

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 2. Измерения, процедуры и оборудование в экспериментально-психологических исследованиях.

1. Антонец В.А. Измерение ощущений
2. Антонец В.А., Левчук И.В. Количественная модель субъективной интегральной оценки человеком совокупности разнородных семантических объектов
3. Бабанин Л.Н. Проблема эквивалентности традиционных и компьютеризированных психологических методик
4. Баланёв Д.Ю. Возможности визуализации результатов экспериментального исследования компромисса скорость–точность
5. Бандурка Т.Н., Бомштейн Т.В. Компьютерная программа исследования полимодальности восприятия у субъектов образовательного процесса
6. Барабанщиков В.А., Окутина Г.Ю., Окутин О.Л. Чувствительность айтрекера и точность измерений положения глаз
7. Жегалло А.В., Кулик С.Д., Лупенко Е.А., Смоленкова Н.А., Харитонов А. Н. Аппаратно-программный метод газоразрядной визуализации (ГРВ) в диагностике состояния
8. Корнилов С.А. Проблема надежности психологических шкал и ее значение для психодиагностики в научных и практических целях
9. Крылов А.К. Роль модельного эксперимента и фрактального анализа данных в психологическом исследовании
10. Куравский Л.С. Нейросетевая технология выявления аномалий электроэнцефалограмм
11. Куравский Л.С., Марголис А.А., Юрьев Г.А. Психологический тренажер – система моделирования результатов психологических исследований
12. Лассан Л.П., Вершинина Е.А. Опыт применения дискриминантного анализа в нейропсихологической диагностике церебральной патологии
13. Малыхин А.А., Барабанщиков В.А. Границы применимости подвижной системы слежения за направлением взора наблюдателя
14. Мармалюк П.А. Конфирматорный факторный анализ результатов вейвлет-преобразований данных мониторинга
15. Митина О.В. Методы исследования каузальных связей
16. Напольских М.П., Мармалюк П.А., Гаврилов В.В., Харитонов А. Н. Аппаратно-программный комплекс для исследования восприятия значимых звуков человеком
17. Нармухамедова Е.И., Гаврилов В.В., Харитонов А. Н. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологического исследования восприятия значимых звуков лабораторными животными
18. Панов А.И. Применение методов искусственного интеллекта в обработке психологических данных
19. Пахомов А.П. Зависимость результатов психофизического эксперимента от выбранной меры светового и электрического стимула
20. Пахомов А.П., Шпагонова Н.Т. Зависимость результатов психофизического эксперимента с тяжестью, запахами и вкусом от выбранной меры физических стимулов
21. Перевезенцева Е.С., Ушаков Д.В., Панфилова А.С. Веб-реализация адаптивного матричного теста интеллекта Бертлинга–Холлинга
22. Савинов Д.А., Субочев П.В. Прибор для звукового контакта с плодом в утробе матери
23. Синицына М.В., Костин А.Н. Использование юзабилити-метрик при анализе деятельности пользователей корпоративной системы обучения

24. Худяков А.И. Обобщенный образ и проблема психологических измерений
25. Чихман В.Н., Солнушкин С.Д., Пронин С.В., Шелепин Ю.Е. , Бондарко В.М.
Информационные технологии зрительного эксперимента

II

ИЗМЕРЕНИЯ, ПРОЦЕДУРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

ИЗМЕРЕНИЕ ОЩУЩЕНИЙ

В. А. Антонец

Институт прикладной физики РАН
(Нижний Новгород)
ava@nant.ru

Рассматривается новый метод измерения в реальном масштабе времени количественных характеристик восприятия стимулов различной модальности, основанный на инструментальном контроле параметров моторной реакции человека.

Ключевые слова: стимул, ощущение, восприятие, психофизические исследования, инструментальный метод.

До настоящего времени было известно 2 метода измерения, позволяющие количественно характеризовать ощущения человека, вызываемые чувственными стимулами.

