati/kontseptsiya-korreksionnoy-pedagogiki/> (01.03.2016)
88. Статья в интернете Пчелиный танец <http://24medok.ru/pchelinij-tanec-video/> (01.03.2016).
89. Статья в интернете «Наука и жизнь» №2 2016 г Чем занят мозг, когда он ничем не занят? <https://www.nkj.ru/archive/articles/12693/> (01.03.2016).
90. В. Гречко. Боль и болевая чувствительность <http://www.medeffect.ru/so/headache-0002.shtml> (01.03.2016)
91. Д. Тулинов. Как усилить работу мозга <http://trv-science.ru/2011/05/24/kak-usilit-rabotu-mozga/> (01.03.2016)
92. Статья в интернете Опыты Гальвани: биоэлектрические явления <http://school-collection.lyceum62.ru/ecor/storage/autoindex/519d7af7-a1b3-f455-e24d-d746bf862d35/00149187595289405/00149187595289405.htm> (01.03.2016)
93. Наука и жизнь, №2, 2016, Нервные клетки восстанавливаются <http://www.nkj.ru/archive/articles/4199/> (01.03.2016)
94. Ходанович М.Ю. Нейрогенез взрослого мозга при ишемических повреждениях: перспективы исследований Труды 11 международного междисциплинарного конгресса Нейронаука для медицины и психологии, стр. 412. Судак 2015. http://brainres.ru/work/Sudak_2015_11_Congress.pdf (01.03.2016).
95. Отчёт о научно-исследовательской работе (НИР) по договору № 9006 от 04.09.2014 г. «Разработка электронных схем для создания действующей модели искусственного нейроподобного элемента»
96. Шумилов В.Н., Воронин В.Н., Соломонов В.И., Патент РФ № 0120800 U1 Управляющее устройство с искусственной нейросетью, (действует с 2012.01.30)
97. Шумилов В.Н., Воронин В.Н., Соломонов В.И., Патент РФ № 2475843 Адаптивное управляющее устройство, нейроподобный базовый элемент и способ организации работы такого устройства (заявка от 2011-12-15, публикация 2013.02.20)
98. Шумилов В.Н. Принципы функционирования мозга. Взгляд инженера. Екатеринбург, [б/и], 2008.
99. Шумилов В.Н. Принципы функционирования мозга. Издательство ТГУ, Томск, 2015.

100. Шумилов В.Н., Шумилов И.В., Сырямкин В.И., Обучение простейшей нервной системы, механизм полезности и эволюция нервной системы от простейших организмов до высших. Журнал «Нейрокомпьютеры: разработка, применение» №4 за 2015 г. Стр. 94-96.
101. Шумилов В.Н., Шумилов И.В., Сырямкин В.И., Обучение простейшей нервной системы, механизм полезности и эволюция нервной системы от простейших организмов до высших. Труды 11 международного конгресса «Нейронаука для медицины и психологии», Судак 2015 г. Стр. 455.
102. Воронин В.Н., Шумилов В.Н., Шумилов Ю.А., Цой А.Р., Киселёв А.В., Шаршов С.М. Обучение и переучивание электронной модели простейшей нервной системы в рамках выполненной НИР. Журнал «Нейрокомпьютеры: разработка, применение» №4 за 2015 г. Стр. 26-28.
103. Воронин В.Н., Шумилов В.Н., Шумилов Ю.А., Цой А.Р., Киселёв А.В., Шаршов С.М. Обучение и переучивание электронной модели простейшей нервной системы в рамках выполненной НИР. Труды 11 международного конгресса «Нейронаука для медицины и психологии», Судак 2015 г. Стр. 116.
104. Статья в интернете: Функции активации в нейронных сетях <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/activation-function.html> (01.03.2016)
105. Статья в интернете Активность мозга стимулирует образование новых связей между нейронами <http://umopitanie.ru/otkryitiya-i-faktyi/aktivnost-mozga-stimuliruet-obrazovanie-novyih-svyazey-mezhdu-neyronami.html> (01.03.2016)
106. И. П. Павлов. Динамическая стереотипия высшего отдела головного мозга. Доклад на X Международном психологическом конгрессе в Копенгагене 24 августа 1932 г.
107. И. П. Павлов. Проба физиологического понимания симптоматиологии истерии. Брошюра, изд. Академии наук СССР, 1932, (L'Encephale, 1933, XXVIII, 4).
108. Возбуждающие и тормозящие синапсы http://studopedia.ru/1_91952_vozbuzhdayushchie-i-tormozyashchie-sinapsi.html (01.03.2016)
109. Как работают тормозящие нейроны <http://nauka21vek.ru/archives/37902> (01.03.2016)
110. Г.М. Младенов, В.М. Спивак, Е.Г. Колева, А.В.Богдан, Нанoeлектроника http://me.kpi.ua/downloads/Nanoelectronics_1.pdf (01.03.2016)
111. Нанотехнологии в электронике, Под редакцией Ю.А. Чаплыгина https://books.google.com.ua/books?id=p5ZOCgAAQBAJ&pg=PA292&lpg=PA292&dq=%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F+%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F+%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5&source=bl&ots=sS0QPh1xD_&sig=dOs3a7qHGepxw3a8zpearj6v2DU&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwibg6yR9JjLAhXEfhoKHU7yCMIQ6AEIQDAN#v=onepage&q=%D1%82%D0%BE%D0%BB%D1%89%D0%B8%D0%BD&f=false) (<http://www.ex.ua/94401958>) (01.03.2016)
112. В.П. Сочивк. Электрические модели нейронов. Библиотека по автоматике, выпуск 148, Издательство «Энергия» Москва, Ленинград, 1965 (<http://www.twirpx.com/file/511481/>), https://books.google.com.ua/books?id=EnsHAAQBAJ&pg=PA59&lpg=PA59&dq=%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B8+%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85+%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BE%D0%B2&source=bl&ots=tSeHI5ufMO&sig=r3PAHtj-PTM_c3zBqATONwPgKkc&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwjKt53LqZvLAhXsJ5oKHRfw

AE0Q6AEИДАВ#v=onpage&q=%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B8%20%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BE%D0%B2&f=false (01.03.2016)

113. Физиология человека. Под редакцией *В.М Покровского Г.Ф. Коротько*, Глава 1. <http://www.bibliotekar.ru/447/12.htm> (01.03.2016)

114. Физиология человека. Под редакцией *В.М Покровского Г.Ф. Коротько*, Глава 4. <http://www.bibliotekar.ru/447/40.htm> (01.03.2016)

115. С. Блексли, Дж Хокинге, Об интеллекте, 2007 http://archism.narod.ru/lib/bleiksl_i_sandra_ob_intellekte.pdf (01.03.2016)

116. TSMC преодолела сложности 40-нанометровой технологии и в этом году начнет выпуск по нормам 28 нм, 21.01.2010 г <http://www.ixbt.com/news/hard/index.shtml?12/86/73> (01.03.2016)

117. Технологический процесс в электронной промышленности https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81_%D0%B2_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8 (01.03.2016)

118. К. Ходаковский. Samsung успешно продвигается в освоении 14-нм норм FinFET, 25.12.2012 <http://www.3dnews.ru/news/639548> (01.03.2016)

119. К. Ходаковский UMC присоединится к IBM в разработке 10-нм техпроцесса, 17.06.2013 <http://www.3dnews.ru/news/646765> (01.03.2016)

120. Лекции по технологии микроэлектронной промышленности.pdf <http://phys-el.spbstu.ru/andronov/nano/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8%20-%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F%20%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%8D%D0%B%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8>.pdf (01.03.2016)

121. М.Валентинова. Электроника: Наука, Технология, Бизнес 6/2001. Экзотическая память; Pat. US 5835396, Three-dimensional read-only memory, 1998 г.

122. Медицинская энциклопедия. Биоэлектрические потенциалы <http://www.medical-enc.ru/2/biotoki.shtml> (01.03.2016)

123. Портал искусственного интеллекта. <http://www.aiportal.ru/>

124. Обучение перцептрона. Дельта-правило) (<http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/perceptron-learning.html>)

125. Ф. Уоссермен. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. 1992 <http://scicenter.online/sistemy-informatsionnyie-scicenter/neyrokompyuternaya-tehnika-teoriya.html>

126. Михайлов А.С. Методы оптимизации: курс лекций для студентов направления 230100.68 «Информатика и вычислительная техника» очной формы обучения / А.С.Михайлов. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – 81с. <https://studfiles.net/preview/4406248/>

127. Основы теории нейронных сетей <http://www.intuit.ru/studies/courses/88/88/lecture/20527>

128. Природа Земли Электрические рыбы <http://www.zoeco.com/0-rib/0-ribi3-25-2.html>

129. Медицинская и биологическая физика: Под редакцией профессора А. В. Чалого
<https://books.google.ru/books?id=sVDXCQAAQBAJ&pg=PA189&lpg=PA189&dq=%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5+%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%8F+%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85+%D0%BC%D0%B5%D0%BC%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%BD&source=bl&ots=yozCQnetTD&sig=DRGjzIAFul6a5mnnHUzV9cGyEcM&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwin0bbzrvPXAhXmCJoKHZSQD-cQ6AEIOTAD#v=onepage&q=%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%8F%20%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85%20%D0%BC%D0%B5%D0%BC%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%BD&f=false>
130. Потенциал действия нейрона: общая информация
<http://bodhi.name/ru/zhivomordnost/potencial-dejstviya1/>
131. Потенциал действия нейрона: подробности
<http://bodhi.name/ru/zhivomordnost/potencial-dejstviya2/>
132. VMEDEorg, Глава 1. Общая физиология.
http://vmede.org/sait/?id=Fiziologiya_atlas_kamakin_2010&menu=Fiziologiya_atlas_kamakin_2010OperaStable%5C%5CShell%5C%5COpen%5C%5CCommand&page=3
133. К.Ю. Богданов. Физик в гостях у биолога.
<https://books.google.pl/books?id=Jd5wDgAAQBAJ&pg=PA10&lpg=PA10&dq=%D1%8D%D0%B4%D1%81+%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9+%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BA%D0%B8&source=bl&ots=BDbCCoWbLe&sig=RGqExjPd8vXpB1nOswvT23K-0Do&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjZy7jtsvLcAhWJCJoKHSR4BXYQ6AEwB3oECAMQAQ#v=onepage&q=%D1%8D%D0%B4%D1%81%20%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9%20%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BA%D0%B8&f=false>
134. Action potential <https://ru.scribd.com/document/273950113/Action-Potential>
135. Справочник химика 21. Химия и химическая технология. Большая медицинская энциклопедия, Мембраны биологические. <http://chem21.info/info/99773/>
136. Vladimir Syryamkin, Vladimir Shumilov A possible mechanism for the formation of unconditioned reflexes, Journal: Brain Research Bulletin.
137. Как наш мозг создает нейронные связи и формирует привычки и интеллект, <http://ezoterik.info/forum/viewtopic.php?t=6456> ,
138. Medic.Studio. Неврология нейрохирургия. Звездчатые нейроны с околоклеточной аксонной сетью. <http://medic.studio/neurohirurgiya-nevrologiya/zvezdchatyie-neyronyi-okolokletochnoy-aksonnoy-49120.html>
139. Временные врожденные рефлексы новорожденных. Угасание безусловных рефлексов. <http://lk.notum.pro/page/vremennie-vrozhdennie-refleksi-novorozhdennih-ugasanie>
140. Адаптивные информационные системы. Энциклопедия по экономике. <https://economy-ru.info/info/199859/>
141. Кульчин Юрий Николаевич Денисов Игорь Викторович, Оптоэлектронная самоадаптирующаяся система параллельной обработки оптической информации. КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/optoelektronnaya-samoadaptiruyuschayasya-sistema-parallelnoy-obrabotki-opticheskoy-informatsii>
142. S. Mahdavi-Hezavehi, ... D. Weyns, Self-Adaptive System <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/self-adaptive-system>
143. Betty H. C. Cheng Rogério de Lemos Holger Giese

- Software Engineering for Self-Adaptive Systems: A Research Roadmap
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-02161-9_1
144. Воронин В.Н., Шумилов В.Н., Шумилов Ю.А., Цой А.Р., Киселёв А.В., Шаршов С.М. Отчёт о научно-исследовательской работе (НИР) по договору № 9006 от 04.09.2014 г. ТГУ—ООО «Прерогатива Томск», «Разработка электронных схем для создания действующей модели искусственного нейроподобного элемента»
145. 1. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики: Пер. с англ. 2-ое изд. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. — 440 с.
146. Есаков С.А. Руководство к лабораторным занятиям по возрастной анатомии и физиологии <http://www.distedu.ru/edu12/work13> (15.03.2015)
147. Б. Мионов Экономическая биология человека. (Опубликовано в журнале «Вопросы экономики» №10 2004 с. 141-150) <http://demoscope.ru/weekly/2007/0295/analit01.php> (15.03.2015)
148. Загнеткин В.Н. <http://www.rlocman.ru/shem/shem-cache.html?di=18720> (15.03.2015)
149. Психофизиология, учебник для ВУЗов под редакцией Ю.И. Александрова. СПб, Питер, 2003, 496 стр. <http://galactic.org.ua/Xomo/f.htm>, <http://galactic.org.ua/Xomo/fl.2.htm> (15.03.2015)
150. V I Syryamkin, V N Shumilov A mechanism for the formation of unconditioned reflexes III International Conference "Cognitive Robotics" IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 516 (2019) 012006 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/516/1/012006 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/516/1/012006/pdf>
151. Шумилов В.Н. Кратковременная и долговременная память. XIII международный междисциплинарный конгресс Нейронаука для медицины и психологии 4-10 июня 2017 г. стр. 472, https://www.hse.ru/data/2017/12/05/1161518668/Sudak_2017_13_Congress_Proceedings.pdf]
152. *Vladimir Shumilov and Vladimir Syryamkin* [Openness of Natural Information Processing Systems and Short-Term and Long-Term Memory](https://doi.org/10.1051/mateconf/201815501026) 01026, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815501026> , PDF, MATEC web conf., Published online: 28 February 2018].
153. Психология. Особенности памяти как психологического процесса <http://psixologiya.org/obshhaya/pamyat/1647-osobennosti-pamyati-kak-psixologicheskogo-procnessa-diplom.html>
154. Ланге В.Н., О скорости забывания <http://www.voppsy.ru/issues/1983/834/834142.htm>
155. Эволюция головного мозга у животных <http://biofile.ru/bio/19130.html> ,
156. Биология и медицина. Эволюция мозга у позвоночных животных <http://medbiol.ru/medbiol/antrop/00079dc7.htm>
157. Кратковременная память https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C
158. Эббингауз Г. «Психология» (1907)_
159. George A. Miller. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81—97.
160. Шумилов В.Н. Как мы думаем. Механизмы функционирования мозга, издательство Lap Lambert, ISBN: 978-3-659-8614-3, 2016 г
161. Evaluation of children psychomotor development http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/pediatria2/classes_stud/en/med/lik/ptn/pro

- paedeutic%20pediatrics/3/theme%202003%20evaluation%20of%20children%20psychomotor%20%20development..htm
162. Congenital and acquired forms of behavior. Congenital and acquired human behavior <https://clione.ru/en/anatomy/summary-congenital-and-acquired-forms-of-behavior-congenital-and-acquired-human-behavior/>
163. Feral Children: Mind Blowing Cases of Children Raised by Animals. Last updated on January 24th, 2018 at 11:56 pm by Mihai Andrei <https://www.zmescience.com/other/feature-post/feral-children/>
164. AAMFT Children of Alcoholics https://www.aamft.org/Consumer_Updates/Children_of_Alcoholics.aspx
165. Средний рост японцев: сравнение по годам. Основные продукты питания японцев <https://fb.ru/article/295992/sredniy-rost-yapontsev-sravnienie-po-godam-osnovnyie-produktyi-pitaniya-yapontsev>
166. Шумилов В.Н. Динамическое регулирование коэффициента размножения сигналов в мозге и критерии завершения распознавания. XIII международный междисциплинарный конгресс Нейронаука для медицины и психологии 4-10 июня 2017 г. стр. 473, https://www.hse.ru/data/2017/12/05/1161518668/Sudak_2017_13_Congress_Proceedings.pdf
167. Анатомия человека. <http://www.medical-enc.ru/anatomy/kletki-i-volokna-kory-golovnogo-mozga.shtml> (27.11.2016 г)
168. Анатомия человека. Неврология (учение о нервной системе) <http://www.medical-enc.ru/anatomy/neurologia.shtml> (27.11.2016 г)
169. Vladimir Shumilov, Model of artificial intelligence medium and its use in Treating disorders of the Nervous System https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2016/42/mateconf_imet2016_01045.pdf
170. V. N. Shumilov, V. I. Syryamkin and M. V. Syryamkin, Modelling of pathologies of the nervous system by the example of computational and electronic models of elementary nervous systems <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.4936040>
171. «Бабочки хранят воспоминания о своем детстве». <http://molbiol.ru/index.php?can=3> (15.03.2015)
172. 14. Retention of Memory through Metamorphosis: Can a Moth Remember What It Learned As a Caterpillar? Douglas J. Blackiston, Elena Silva Casey, Martha R. Weiss* <http://www.plosone.org/article/fetchArticle.action?articleURI=info:doi/10.1371/journal.pone.0001736> (15.03.2015)
173. Марк Моффет (Mark W.Mofett) Муравьи и искусство войны <https://www.kramola.info/vesti/neobyknovennoe/muravi-i-iskusstvo-voyny>
174. Каляев И. А. Гонка за цифровым признаком. Журнал «Огонек», №24 от 24.06.2019. –С.28-30.
175. Энциклопедия кибернетики. Киев: Главная редакция УСЭ, 1974. Т. 1-ый, 606 с; Т. 2-ой, 618 с.
176. Сырямкин В.И. Информационные устройства и системы в робототехнике: учеб. пособие. (Серия: Интеллектуальные технические системы). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с.
177. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы: учеб. пособие (под ред. В.И. Сырямкина. – Томск: STT, 2017 – 256 с. (Серия: «Интеллектуальные технические системы» (под-серия: «Когнитивная робототехника»)).
178. Математические методы информатики в задачах и примерах. Опыт применения в проектировании сложных систем: Учеб. Пособие / Под ред. Ю.П. Мухи и В.И. Сырямкина. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012 – 484 с.
179. Горбачев С.В., Сырямкин В.И. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа информации / под ред. проф. В.И. Сырямкина. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2014. –442 с.

180. Сырямкин В.И., Сырямкин М.В., Титов Д.В., Титов В.С., Труфанов М.И. Адаптивные системы технического зрения: монография / В.И. Сырямкин, М.В. Сырямкин, Д.В. Титов, В.С. Титов, М.И. Труфанов – 2-ое изд. доп. Москва: РУСАЙНС, 2019. – 488 с. – (Серия «Интеллектуальные технические системы»).
181. Artem Sh. Bureev, Dmitry S. Zhdanov, Ivan Yu. Zemlyakov, Mikhail S. Kutsov, Vladimir I. Syryamkin ADAPTIVE MEDICAL DIAGNOSTIC SYSTEMS Bulgarian First edition Edited by Professor V. I. Syryamkin 2016. 256 p.
182. Digital Xray Tomography by A.Sh. Bureev, S.A. Klestov, M.S. Kutsov, A.V. Osipov Yu.M. Osipov, V.I. Syryamkin, S.B. Suntsov, Edited by V.I. Syryamkin Published in 2015 by Red Square Scientific Wenlock Road, London.
183. Digital Processing of Aerospace Images, V.I. Syryamkin, Published in 2018 by Red Square Scientific 2022 Wenlock Road, London.
184. ADAPTIVE MEDICAL DIAGNOSTIC SYSTEMS Artem Sh. Bureev, Dmitry S. Zhdanov, Ivan Yu. Zemlyakov, Mikhail S. Kutsov, Vladimir I. Syryamkin, Sofia • 2016.
185. Абрамова Т.В., Ваганова Е.В., Сырямкин В.И. и др. Когнитивные системы мониторинга и прогноза научно-технологического развития государства / Под ред. д-ра техн. Наук, проф. В.И. Сырямкина. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. – 358с.
186. Горбачев С.В., Емельянов С.Г., Сырямкин В.И. и др. Цифровая обработка аэрокосмических изображений. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 304 с.
187. Боровик В.С., Гуцул В.И., Сырямкин В.И., и др. Коллективы интеллектуальных роботов. Сферы применения / Под. ред. В.И. Сырямкина. – Томск : STT, 2018. – 140 с. (Серия: « Интеллектуальные технические системы» (под-серия: «Когнитивная робототехника»)).
188. Сырямкин В.И., Соломонов Ю.С., Соломонов Л.С. и др. Способ управления движущимся объектом и устройство для его осуществления. Патент на изобретение РФ, № 2476825 от 10.03.2011. Публ. 27.02.2013. Бюл.№6.
189. Трубопроводный диагностический робот. Патент РФ № 2 707 644(С1) от 07.08.2018, публ. 28.11.2019, Бюл. № 34. Авторы: Сырямкин В.И., Гуцул В.И., Угрюмов Д.А., Ильичев В.Н., Сырямкин М.В., Фирсов И.С.
190. Устройство для определения о разметки участков территории с химическим и радиоактивным заражением. Патент РФ № 2661295 (С1) от 04.08.2017, публ. 13.07.2018. Бюл. № 20 Авторы Сырямкин В.И., Гуцул В.И., Угрюмов Д.А., Ильичев В.Н., Сырямкин М.В.
191. Робот для диагностики ремонта трубопроводного транспорта, Заявка на изобретение № 2019116059/28 (030613) от 24.05.2019. Авторы: Сырямкин В.И., Гуцул В.И. и др.
192. «Устройство распределенного управления интеллектуальными роботами для борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами» Патент РФ № 2717047 (С1 от 19.08.2019г), публ. 18.03.2020г бюл. № 8. Авторы: Сырямкин В.И., Шидловский С.В., Гуцул В.И., Клестов С.А, Сырямкин М.В., Шашев Д.В., Гимазов Р.У.
193. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЁМКОСТЬ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА Сырямкин В.И., Шумилов И.В., Шумилов В.Н. В сборнике: Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации. сборник материалов XII Международной научно-технической конференции. 2015. С. 348-350.
194. Шумилов В. Н. Принципы функционирования мозга / В. Н. Шумилов ; [отв. ред. В. И. Соломонов] ; Том. гос. ун-т. - Томск : Издательство Томского университета, 2015. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000520559>
195. Гергет О.М. Модель и инструментальные средства анализа информационных процессов биологической системы мать-плод. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Томск: НИ ТПУ, 2018.-316 с.

196. Mondic, D. Recurrent Neural Networks for Prediction: Learning Algorithms, Architectures and Stability/Mandic, D Chambers, Y. – Wiley.-2001.
197. https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/biologiya/GOLOVNO_MOZG_CHELOVEKA.html

Приложение 1. Объективность и материализация информации

Дополнительно к различным имеющимся определениям информации приведём конструктивное рабочее определение, используемое в представляемой работе. И приведём пояснения.

Предварительное рассмотрение позволяет однозначно заявить, что нет принципиальных непреодолимых препятствий для создания ИИ на традиционных современных путях. Основным препятствием для создания искусственного интеллекта является огромное количество информации, необходимой для полноценного функционирования ИИ. Для того, чтобы можно было оценить практическую возможность создания ИИ, затраты на создание ИИ, необходимо оценить, как велико количество информации, которое надо обработать для его создания и разместить всю обработанную информацию в устройстве, интерпретирующем ИИ. Независимо от того, в каком виде мы собираемся создавать ИИ – хоть в виде программно–аппаратного комплекса, хоть в чисто аппаратном (электронном) исполнении. Информационную ёмкость мозга человека мы оценили в основном тексте.

В представляемой работе мы рассматриваем реакции естественного биологического организма и искусственного устройства обработки информации на воздействие среды. Чтобы понять механизмы реакции НС на раздражители, рассмотрим превращение воздействия среды на организм в раздражающий входной сигнал, прохождение этого сигнала через структуры мозга и его превращение в управляющий выходной сигнал, нам приходится активно использовать понятие информации. То есть, и НС организма, и искусственное СУОИ являются, по существу, преобразователями информации. Термин «информация» имеет в настоящее время множество толкований, определений, и в интернете, и на классических носителях, в книгах, журналах, [15, 64 – 72].

Поскольку мы будем активно использовать термин «информация» при нахождении технического решения, есть смысл дать для него однозначное рабочее определение, пригодное для интерпретации в терминах технических решений, которое способствовало бы достижению искомого результата. Сформулируем определение информации, как у всех: «Информация есть описание объекта, перечень значений свойств, признаков объекта» и уточним его с целью использования в расчётах и технических решениях:

«Информация есть отражение (отображение, представление, описание) свойств объекта путём сравнения свойств объекта со свойствами образца, или сравнения свойств объекта с эталонными (выбранными) свойствами образцов».

Результат сравнения на соответствие/несоответствие свойства объекта свойству образца можно назвать проекцией свойств объекта на свойства образца.

Чаще всего мы говорим об информации, подразумевая её использование исследователем–субъектом. Информация, подразумеваемая в соответствии с таким определением субъективна, ибо каждый наблюдатель – субъект описывает объекты совокупностью тех признаков, какие он сочтёт нужными, с какими он привык иметь дело в соответствии со своим субъективным взглядом, со своими предпочтениями, в своей системе признаков, в своём базисе понятий.

Но, если базис свойств уже выбран, задан, закреплён, то информация об объекте в закреплённом базисе уже не зависит от наблюдателя–субъекта, она уже объективна. Результат сравнения (информация) зависит уже только от свойств наблюдаемого (описываемого) объекта и образца, но не от наблюдателя, выбравшего базис.

Понятно, что результат сравнения свойств объекта, отношений со свойствами образца хоть и объективен, но не материален.

Но, как только мы начнём как-то представлять, передавать, сообщать нематериальные отношения – результаты сравнения, так сразу же эти нематериальные результаты материализуются в виде какого-то следа, кратковременного или долговременного. Различие между кратковременным и долговременным следом, в смысле материальности, несущественно. Однако это различие (кратковременность или долговременность следа) может иметь значение с точки зрения удобства оперирования этой уже материализованной информацией. Материализация протекает в виде процесса – представления результата сравнения в материальном виде – звука, изображения, потенциала, рельефа поверхности (например, в виде шрифта Брайля).

В природных явлениях, процессах всегда имеет место движение, изменение объектов и их свойств, и имеет место изменение свойств, преобразование потенциальной информации. В этом случае (при отсутствии субъекта) отсутствует и субъективная составляющая движения информации – процесс описания (выделения каких-то свойств, их сравнения–проецирования и интерпретации). Процессы протекают совершенно объективно, исходные состояния влияют непосредственно на промежуточные и конечные состояния независимо от описания их субъектом. В этом случае информация о процессах и объектах не материализуется, не хранится на каких-то носителях, поэтому и говорим о её потенциальности. Свойства исходных объектов, явлений влияют непосредственно на свойства результирующих процессов и объектов. Взаимозависимость исходных и результирующих свойств объектов не зависит от того, будет ли кто-то, какой-то субъект, описывать процесс, выделяя свойства, интересные для него.

Информация (результаты сравнения) материализуется уже на этапе измерения. Информация, как правило, отображается, фиксируется в ходе электрических, химических, гидравлических, механических и других доступных процессов. В виде импульса потенциала, концентрации чего-либо, давления, механического импульса и т.д. Непосредственно при измерении значение свойства (например, 0/1) оставляет обычно кратковременный материальный след. Кратковременный электрический импульс или тень гномона в солнечных часах [72] может превратиться в долговременный след. Принципиальной разницы между кратковременным и долговременным следом нет – с помощью естественных процессов, приборов мы можем превратить кратковременный след в долговременный – долго наблюдать на ленте самописца уже давно прошедший кратковременный электрический импульс или тень гномона на фотографии.

Какая бы система координат свойств (набора осей – свойств образца для проекций на эти оси свойств описываемого объекта) не была избрана, при полноте произвольной системы координат полный набор проекций этого объекта позволит однозначно представить объект/явление. Такое положение дел подобно тому, как вектор или координаты точки в физическом или математическом пространстве не зависят от базиса, в котором происходит их представление. Зависит только описание в терминах выбранного базиса. Поэтому можно переходить от представления в одном базисе к представлению в другом путём преобразований терминов, соответствующих переходу от одной системы координат к другой. То есть, суть информации, представляющей, описывающей объект в рассматриваемом понятийном пространстве, не зависит от выбора системы координат. Это дополнительно свидетельствует об объективности информации, корректно представленной в выбранном (субъектом) базисе.

Поэтому можно говорить, что информация о любом объекте и субъективна (в результате выбора терминологии-базиса свойств), и объективна (содержание в принятых терминах). Хотя выбранная система базисных свойств субъективна, корректно собранная информация объективна. Выбор самой системы свойств (средств отображения) происходит по воле субъекта, на основе его конкретных предпочтений, сложившихся в результате индивидуального, уникального, субъективного опыта. И по этой причине информация субъективна. А корректное представление информации об описываемом объекте в системе субъективно выбранного ранее набора свойств объективно –

представление в уже закреплённом базисе не зависит от воли субъекта, выбравшего базисный набор свойств. Оно уже объективно.

Из нашего определения однозначно вытекает, что информация не создаётся (не генерируется субъектом или объектом), а **извлекается, выделяется** из системы отношений. Будучи представленной в материализованном виде, информация может фиксироваться, теряться, утрачиваться. Она может быть преобразована (трансформирована в другую систему средств описания, отображения). Информация может быть использована в виде её зафиксированного образа, следа. Хотя информация не может быть сгенерирована произвольным образом, она может быть пополнена присоединением дополнительных объёмов информации, полученных из каких-то других источников, независимых от первоначального (в смысле фиксации отношений между объектами и базисными свойствами, отличных от уже зафиксированных) [73]. При таком дополнении возможны повторы, избыточность информации. Нашим конструктивным рабочим определением информации, с учётом дополнительных замечаний, мы и будем руководствоваться в представляемой работе.

Уже в момент передачи или фиксации информация выступает в материализованном виде, как материальное отображение нематериального результата некоего сравнения–измерения (оценочного, визуального, приборного, через протекание некоторого процесса), в виде порции энергии, достаточной для передачи сведений без искажений. Размер порции энергии для представления единицы информации зависит от средств передачи и фиксации, и ограничен снизу свойствами материи.

При извлечении (измерении) информация – результат сопоставления с неким образцом (произвольным, выбранным для конкретного случая) – может оставить тот или иной материальный след. След может быть кратковременным – действительным (значащим) лишь во время протекания какого-то процесса: электрического, химического, оптического, акустического, механического или ещё какого либо проходящего процесса–сигнала. Воздействие информации может оставить и долговременный материальный след. Например, в виде цифры на бумаге; в виде состояния намагниченности домена в древней породе или в обгоревшем куске горшка из тысячелетнего пепелища. В виде намагниченности ферритового кольца памяти электронного устройства, в виде заряда микроконденсатора в памяти компьютера, в виде проводка или связи в каком-то ином виде между электронными или биологическими элементами.

Некоторые следы информации более удобны для их использования в дальнейшем, некоторые менее удобны. Системы обработки больших потоков информации, и естественные (нервные системы животных, мозг животных и человека), и различные рукотворные УУ, компьютеры, складывались так, чтобы наилучшим образом выполнять требуемую функцию. В естественных условиях выживали наиболее адекватные, приспособленные организмы. Точно так же в инженерной практике оставались образцы управляющих устройств с лучшими характеристиками, свойствами. Тогда как остальные, менее подходящие варианты отклонялись создателями и потребителями устройств. В перечень таких усовершенствуемых свойств входят: плотность размещения информации, простота, надёжность, удобство фиксации, хранения, извлечения и использования информации для её задействования с целью выживания у организмов и выполнения требуемых функций у рукотворных УОИ.

Природа решала эту задачу путём перебора возможных вариантов – мутаций в ходе эволюции и выживания адекватных организмов. Инженеры создают механизмы и элементы, наиболее подходящие для обработки информации в соответствии с требованиями заказчиков (может, ещё и не выраженными, не сформированными, а только спрогнозированными). В результате такого стремления в природе есть мозг с десятками миллиардов нейронов, у каждого из них имеется до 10 000 связей. В технической среде: в компьютерах, в УУ, происходит примерно то же самое. Так что и природа, и инженеры

стремятся обеспечить высокую плотность записи информации, удобство и простоту записи, простоту её интерпретации.

Когда мы говорим об информации, мы практически всегда имеем дело с уже материализованными следами уже объективизированной информации. Объёмы информации, достаточные для полного описания объекта, обычно достаточно велики. Поэтому для описания объекта используются не отдельные свойства, а целые наборы свойств. Эти наборы свойств могут иметь разные конфигурации. Все возможные конфигурации свойств какого-то объекта или множества объектов могут быть пронумерованы. Тогда, указав номер конкретной конфигурации свойств, мы однозначно опишем совокупность свойств какого-то объекта.

Принятой минимальной единицей представления информации является один бит – двоичный разряд (со значением 1 или 0), состояние которого показывает, есть или нет совпадения какого-то простейшего (не разложимого на более простые) признака с образцом. Используют и единицы, производные от бита – байт (8 бит, то есть 8 простых признаков), килобайт (1000 байт), 1 Кбайт ($1024=2^{10}$ байт), 1 Мбайт ($1024*1024$ байт= 2^{20} байт = 2^{28} бит), и так далее. Каждый байт из 1 Мбайт, адресуется двоичным числом длиной в 20 двоичных знаков. А каждый бит каждого байта из 1 Мбайт адресуется числом в 28 двоичных знаков. Каждая совокупность байт и бит из 1 Мбайт указывает на одну из $2^{2*(28)}$ возможных конфигураций (около $2^{256\,000\,000}$) свойств описываемого объекта в выбранном базисе. Обычно мы не задумываемся о формальной стороне представления количества информации, а просто используем байты и биты для описания какого-то объекта, события.

Количество разрядов числа в выбранной системе счисления (длину числа), достаточное для указания на конкретную конфигурацию свойств объекта (из числа перечисленных), можно определить, вычислив логарифм полного количества возможных конфигураций по соответствующему основанию счисления. Обычно для таких целей номер конфигурации свойств задают в двоичной системе счисления. В этом случае можно сказать, что каждый разряд этого длинного двоичного числа описывает значение (да/нет) одного из элементарных свойств (в точности указывает, к какой половине совокупности всех конфигураций свойств относится конфигурация с таким значением рассматриваемого двоичного разряда – одного из свойств, да/нет).

Как известно из теории чисел, теоретически наиболее экономичным для представления больших чисел (в том числе, для указания номера конфигурации свойств) является исчисление (представление чисел) с основанием натурального логарифма e [74]. Но такое дробное основание ($e=2.71828\dots$) трудно (практически невозможно) использовать как в обычной практике, так и с точки зрения технической реализации. Поэтому используются технические решения с основанием счисления 2 или 3. Причём основание 3 ближе к e , поэтому, казалось бы, более экономично. Но технически обработку информации в устройствах с троичной системой счисления организовать сложнее.

Были даже практические попытки использования устройств с троичной системой счисления. Инженеры пытались использовать не двоичную, а троичную систему счисления. Были созданы ЭВМ «Сетунь», работающие на троичной логике с термином «трит» вместо «бит» [75].

Но для обработки информации это оказалось неудобным. Троичное представление чисел труднее реализовать технически. К тому же, троичное представление чисел при технической реализации менее помехоустойчиво, чем двоичное. Так что обеспечение надёжности в троичной системе требует больших затрат, чем в двоичной системе. Поэтому в настоящее время для автоматической обработки информации практически всегда используется двоичная система (и её производные – восьмеричная, шестнадцатеричная), ставшая привычной в инженерной среде с легко и надёжно представимыми значениями элементарных свойств (1/0 – да/нет). В повседневной же

жизни продолжают использоваться системы счисления, привычные для людей (обычно используется десятичная).

Информация, как и энергия, не возникает из ничего – информация не создаётся, а извлекается по результатам явного или неявного сравнения, и, будучи материализованной уже при её извлечении, не исчезает бесследно.

Порция информации как будто возникает от конкретного сравнения рассматриваемого объекта (предмета описания) с образцом. На самом же деле, отношения объекта с образцом существуют независимо от воли и намерений субъекта. При описании объекта эти отношения принимаются во внимание, извлекаются из множества других отношений, но не создаются по воле субъекта.

Отметим, что говоря об информации, практически всегда подразумевают её материализованное представление, а не идеальное, нематериализованное. Хотя материализованная информация не исчезает бесследно, она может быть рассеяна, искажена различными шумами настолько, что её практически невозможно будет восстановить, выделить из шумов.

Для восстановления частично искажённой информации, для выделения её из шумов, нужно иметь сведения о возможных конфигурациях информации и шумов. При передаче информации (где и наблюдается наибольшее количество искажений информации) применяются специальные меры: информация передаётся порциями определённой длины. Для этих порций вводятся дополнительные признаки (двоичные разряды) так, что лишь некоторые принятые при передаче представления порции информации отвечают действительности. Тогда как невозможные при таком подходе представления считаются ошибочными. Если конфигурация информации возможна, порция данных считается верной. Если конфигурация невозможна, порция данных считается ошибочной. В принципе, ошибка передачи информации может быть устранена. За счёт избыточности передаваемой информации (основной вместе с дополнительными признаками) часть ошибок, например, ошибки в одном двоичном разряде, могут быть исправлены. При любой процедуре восстановления искажённой информации с необходимостью используется дополнительная (избыточная) информация (например, код Хэминга), фактически характеризующая возможный способ искажения исходной информации. Но довольно часто материализованная информация бывает искажена настолько, что с практической точки зрения она становится утраченной.

Приложение 2. Эволюция организмов (выживание – пропуск в последующую жизнь)

Для того чтобы понять, как функционирует мозг, попытаемся коротко рассмотреть, почему в организмах появились такие передаточные структуры, как нейрон, да ещё и в огромных количествах. Легче всего это сделать, совершив краткий экскурс в эволюцию жизни на Земле, чтобы увидеть, под влиянием каких обстоятельств могли возникнуть и развиваться нервные системы организмов.

То, что существует сейчас в живой природе (именно в существующем сегодня виде), ничтожно маловероятно, как утверждают «знатоки» теории вероятности. Вероятность существования жизни в её нынешнем состоянии по их расчётам $P=10^{-60}$. А я бы даже сказал, что ещё на много порядков меньше! Но, с другой стороны, не было бы так, как сегодня, было бы по-другому – по какому-то одному из 10^{+60} вариантов. Так что вероятность существования нашего мира в каком-либо виде составляет в точности единицу. А сумма всех вероятностей реализации одного из великого множества вариантов конкретной, крайне маловероятной, конфигурации жизни на Земле (или на другой планете) хоть и не равна единице, но достаточно близка к ней.