Первый метод, возникновение которого связано с работами Бугера (Bouguer, 1727) по восприятию человеком яркости светящихся объектов, а развитие – с работами Вебера, он основан на определении едва различимой разницы между стимулами. Многочисленными исследованиями показано, что в диапазоне величин стимулов, далеких от порогов восприятия и боли, отношение разницы величин едва различаемых стимулов ΔR к величине стимула R является приблизительно постоянной величиной K , т. е. $\Delta R/R = K$, значение которой зависит от модальности стимула (закон Бугера–Вебера).

Второй метод, созданный Стивенсом (Stevens, 1957), основан на открытой им способности человека давать устойчивую количественную оценку отношения силы ощущения S , возникающей при действии стимула R к силе ощущения S_0 , возникающей при действии образцового стимула R_0 (модуля). Им установлено, что в диапазоне величин стимулов далеких от порогов восприятия и боли приблизительно сохраняется соотношение $R/R_0 = (S/S_0)^\alpha$, где α – числовой показатель, зависящий от модальности ощущения.

Величины K и α измерены практически для всех модальностей ощущений и внесены в справочные руководства Общим для обоих этих способов измерения

количественных характеристик ощущения является необходимость осознания испытуемым этого ощущения и вербального выражения оценки его силы.

В докладе рассматривается разработанный нами новый метод измерения количественных характеристик ощущения, который не предполагает вербализации. Он основан на том простом факте, отмеченном еще Сеченовым (Сеченов, 1891), что человек использует ощущения в системе обратной связи для управления своими функциями, например движением. Следовательно, изучая зависимость инструментально измеряемой величины погрешности выполнения испытуемым задачи управления от величины стимула, используемого как сигнал управления, можно определить количественные характеристики сенсорных систем. При этом количественную зависимость погрешности решения задачи управления от величины физического параметра внешнего стимула используют как характеристику сенсорного анализатора.

В естественной ситуации этот метод легко реализуем для исследования ощущения тяжести, а также высоты и громкости тонального звука. Так, в (Антонец, Ковалёва, 1996) нами изучены флуктуационные микроколебания предплечья при удержании грузов различной величины и установлено постоянство отношения спектральной компоненты этих микроколебаний на частоте порядка 2 Гц к величине удерживаемого груза. В другой работе (Антонец и др., 2001) была установлена линейная зависимость между флуктуациями частоты голосового воспроизведения испытуемыми тонального звука и частотой этого звука. Оба эти результата напоминают закон Вебера.

В последующем (Антонец и др., 2009; Антонец и др., 2010) метод удалось распространить на ощущения других модальностей за счет того, что испытуемого включали в состав человеко-компьютерной системы, в которой зрительные и звуковые стимулы генерировались электронной системой (компьютером) и предъявлялись испытуемому. Ориентируясь на свои ощущения, он должен был в динамическом режиме управлять электронным устройством и воспроизводить предъявляемые экспериментатором стимулы с установленными параметрами. В частности, воспроизводить тональный звук определенной высоты и угол наклона отрезка прямой линии, отображаемого на экране. Такое управление осуществлялось рукой при помощи бесконтактного манипулятора путем произвольного (осмысленного) изменения испытуемым расстояния между координатной плоскостью и манипулятором, удерживаемым рукой. Принципиальным моментом в реализованной схеме опыта является отсутствие механической связи руки с каким-либо внешним координатным устройством, в отличие от того, как это делается в методиках подравнивания, когда используются ручки управления, способные сохранять стационарное положение. При отсутствии опоры рука постоянно совершает движения – как произвольные (тремор), так и произвольные, осмысленные (управление). Таким образом, достижение определенного равновесного положения руки, необходимого для воспроизведения требуемой частоты звука, требуемого угла наклона отрезка или требуемого параметра иного стимула, возможно только за счет постоянного управления ею. Рука постоянно совершает управляющие движения и, следовательно, интересующие нас ошибки в управлении.