Поясним сказанное (без претензии на точность). Пусть к некоторому моменту времени на Земле с вероятностью $P < 1$ возникла жизнь. Путь во времени от первоисточника жизни до всех многочисленных форм сегодняшнего дня, по заниженным оценкам состоит из тысяч миллиардов ступенек существенных превращений ($10^{12} = 10^9 \text{ лет} * 1000 \text{ превр/год}$) — новых поколений микроорганизмов. Можно сказать, что на каждой из этих временных ступенек превращений находятся миллиарды миллиардов (и более, то есть $\sim 10^{20}$) площадок, занимаемых организмами в пространстве. Эти организмы взаимодействуют между собой попарно (ещё не менее $10^{40} = 10^{20} * 10^{20}$ возможностей). И у каждого из этих организмов в каждый момент времени (таких моментов $\sim 10^7$ сек/год) имелось невообразимое количество возможных путей развития и гибели (во всяком случае, не меньше, чем $1000=10^3$). А совокупная линия жизни на Земле (включающая в себя линии жизней всех организмов) проходит по одному из этих очень мало вероятных $10^{22+60}=10^{(12+20+40+7+3)}$ путей (не менее!), и совсем не обязательно – по наиболее вероятному. Из сказанного однозначно следует, что жизнь на Земле не обязана была стать именно такой, какая она есть сегодня (вероятность реализации **именно существующего** сегодня варианта жизни, действительно, ничтожно мала). Она могла стать и очень похожей, и совсем непохожей на существующую сегодня жизнь. Но какой-то один из многих, сам по себе крайне маловероятный, вариант жизни должен был реализоваться. Жизнь во всякий момент времени развивается по какому-то варианту из того состояния, что сложилось к тому моменту. Что-то выживает, а всё не соответствующее существующим в данный момент условиям умирает, выбывает из жизни на каждом шагу.

Что реализация именно наблюдаемой нами сегодня конфигурация жизни крайне маловероятна, видно даже на примере однойцевых близнецов – несмотря на то, что они произошли из одной яйцеклетки, близнецы далеко не идентичны. Они имеют разные отпечатки пальцев, разное расположение кровеносных сосудов, и, конечно же, разные характеры, дополняющие друг друга. То есть, даже близнецы совсем не идентичны. Конкретная реализация каждого из близнецов (отпечатки пальцев, капилляры и т.д.) крайне маловероятна.

Близнецы начали развиваться из одной яйцеклетки. Но уже после первого деления исходной клетки близнецы (пока ещё всего лишь 2 клетки – 2 одноклеточных организма) попали в несколько различающиеся условия. Один расположился слева, другой справа, к ним по-разному начали поступать питательные вещества, они получили несколько различное механическое окружение и т.д. Значит, уже с этого момента близнецы начали

различаться. Но при этом оба они находились в очень похожих и хороших для них условиях. Если бы это было не так, их жизни могли бы оборваться ещё на стадии яйцеклетки. Поэтому и выросли дети в материнском лоне до самого своего рождения, родились, а потом, после рождения, продолжили жизнь практически в одинаковых условиях, но уже в менее благоприятных условиях, чем в материнском организме. Поэтому и похожи, и даже очень, однояйцевые близнецы друг на друга, особенно внешне.

Далеко не всегда окружающая действительность благосклонна к самым разным организмам, начиная от простейших вирусов, одноклеточных организмов и до венца природы, каковым мы называем себя – людей.

Начнём с вопроса: что мы называем жизнью? Можно сказать, что живыми мы называем объекты, которые обладают такими свойствами:

– **устойчивость, способность к самосохранению,**
– **стремление к экспансии – распространению, тиражированию себя или себе подобных.** Экспансия происходит без стремления к какой-то цели, «ИЗ-ЗА» (по причине), а «НЕ ДЛЯ», не какой-то целью. Просто без экспансии, без некоторого запаса по численности, организмы вида могут случайно вымереть. Экспансия обеспечивает устойчивое существование.

Но, вооружившись такими критериями, мы должны были бы отнести к живым существам даже кристалл поваренной соли, обладающий некоторой устойчивостью и способный к экспансии – росту при подходящих условиях, например, в перенасыщенном соляном растворе.

Поэтому критерии живого следует несколько сузить и изложить в такой редакции:

– **устойчивость, способность к самосохранению в достаточно широких диапазонах изменяющихся условий за счёт адаптации как организма к условиям, так и условий к организму** (перемещением относительно среды, или её изменением).

– **стремление к экспансии – распространению, тиражированию себя или себе подобных.**

Но и при таком определении жизни получается, что граница между живым и неживым довольно размыта. Впрочем, так оно и есть.

С другой стороны, при таком определении понятия «жизнь» легче увидеть, как эта жизнь могла зародиться миллионы и миллиарды лет назад. Жизнь также зарождается, видоизменяется каждый день, в том числе и сегодня. Некоторые веточки жизни зародились относительно недавно (живые, но берущие своё начало от обломков других клеток, или даже от неживого – порождённые неживым). Часть из них выживают и продолжают линию народившейся жизни в будущее наряду с огромным количеством веточек жизни, произошедших от более ранних веточек жизни. Возможно, именно так иногда появляются новые виды вирусов. Хотя, конечно же, гораздо вероятнее, что новые виды вирусов являются результатом мутации (сравнительно малого изменения) уже существовавших (существующих) форм.

Некоторые веточки жизни, как только что зародившиеся, так и уже имеющие долгую историю жизни прародительских поколений, заканчивают свою линию навсегда – динозавры, саблезубые тигры, мамонты, и другие, менее яркие и представительные образцы жизни служат нам иллюстрацией прерывания некоторых линий живого.

Различные образцы жизни постоянно, от поколения к поколению случайным образом изменяются как по своим внутренним причинам, так и из-за малейших изменений условий, например, от радиационной и геохимической обстановки, от изменения температуры. Изменяются они не только под прямым влиянием факторов среды, но также и благодаря наличию специального механизма изменения признаков, наследуемых потомками. Разнополное размножение позволяет случайным образом смешивать в потомках множество свойств–признаков двух родителей, и, тем самым, с большей скоростью порождать отличия в потомках. Эта способность к быстрому изменению просто необходима для приспособления (адаптации) организмов к довольно быстро

изменяющимся условиям существования. Оставаясь неизменными, или меняясь слишком медленно, сложные и уязвимые организмы просто не смогли бы выжить в условиях, быстро изменяющихся в широких диапазонах. Так что на Земле и во Вселенной существовали бы только простейшие образования, устойчивые в неизменном виде в широких диапазонах внешних условий. А при наличии изменчивости организмов при изменении условий часть потомства погибает, но удачно изменившаяся часть выживает.

Случайные изменения организмов разнонаправлены, поэтому некоторые новообразованные веточки данного вида (со своим случайным набором свойств) оказываются менее приспособленными к условиям, существующим в данное время и в данном месте. В результате чего они или не доживают до возраста, в котором могут осуществить экспансию – породить новое поколение, или становятся менее способными к размножению даже при возможности достижения указанного возраста. Такого рода веточка может не породить новых веточек – потомков, и линия ее жизни может закончиться тупиком. Данная веточка жизни навсегда закончит своё существование.

Параллельно с такими веточками, которым «на роду было написано – умереть», появляются и развиваются и другие веточки жизни, в том числе и имеющие общее с обреченными веточками предка. Некоторые из них оказываются более удачливыми, т.е., более соответствующими существующим условиям, изменяющимся как от поколения к поколению, так и на протяжении жизни одного поколения, и более плодовитыми. Они продолжают свою линию в будущее. Расширяя, по возможности, свой ареал обитания.

В этом и состоит суть «естественного отбора», который точнее было бы назвать **ЕСТЕСТВЕННЫМ ВЫЖИВАНИЕМ** – продолжением линии жизни в потомках. В будущее проходят и идут далее только уцелевшие, выжившие, образцы живого, а **НЕ отобранные** кем-то или чем-то целенаправленно, в соответствии с какими-то определёнными критериями. А те образцы, что не соответствуют сегодняшним условиям, не выживают – навсегда заканчивают свою линию, хотя завтрашним условиям они могли бы соответствовать гораздо больше, чем уцелевшие сегодня (если можно было бы перенести образцы, не соответствующие сегодняшним условиям, в завтрашние условия, минуя сегодняшние, убийственные для них).

После такого вступления легче понять, как могла зародиться и развиваться жизнь. Можно представить себе возможное возникновение и развитие жизни следующим образом. Поначалу это могли быть самокопирующиеся кристаллы типа поваренной соли, но состоящие из структур, менее требовательных к однородности окружающей среды, чем кубики из атомов натрия и хлора. Можно сказать, из структур, более сложных, чем кристаллы соли. Сложность этих составляющих структур обусловлена отсутствием среды с чистым раствором соли — везде существуют какие-то примеси, которые и порождают гораздо большее разнообразие форм «кристаллической решетки», чем у поваренной соли. Но, с другой стороны, эти примеси затрудняют точное воспроизведение. Из таких самокопирующихся структур могли складываться уже не маленькие кубики NaCl , а многообразные и менее жёсткие структуры, которые могли существовать в несколько более широких диапазонах условий, чем на границе перенасыщенного раствора поваренной соли. То есть, они могли уже более активно отлавливать свои составные части из окружающего раствора. Думаю, такая слизь и сегодня самопроизвольно зарождается на Земле, и умирает навсегда чуть ли не каждый день, каждый час. И вот в этом все более многообразном мире самокопирующихся структур при стечении каких-то обстоятельств, случайным образом зарождаются и структуры, отделённые от окружающего мира оболочкой и способные к перемещениям, которые уже можно называть организмами.

Надо сказать, что нам, земным существам, очень повезло с условиями во Вселенной, вообще, и на Земле, в частности. Что касается Вселенной, то наше мироздание в масштабах взаимодействий в микромире «обеспечило» подходящие свойства химических элементов, то есть, потенциальное многообразие форм и скоростей процессов. А Земля «обеспечила» такой состав элементов (в количественном отношении) и такие условия

(температура, давление, наличие растворителя - воды) и скорости их изменения, которые дали возможность состояться сложным образованиям – организмам, квазиорганизмам, скорости процессов в которых выше скорости глобального изменения условий окружающей среды. Это позволяло организмам успевать приспосабливаться к изменяющимся условиям. В точности таких планет, как Земля, в условиях которой родилась наша земная жизнь, астрофизики пока не обнаружили. Но вероятность обнаружения планет с условиями, близкими к земным, скажем, в окрестностях Земли радиусом в десять тысяч световых лет, хоть и мала, но отлична от нуля.

Организмы существовали и существуют не в идеальных условиях. И часто попадают на границу хороших и плохих для себя условий. Если они смогут отреагировать на различие условий в соседних точках пространства и переместятся в точку с более приемлемыми условиями, то они выживут и продолжат свою линию и даже разветвят и приумножат её. Если же не смогут отреагировать, то их линия рано или поздно закончится при встрече с очередной опасностью. Поэтому в природе получают распространение такие организмы, которые или очень устойчивы в неблагоприятных условиях, или могут отреагировать на различия окружающей среды вокруг себя, и уклониться от опасности. Для осуществления такой реакции, кроме органа обнаружения и органа движения, понадобился некий механизм, передающий сигнал от места его возникновения (при обнаружении опасности) к месту, осуществляющему реакцию организма на этот сигнал – аналог нерва-нейрона. Те организмы, в которых случайно образовались подобные механизмы, оказались в более выгодном положении и стали выживать-дублироваться-повторяться с большей вероятностью. Тогда как менее приспособленные организмы не смогли продолжить свою линию в будущее.

В процессе жизни оказалось, что не только отдельные одинаковые клетки, но и группы несколько различающихся клеток способны совместно выжить. Появились многоклеточные организмы. Условия существования клеток, расположенных внутри такого образования, существенно отличаются от условий, в которых находятся периферийные клетки. Поэтому для выживания многоклеточного организма необходимым условием является гармоничное, взаимно согласованное развитие исходно одинаковых клеток, но находящихся в разных физико-химических условиях. То есть, для этих организмов становится важным соответствие функций исходно одинаковых клеток, имеющих близкого общего предка-клетку, их географическому положению в организме. Так возникла и поддерживалась специализация исходно одинаковых клеток. Причём эта специализация получалась автоматически. Клетки попадали в различные географические условия, а значит, и в разные физико-химические условия, в том числе и по питанию, т.е. по исходному строительному материалу. Потому они и становились различными. С увеличением размера организма становились разнообразнее физико-химические условия в нем самом и в его окрестностях (из-за его размеров). Поэтому выжить большому организму становилось сложнее. Выживали только те организмы, которые быстрее и более адекватно реагировали на разнообразные изменения условий существования организма. Тем самым было стимулировано появление в большом количестве измерителей условий – нейронов-рецепторов и передающих устройств – нейронов, передающих сигналы об окружающей действительности (сигналы опасности) от рецепторов к исполнительным механизмам (эффекторам – движителям различного рода). Не то, чтобы кем-то была объявлена такая необходимость (или проведён конкурс), а просто большее количество измерителей увеличивало шансы организма на выживание, продолжение и экспансию своей линии. Понятно, что лучше выживали и размножались те организмы, в которых в результате ветвящихся цепочек случайных в каждом новом поколении изменений такие итоговые изменения произошли и повторялись впоследствии.

Мы говорим о сигналах опасности (боли) и удовлетворения. Но откуда простейший организм «знает», что нужно держаться подальше от кислоты, или поближе к пище? Откуда у него появилось чувство боли? Кто или что «научило» его этому? Полагаем,

такое «разборчивое» отношение к опасным и полезным обстоятельствам очень быстро формируется у организма на протяжении всего лишь нескольких поколений под влиянием случайности и необходимости. То есть, изначально или после очередной мутации у организмов может отсутствовать «правильная», адекватная, «оценка» ситуации. Организм совершенно не различает, что такое хорошо (полезно, питательно), и что такое плохо (больно, опасно). Например,

- одна группа организмов реагирует на опасные обстоятельства, как на полезные; а на полезные, как на вредные (совершенно неправильно),

- другая группа и к опасным, и к полезным обстоятельствам относится безразлично, не различая их,

- третья группа реагирует на обстоятельства «правильно», адекватно, то есть, в соответствии со значимостью этих обстоятельств для данного организма.

Какая из этих групп организмов выживет? Понятно, что только третья, которая отреагировала на опасность как на опасность, а на пищу как на пищу, хотя их этому никто не обучал. То есть, выживет, породит новое поколение и продолжит свою линию жизни в будущее через почти точно таких же потомков, как предки, только та группа организмов, которая будет соответствовать окружающей действительности – адекватно реагировать на вредные и полезные обстоятельства. Тогда как организмы с «неправильной» реакцией просто уйдут из жизни без потомства, без продолжения своей линии (или с уменьшением на каждом новом поколении). Если же какой-то из «правильных» организмов случайно, хоть один раз, среагирует «неправильно», его линия также оборвется, потомков у такого организма не будет. И организмов со случайными промахами в будущем также не будет.

Именно из-за отсутствия в окружающей нас жизни организмов с неадекватной реакцией, поскольку они сразу же после первой серьезной ошибки навсегда выбывают из жизни, складывается иллюзия целесообразности, осмысленности всего сущего на Земле. Хотя на самом деле, все вокруг есть проявление слепой безразличной случайности. Именно безразличной, а не жестокой! Природа совершенно случайным образом создаёт все допустимые, мыслимые и немыслимые комбинации свойств организмов. Но выживают, продвигаются в будущее и размножаются только те организмы, которым присуща адекватная реакция на окружающую действительность. Такие, у которых есть простейшие «правильные» чувства опасности и удовлетворения, которые соответствуют условиям, имеющимся в данное время и в данном месте. Остальные выбывают из игры под названием «жизнь», без потомков, без продолжения своей линии.

Понятно, что у организмов есть некоторый запас прочности, так что не всякая мелкая оплошность, неадекватность реакции грозит гибелью. Присуща некоторая неадекватность и людям. Кто из нас не хватался за заведомо горячие, опасные предметы, а то и прикасался в детстве языком к металлу на большом морозе, примораживая язык к металлу?

В достаточно сложном многоклеточном организме нейронов (рецепторов и проводников-передатчиков) становилось так много, что они уже иногда контактировали друг с другом механически или даже гальванически, образуя сначала простейшие логические цепочки простого типа – проводник-удлинитель-передатчик, а затем и чуть более сложных типов: («если условие1) «И» (условие2), ТО («передать сигнал»), («если условие1) «ИЛИ» (условие2), ТО («передать сигнал»). Такие простейшие логические функции настолько просты, что легко могут быть реализованы с помощью нескольких палочек, или обыкновенных швабр, определённым образом расположенных на горизонтальной поверхности (рисунок 2.1). При воздействии на входные палочки движение через сооруженную нами систему передачи сигналов (действий) может передаваться или не передаваться слева направо, на палочки-выходы. Эти же самые функции легко реализуются и на простейших логических элементах – на естественных, или на искусственных (кристаллических, электронных) нейронах. Рассмотрим их:

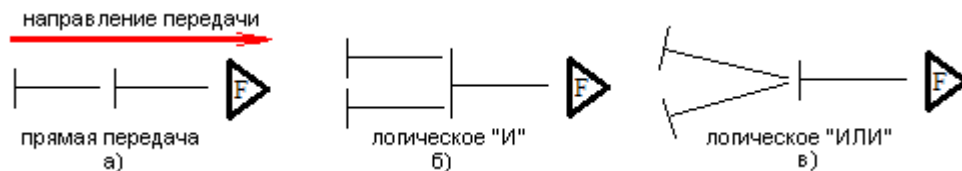


Рисунок 2.1. Логические функции на швабрах

Пояснения к рисунку:

а) Простая передача. Сигнал последовательно проходит вправо через звенья цепочки элементов. В этом случае для передачи движения необходимо присутствие всех звеньев цепочки. Можно сказать, реализуется логическая функция «последовательное «И»».

б) Логическое «И». Реализуется логическая функция «И». Но уже «параллельное «И»». Здесь для передачи движения через швабры вправо необходима одновременная активизация двух входов (первого, «И» второго). Для активизации элемента (нейрона) необходимо будет их совместное воздействие. При приходе же сигнала только на один из входов приёмная часть просто повернется, и не передаст движение вправо.

в) Логическое «ИЛИ». Для активизации следующего элемента-нейрона достаточно возбуждения одного из входов (первого, «ИЛИ» второго), т.е., движения одной швабры.

Конечно, логическую функцию из швабр соорудить достаточно легко. Но соответствует ли такая картина действительности? Покажем, что образование таких функциональных, а не буквальных, конфигураций вполне возможно.

Во-первых, такое соединение нейронов могло произойти случайно. Если такой организм оказался более живучим, чем другие, то преимущественно он и продолжал свою жизнь и свою линию в будущее, тиражируя в организмах-потомках безусловные рефлексы, образовавшиеся случайно в некотором экземпляре организма. Тогда как менее удачные экземпляры организмов чаще заканчивали свою линию жизни, не произведя на свет следующее поколение.

Во-вторых, могло случиться так, что между возбуждёнными, т.е., активными в данный момент, нейронами стало возможно образование прочных или не очень прочных связей (типа гальванических). А это уже обеспечивало возникновение структур, на которых может образовываться какой-то долговременный след события, «запоминаться» связь между событиями во внешнем мире, произошедшими приблизительно одновременно и проявившихся внутри организма в виде возбуждения соседствующих нейронов. После образования связи между нейронами при последующем возбуждении одного из нейронов через эту образовавшуюся ранее связь может сразу же возбудиться и другой нейрон, связанный с первым возбуждённым. А может и не возбудиться. Вследствие возбуждения второго нейрона организм может выполнить какие-то действия, соответствующие второму, ещё не наступившему событию, которое в прошлый раз возбудило второй нейрон, как бы «предвидя» наступление второго события. То есть, благодаря образованию в предыдущем эпизоде следа, связи между элементами, организм в следующий раз сможет отреагировать на приход второго события несколько раньше его фактического прихода. И тем самым такой организм, способный к «запоминанию», обеспечивающему последующее опережение – «предвидение» на основе этого запоминания, окажется в более выигрышном положении, чем другие организмы, не имеющие такого механизма запоминания. Эти связи, образовавшиеся в ходе жизни, представляют собой по существу (и в более привычной терминологии) условные рефлексы, возникающие не «по рождению», а под действием обстоятельств, воздействующих на организм.