На рисунке 1 приведена схема экспериментальной установки для воспроизведения тональных звуков. Результаты, полученные при управлении высотой тонального звука, совпали с результатами при голосовом воспроизведении тональных звуков.

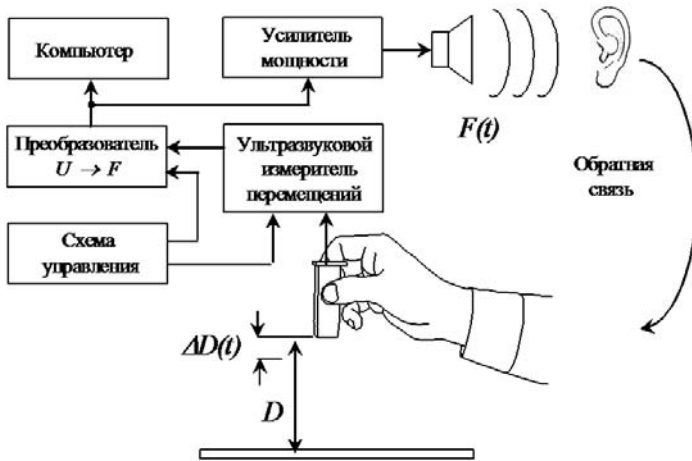


Рис. 1. Управление высотой тонального звука

Результаты по управлению угловой ориентацией отрезка прямой линии на экране компьютера позволили установить зависимость величины флуктуаций удерживаемого угла наклона от его величины. Затем эта зависимость была воспроизведена с помощью теоретической нейронно-сетевой модели. Это позволило на основе полученных экспериментальных данных идентифицировать параметры модели, в частности пороги возбуждения модельных нейронов, параметры межнейронных связей и минимальное количество нейронов первичного распознавателя. Таким образом была продемонстрирована работоспособность принципиально нового метода измерения характеристик ощущений.

Созданный метод открывает новые возможности для построения систем контроля состояния сенсорной сферы человека-оператора, решения задач синтеза человеко-машинных интерфейсов и построения систем «виртуальной реальности».

Литература

- Антонец В. А., Ковалёва Э. П. Оценка управления статическим напряжением скелетной мышцы по ее микродвижениям // Биофизика. Т. 41. №3. 1996. С. 711–717.
- Антонец В. А. и др. Количественная оценка восприятия частоты звуков слуховым анализатором // Сборник XI сессии Российского акустического общества. М., 2001. С. 180–183.
- Антонец В. А. и др. Количественная оценка восприятия человеком частоты тональных звуков // Биофизика. Т. 55. №1. 2010.
- Антонец В. А. и др. Идентификация параметров селективных модулей коры головного мозга человека по результатам измерения характеристик моторного отражения реакции на сенсорные стимулы // Тезисы. Российская конференция «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях». Н. Новгород. ИПФ РАН. 13–15 мая 2009. С. 12–13.
- Сеченов И. М. Физиология нервных центров. СПб., 1891.
- Bouguer P. Sur la meilleure méthode pour observer l'altitude des étoiles en mer et Sur la meilleure méthode pour observer la variation de la boussole en mer. Paris, 1727.
- Stevens S. S. On the psychophysical law // Psychol. Rev. 1957. №64. P. 153–181.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ СУБЪЕКТИВНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕКОМ СОВОКУПНОСТИ РАЗНОРОДНЫХ СЕМАНТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В. А. Антонец*, И. В. Левчук**

* Институт прикладной физики РАН (Нижний Новгород)

** Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
(Нижний Новгород)
levchuk.irina@nant.ru

Описана количественная модель субъективного оценивания человеком разнородных семантических объектов на примере формирования покупателем корзины приобретаемых товаров из их ограниченной совокупности. Для ее построения были использованы результаты работ С. Стивенса, Д. Канемана, а также метод семантического дифференциала Ч. Осгуда, который позволил описать количественно субъективное отношение к объекту.

Ключевые слова: интуитивное мышление, восприятие стимулов, семантический дифференциал, кривая Парето.

Исследование процессов принятия человеком решений является актуальной проблемой психологии, нейрофизиологии, экономики, компьютерных наук, политологии, социологии и других областей знаний. Сложность ее решения обусловлена как многообразием когнитивных механизмов принятия решений, так и многообразием аспектов исследования, соответствующих интересам разных наук. В настоящей работе на примере оценивания покупателем корзины приобретаемых товаров из их ограниченной совокупности, т. е. на примере принятия экономического решения, продемонстрирована возможность построения количественной модели субъективной оценки человеком совокупности разнородных семантических объектов.

Впервые попытка количественного описания логики принятия экономических решений была сделана в 1854 г. немецким экономистом Германом Генрихом Госсеном. На основе предположения о том, что поведение покупателя определяется исключительно рациональным стремлением к увеличению полезности или удовольствия от совокупности приобретаемых благ, он сформулировал два тезиса, известные как «законы Госсена» (Жид, Рист, 1995), которые представляют собой формализованное описание потребительской логики. Однако существует целый ряд факторов, вследствие которых потребитель оценивает товар не как объективный эксперт, а как заинтересованное лицо, и его решение о покупке в большинстве случаев является интуитивным и, безусловно, носит субъективный характер. Но этот факт не означает еще, что поведение потребителя не может быть описано количественно. В настоящей работе предлагается количественная модель субъективного оценивания покупателем корзины разнородных товаров. Поставленная задача решена с применением известных результатов С. Стивенса, Д. Канемана и Ч. Осгуда.

При рассмотрении процессов принятия решений выделяют решения, основанные на интуитивных оценках, и решения, основанные на результатах логических рассуждений (Kahneman, Frederick, 2002). Один из важнейших современных научных результатов в области исследований механизмов принятия интуитивных решений (Kahneman, Frederick, 2002) заключается в демонстрации того, что интуитивная оценка формируется под влиянием наиболее доступных для восприятия

признаков объекта, которые отнюдь не всегда являются объективно (рассудочно) наиболее значимыми при решении задач оценки и выбора. При этом отмечается, что закономерности интуитивного мышления имеют глубокое сходство с закономерностями чувственного восприятия. С учетом того обстоятельства, что закономерности чувственного восприятия удастся исследовать и описать количественно, возникает вопрос о возможности построения количественного описания закономерностей оценивания и принятия решений относительно разнородных объектов, в частности товаров, каждый из которых характеризуется уникальным набором разнородных семантических признаков.

Ранее нами была рассмотрена задача построения количественного описания субъективного оценивания покупателем отдельного товара (Антонец, Левчук, 2009). Для ее решения были использованы результаты С. Стивенса, касающиеся описания количественной связи силы ощущения с величиной стимула, вызвавшего это ощущение (Стивенс, 1960), которая в дифференциальной форме описывается соотношением:

$$\frac{\Delta S}{S} = k \frac{\Delta R}{R}, \quad (1)$$

где ΔS – субъективная оценка величины изменения силы ощущения S , ΔR – изменение величины стимула R , вызвавшее изменение силы ощущения ΔS , $k > 0$ – константа.

В соответствии с отмеченным Канеманом сходством закономерностей интуитивного мышления и чувственного восприятия (Kahneman, Frederick, 2002) будем полагать, что покупатель воспринимает товар как стимул, а сила реакции на него определяется субъективной оценкой качества q и выражается количеством ресурсов, которые он готов потратить на приобретение этого товара. Если ресурсом c являются деньги, а реакция выражается количеством денег, которые потребитель готов заплатить за товар, то соотношение (1) может быть записано в виде (2):

$$\frac{\Delta q}{q} = k \frac{\Delta c}{c}. \quad (2)$$

В интегральной форме выражение (2) принимает вид (3) и может быть далее преобразовано в (4):

$$\left(\frac{q}{q_0} \right)^{-k} = \left(\frac{c}{c_0} \right)^k, \quad (3)$$

$$p = c_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{q}{q_0} \right)^{-k} \right]. \quad (4)$$