Понятно, что организм, могущий реагировать на изменяющиеся окружающие условия и избегать опасностей, имел гораздо больше шансов избежать опасностей и продолжить себя в следующих поколениях организмов. Вследствие чего выжили и

размножились линии организмов, могущих лучше других реагировать на опасность. Впрочем, такие организмы выживали наряду с более простыми организмами, которые не могли так адекватно реагировать на опасности, но зато, в силу своей простоты, были более устойчивыми к вредным воздействиям, или были более плодовитыми.

Так и стали продвигаться в будущее уже многоклеточные организмы с большим количеством передаточных механизмов-нейронов. Поскольку для выживания оказалось полезным иметь большое количество нейронов, между которыми могли образовываться связи в ходе жизни – в ходе реагирования на разные условия, то появлялись линии организмов, имевших в себе все большее количество логических элементов – нейронов. Если эти нейроны были не просто разбросаны по организму, а проходили через скопления нейронов, то улучшались условия образования связей между различными нейронами. И организмы с такой компоновкой нейронов с большей вероятностью выживали и порождали жизнеспособное потомство. Так в природе начали появляться организмы с нервными узлами – скоплениями нейронов. Параллельно с процессом увеличения количества нейронов и плотности их размещения появлялись и развивались всё новые специализированные нейроны – рецепторы, реагирующие на различные опасные обстоятельства–раздражители лучше других клеток. В ходе увеличения размеров организма рецепторы и манипуляторы (реализующие реакцию организма в ответ на воздействие среды) оказывались территориально разделёнными, так что сигнал раздражения уже не мог с рецептора попасть непосредственно на эффектор. Поскольку в организме появилось множество нейронов, способных возбуждаться и передавать возбуждение дальше, то такие нейроны и стали действовать в роли промежуточных (вставочных), встраиваясь в промежутке между рецептором и манипулятором. Причем нейрону всё равно, с какими соседями образовывать связи (у него нет механизма различения, выбора источников входного сигнала и адресатов). Поэтому начали образовываться самые разные связи между нейронами, в том числе, и между соседними нейронами различного типа. Чем лучше все это работало, тем больше появлялось шансов у организма продолжить свою линию в будущее, а не прервать ее на первой или второй опасности.

С другой стороны, при ограниченных совокупных ресурсах в природе все даётся какой-то ценой, за счёт чего-то другого. Многочисленные клетки–нейроны нуждались в питании, занимали в организме место, которое могло бы быть занято другими клетками, может быть, иногда более полезными для организма на данный момент (для переваривания пищи, для запасаания питательных веществ и так далее). Оптимальные пропорции количества клеток разного типа для разных линий организмов складывались при ограниченных ресурсах, в изменяющихся условиях в ходе эволюции при появлении все новых поколений.

Как именно образуются, вернее, **могут** образовываться связи между нейронами в ходе жизни при реагировании на различные внешние обстоятельства, т.е., при образовании условных рефлексов, при запоминании, при размышлениях, мы постепенно рассмотрим несколько позже. А сейчас рассмотрим некоторые аспекты превращения единственной исходной клетки в полноценный зрелый организм, способный к генерации последующего нового поколения.

Клетка, из которой начинает развиваться многоклеточный организм (яйцеклетка), содержит в себе огромное количество информации, однако вполне ограниченное её объёмом. Эта информация вмещает в себя полные сведения только о том, как устроена сама клетка, какие питательные вещества она может усваивать, какие продукты жизнедеятельности она выделяет. И не более того. В ней совершенно нет информации о мире, внешнем по отношению к клетке. Вернее, она присутствует косвенно. Можно сказать, что клетка имеет жёсткие инструкции, как вести себя в той или иной ситуации. Можно даже несколько преувеличенно сказать, что клетка имеет детальный план своего локального развития путём самокопирования в условиях, сложившихся к текущему

моменту. Но никакого глобального плана, никаких сведений о том, как будет выглядеть многоклеточный организм, который вырастет из этой клетки, в этой клетке содержаться не может – здесь, в клетке, для этих сведений просто нет места. Все, что в ней есть, является информацией об устройстве самой клетки. И, уж тем более, в клетке не могут содержаться сведения, касающиеся очень сложного, в том числе и общественного поведения индивидуума, который произойдёт из этой клетки – в ней нет места!

Действительно, любой целый объект содержит больше информации, чем его произвольная часть, будь этот объект или его части сколь угодно простыми, или сколь угодно сложными. В качестве иллюстрации рассмотрим простейший пример. Пусть большой квадрат (объект) состоит из 4-х простейших малых идентичных квадратов (частей), лежащих на плоскости. Понятно, что большой квадрат содержит информации **БОЛЬШЕ**, чем любой из составляющих квадратов. Даже при полной идентичности каждый из малых квадратов должен находиться в определённом месте большого квадрата, для описания места малые квадраты должны иметь, как минимум, по 2 дополнительных различающихся бита, необходимых для указания на одно из этих 4-х возможных мест. И эти 2 бита дополняют одинаковую информацию, содержащуюся в каждом из 4-х малых квадратов. Если бы не было этой дополнительной информации (по 2 бита у 4-х квадратов), то квадраты могли находиться где угодно, скажем, все 4 могли лежать на одном месте, или лежать на 2-х местах по 2 и т.д. На самом же деле дополнительной информации для объединения 4-х малых **идентичных** квадратов в один большой надо намного больше, хотя бы для задания углов поворотов малых квадратов и т.д. А уж для объединения в один объект **неидентичных** составляющих нужна не только «топографическая» информация о положении, но и полная информация о каждой отдельной части. В качестве полной информации о составной части объекта может выступать полный перечень всех атомов, составляющих эту часть, с указанием с максимально возможной точностью их наименований, координат и импульсов.

Из приведенного рассуждения мы видим, что, несомненно, многоклеточный организм содержит гораздо больше информации, чем произвольная клетка из его состава. В том числе, больше, чем исходная яйцеклетка, из которой вырос данный организм, или входящая в состав рассматриваемого организма дочерняя яйцеклетка будущего нового организма, который, возможно, сформируется из нее в следующем поколении. А также больше, чем все остальные клетки по отдельности.

С другой стороны, известно, что даже из узко специализированной клетки желудка взрослой лягушки была клонирована вполне нормальная лягушка. Из этого факта следует, что даже в специализированной клетке может содержаться достаточно информации, чтобы **при некоторых условиях** из клетки образовался, развился весь многоклеточный организм. Но тогда возникает вопрос – откуда берется информация, необходимая для формирования организма и дополняющая информацию, содержащуюся в исходной клетке? Ответ может быть только один – из окружения. Из какого окружения? Из таинственных, неведомых, как только не называемых глубин космоса? Или из ближайшего окружения в материнской утробе? Понятно, что из ближайшего окружения, воздействие которого на развивающийся организм неизмеримо больше воздействия далёких объектов и явлений. Информация извлекается, добавляется путём её преобразования при взаимодействии активного потенциала питательной среды, как источника энергии преобразований (синтеза новой клетки), и дублирующей клетки (образца). В соответствии с законами термодинамики в рамках небольшой квазиизолированной системы каждая клетка вместе со своими окрестностями стремится к состоянию равновесия – к локальному минимуму энергии, из которого клетка регулярно выводится различными внешними воздействиями, например, поступлением в окрестности питательных веществ или отходов жизнедеятельности других клеток и т.д. Этот минимум энергии существенно локализован – **клетка может функционировать только в очень узком диапазоне условий** по температуре, давлению и составу окружающей среды. При выходе

за пределы этого диапазона (далеко из окрестностей локального минимума) клетка перейдет в состояние более глобального минимума, который, скорее, соответствует смерти клетки, ее распаду.

Процесс формирования нового организма в некотором роде аналогичен процессу в обычной акустической системе, где слабый начальный сигнал (исходная яйцеклетка) подаётся на вход акустической системы (помещается в яйцо с запасом необходимых питательных веществ или в материнскую трубу). Акустический сигнал является образцом, многократно усиливаемым за счёт энергии аккумулятора или другого источника электрического питания под управлением сигнала, подаваемого на вход усилителя акустической системы, в которой превращается в систему акустических волн большой амплитуды (энергии). Ни сам по себе слабый сигнал, ни сам по себе мощный аккумулятор не производят звука. Но способность усилительной (множительной) системы позволяет многократно усилить сигнал за счёт энергии аккумулятора и выдать достаточно громкий слышимый звук. Точно так же питательные вещества, запасённые в яйце или поставляемые в более продвинутой материнской трубе из организма матери, как движущая сила преобразований, превращаются во множество копий исходной клетки-шаблона (слегка отличающихся), образуя ткани нового организма.

То есть, новый организм вместе с полной информацией, описывающей как его исходную структуру, так и его новые составные части, формирующиеся в ходе его генерации, синтезируется в ходе развития этого организма в результате взаимодействия его частей – уже сформировавшихся клеток с окружающей их средой. Как это происходит? Да просто каждая новая клетка формируется путём **самокопирования** уже существующих клеток, как самоповторяющихся шаблонов, путём присоединения к ней того материала, питательных веществ, который есть в окрестностях самокопирующейся клетки, а в качестве движущей силы этого процесса выступает энергия, запасённая в окружающих питательных веществах, доступных клетке. Поскольку клетки в ходе формирования организма оказываются в разных географических точках организма с разным составом окружающего строительного материала для вновь образующихся клеток, то в разных частях строящегося организма образуются несколько различающиеся новые клетки, сформированные из подходящих доступных для них материалов, имеющихся в их окрестностях. Если же состав окружающей среды не будет благоприятным, то из исходной клетки не сможет вырасти ожидаемый организм. В этом случае сформируется нечто или вообще нежизнеспособное, или какое-нибудь отклонение от нормы в худшую сторону. Последнее утверждение основано на том, что к настоящему моменту в природе выжили статистически лучшие, оптимальные и близкие к ним организмы.

Чтобы повторить, воссоздать любой объект, в том числе, живую клетку, необходимо повторить его вплоть до мельчайших подробностей, до последнего атома с его координатами и импульсом. Это означает, что при **идентичном** дублировании (копировании) должна быть использована **ВСЯ** без исключения информация, содержащаяся в клетке. Если в формирующейся клетке будут отсутствовать всего лишь несколько атомов, или даже один ключевой атом, равно как будут присутствовать лишние атомы, или будут отличаться их координаты, новая клетка будет уже не идентичной и, возможно, совершенно иной функционально, чем образец.

При объединении нескольких клеток в группу необходима информация, касающаяся расположения клеток в пространстве. Неидентичное дублирование клеток происходит с присоединением дополнительной информации, характеризующей отличительные признаки новых клеток – какие атомы исчезнут, какие добавятся или сместятся.

Эта информация поступает из среды, окружающей клетку, из питательных веществ, которые формируют новую клетку. В частности, присоединяющиеся к клетке группы атомов уже содержат полную информацию о себе самих. Но, если в окружающей среде не будет каких-то атомов, цепочек, или блоков атомов, необходимых для строительства новой клетки, то откуда эти атомы возьмутся в составе новой клетки? Отсутствующие и,

вместе с тем, необходимые для построения клетки атомы и блоки будут замещаться, по возможности, похожими блоками. Поэтому вновь сформированная клетка будет несколько отличаться от исходного шаблона-образца. Если же в ближайших окрестностях не найдется необходимого блока атомов или его подходящей замены, то формирование нового жизнеспособного организма просто не сможет произойти.

Ясно, что влияние на формирование нового организма каких-то удалённых вселенских факторов (объектов или субъектов) неизмеримо меньше, чем влияние ближайшей среды. Для обоснования существенного влияния удалённых факторов пришлось бы приписать им сказочную способность дистанционного избирательного воздействия на миллиарды миллионов миллиардов клеток (и это только в телах людей, живущих на Земле, не говоря об остальных организмах), способность одновременно задавать всем этим клеткам детальные линии поведения, указывать способ формирования новых клеток. Очевидно, что существенное влияние на формирование клеток может оказывать только среда, находящаяся в непосредственном контакте с этими клетками. В основном, за счёт доставки соответствующего строительного материала для клеток.

Из приведённого рассмотрения информационного обеспечения вытекает, что в клетке нет, и не может быть ни полного образа будущего организма, ни образов разнообразнейших клеток в различных точках формирующегося организма (в разных тканях). Эти образы (сами клетки) формируются в ходе взаимодействия исходной клетки и клеток – её потомков с ближайшей окружающей их средой. На основании сказанного видим, что окончательный вид организма задан в исходной клетке не прямо, а косвенно, **через задание возможных путей развития исходной клетки** и клеток-потомков в зависимости от того, в какую среду они попадают по ходу развития организма.

Поэтому идентичные, совершенно одинаковые исходные клетки, будущие близнецы или клоны, пройдя по близким путям, одинаковым с большой, но не бесконечно большой точностью, становятся почти одинаковыми, но все-таки не идентичными организмами. То есть, при взаимодействии даже исходно идентичных клеток с несколько различающейся средой формируются и несколько различающиеся организмы.

Зависимость финального облика организма от среды, окружающей его во время формирования организма, не требует привлечения гипотезы об изменении шаблонов, по которым строится организм и его составляющие, по какому-то заранее предусмотренному свыше правилу. Шаблон локально устойчив и стремится повторяться одинаково. Но результат дублирования (повторения) шаблона при использовании различных доступных строительных материалов из ближайшей окружающей среды существенно зависит от самой среды. Скажем, от среды зависят даже некоторые легко наблюдаемые визуально параметры организма, например, чистота кожи или геометрические размеры человека. Если ребёнок не доедает, то его вес и рост будет меньше, чем у нормально питающегося ребёнка, а взрослые люди, недоедавшие в детстве, остаются с меньшим ростом.

Подводя итоги, можно коротко сказать так: в растущем организме исходно одинаковые клетки (шаблоны) в разных условиях ведут себя в соответствии с окружающей их средой. Когда после очередного деления клетка попадает в несколько другие географические условия, режим её питания изменяется – меняются и физические, и химические условия. Так что в изменившихся условиях вновь образовавшаяся клетка растущего организма вместо одних цепочек атомов будет поглощать, присоединять к себе несколько иные, имеющиеся в данном месте, и допускающие совмещение со структурой клетки, образовавшейся здесь. Эта клетка станет несколько иной, отличной от клеток в других условиях-местах. При очередном самокопировании, вообще говоря, возможны и необратимые изменения информационного содержания клеток, могущие привести даже к летальному исходу. Таким вот образом происходит специализация клеток в разных частях организма, развивающегося из единственной родительской клетки. И, чем больше расходятся условия существования и развития различных клеток многоклеточного организма в процессе череды делений клеток, тем больше различаются и сами клетки,

имеющие одного общего предка – исходную материнскую яйцеклетку. Уже после 37 циклов делений всех клеток растущий многоклеточный организм человеческого ребёнка, вырастающий из единственной клетки, будет иметь в своём составе более 100 миллиардов ($2^{37} > 10^{11}$) клеток различного типа. Такой организм будет весить уже несколько килограммов. И он уже готов к рождению – к выходу из материнского лона в окружающий мир.

Всего лишь за 37-40 поколений клеток–потомков материнской, в среднем по одному делению – поколению в неделю, происходит разительное превращение единственной материнской клетки в сложный человеческий организм, состоящий из огромного количества клеток (сгенерировавшихся за 40 поколений и достаточных для образования новорождённого организма), образующих ткани (специализированные одинаковые клетки) различного типа. И волосок, и пока ещё мягкие кости, и печень, и глаз младенца произошли из единственной материнской клетки, пройдя по разным путям развития! Пути эти определяются как структурой исходной клетки, так и окружающей её средой.

Огромное разнообразие специализированных клеток в различных тканях организма человека, сформировавшееся всего лишь за 40 недель из единственной клетки, позволяет понять и разнообразие форм жизни на Земле, которое образовалось за миллиарды лет (сотни миллиардов поколений), возможно, также из единой протоклетки (первоклетки). Ведь даже ничтожные отличия в каждом переходе от предыдущего поколения к последующему (Π_i), разрастаясь мультипликативно ($\Pi_i \rightarrow (\Pi_i)^{n^*}$ миллиард (n – количество поколений в год), через миллиарды поколений привели бы к гораздо большему разнообразию форм жизни на Земле, чем существует сегодня, если бы все эти формы выжили до настоящего времени. Понятно, что все они выжить не могли. Так, если бы все экземпляры бацилл успешно выживали и делились бы, то уже через пару недель они покрыли бы всю Землю многометровым слоем.

Благодаря огромной сложности и информационной ёмкости исходной материнской клетки и всех последующих дочерних клеток отличия тканей, образуемых делящимися в несколько отличающихся условиях клетками, могут быть довольно значительны, несмотря на то, что все они произошли от единственной клетки за сравнительно небольшое количество поколений – делений.

Рассматривая организм в процессе развития, мы видим, что специализация клеток в разных тканях формирующегося организма происходит за счёт различия условий, в которых эти клетки образовывались и развивались в процессе роста, а не за счёт некоей прямой дополнительной информации типа плана, для которой просто не было места в исходной материнской клетке. Где могла бы находиться эта дополнительная информация? Где механизм, который должен был бы интерпретировать эту дополнительную информацию, не поместившуюся в материнскую клетку, и строить вновь образующиеся в результате деления клетки нужным образом в соответствии с неким общим планом?

При рассмотрении организма в процессе развития становится очевидным, что в единственной исходной материнской клетке нет места для информации, формирующей его в соответствии с неким образцом, с генеральным планом. Да и самого генерального плана строительства организма нет. Есть только жёсткие «инструкции» локального поведения клетки в тех или иных условиях, «инструкции» размножения – самокопирования шаблона–клетки путём биохимической (электрохимической) штамповки с максимально возможной точностью с использованием доступной смеси строительных материалов. Эти «инструкции» (сами клетки – шаблоны) вместе с воссозданием одинаковых условий и обеспечивают формирование организмов-потомков, похожих на организмы-предки. Поэтому и похожи сын на отца, а дочь на мать, но в то же время они обладают небольшими различиями, обусловленными как вариациями структур исходных материнских клеток (генного набора), так и вариациями среды.

Из факта, что из **единственной** исходной клетки происходит **множество** самых разных специализированных клеток формирующегося организма, следует однозначный

вывод, что **разнообразие** клеток организма обусловлено особенностями путей развития каждой группы клеток, условиями, в которых появлялись новые поколения формирующегося организма.

Прокомментируем теперь выражение: «**Человек произошёл от обезьяны**», якобы отражающее суть теории эволюции Дарвина. Это утрирующее выражение очень сильно искажает суть теории естественного отбора.

Как мы уже говорили, эту концепцию следовало бы называть не естественным отбором, а естественным выживанием. Поскольку в природе никто и ничто не отбирает организмы в соответствии с какими-то критериями по их качествам – нет некоего высшего селекционера, успевающего каждую секунду производить миллиарды миллиардов актов отбора организмов, которые будут жить в следующую секунду. Все эти организмы **сами по себе** каждую секунду или выживают, и смогут дальше продолжить свою линию в будущее (может быть, даже разветвят, приумножат эту линию в процессе размножения), или погибают в данную секунду, навсегда прерывая свою линию. Условия существования организмов могут изменяться так быстро, что изменения организмов в результате мутаций могут не обеспечивать достаточной скорости изменений организмов (отвечающих скорости изменения условий). Поэтому в природе появился и развился двупольный механизм размножения, позволявший организмам изменяться быстрее, чем только по причине *мутаций* — не только в результате мутаций, но и в результате *наследования* (более сильных?) черт двух различающихся родительских организмов.