Где c_0 – максимальный ресурс (цена), который покупатель из субъективных соображений готов потратить на приобретение товара данного назначения; p – его субъективная оценка приемлемой цены товара, имеющего качество q ; q_0 – минимальная пороговая оценка качества продукта, до достижения которой он не возьмет товар и даром, поскольку такой товар не пригоден для удовлетворения имеющейся нужды.

Полученное выражение (4) представляет собой известную кривую Парето и отражает субъективное представление о приемлемой цене и соответствующем качестве рассматриваемого товара. Таким образом, предположение о справедливости использования закона Стивенса для описания интуитивной реакции на сложные семантические стимулы привело к разумному количественному описанию связи «цена – качество» для товаров, характеризующихся совокупностью семантически разнородных признаков.

При постановке задач об оценивании покупателем, имеющим ограниченный ресурс, корзины товаров в соответствии с современными маркетинговыми принципами будем полагать, что каждый тип производимых товаров предназначен для удовлетворения определенной нужды или потребности (Ламбен, 1996). Из-за разнообразия нужд и потребностей, а также способов и технологий их удовлетворения ассортиментный ряд типов товаров неизбежно оказывается семантически разнородным.

Предположим также, что количество нужд и потребностей, которые в определенный момент времени принимаются во внимание рассматриваемым покупателем, ограничено. При этом каждая отдельная нужда или потребность, которую необходимо удовлетворить, характеризуется и отличается от остальных актуальных нужд и потребностей своей остротой. Вследствие этого мы будем считать, что у покупателя есть представление о номенклатуре (корзине) товаров, которые необходимы ему в данный момент. При этом актуальность товара и острота нужды в нем тождественны друг другу. Будем предполагать также, что оценка покупателем качества отдельного товара определяется восприятием совокупности тех признаков, которые покупатель считает значимыми для себя, поскольку они отражают его представления о степени соответствия характеристик товара имеющейся нужде или потребности. Определить значимость товаров и упорядочить их в своем сознании покупатель может благодаря открытой Ч. Осгудом способности человека к количественному выражению отношения к объекту через набор признаков (Osgood, Suci, Tannenbaum, 1957).

В середине XX в. Чарльз Осгуд изучал механизмы мышления, которые под действием определенного семантически значимого стимула обуславливают возникновение ассоциативных реакций. В результате им была открыта и продемонстрирована способность человека к количественному описанию своего отношения к оцениваемому объекту через систему биполярных признаков, выраженность которых измеряется с помощью дискретных или непрерывных шкал. Принципиально важно, что эти шкалы содержат нулевую точку, которая соответствует нейтральной оценке субъектом выраженности признака. Благодаря наличию нуля эти шкалы являются шкалами отношений (Стивенс, 1960), т. е. позволяют по силе вызываемой ими ассоциативной реакции не только упорядочить объекты (шкалы порядка), не только определить дистанционные интервалы между ними (шкалы интервалов), но и определить вес каждого объекта по отношению к некоему фундаментальному образцовому объекту (шкалы отношений). Их совокупность была названа Осгудом семантическим дифференциалом (Osgood, Suci, Tannenbaum, 1957). Процедуры, реализующие метод семантического дифференциала, в настоящее время широко применяются там, где требуется количественно описать индивидуальное, субъективное отношение эксперта к каким-либо свойствам объекта или каким-либо аспектам события или ситуации. В частности, они применяются и в решении маркетинговой задачи интегрального сопоставления однородных товаров при их позиционировании в рыночном сегменте (Viardot, 2004).