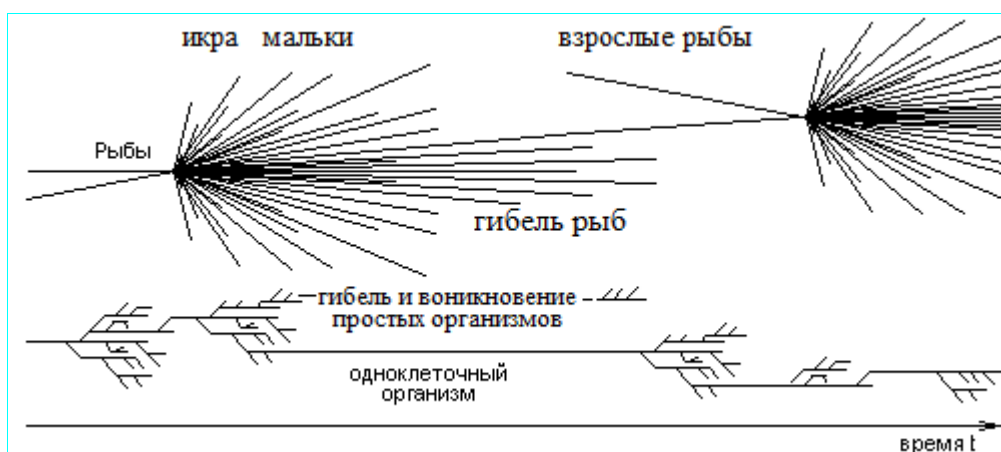


Рисунок 2.2. «Деревья» жизней рыб и одноклеточных организмов

Жизнь на Земле можно рассматривать, начиная с возникновения некоторого «прародительского» организма, пусть даже не самого первого. Этот организм, возможно простейший, растёт, достигает возраста размножения (деления). Линия организма при этом разветвляется на несколько веточек. Обычно на две для одноклеточных или более веточек, например, у рыб (рисунок Д2.2). Вообще говоря, эти веточки различны. Изменчивость веточек является необходимой. Она даёт виду возможность изменяться, приспосабливаться к постоянно меняющейся окружающей обстановке. Без этой изменчивости виду может грозить гибель даже при небольшом изменении условий существования, поскольку диапазон условий, пригодных для успешного существования данного организма в его неизменном «сегодняшнем» виде, достаточно узок. Побочным продуктом изменчивости организма, кроме основного – «размножиться путём повторения себя», является появление новых видов организмов, незначительно отличающихся от своих близких предков и родственников после нескольких первых поколений (с мутациями). Но через множество поколений организмы могут уже существенно отличаться от своих далёких предков и ныне существующих родственных видов, произошедших от одних и тех же самых общих предков.

После ветвления – размножения уже новые, несколько отличающиеся, организмы – потомки ведут в будущее свои линии – веточки. Так что жизнь первоначального родительского организма и всех новых поколений его потомков может быть изображена в виде генеалогического дерева. Линии многих потомков любого организма заканчиваются тупиками – их линии-веточки обрываются (и уже оборвались) без продолжения в будущее. Многие же линии продолжают в будущее и живут до сих пор, в том числе, и в настоящую секунду. Например, динозавры, мамонты, вымерли (их линии оборвались). А мы, люди, живем. При этом мы имеем и с динозаврами, и с мамонтами далёких общих предков в очень далёком прошлом в сотни миллионов лет.

Точно так же мы имеем общих предков с ныне живущими обезьянами, но уже на расстоянии каких-то миллионов лет от нынешнего времени (десятков или сотен тысяч поколений). То есть, ныне живущие обезьяны являются не нашими предками, а нашими далёкими братьями, хотя и гораздо более близкими родственниками, чем слоны или крокодилы. Причем, с течением времени и с появлением все новых поколений наши с обезьяной родственные связи становились все более далёкими.

Следует отметить, что жизнь на Земле могла зарождаться многократно. Она, возможно, изредка зарождается и сегодня, точно так же, как миллиарды веточек жизни гибнут навсегда каждую секунду. На возможность зарождения жизни сегодня указывают достаточно частые мутации даже очень устойчивых к изменению внешних условий простейших организмов-вирусов. Возможно, хотя и менее вероятно, что из фрагментов вирусов, которые уже нельзя назвать живыми организмами, вполне может образоваться более сложная жизнеспособная форма. Так что, если мы изобразим жизнь на Земле в виде дерева, то она будет выглядеть примерно так, как на приведённом рисунке Д2.3.

Почему организм может погибнуть и, тем самым, оборвать свою линию жизни? На это имеется масса причин, включая неотвратимые причины типа смерти от старости, которая наступает в результате накопления в организме количества отклонений параметров в геометрической прогрессии от их исходных оптимальных значений.

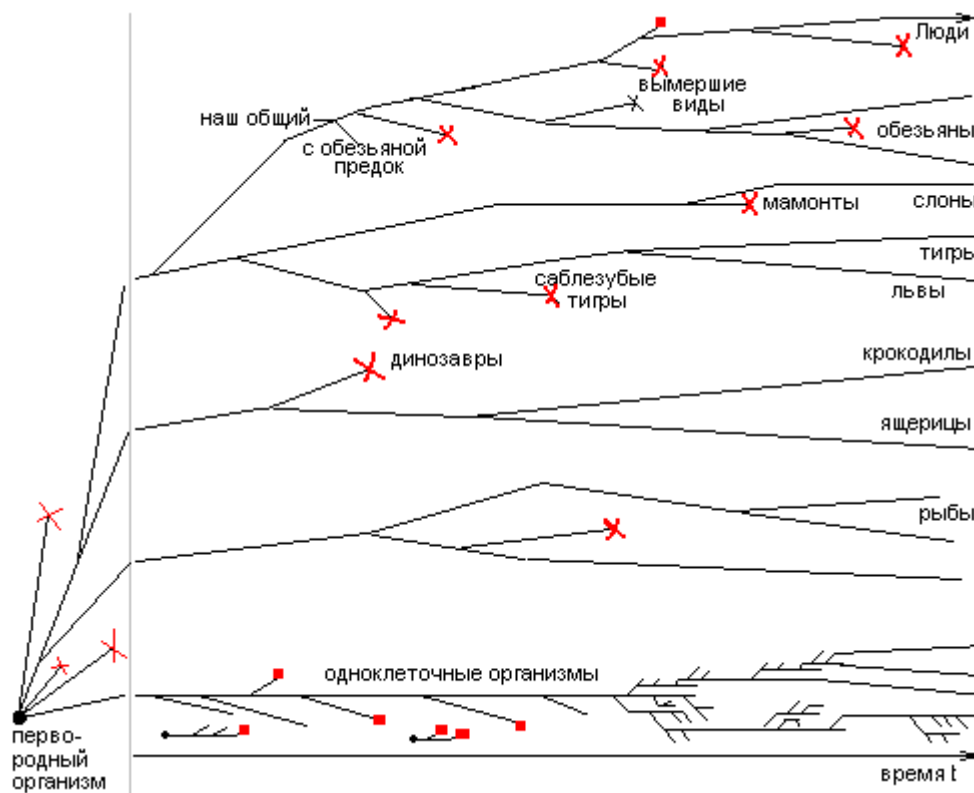


Рисунок 2.3. Дерево жизни царства животных на Земле

Для организма одни и те же параметры при их различных значениях могут быть как полезны, так и губительны. Например, одноклеточный организм может погибнуть как из-за слишком высокой, так и из-за слишком низкой проницаемости своей оболочки. В то же время при некоторой срединной проницаемости этой оболочки организм счастливо доживёт до своего деления и удвоится. Возможно, какие-то олени вымерли из-за трудностей в защите потому, что у них были слишком маленькие рога. Или наоборот, другие олени вымерли из-за того, что рога были слишком велики, затрудняя жизнь в густом лесу. А может быть у этих оленей ноги оказались недостаточно быстрыми, или шерсть оказалась слишком короткой в холодной местности, или слишком длинной в жаркой местности, а может просто подвела способность быстро ориентироваться в этой многообразной жизни.

У воспроизводящихся клеток каждый раз с необходимостью происходят мутации. Они обусловлены невозможностью абсолютно одинакового окружения растущей и делящейся клетки. Пожалуй, самое крупное расхождение различных клеток в результате мутаций произошло ещё на заре жизни, когда выделилось 2 основные линии жизни: растения и животные. Растения не нуждаются в питании, доставляющем им энергию (они автотрофны. Они добывают энергию от света Солнца, химических веществ из атмосферы и необходимых для образования структур растений в малых количествах микроэлементов (добавок). Клетки растений имеют более прочную оболочку.

Растения гораздо устойчивее, чем животные. Клетки растений имеют более плотные оболочки клеток из целлюлозы, которые позволяют растениям вырастать высотой более, чем 100 метров (эвкалипт, секвойя). При этом давление в основании растения доходит до 10 атмосфер. Оболочки клеток растений выдерживают такие давления. Но при этом клетки растений настолько прочны, как в механическом, так и в электрическом аспекте, что невозможно образование внутри организма растения следов действовавших на растения событий, удобных для использования.

Клетки организмов, относящихся к царству животных, имеют гораздо более слабые стенки, состоящие из жироподобных веществ – липидов. Клетки животных, в отличие от клеток растений, гетеротрофны, то есть, используют в качестве продуктов питания вещества, созданные растениями (клетчатка, глюкоза, крахмал, жиры). Или даже организмами других животных (белки, жиры). По причине использования уже готовых продуктов питания, созданных другими организмами, животные оказываются в более выгодном положении, обладают большей свободой. С другой стороны стенки клеток животных настолько слабы, что проходящие через стенки клеток электрические сигналы могут и оставляют на смежных стенках возбуждённых клеток (нейронов) следы, проводящие электрические (химические) импульсы. Почему следы событий проводящие? Проводят сигналы? Скорее всего, природа испробовала различные возможности. Но в будущее продвинулся именно вариант, со следами событий, проводящими сигналы. Тогда как в клетках растений не остаётся никаких следов от слабых воздействий. На них воздействуют только температура, влажность, свет, концентрации нужных питательных веществ и микроэлементов. У растений возможна только видовая память, возникающая в результате мутаций при инициации жизни растения и устойчивости в ходе репликации и дальнейшей жизни, выражающаяся в структуре всех экземпляров растений данного вида.

Благодаря очень простому образованию следов событий, в организмах животных могут накапливаться сведения (информация), соответствующие опыту данного организма. Благодаря проводимости следов событий эти следы сразу же становятся частью системы обработки входных сигналов, возникающих в структурах животных организмов под воздействием среды, что способствует выживанию отдельных животных и экспансии их вида.

Приложение 3. Нейроны и их аналоги

3.1 Аналоги нейронов в природе

Приведём электрическую схему модели нейрона (рисунок Д3.1).

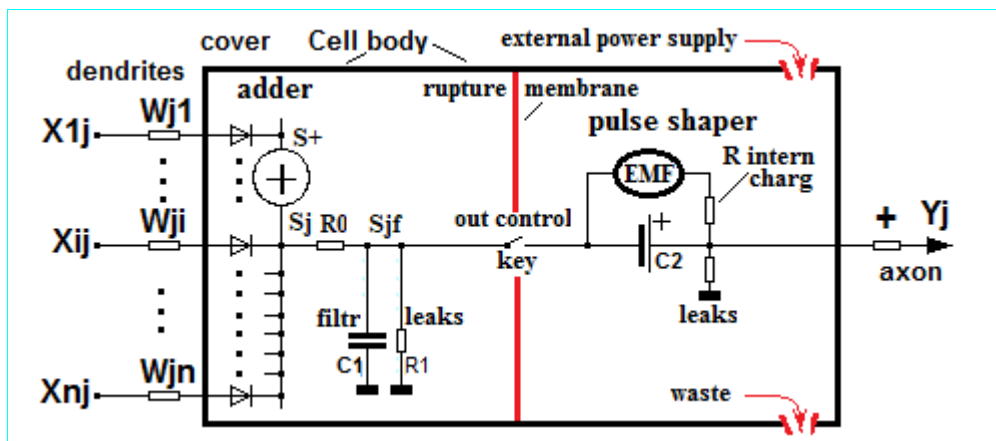


Рисунок 3.1. Модель нейрона с источником усиления сигнала

Следует отметить, что нейроны различных живых существ не являются уникальным явлением живой природы. Клетки, аналогичные нейронам, образуют электрические органы «электрических» рыб. Различие между ними состоит в том, что управляются нейроны и электрогенерирующие клетки рыб по-разному. В электро-генерирующих органах рыб клетки собраны в слои. Количество слоёв определяет величину потенциала, генерируемого электрическим органом рыб. В каждом слое плотно упаковано большое количество клеток. Количество электрогенерирующих клеток в каждом слое определяет максимальный ток разряда. Каждая клетка в каждом из N слоёв при возбуждении выдаёт импульс, имеющий потенциал порядка $0.1V$. А ток клетки – миллиамперы.

Но, поскольку электрические органы рыб состоят из тысяч слоёв, каждый из которых состоит из тысяч отдельных клеток, то рыбы при активации своих органов могут генерировать электрические импульсы напряжением в сотни вольт, токи при этом достигают ампер. Выдача таких импульсов обеспечивается синхронным возбуждением всех клеток очередного слоя органа и хорошей изоляцией клеток электрических органов. Их разряд происходит следующим образом. Разряд начинается с основания органа. При возбуждении очередного слоя потенциал каждого вышележащего слоя (по сравнению с потенциалом предыдущего слоя) последовательно увеличивается на потенциал, генерируемый данным слоем. И так до вершины органа. И по электрическому органу прокатывается волна возбуждения слоёв с нарастанием потенциала на каждом слое относительно первого слоя и всего тела рыбы.

Клетки электрических органов рыб возбуждаются синхронизированно. В результате синхронизированного возбуждения множества последовательно соединённых слоёв электрические органы рыб могут генерировать импульсы напряжением до 600 вольт [128]. Ток разряда, зависящий от количества клеток в слоях, достигает 50 ампер.

При повторных разрядах электрических органов рыб потенциал и ток импульсов уменьшается, потому что клетки электрических органов не успевают восстановить свои локальные заряды в полной мере. Отдельные клетки, и органы в целом, устают. Точно так же устают и нейроны НС при частом возбуждении.

Нейроны НС, в отличие от клеток рыб, генерирующих электрические разряды, управляются так, что активируются по отдельности.

3.2. Экспериментальное подтверждение отрицательного смещения выходов возбуждённых нейронов

Рассмотрим генерацию потенциалов на выходе и на входе возбуждённого нейрона и продвижение сигнала к другим нейронам. Возбуждённый нейрон выдаёт на свой выход–аксон потенциал действия. Потенциал действия (ПД) измеряется как потенциал точек внутри аксона относительно окружающих окрестностей. При отсутствии возбуждения нейрона (в состоянии покоя) потенциал покоя (ПП) точек аксона равняется -80 mV . При возбуждении на аксоне наблюдается короткий импульс продолжительностью $1-2 \text{ ms}$ и величиной $+40 \text{ mV}$ [128-131] относительно окрестностей. Причём импульсы всегда имеют одинаковую величину (относительно окрестностей), независимо от величины сигнала, возбудившего нейрон. Это свидетельствует о единстве механизма выдачи сигнала нейронами и пороговом характере возбуждения нейрона. То есть, функция отклика нейрона является кусочно-непрерывной пороговой, а не непрерывной, типа сигмоидальной или тангенциальной.

Сгенерировать короткий мощный импульс, а потом сравнительно долго оставаться в состоянии с потенциалом покоя на аксоне (на протяжении «мёртвого» времени) может только механизм с медленным накоплением внутри нейрона заряда для выдачи короткого мощного сигнала посредством механизма питания, и последующим быстрым разрядом накопителя при превышении некоторого порога. Таким накопителем заряда может быть внутренний для нейрона конденсатор или аккумулятор.

За короткое время разряда накопителя с формированием на аксоне наблюдаемого потенциала действия (ПД) средний потенциал нейрона (по выходу и входу) не сможет значительно измениться, если выход или вход нейрона не опирается на точку, объём постоянного потенциала (например, 0 V).

Учитывая краткость импульса и сравнительно продолжительное «мёртвое» время (время восстановления заряда до уровня, достаточного для формирования следующего разряда) можно утверждать, что короткий потенциал на аксоне порождается быстрой разрядкой конденсатора, встроенного в структуру нейрона. Но при разряде конденсатора в результате замыкания некоего ключа с одной стороны конденсатора появляется импульс потенциала определённого знака, на другой стороне конденсатора (на клемме) также появляется короткий импульс примерно равной амплитуды, но обратной полярности с отклонением от первоначального потенциала (ПП) в сторону, обратную потенциалу на выходе. То есть, с отсчётом от начальной точки ПП (-80 mV – 40 mV) на -120 mV . Так что разность потенциалов между аксоном и дендритом ΔU во время разряда (действия ПД) достигает 240 mV .

$$\Delta U = |U_{\text{аксона}} - U_{\text{дендрит}}|$$

Здесь ΔU – разность потенциалов между аксоном и дендритами,

$U_{\text{аксона}}$ – потенциал аксона при возбуждении,

$U_{\text{дендрит}}$ – потенциал дендрита при возбуждении|

В то же время напряжение пробоя мембраны клетки составляет $150 - 200 \text{ mV}$. Видим, что разность потенциалов между аксоном одного и дендритами другого возбуждённого нейрона (240 mV) достаточна для пробоя мембраны дендрита, и образования в месте пробоя постоянного проводящего канала. А половины потенциала 120 mV ($=240/2 \text{ mV}$) недостаточно для образования связи возбуждённого нейрона с невозбуждённым. Биологи в этом случае говорят об образовании синапса, но не раскрывают механизма его образования из-за недостаточного количества сведений об этом процессе [129 – 132].

Из-за сложностей экспериментов с миниатюрной живой клеткой имеются только сведения о поведении потенциала аксона относительно окрестностей. Но нет данных об изменении потенциалов дендритов, хорошо изолированных электрически от окрестностей. Вопрос измерения потенциалов других точек нейрона при его возбуждении не получил должного отражения [133].

Но в англоязычной литературе [134] приводится экспериментально установленный вид потенциала, измеренного на выходе нейрона – аксоне, который приведён на рисунке 3.2.

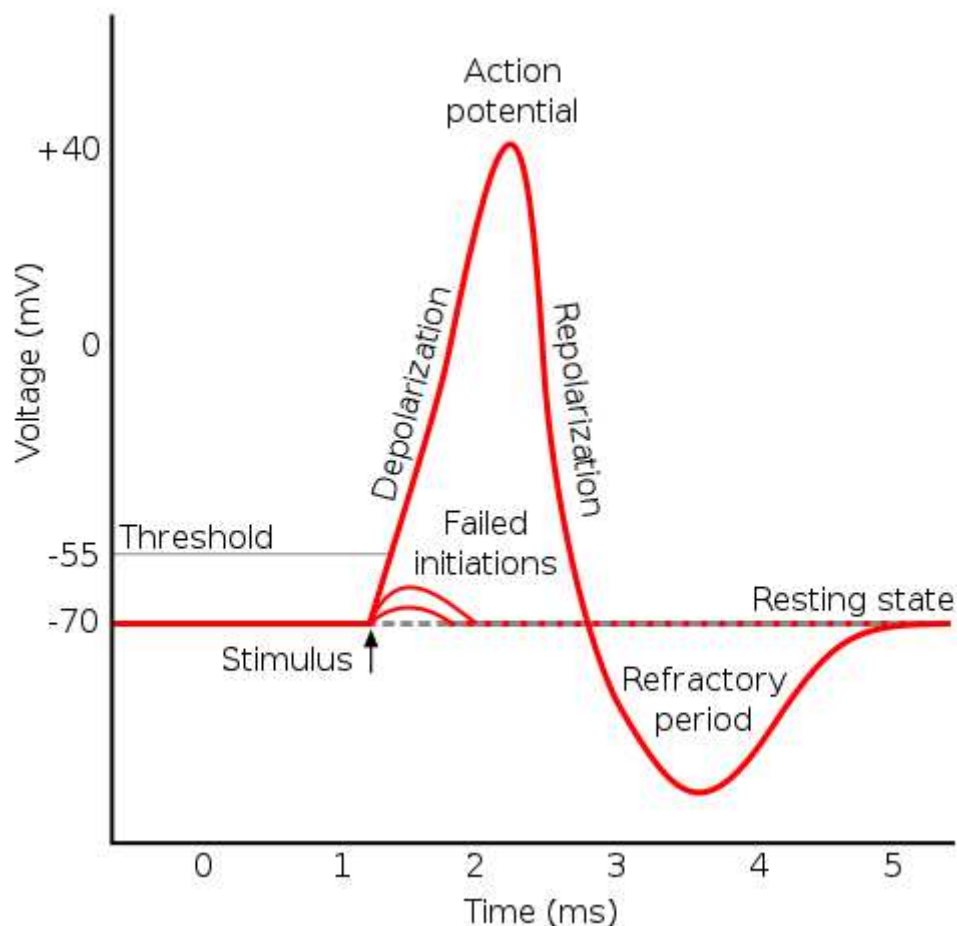


Рисунок 3.2. Вид потенциала аксона возбуждённого нейрона [134]

Большое понижение потенциала аксона в начале рефрактерного периода может быть проинтерпретировано с помощью следующего рисунка ДЗ.3:

Наблюдаемое в начале рефрактерного периода на выходе (первого) нейрона уменьшение потенциала ниже потенциала аксона невозбуждённого нейрона обусловлено смещением в минус потенциала общего входа следующего (второго) нейрона, гальванически связанного с возбуждающим его первым нейроном, относительно аксона на величину внутренней ЭДС второго нейрона. Это смещение потенциала входа следующих нейронов и приводит к кратковременному смещению потенциала аксона первого нейрона ниже уровня потенциала невозбуждённого нейрона. И это отрицательное смещение входов возбуждённых нейронов и обеспечивает образование следов прохождения сигналов, возбуждающих нейроны, попадающие на их пути. А также и остальные процессы продвижения сигналов по НС и мозгу.

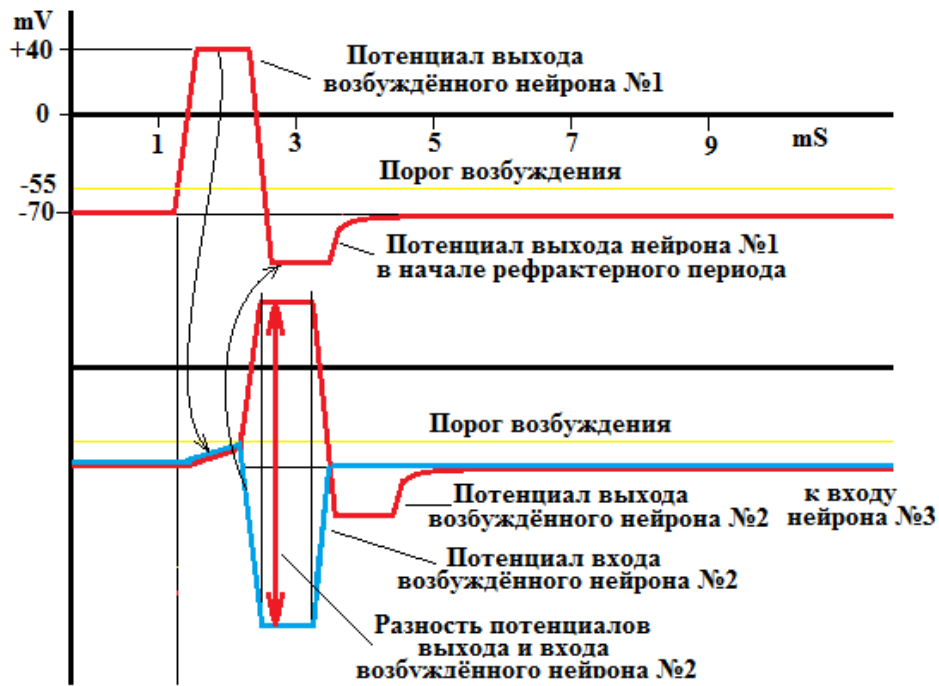


Рисунок 3.3. Интерпретация диаграммы начала рефрактерного периода

В [132] приведены сведения о процессах продвижения сигналов по структурам мозга. В том числе, показаны диаграммы взаимной компенсации потенциалов на входе и выходе двух нейронов, через которые следует сигнал.

3.3 Об аналогах нейронов

Повторно приведём электрическую схему нейрона (Рисунок Д3.1).

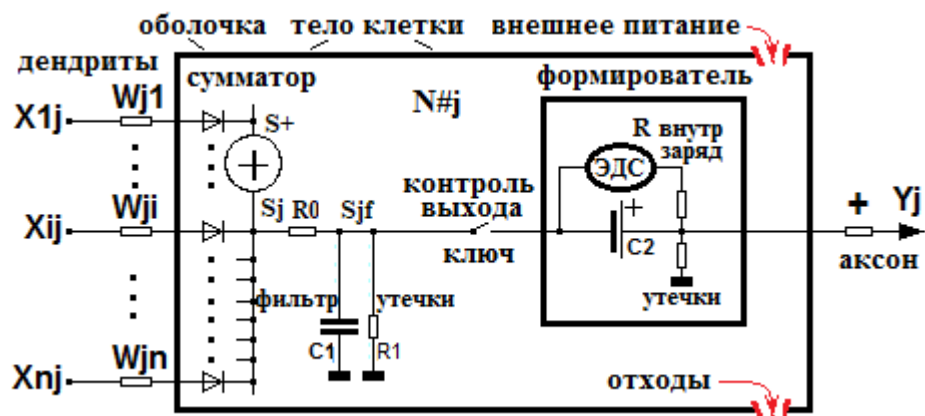


Рисунок Д3.1. Модель нейрона с источником усиления сигнала

Эта модель очень проста для инженеров, но не для природы. Но, если её изобразить в терминах биологических структур, она становится намного проще. Понятно, что вероятность образования такой структуры (без вмешательства извне) в течение множества поколений организмов близка к 1. В терминах биологических структур модель может быть представлена, как на рисунке 3.4

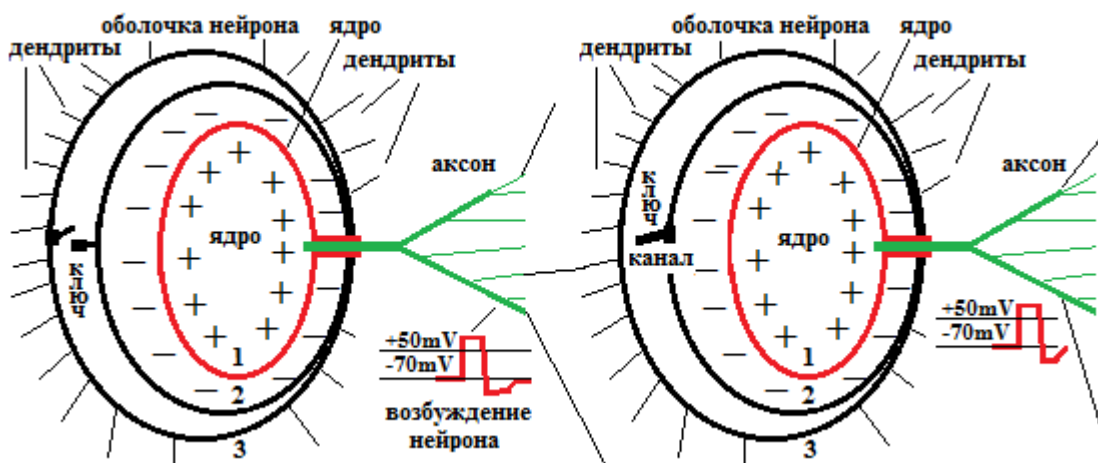


Рисунок 3.4. Модель нейрона в оболочках

Функционирование нейрона, представленного на рисунке Д3.4 очевидно. При замыкании ключа (открытии канала) ёмкость зарядов быстро разряжается – за 1 мS. Плюс «+» идёт в аксон. Минус «-» через оболочку нейрона, дендриты, идёт на аксоны предыдущих нейронов.

После разрядки ядро заряжается примерно 20 мS.

Ещё раз отметим, что нейроны различных живых существ не являются уникальным явлением живой природы. Клетки, аналогичные нейронам, образуют электрические органы «электрических» рыб. Только управляют нейроны и электрогенерирующие клетки рыб по-разному.

Приложение 4. Комментарии к некоторым психическим явлениям

В этом разделе мы хотим представить наше видение движущих сил и устремлений людей (и других возможных разумных существ), наше видение основ психологических явлений, обусловленных материальными механизмами функционирования НС, основ поведения существ с мозгом, богатым по своим возможностям. Понятно, что психологам совсем не обязательно знать механизм работы мозга на уровне нервных клеток, точно так же как специалистам по теплотехнике для решения термодинамических задач не обязательно знать молекулярные механизмы, создающие термодинамические величины. Хотя в некоторых случаях без этих знаний успешно обойтись не удастся.

Мы уже говорили, что следы прошлых событий, определяющие поведение организмов под управлением нервных систем — связи между нейронами — могут образовываться только между возбуждёнными нейронами. Но как, в каких случаях могут возбудиться нейроны? Перечислим эти случаи в порядке, складывающемся, так сказать, исторически для каждого отдельного организма в ходе его развития.

1. Спонтанное возбуждение из-за различных случайностей—флуктуаций, например, от пролета вблизи нейрона ионизирующих частиц высоких энергий, от химических неоднородностей, от излишней готовности нейрона к возбуждению. В частности, если нейрон постоянно только подпитывается, «заряжается», но не разряжается при возбуждении, поскольку у него ещё даже нет входных связей, через которые нейрон мог бы возбудиться, то он постоянно очень близок к порогу возбуждения, и для возбуждения нейрона достаточно малейшего толчка. Так часто бывает на самой ранней стадии развития организма, когда в организме появляются всё новые нейроны, а связей между ними пока

нет. Происходящие в это время спонтанные возбуждения ещё не связанных между собой нейронов приводят иногда (при одновременном возбуждении 2-х нейронов) к образованию между рядом расположенными нейронами связей, материализующих безусловные рефлексы.

2. Возбуждение нейрона сигналом через единственный в данный момент активизирующий вход в условиях низкого порога возбуждения нейрона. Такое возбуждение часто происходит на стадии первоначального образования понятия, базирующегося и развивающегося в дальнейшем на этом нейроне и его окружении.

3. Нейрон возбуждается в обычном «рабочем» порядке сигналами от 3, 4 ... входов, когда возбуждения 1, 2 ... входов уже недостаточно для возбуждения нейрона. И наша мысль или воспоминание (по данному направлению) срабатывает только при подключении дополнительных признаков-ассоциаций. Такие многокомпонентные возбуждения нейронов (при воздействии на нейрон многих факторов) по большей части и происходят в жизни организмов.

При всех типах возбуждений часто между двумя возбуждёнными нейронами образуются связи (в среднем 30 000 новых связей в секунду!), если это возможно по топологии, взаимному расположению этих нейронов и по возбуждающим потенциалам. И этот единый механизм возбуждения и образования связей функционирует всю жизнь организма без перерывов на «обучение» и без переключений режимов «обучение»/«работа». Отсутствие этих перерывов отличает естественный мозг от моделей нейронных сетей, существующих сегодня. Помним, что природа из-за ограниченности ресурсов поневоле экономна!

Перечислим теперь все случаи самообразования связей между возбуждёнными нейронами:

1. генетически обусловленные связи между нейронами, образовавшимися по рождению в местах, предопределённых развитием организма данного вида, реализующие безусловные рефлексы,

2. случайно образовавшиеся связи,

3. следы нашего чувственного опыта на самом низком, чисто функциональном уровне, отображающие воздействие среды на наши органы чувств, чувство голода, боли и т.п., материализующиеся в виде связей между нейронами.

4. следы (простейшие образы) менее заземлённого опыта, чуть осмысленные, порождаемые не сигналами непосредственно от рецепторов, а сигналами от уже сложившихся в результате опыта образов.

5. связи, образующиеся при обучении – усвоении опыта учителя, опыта других людей, изложенного в книгах, произведениях искусств (на различных материальных носителях). Образование этих связей опирается не на собственный чувственный опыт индивидуума (через его рецепторы), а на опосредованное представление опыта других людей.

6. следы размышлений, при долгих хождениях сигналов по лабиринтам мозга, через уже сложившуюся структуру связей в мозге — связи между нейронами, образовавшиеся в результате мышления — многозвенного прогнозирования на уже существовавших структурах — связях.

При этом нейроны нашего мозга сами, без какого бы то ни было вмешательства в его структуры со стороны, образуют связи между собой.

Образование связей происходит в моменты, когда соприкасающиеся нейроны возбуждены под воздействием приходящих на их входы возбуждающих сигналов. Для отображения внешних обстоятельств и для успешного управления подопечным организмом нейронам больше ничего не надо. Никакого вмешательства извне. Под успешностью здесь подразумевается обеспечение выживания и размножения организма.

Причём по мере развития мозга индивидуума, с приобретением все новых впечатлений, опыта (знаний) количество связей между нейронами быстро увеличивается.

В качестве входных сигналов на входах–дендритах нейронов мозга часто выступают уже не отдельные сигналы от отдельных рецепторов, а фрагменты картины, состоящей из мозаики отдельных элементарных деталей. Уже после первых входных каскадов обработки внешних входных сигналов на последующие каскады нейронов поступают сигналы, являющиеся значениями многоходовых входных логических функций, реализующих различные (в том числе, и очень сложные) комбинации функций «И», «ИЛИ». В итоге в мозге на основе простейших логических функций складываются очень разветвлённые связи типа дерева (программистский термин). Эти однонаправленные «деревья» в ходе жизни, в ходе их разрастания, соприкасаются с другими «деревьями», образуя, таким образом, обратные связи различной глубины. Деревья складываются в многомерные сети с миллиардами узлов-нейронов. И мы получаем полноценный мозг, управляющий отклонениями организма от непосредственных раздражителей (сигналов от них) или от сигналов, формируемых (синтезируемых) в мозге в ходе непрерывного многозвенного прогнозирования, предвидения, опережения, базирующегося на множестве следов–связей в мозге, образованных предшествующим опытом организма.

Несмотря на исходную простоту, из-за невообразимо большого количества связей между нейронами мозга все их невозможно отследить с точностью до последней связи. Тем более что количество этих связей непрерывно растёт с огромной скоростью (30 000 новых связей в секунду), а параметры связей меняются со временем.

Кроме того, на работу мозга оказывают существенное, а иногда и решающее влияние различные физиологические и биохимические обстоятельства. Например, алкоголь или какие-то биологические стимуляторы существенно изменяют пороги возбуждения нейронов и их способность к образованию связей – к запоминанию. Различные биохимические, физиологические процессы и процессы, связанные с массопереносом, изменяют характеристики как мозга, так и организма в целом. Скорости этих процессов задают скорости различных автоколебательных процессов, т.е. задают различные ритмы: сердцебиения, дыхания, отправления физиологических потребностей, сна. Все эти процессы приводят к существенному усложнению функционирования мозга. Мы только упоминаем их влияние на работу мозга, но не имеем возможности рассматривать их все детально, и поэтому оставляем за пределами нашего внимания.

Изложим наше видение некоторых важных черт психологических явлений, вытекающих из наших представлений о функционировании мозга с его стремлением к минимизации раздражающих воздействий. И даже повторимся. Стремление к минимизации сигналов раздражения (и получаемых непосредственно из внешней среды, и полученных внутри мозга в результате многоступенчатого прогнозирования) возникает автоматически, поскольку инициирование сигналов, распространяющихся по структурам мозга, происходит лишь при воздействии на НС внешних для неё раздражителей. В структурах мозга сигналы только трансформируются, ретранслируются, но не инициируются. Распространение сигналов по структурам мозга происходит со *средним* коэффициентом размножения, чуть меньшим 1, иначе происходило бы самовозбуждение мозга. Так что сигналы, вошедшие в структуры мозга, достаточно быстро затухают. А мозг, лишённый внешних сигналов, с необходимостью засыпает. Так что нервная система, мозг только осуществляет реакцию на раздражитель, без каких бы то ни было активных действий, не обусловленных воздействием внешней среды. Что можно описать примерно так: есть раздражитель – есть реакция; нет раздражителя – нет никакой реакции, движения. Поэтому и происходит минимизация раздражающих факторов – сигналов в мозге. По этой же причине в мозге каждого существа складывается стремление к получению максимальных результатов (максимального воздействия на окружающий мир) при минимальных его усилиях. Это стремление выливается в стремление к овладению окружающим миром в пределах представления данного существа о мире. У одного мир – это место его работы, у второго – семья, у третьего весь город, у четвёртого – страна, материк, вся Земля, или даже вся Вселенная!

Утверждение о стремлении индивидуума к овладению миром, доступным представлениям индивидуума, интуитивно очевидно и вне нашего подхода, также как и утверждение о фундаменте личности, образующемся в самом раннем возрасте. Но наш подход позволяет детально, пошагово объяснить это стремление конкретными объективными материальными причинами.

СОВЕРШЕННО ЧИСТЫЙ МОЗГ. В мозге ещё не родившегося ребёнка (как и в мозге ещё не вылупившегося из яйца гусёнка) появляющиеся в результате деления клеток соприкасающиеся нейроны изначально, в исходном состоянии, ещё никак не связаны между собой, пока ничем не возбуждаются, поэтому они «перезаряжаются» сверх нормы. В это время нейроны из-за перезаряженности пребывают в состоянии, близком к самовозбуждению и последующему образованию связи с соседними – пробую тонкой изолирующей пленки при самовозбуждении нейронов в одно и то же время. Поэтому достаточно любой неоднородности, чтобы нейроны, в том числе и соседствующие, возбудились сами по себе. И именно в тот момент, когда соседствующие нейроны возбуждены в одно и то же время (независимо друг от друга), между ними образуется связь. Поэтому нейроны в такой ситуации (в начале жизни организма, когда количество связей между нейронами ещё мало) достаточно часто возбуждаются различными флуктуациями (например, поступила слишком большая порция питательных веществ, образовался их переизбыток, что эквивалентно понижению порогового уровня ниже нуля). При этом между самовозбудившимися нейронами образуются генетически предопределённые связи, обусловленные расположением нейронов по происхождению, которое определяется ходом строительства организма в процессе деления клеток. Эти связи образуются достаточно случайно во времени (нейрон самовозбудился, а его сосед нет), но далеко не случайно по топологии. Можно сказать, что будущие базовые связи предопределены генетически, происхождением, расположением нейронов. По мере увеличения количества связей нейроны и мозг в целом отдаляются от возможности спонтанного образования связей по причине самовозбуждения расположенных рядом нейронов, поскольку в результате увеличения токов утечек из-за появления большого количества связей сильно уменьшается вероятность их одновременного самовозбуждения. Преобладающим становится образование связей между нейронами, активированными входными сигналами, а не между самовозбудившимися нейронами.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ НОВЫХ ПОНЯТИЙ. Когда образуется связь между возбуждённым нейроном предыдущего каскада и самовозбудившимся нейроном, у которого пока ещё не было задействованных входов, к возбуждённому нейрону присоединяется пока ещё «чистый», без дополнительных входных связей нейрон. К «чистому» нейрону в дальнейшем могут присоединиться через его другие входы (расширяющие возможности коммутации ассоциаций) некие воздействия окружающей среды, поскольку присоединившийся ранее нейрон уже будет возбуждаться через образовавшуюся связь. Можно сказать, что на этом пока пустом, «чистом» нейроне до образования второй, третьей и т.д. связей было материализовано «пустое» понятие «следует за предыдущим понятием». Этот «пустой» признак возбуждает ещё «пустой» нейрон, пока не имеющий содержательных связей, отображающих связи внешнего мира.