В соответствии со сделанными выше предположениями можно ввести нормированный вектор значимости нужд $\mathbf{r} = (r_1, r_2, \dots, r_i)$, где r_i – субъективно оцениваемая покупателем острота, характеризующая для него значимость i -го товара. Так как этот вектор зависит исключительно от представлений покупателя, то целесообразно нормировать его так, чтобы $\|\mathbf{r}\| = 1$.

Степень удовлетворенности покупателя каждым отдельным i -м товаром определяется его пригодностью для удовлетворения i -й нужды и зависит от целой

совокупности его качеств. Однако человек обладает умением как назначить цену товару, так и способностью согласиться/не согласиться с назначенной кем-то ценой. Поскольку цена – это скалярная величина, то будем полагать, что и качество каждого i -го товара может характеризоваться некоторой скалярной величиной q_i (см. подробнее: Антонец, Левчук, 2009). Ее мы и будем понимать как субъективно оцениваемое качество i -го товара, т. е. оценку его способности удовлетворять i -ю нужду. Таким образом, для каждой конкретной формируемой корзины товаров может быть введен вектор качества $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_k)$, координатами которого являются субъективные оценки q_i качества каждого i -го товара. Так как q_i зависит не только от субъективных представлений покупателя о том, товар какого качества для него приемлем, но и от оценки свойств реального предъявленного товара, которые могут как не соответствовать ожиданиям, так и превосходить их, то, в отличие от вектора \mathbf{r} , вектор \mathbf{q} не может быть априори нормирован на 1.

Полагая, что общее удовлетворение корзиной определяется остротой нужд и качеством их удовлетворения, введем в качестве величины, характеризующей степень удовлетворенности покупателя корзиной товаров, величину скалярного произведения S векторов \mathbf{r} и \mathbf{q} :

$$S = (\mathbf{r}, \mathbf{q}) = \sum r_i \cdot q_i. \quad (5)$$

Будем полагать, что для покупателя важно приобрести такой набор товаров, чтобы степень его удовлетворенности, которую мы будем характеризовать величиной S , была максимальной при данной суммарной стоимости p всей корзины товаров. Это условие количественно может быть описано следующим образом:

$$\frac{S}{p} = \sum \frac{r_i \cdot q_i}{p_i(q_i)} \rightarrow \max \quad (6),$$

где p_i – стоимость i -го товара, q_i – интегральная оценка его качества, а p – общая стоимость купленных товаров.

Здесь следует оговорить то обстоятельство, что перечень нужд и ассортимент корзины купленных товаров могут не совпадать. Для каждого покупателя существует свое индивидуальное, минимальное пороговое качество продукта q_{min} , до достижения которого он не возьмет товар и даром, поскольку такой товар не пригоден для реализации имеющейся у него нужды или потребности. В случае если $q_i < q_{min}$, от покупки следует отказаться, что при покупке корзины товаров оправдывает поведение, соответствующее так называемой «женской логике»: «Хотела купить брюки. В одни не влезаю, другие не нравятся. Купила сумочку».

Экстремум (6) достигается, если:

$$r_i \sum p_i(q_i) = \sum (r_i \cdot q_i) \cdot \frac{dp_i}{dq_i}. \quad (7)$$

Многообразие ситуаций и принципов приобретения товаров из корзины достаточно велико, и, как уже было сказано выше, приемлемая цена оцениваемого набора товаров зависит от убеждений и принципов, которыми руководствуется покупатель при принятии решения о покупке. Так, например, в одном случае ожидаемая покупателем стоимость товара может определяться его личным убеждением о максимально допустимой стоимости товара данного типа и данного качества. В другом случае, соотнося значимость товара и его качество, он может исходить из имеющихся финансовых ограничений и резервировать некую сумму денег, необходимых для приобретения других товаров, т. е. для удовлетворения оставшихся

нужд. При этом при формировании корзины товаров логика оценки покупателем продуктов как разнородных семантических объектов оказывается различной.