ОЗАРЕНИЕ, ОТКРЫТИЕ. Оно представляет собой процесс образования цепочки, последовательности связей между понятиями, событиями. Когда в мозге есть две или более одновременно активированные, возбуждённые области понятий, между ними может образоваться, возникнуть, связь, часто случайная, как путь молнии, определяемый не только действующими потенциалами, но и различными неоднородностями, в том числе, от ионизирующих излучений. Чаще всего в мозге образуются короткие прямые связи: «возбуждение N1 происходит одновременно с возбуждением N2». Реже образуются связи

между понятиями, не имеющими прямого контакта, с одним промежуточным активным элементом—нейроном между ними (с 2-мя связями). И гораздо реже образуются цепочки с 2-мя и более промежуточными нейронами между понятиями. Это и есть озарение, открытие. Единовременное образование таких «многозвенных» цепочек крайне маловероятно. Увеличить эту вероятность можно за счёт активизации промежуточных понятий – логических островков, как мы и делаем при решении различных сложных задач, разбивая их на подзадачи, активизируя нужные участки мозга с помощью рисунков, диаграмм, обсуждений и т.п. Особенно хорошо это видно при вмешательстве в процесс решения задачи учителя с его направляющими подсказками.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЫСЛИ. При последующих прохождении мысли по, казалось бы, одному и тому же пути, мысль каждый раз проходит по несколько изменившемуся пути. Даже если мысль пробегает по одной и той же последовательности возбуждаемых нейронов, то состояние этих нейронов слегка изменяется по сравнению с состоянием при предыдущем прохождении мысли по этому же пути (с возбуждением тех же самых нейронов). Это происходит по следующим причинам:

- несколько изменилась совокупность сигналов от внешних обстоятельств,
- за время от предыдущего прохождения мысли изменилась структура мозга – появились новые связи и модифицировались (уменьшились) веса старых связей,
- если мысль проходила недавно, то возбуждённые при её прохождении нейроны «устают» и некоторое время имеют несколько более высокий порог срабатывания, т.е. несколько изменились пороги чувствительности нейронов (рисунок Д5.1).

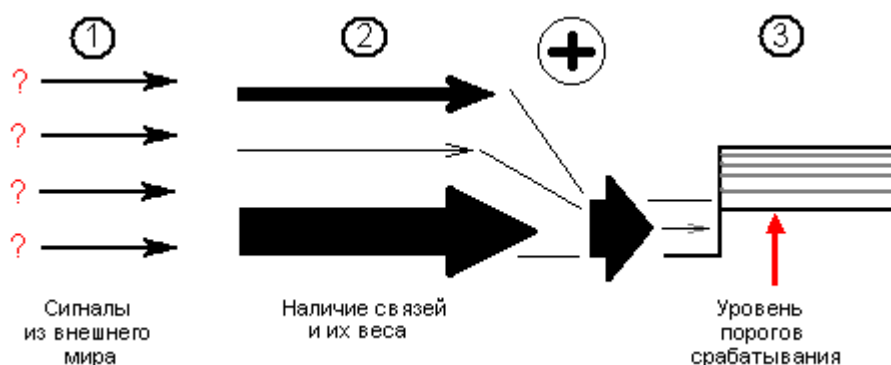


Рисунок 5.1. Влияние входных сигналов, структуры мозга (веса связей) и уровня порогов нахождение мысли

Все эти факторы в совокупности приводят к тому, что мысль при повторном прохождении, начиная с некоторого пункта, может пойти по другому пути. В любом случае, даже при сознательной попытке заикливания мысли, из-за усталости - разряженности нейронов и повышения порога их срабатывания, мысль, в конце концов, вынуждена будет пойти по другому пути – через другие рядом лежащие, но ранее не возбуждавшиеся этой мыслью нейроны, порог возбуждения у которых остался прежним.

ВСПОМИНАНИЕ. Мы можем годами не вспоминать какие-то обстоятельства, события. Может быть, и никогда их не вспомним. Но, если сложатся обстоятельства, то можем и вспомнить. Пусть в какой-то местности, скажем на седьмом километре дороги из пункта А в пункт Б, мы не были много лет. Понятно, что ничего об этой местности мы не помним и можем не вспомнить до конца жизни даже при наличии желания. То есть, нейроны, на которых оставила следы (зафиксирована) эта местность, не активируются. Но когда мы попадаем на этот самый седьмой километр, на наши нейроны действует вся окружающая обстановка, и конфигурация возбуждающих сигналов становится примерно

такой же, как и много лет назад, когда эта конфигурация сигналов возбудила какую-то совокупность нейронов, которые в последующий момент образовали связи с другими нейронами. А сейчас через всю совокупность следов событий, через образовавшиеся много лет назад связи и будут возбуждены нейроны, которые тогда были возбуждены в последующий момент. И поэтому в нашем сознании всплывёт картина, которая должна предстать перед нашими глазами в следующий момент. Например, мы ясно представляем, что после поворота дороги перед нами откроется вид с невысокого берега местной речушки.

ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТЬ ЧЕЛОВЕКА. Например, к математике. Она может определяться большим количеством потенциальных связей в некоторой зоне мозга, в которой начали формироваться математические понятия. То есть, предрасположенность определяется топологией, расположением пучков нервных волокон, потенциально могущих войти в контакт с группами других нейронов, на которых исторически «поселились» первые математические понятия, возможно, ещё до рождения человека. И, если у данной личности эта часть мозга оказалась более способной к развитию связей, то эта личность будет более способна к математике, чем, скажем, к рукоделию, или к музыке. Понятно, что при усиленной практике математическая или музыкальная зона обрастает связями с другими зонами мозга, так что любые способности можно развить.

Несмотря на то, что нейрофизиологи достаточно чётко различают в коре головного мозга человека устойчивые по местонахождению зоны, ответственные за тот или иной вид деятельности мозга: речь, обоняние, слух и т.д., расположение этих зон не слишком жёсткое, без жёсткой обязательной за данности. Такой результат (отсутствие жёсткой привязанности к месту в мозге центров речи, слуха) получен благодаря современным методам, без хирургического вмешательства, при экспериментах с вполне здоровыми обычными людьми путём наблюдения активности участков мозга посредством магнитно-резонансной томографии у группы пациентов. Это наблюдение подтверждается также экспериментальным хирургическим фактом. Он заключается в том, что у котят сразу после рождения, когда они ещё были слепы, была удалена часть коры, обычно отвечающая у взрослых кошек за зрение. Такие котята вырастали совершенно зрячими [11], но уже с другим территориальным размещением зрительной зоны. Это ещё раз доказывает сверхнадёжность центральной нервной системы (ЦНС) с ее способностью к адаптации, к обходу препятствий. Результаты эксперимента говорят о том, что у прооперированных котят нервные связи, ответственные за зрение, вынуждены были разместиться и разрослись на неповреждённых участках мозга, отличных от обычных мест размещения зрительных зон у других кошек (где начальное расположение нейронов больше способствовало разрастанию связей под влиянием сигналов, приходящих в эту область).

С другой стороны, если ещё слепых котят помещали в совершенно тёмное помещение и содержали их там до взросления, то эти котята имели проблемы, потому что в своём детстве они не научились воспринимать окружающий мир многокрасочный мир посредством зрения, не научились видеть. В их системе зрения в самом продуктивном возрасте вместо обычных элементарных зрительных образов сложились только образы темноты. Эти факты говорят о том, что информация в мозге обрабатывается структурами мозга, не столько генетически предопределёнными их происхождением, сколько структурами, сложившимися к данному моменту времени в ходе развития организма. Поэтому математические способности, так же, как и способности к музыке, могут быть развиты в любом возрасте, но наиболее успешно это можно сделать в период наибольшей пластичности, изменчивости мозга, то есть, в ранние детские годы.

И всё-таки, генетически обусловленные (взаимным расположением нейронов) связи, реализующие безусловные рефлексy, оказывают чуть ли не решающее влияние на формирование условных рефлексy, поскольку условные рефлексy начинают и

продолжают складываться на основе безусловных. Именно поэтому движения (проявление совокупности безусловных и условных рефлексов, а также особенностей строения мышц, костей, суставов) генетически родственных людей (братьев, родителей—детей) часто бывают очень похожи. Даже если эти родственники никогда не видели друг друга. Но если задаться целью, то движения, двигательные рефлексы можно изменить до неузнаваемости (можно перейти от тяжёлой походки усталого грузчика или моряка к летящей походке балерины).

ИГРЫ. Функционирование собственно НС заключается не в генерации нервных импульсов, а в проведении этих импульсов от рецепторов (реагирующих на воздействие среды и генерирующих нервные импульсы) к эффекторам (манипуляторам), осуществляя адекватную реакцию организма, обеспечивающую выживание организма, с отображением (с фиксацией) в мозге следов происходящих событий в результате прохождения вошедших в мозг сигналов через нейронные структуры мозга всё дальше. Накопленный жизненный опыт организма отображён в следах событий, произошедших с организмом ранее. А текущие события непрерывно отображаются, в свою очередь, в виде постоянно образующихся новых связей между нейронами под воздействием сигналов, поступающих в мозг. Следы событий реализуются в виде новых (образующихся со средней скоростью 30 000 связей в секунду) и модификации существующих связей между возбуждёнными в данный момент нейронами, образующихся в результате (в ходе) воздействия событий-раздражителей на организм. Нервные импульсы в НС только трансформируются (проходя по следам предыдущего опыта), но не генерируются. Генерируются же они за пределами НС, на её входе, в рецепторах, трансформирующих воздействие среды на организм в различных видах (механическое, акустическое, электромагнитное, химическое, тепловое) в стандартные электромагнитные сигналы, наиболее легко трансформирующиеся затем в пределах НС. Отметим ещё раз, что в рецепторах нервные импульсы также не генерируются сами по себе, произвольно, а появляются в результате трансформирования в рецепторах воздействий внешней среды на нервную систему организма.

Так что поведение организма представляет собой реакцию нервной системы организма, управляющей организмом, на какие-то воздействия на организм внешней среды. При этом нервная система не только пропускает через себя сигналы воздействия среды на организм, но и непрерывно модифицируется, трансформируется следами событий, воздействующих на организм – каждую секунду в мозге человека образуется порядка 30 000 новых связей. Эти следы в виде связей между нейронами остаются в НС организма на всю оставшуюся жизнь и представляют собой историю, опыт организма.

Видим, что деятельность организма начинается в виде прямой реакции на непосредственное воздействие среды. Но прямая непосредственная реакция наблюдается только у простейших организмов: организм большую часть времени пребывает в покое, в спячке; появилось чувство голода — насытился, опять заснул. В сложных организмах нейроны связаны в очень длинные цепочки. В том числе с задействованием положительных обратных связей. Поэтому даже совершенно незначительные раздражения, подействовавшие на рецепторы, бродя по длинным цепям лабиринтов связей между нейронами, выходят на пути проведения особо важных для жизни сигналов. Так что дуновение ветерка приводит к мысли: а что будет завтра с моим обедом, есть ли у меня дрова, чтобы согреться у костра при завтрашнем холодном ветре.

И нервная система организма стремится минимизировать раздражения, не только непосредственно воздействующие на организм в данный момент, но и спрогнозированные на завтра и далее, связанные с его завтрашним жизнеобеспечением: как добыть пищу, как защититься от опасностей, от врагов. Это стремление к минимизации (обусловленное физическими законами движения зарядов) не зависит от типа раздражителя — нейроны и структуры на их основе не могут знать, откуда приходят возбуждающие их сигналы — от рецепторов, в результате прямого воздействия среды, или в результате многоступенчатого

прогнозирования. Отсюда и возникает невольное прогнозирование на завтра и на далёкое будущее и моделирование своего поведения в этих прогнозируемых ситуациях.

Это моделирование собственного поведения в прогнозируемых ситуациях в сообществах организмов (в которых легче выжить, обучаясь на примерах соседствующих особей, членов сообщества, товарищей) неосознанно складывается в игры, а затем и в целенаправленное обучение с использованием не только собственного опыта, но и опыта других членов сообщества. Этот опыт поначалу передаётся при непосредственном общении, через действия, через жесты, через звуки, через речь, появляющуюся в сообществе (и по мере развития юных членов сообщества). По мере развития, усложнения жизни, опыт сообщества начинает фиксироваться не только в виде фольклора, но и в материальных объектах, что облегчает его долговременное сохранение, накопление и передачу другим членам сообщества. Опыт фиксируется в каком-то виде: в виде изделий — каменных орудий и глиняной посуды, наскальной живописи, в клинописных табличках, в книгах, в библиотеках, в интернете.

В сообществах организм с целью расширения своих возможностей в деле минимизации раздражений (больше результатов при минимуме затрат) стремится не только к совершенствованию своих двигательных способностей, но и к использованию так или иначе возможностей других членов сообщества. В связи с чем и складываются взаимоотношения. В частности отношения взаимного соподчинения (иерархии).

БОЛЬ. Базовый обобщённый универсальный индикатор опасности для организма фактора, породившего входной сигнал, который и воспринимается как боль. Связи, обеспечивающие прохождение сигналов многих видов боли, порождаются генетически обусловлено. Нейроны, «проводящие» боль, переплетаются, соединяются между собой по своему генетически предопределённому топологическому, географическому положению, образуя первооснову боли. Остальные виды боли постепенно присоединяются к первооснове боли в том случае, когда следствия сигналов каких-то раздражителей доходят до структур-носителей первоосновы боли. Напрямую с болью связано стремление выжить. Боль, как и система ценностей индивидуума, **СУБЪЕКТИВНА**. Несмотря на единый для всех членов популяции объективный физиологический фундамент, поскольку у боли есть и психологическая, субъективная, составляющая. Например, для одного человека проигрыш футбольной команды вызывает психологическую боль, а для другого — наоборот, радость: его команда выиграла, а команда соперника проиграла.

Рецепторы могут доставлять в центральные зоны мозга не только чувство боли, но и чувство удовольствия. Можно сказать, что положительное восприятие представляет собой отрицание отрицания. Положительная реакция на уровне чувств выглядит примерно так: есть ощущение лёгкого прикосновения — мелкое раздражение. Если это прикосновение приятного нам человека, восприятие положительное. Но если обнаруживается, что это прикосновение мыши, то восприятие, особенно женское, просто ужасное.

Все ощущения происходят на входе в мозг, в НС, как сигналы одного вида — опасности, боли. Дело обстоит примерно так же, как с цифровыми сигналами, проходящими через канал связи. Здесь, в канале, они представляются сигналами одного вида (0/1). Но, попадая в интерпретирующие устройства, эти сигналы превращаются в звуки различной высоты и громкости, в красочные картинки, могут превратиться в дуновение ветра или в запах цветущей сирени. То есть, **сигналы ощущений превращаются в воспринимаемые сигналы, образы**, на основе структуры (опыта) интерпретирующей системы, которая на выходе даёт картинку, зависящую не только от текущей входной, но и от ранее накопленной информации, сохранившейся в виде структуры (накопленного опыта).

СУТЬ ЖИЗНИ — выжить и размножиться! Без этого линия жизни популяции прерывается. Сущность, содержание жизни — сохранение и размножение себя. Эти

фундаментальные черты – самосохранение и размножение – и есть основная линия поведения индивида. Выживали, выживают и будут продолжаться в будущее только те организмы, которым в полной мере присущи эти черты, начиная с плесени, у которой ещё нет никакой нервной системы, и заканчивая представителями высокоразвитых цивилизаций с очень богатой нервной системой. В самых глубоких слоях их нервных систем, на уровне безусловных рефлексов, складывающихся генетически обусловлено задолго до рождения, ещё до наступления существенного влияния внешних обстоятельств, на уровне первичного, генетически обусловленного «чувства боли» заложено стремление уклониться от раздражителей, что эволюционно эквивалентно стремлению организма сохраниться в целостности и сохранности. Выживали только те организмы, у которых стремление уклониться от раздражителей возникло и передавалось в качестве безусловных рефлексов. Выжили только те организмы, рецепторы которых предупреждали организм об опасности. Поступление в НС любых сигналов заставляет НС что-то делать до тех пор, пока не исчезнет раздражитель, пока организм не уклонится от воздействия сигнала–раздражителя. В итоге из-за того, что любое прохождение сигналов по НС всегда инициируется раздражителями, и происходит как реакция НС на эти раздражители, получается, что НС стремится уклониться от раздражителей. Есть раздражители – есть реакция. Нет раздражителей – нет реакции.

А уже на основе безусловных рефлексов, формирующихся в организме генетически обусловленно, под воздействием жизненного опыта организма складываются, надстраиваются поведенческие комплексы, обеспечивающие и выживание, и размножение организма в сложных условиях быстро изменяющейся среды. И даже обеспечивают чувство удовольствия на основе некоторых раздражений, действующих на сложившуюся в результате опыта интерпретирующую систему.

Выживание и размножение совместно обеспечивают продолжение линии жизни организма в будущее. Но если стремление к выживанию реализуется логически совершенно просто, то стремление к размножению реализуется несколько сложнее. Если стремление выжить равносильно непосредственно убеганию, уклонению от боли, от опасности, то базовое стремление размножиться реализуется опосредованно, вследствие стремления организма избавиться от раздражающих ощущений, вызываемых физиологическими процессами в организме. Механизм размножения у простейших животных представляет собой дискомфорт от переполненности организма средствами размножения, так что даже простейший организм пытается избавиться от ощущения дискомфорта, от раздражителя, до тех пор, пока не избавится от этого раздражителя с естественным образованием условного рефлекса — запоминанием способа избегания раздражителя–дискомфорта.

Высшие животные пытаются вуалировать это состояние и облачают это стремление в изящные формы. На этом, можно сказать, строится вся культура нашей цивилизации. Соответствующее освещение у человека получают не только материальная сторона, но и психологическая. Возможность повысить свой статус в обществе не только на рассказах о «победах», но и на чисто платонических чувствах.

По мере усложнения и обобществления жизни стремление организмов к размножению реализуется уже через примитивную силовую конкуренцию, а потом и через приукрашенную конкуренцию, включающую в себя реализацию высоких ценностей. Так что жизненно важные стремления к выживанию являются внешними проявлениями самых глубоких, первичных связей между нейронами, обусловленных генетически, по происхождению, а не по обстоятельствам. Непосредственно к ним примыкает совокупность рефлексов, направленных на размножение, продолжение рода. А уже все остальные черты индивидов, присущие организмам, присоединяются, прививаются к этим основополагающим чертам. Такая структура нервной системы даёт организму шанс на выживание и продолжение своей линии в будущее, но ещё не гарантирует этого.

И это базовое положение должно проявляться и в процессе компьютерного моделирования эволюции групп организмов – те компьютерные «организмы», в которых не сложатся такие связи, очень быстро прервут свою «линию жизни».

РОЖДЕНИЕ РЕБЁНКА. Ребёнок начинает развиваться психически, т.е., умственно, задолго до своего рождения, до выхода из материнского лона в окружающий, не всегда приветливый мир. Связи между нейронами образуются сначала в совершенно чистом мозге ребёнка (и во всех частях зародившегося организма). Потом во всей НС и в мозге со своей ещё короткой дородовой историей (с пока ещё малым количеством уже образовавшихся связей). Возможно, уже через 2 месяца после зачатия, более чем за полгода до своего рождения, ребёнок начинает воспринимать окружающий мир, пока через звуки, осязание, ускорения, через кровь матери – химию своего питания. Этот вывод следует из того факта, что уже для первых ударов сердца ребёнка необходима работа его нервной системы. Тем более она необходима для того, чтобы маленький человек в утробе матери сделал первое движение рукой или ногой. То же самое касается и ещё не вылупившегося птенца в яйце.

Понятно, что одно дело, если ещё неродившийся ребёнок вместе с матерью слушает и наслаждается божественной музыкой, слышит приветливые голоса отца и матери. И совсем другое, когда его травят алкоголем из крови матери и, тем самым, готовят предрасположенность ребёнка к алкогольной зависимости. А заслышав пьяную ругань, он внутри матери убегает от побоев, забивается в угол и замирает, дрожа от страха, вслед за матерью и вместе с ней. И все это в период бурного предродового формирования нервной системы, когда формируются образцы-шаблоны для последующего восприятия мира и поведения в нём. Тут никакой набор генов не защитит ещё не родившегося ребёнка от вредного влияния.

Видим, что рождается человек уже не как кусок глупого мяса с совершенно чистым мозгом или только с безусловными рефлексам. Он рождается достаточно развитым, маленьким, слабым, ещё очень мало знающим, но уже частично сформировавшимся человеком, с частично сложившимся фундаментом личности. Так что нельзя сказать, что при рождении ребёнка включается рубильник и начинается процесс формирования личности. Этот рубильник – включатель постепенно, незаметно включился ещё месяцев шесть-семь назад. Поэтому рождение ребёнка заключается не во включении рубильника («жизнь началась»), а в смене места жительства ребёнка, окружающей обстановки и образа жизни. Даже у бабочки, чей организм при превращениях из гусеницы в куколку, из куколочки в бабочку радикально изменяется, в организме сохраняется память о событиях до превращений, в бытность её гусеницей [171, 172]. Поэтому воспитанием ребёнка нужно начинать заниматься уже задолго до его рождения, можно сказать, сразу же после зачатия.

Так что суррогатная мать, вынашивающая генетически чужого ребёнка, вполне может воспитать в нём черты, называемые сегодня врождёнными, но совсем не свойственные генетическим родителям ребёнка. Хотя традиционно эти «врождённые» черты характера относят к разряду наследуемых генетически. Поскольку суррогатных матерей уже достаточно много, то наше утверждение может быть проверено статистикой.

Если человек попадает в благоприятную для развития среду, он успешно развивается. Если же ребёнок не попадает в такую среду, то он уже не сможет реализоваться как полноценная личность. Так, младенцы, попадая в животную стаю («Маугли»), получают почти в самом внутреннем слое, в фундаменте своей личности, отношения и знания, присущие приютившей его стае. Поэтому впоследствии ни при каких обстоятельствах дети-Маугли уже не смогут стать такими, как другие люди, так как невозможно полностью заменить фундамент и «первые этажи» психики (образовавшиеся в самом начале строительства психики ребёнка) даже при очень активном вмешательстве психиатров и психологов. Не смогут Маугли стать и точно такими, как другие члены стаи, поскольку они физиологически другие. Хотя вполне могут стать даже вожаками этой стаи.

Точно так же дикие животные, выросшие с самого детства до взрослого состояния в человеческой среде, научились успешно жить именно в той среде, можно сказать, в тепличных условиях. И поэтому вряд ли смогут выжить в естественной для этого вида, достаточно суровой среде.

На этих примерах мы видим, что даже **в самом основании** человеческой психики, наряду с генетически обусловленными связями, обусловленными происхождением организма, структурой исходной клетки, из которой произошёл организм, лежат связи, порождённые влиянием структур внешнего мира, т.е., являющиеся следами, отражением окружающих обстоятельств, в том числе, имевших место ещё до рождения.

Так что развивать личность нужно как можно раньше, ещё задолго до рождения. При этом необходимо уделить внимание и режиму питания, особенно в самом начале формирования личности. Правильное питание, доставляющее ребёнку в материнской утробе все необходимые вещества, будет способствовать, облегчать прокладывание генетически обусловленных связей между различными нейронами и создавать фундамент для будущего развития различных способностей за счёт создания разветвленной нейронной сети в среде плотно упакованных, но логически пока ещё слабо связанных между собой нейронов.

Приложение 5. Гидравлическая модель образования связей между нейронами

Мы говорили, что логика функционирования нервной системы и образующих её нейронов может быть реализована самыми разными методами, на различных носителях. Приведём графическую иллюстрацию такой возможности.

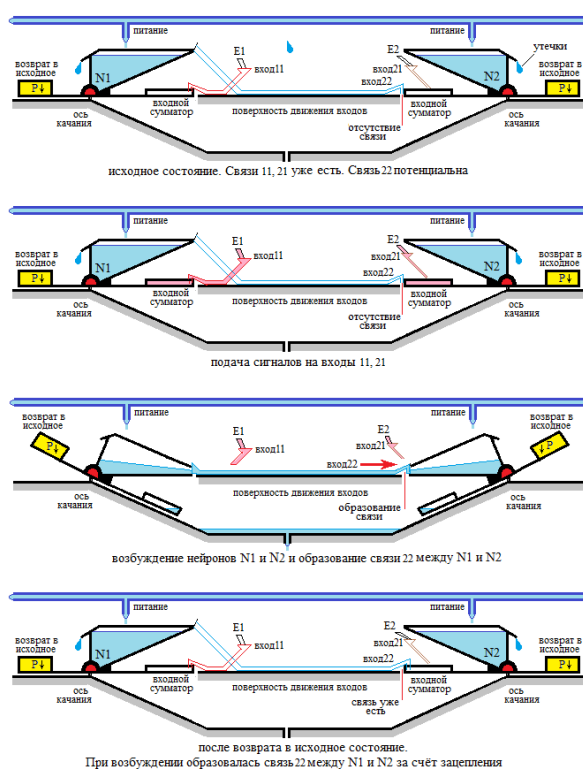


Рисунок 5.1 Схема гидравлической модели простейшей нервной системы

На приведённом рисунке Д5.1 изображена гидравлическая модель минимальной нервной системы. На рисунке показаны два гидравлических «нейрона» N1 и N2 в

процессе, способные моделировать не только возбуждение гидравлического «нейрона» за счёт подачи от предыдущих каскадов сигнала в виде какого-то количества жидкости на входной сумматор, но и образовывать новые связи между «нейронами». Гидравлический «нейрон» состоит из двух жёстко связанных емкостей разного объёма. Объём жидкости, запасённый в большей ёмкости, предназначен для возбуждения последующих «нейронов» (и продвижения сигналов дальше) в случае возбуждения рассматриваемого нейрона и образования новых связей. Меньший объём («входной сумматор») является спусковым крючком. При накоплении в «сумматоре» определённого уровня воды (сигнала) «нейрон» возбуждается путём его переворачивания — поворота на своей оси. При этом вода выливается из большей ёмкости – происходит распространение сигнала.

Схема гидравлической модели нейрона обеспечивает выполнение основных функций нейрона за счёт обеспечения 3-х основных черт:

1_ нейрон возбуждается при превышении уровня входного сигнала над пороговым уровнем. До того гидравлический «нейрон» находится в равновесии вблизи положения нарушения равновесия. Ёмкость нейрона постоянно заполняется из магистрали питания до некоторого уровня (до уровня перелива или перекрытия клапана заполнения ёмкости «нейрона»). Лишняя жидкость стекает через перелив из большой ёмкости, так что «нейрон» может оставаться в равновесии неопределённо долго. Заполнение малой ёмкости «входного сумматора» жидкостными «сигналами» от других «нейронов», участвующих в возбуждении рассматриваемого нейрона, нарушает это равновесие, ёмкость переворачивается — «нейрон» возбуждается и высвобождает энергию запасённой в его большей ёмкости порции жидкости. После разрядки «нейрона» — вытекания из большой ёмкости порции жидкости «нейрон» вернётся в исходное положение под действием груза «возврат в исходное». Ёмкость «входного сумматора» имеет утечки, поэтому влияние давних «сигналов» непрерывно уменьшается до нуля. Для возбуждения «нейрона» нужно, чтобы входной сигнал превысил пороговый уровень (нарушил равновесие). Поэтому скорость наполнения «входного сумматора» жидкостными сигналами должна быть достаточно высокой.

2_ высвобождающаяся при возбуждении «нейрона» энергия порции накопленной жидкости обеспечивает распространение «сигнала» дальше. Жидкость вытекает из ёмкости и течёт по имеющимся к моменту возбуждения трубам - гибким рукавам - связям во «входные сумматоры» других нейронов. К сумматорам уже подключены сигнальные связи-рукава, по которым запасённая в рассматриваемом «нейроне» и в других таких же «нейронах» жидкость при их возбуждении перетекает в сумматоры последующих «нейронов», и может возбудить какие-то нейроны-приёмники следующего каскада, если поступающая от различных возбуждённых «нейронов» жидкость достаточно наполнит их «входные сумматоры».

3_ при возбуждении «нейрона» его выходные рукава с зацепами (крючками) на кончиках под влиянием поступившей в них жидкости могут слегка податься вперёд. При этом, если ещё незадействованный (неприсоединившийся) рукав подходит к сумматору невозбуждённого нейрона, ничего не происходит. Рукав упирается в стенку сумматора потенциального приёмника, жидкость сливается перед стенкой сумматора. Если же ещё неприсоединившийся рукав подвигается в сторону возбуждённого нейрона, он уже не наткнется на стенку опустившегося при возбуждении нейрона его сумматора, а продвигается вперёд и входит в зацепление с сумматором возбуждённого нейрона и остаётся в зацеплении с сумматором этого нейрона навсегда - образовалась новая связь.

Такая модель обеспечивает выполнение и других функций, присущих биологическому нейрону, компьютерному и электронному нейроподобным элементам. Что дополнительно иллюстрирует механизм конкуренции, обеспечивающий реализацию принципа «первый получает всё» (очевидно, что ограниченного объёма жидкости порции на всех не хватит, а жидкость по рукавам быстрее стекает в опустившиеся сумматоры возбуждённых «нейронов»). Этот принцип, в свою очередь позволяет реализоваться лишь

одной линии реакции из многих возможных, чтобы организм не становился каждый раз в ступор из-за невозможности двигаться сразу по множеству путей вместо того (при отсутствии правила «Первый получает всё»), чтобы двигаться по одному оптимальному.

Видим, что можно было бы построить и гидравлическую модель простейшей НС с малым количеством гидравлических «нейронов». Понятно, что быстродействие и надёжность работы такой модели чрезвычайно малы. Поэтому никто такую модель строить не собирается. Схема приведена для иллюстрации действенности логики функционирования мозга на самых разных носителях, предлагаемой нами.

С другой стороны, следует отметить, что аналогия гидравлической модели с электронной далеко не поверхностна. Эти модели тождественны в отношении движения порций энергии и потенциалов. А законы явлений, связанных с потенциальными полями, идентичны, независимо от того, какое поле рассматривается - гравитационное (для гидравлики) или электрическое (для электронной схемы). Эта идентичность проявления потенциальных полей обусловлена единством их природы.

**Поэтому рассмотрение гидравлической модели будет
полезно для понимания принципов
функционирования мозга тем читателям, которые не в
ладах с электрическими схемами.**

Определения [174-175]

Искусственный интеллект (ИИ)- это свойство искусственных систем решать интеллектуальные задачи, для которых отсутствует алгоритм решения.

ИИ – обладает способностями мозга человека решать интеллектуальные задачи путем приобретения, запоминания и целенаправленного преобразования знаний и использования этих знаний для управления средой.

Интеллектуальная задача – это задача, связанная с отысканием алгоритма решения задач некоторого класса, то есть точного предписания (инструкции) о выполнении в определенном порядке последовательности операций для решения любой задачи из данного класса.

Суперкомпьютер – вычислительная машина, которая по характеристикам многократно превосходит большинство существующих на данный момент компьютеров.

Флопс – единица быстродействия компьютера, равная числу операций с плавающей точкой в секунду.

Закон Мура -предсказывает, что каждые два года вычислительная мощность компьютера будет увеличиваться, а стоимость соответственно снижаться.

Кубит- наименьший элемент для хранения информации в квантовом компьютере.

Персептрон – обучаемая распознающая система, реализующая корректируемое решающее, правило в пространстве фиксированных случайно выбранных признаков входных сигналов.

Нейрон – нервная клетка вместе с ее отростками, структурная и функциональная единица нервной системы; состоит из тела (сомы), содержащее ядро, и отходящих от него отростков двух типов коротких, древовидно ветвящихся (дендритов) и длинного ветвящегося, как правило, лишь на конце (аксона).

Нейронные сети – схемы соединений однородных элементов – нейронов; физиологические нейронные сети состоят из нейронов, которые связываются между собой возбуждающими и тормозящими синапсами (контактами); веса (влияние) синапсов в процессе работы сети могут изменяться в широких пределах.

Схемы соединений нейронных сетей – представляют многослойные пространственные структуры; в однослойных сетях каждый нейрон верхнего (входного) слоя влияет на один нейрон нижележащего слоя (примером такой сети является безусловно- рефлексорная дуга, состоящая из последовательно включенных трех нейронов- чувствительного, промежуточного и мотонейрона); в пирамидальных схемах нейронных сетей предполагает влияние нейрона вышележащего слоя обязательно на несколько нейронов последующего слоя и т.д.; воронкообразная схема предполагает соединение всех нейронов верхнего слоя с одним нейроном нижнего слоя; древовидные схемы представляют собой неупорядоченные структуры, сочетающие свойства пирамидальной и воронкообразной схем; схемы нейронных сетей могут иметь положительные и отрицательные обратные связи, образовывать кольцевые структуры и представлять собой сложные сочетания схемы соединений нейронов нескольких или всех типов.

Дендрит – вход нейрона.

Сом- ядро группы нейронов.

Аксон- выход нейрона.

Рецептор- входные цепи мозга, транслируются, распространяются по структурам мозга.

Эффектор- уклонения организма от раздражителя.

Ассоциативная связь- опережающее обнаружение опасных событий. Мышление- способность к прогнозированию на каждом нейроне. Экспансия- процветание (тиражирование) организма. Ноцицептор- болевой рецептор

Аспект – новая связь нейронов

Список сокращений

ИИ – искусственный интеллект
НС – нервная система
СУУ – самоорганизующееся (самообучающееся) устройство управления
ИНИ – искусственный носитель интеллекта
ИМ – искусственный мозг
ЕМ – естественный мозг
ПО – программное обеспечение
УОИ – устройство обработки информации
СУОИ – самообучающееся устройство обработки информации
НЭ – нейронный (нейроподобный) элемент
БНЭ – блок нейроподобных элементов
ЭДС – электродвижущая сила
ПОС – потенциал образования связей
СОИ – системы обработки информации
ТГУ – Томский государственный университет
НИР – научно-исследовательская работа
САСОИ – самодиагностирующаяся система обработки информации
АСУ – автоматизированная система управления
УУ- Устройства управления
СМИ – средства массовой информации
СБИС – система больших интегральных схем

Содержание

Предисловие.....	5
Искусственный интеллект. Определения. Состояние проблемы.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	13
Достаточность естественных сил для функционирования мозга – носителя разума.....	13
1. Достижения и проблемы создания полноценного искусственного интеллекта	18
1.1 Актуальность познания процессов мышления и создания искусственного интеллекта – мыслящего искусственного существа.....	18
1.2 Предыстория искусственного интеллекта.....	19
1.3 Достижения в области создания искусственного интеллекта.....	20
1.4 Проблемы создания искусственного интеллекта и возможности их преодоления путём создания самообучающегося устройства управления.....	22
2. Информационная ёмкость мозга человека.....	25
2.1 Представление информации в организмах и оценка информационной ёмкости мозга человека.....	25
3. Необходимость открытости интеллекта.....	35
3.1 Оптимизация компоновки мозга (Об извилинах в головной коре).....	36
4. Польза нервной системы для организма, управляемого ею. Превращение НС из проводника сигналов в орган предвидения (на основе прошлого опыта)	38
5. Мозг – орган обработки информации и управления организмом.....	46
6. Модель (схема) нейрона	55
6.1 Формализация требований к модели нейрона, обеспечивающей решение всех задач обработки информации в мозге.....	61
6.2 Синтезированная модель нейрона	66
6.3 Синтезированная электронная модель нейрона	73
6.4 Резюме к модели нейрона.....	80
7. Механизм образования следов событий, воздействовавших на организм.....	80
8. Кратковременная и долговременная память.....	86
8.1 Резюме по поводу видов памяти	92
8.2 Об обработке информации во сне.....	93
9. Образование рефлексов (обучение, накопление опыта).....	93
10. Механизм образования безусловных рефлексов	98
10.1 Заключение об образовании безусловных рефлексов.....	103
11. Естественные процессы, реализующие логические функции в мозге.....	103
12. Мышление. Интеллект.....	110
12.1. Интеллект.....	113
13 Личность. Невозможность клонирования личности. Свобода воли.....	114
13.1 Формирование личности на основе безусловных рефлексов.....	114
13.2 Невозможность клонирования личности.....	115
14.Внимание и сон.....	117
14.1 Внимание.....	117
14.2 Сон.....	119
15 Подсознание, интуиция, «внутренний голос», свобода воли, субъективность, общественные отношения.	121
15.1 Подсознание.....	121
15.2 Интуиция.....	121
15.3 Внутренний голос.....	122
15.4 Свобода воли.....	122
15.5 Субъективность	123
15.6 Ценность отношений с влиятельными людьми	123
16. Инстинкты.....	124
16.1 Сложность инстинктов.....	124
16.2 Самосохранение.....	124
16.3 Материнство	125
16.4 Продолжение рода.....	125
17. Внутренние критерии правильности распознавания.....	126
17.1 Критерии функционирования НС. Фундамент мотивов.....	126
17.2 Критерии окончания распознавания в биологическом мозге.....	127
18. Экспериментальные исследования создания и применения искусственного интеллекта. Моделирование работы мозга на компьютере.....	134

18.1 Возможно ли полномасштабное моделирование работы нашего человеческого мозга на компьютере в соответствии с приведёнными представлениями о принципах функционирования мозга?.....	134
18.2 Моделирование нервной системы для изучения её патологий	140
18.3 О возможности электронного искусственного носителя интеллекта	141
18.4 Пути создания полномасштабного искусственного носителя интеллекта.....	145
18.5. Бионическая модель и методы оценивания и прогнозирования состояния развивающихся систем с учетом управляющих воздействий	152
18.6 Применение искусственного носителя интеллекта	167
19. Опасности создания цивилизации разумных существ с искусственными носителями интеллекта и возможность сосуществования с такой цивилизацией	169
20. Краткие итоги. Результаты применения созданного искусственного носителя интеллекта	170
Заключение	174
Список использованной литературы	175
Приложение 1. Объективность и материализация информации	187
Приложение 2. Эволюция организмов (выживание – пропуск в последующую жизнь).....	192
Приложение 3. Нейроны и их аналоги	206
Приложение 4. Комментарии к некоторым психическим явлениям	210
Приложение 5. Гидравлическая модель образования связей между нейронами.....	220
Определения.....	223
Список Сокращений.....	224