Рассмотрим пример, когда, исходя из финансовых ограничений, покупатель приобретает набор товаров на фиксированную сумму – бюджет $c = const$. В этом случае $\sum p_i(q_i) = c$, и выражение (7) переходит в систему равенств:

$$\frac{S}{c} = \frac{dp_i}{dq_i} / r_i. \quad (8)$$

Из (8) следует, что $\frac{dp_i}{dq_i} / r_i$ не зависит от i , что означает, в свою очередь, что в точке экстремума отношения S/c векторы r и $grad_q p$ параллельны друг другу.

Таким образом, использование закона Стивенса, описывающего закономерности чувственного восприятия, и разработанного Ч. Осгудом метода семантического дифференциала позволяет количественно описывать интуитивную реакцию человека на сложные семантические стимулы.

Литература

- Антонец В. А., Левчук И. В. Товар как семантический аттрактор // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского. 2009. № 4. С. 299–303.
- Жид Ш., Рист Ш. История экономических учений / Пер. с фр. М.: Экономика, 1995.
- Ламбен Ж. Стратегический маркетинг. Европейская перспектива. СПб.: Наука, 1996.
- Стивенс С. Экспериментальная психология. М.: Иностранная литература, 1960.
- Kahneman D., Frederick Sh. Representativeness Revisited, Attribute Substitution in Intuitive Judgement Heuristics and biases: The psychology of intuitive thought N. Y.: Cambridge Univ. Press, 2002.
- Osgood C. E., Suci G. and P. Tannenbaum. The Measurement of Meaning. University of Illinois Press, 1957.
- Viardot E. Successful Marketing Strategy for High-Tech Firms. 3rd ed. Norwood. MA: Artech House. Inc., 2004.

ПРОБЛЕМА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ И КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДИК¹

Л. Н. Бабанин

МГУ им. М. В. Ломоносова, факультет психологии (Москва)
leob@mail.ru

В обширной практике компьютеризации психологических методик накапливаются случаи неэквивалентности компьютеризированных методик своему традиционному варианту. Имеются данные по популяциям и по измеряемым психологическим характеристикам, а также об изменении во времени. Предложено объяснение этого явления с позиции культурно-исторической психологии: новое средство должно быть культурно освоено, его применение должно входить в ключевые компетенции испытуемого.

Ключевые слова: измерение, психологическая методика, компьютеризация, совместная деятельность, культурно-исторический подход, ключевые компетенции.

1 Работа подготовлена при поддержке РФФИ, грант № 08-06-00361а.

К настоящему времени проведено много исследований, направленных на выяснение эквивалентности традиционных («бумага и карандаш») и компьютеризированных форм различных психологических методик. Как было показано нами ранее, разные формы методик отличаются по структуре (Бабанин, 2006). Психометрически, т. е. статистически, формы психодиагностической методики считаются эквивалентными, если все их шкалы имеют одинаковые статистические показатели и в обоих вариантах одни и те же испытуемые в группе по их показателям ранжируются одинаково.

В большинстве случаев исследователи пытались показать их психометрическую эквивалентность и таким образом обосновать применение компьютеризированных форм методик. В результате сравнительных исследований сложилась довольно противоречивая картина. С одной стороны, в большинстве показана психометрическая эквивалентность компьютеризированных и традиционных форм методик, с другой – имеются свидетельства об их различии. Эти исследования проводились на материале различных методик применительно к различным популяциям. При этом чаще всего это опросники, а в качестве испытуемых в подавляющем большинстве выступают студенты.

Рассмотрим случаи неэквивалентности методик, сначала психологических. По испытуемым. Обнаружено, что пациенты клиник чаще дают нечестные ответы в компьютеризированных личностных опросниках (Whitener, Klein, 1995). Получены различия и для особой группы респондентов – заключенных тюрьмы (Ford, Vitelli, Stuckless, 1996). Имеются данные о неэквивалентности ряда методик для подростков.

По параметрам. В содержательном исследовании О. Н. Арестовой (Арестова, Бабанин, Войскунский, 1995) на примере методики уровень притязаний показано, что при компьютеризации может измениться содержательная валидность методики. В многочисленных статистических исследованиях в основном различия не обнаружено, исключение составляют показатели, связанные с тревожностью и депрессией: в ситуации компьютеризированного тестирования они оказались выше. В некоторых исследованиях сравнения компьютеризированной и традиционной форм методики ММРІ обнаружено превышение значений по шкалам депрессии, паранойи, психастении и шизофрении в традиционном варианте по сравнению с компьютеризированным (Hays, McCallum, 2005). Однако на представителях другой культуры (японской) обнаружено противоположное направление изменения величины шкал ММРІ. Установлены отличия в описательной статистике и надежности при исследовании потребности достижения, самооценки, локуса контроля (Whitener, Klein, 1995).

Проведенный анализ привел нас к предположению, что здесь мы встретились с феноменом, который не является узкопсихологическим, а имеет общекультурный характер. Поэтому анализ был расширен: в него включили и педагогические исследования. Эти более многочисленные исследования выполнены в рамках образовательного тестирования, прежде всего школьного и вузовского оценивания знаний (Bunderson et al., 1989; Clariana, Wallace, 2002, McDonald, 2002; Millsap, 2000). Здесь также получены неоднозначные данные. В половине исследований различия не обнаружено (Bunderson et al., 1989), в других получены интересные данные, свидетельствующие о различиях в форме тестирования. Причем для одних тестов лучше выполнение на бумаге, в других – на компьютере. Но традиционное исполнение чаще предпочтительнее (Bunderson et al., 1989). Так проверка знаний по математике и родному языку (английскому) лучше на бумаге, чем на компьютере.

Выделены эффекты пола, расы и возраста. В одном исследовании (Clariana, Wallace, 2002) получено, что белые мужчины при тестировании на компьютере получают более высокие оценки, в то время как мужчины других рас – более низкие, причем для женщин такой разницы не обнаружено. В другом исследовании (Millsap, 2000), наоборот, темнокожие студенты при тестировании на компьютере получали более высокие оценки, а для белых студентов разницы не обнаружено. Выделены также факторы, влияющие на неэквивалентность двух форм методики: фактор социального окружения, социальной желательности, тревожности (общей и компьютерной) и компьютерного опыта. Описан феномен повышенной готовности к искренности и к «самораскрытию» при анонимном компьютеризированном тестировании.

Чем же можно объяснить эти разрозненные, порой противоречащие друг другу факты, полученные различными исследователями в разное время на разных методиках на разных группах в различных условиях? Какая складывается картина? Обратим внимание на то, что для высокообразованных («культурных») испытуемых разницы нет, наоборот, для лиц недостаточно вписавшихся в культуру (больных, заключенных, подростков и т. д.) имеются определенные различия. Напрашивается объяснение с позиции культурно-исторической психологии: информационные технологии являются элементами современной культуры, их надо освоить. Недостаточно иметь свободный доступ к компьютеру, надо его освоить, привыкнуть им активно пользоваться, а это требует перестройки системы навыков, мышления и стереотипов деятельности. Информационные технологии должны вписаться в человеческую деятельность, только тогда они не внесут искажения в психологическую методику и не повлияют на получаемые с ее помощью данные.

Вписывание информационных технологий в современную культуру идет не только со стороны средств, но и со стороны субъекта. Их освоение включает в себя не только операционально-технические навыки, но и целую личностно-смысловую систему планирования и контроля деятельности, включение этих технологий в общую картину мира. О. К. Тихомиров писал, что перед психологами «Возникает проблема вписываемости искусственных систем в человеческую деятельность, их роли в ее формировании и развитии, определения ее структуры, проблема использования потенциальных возможностей систем в деятельности и выделения факторов, влияющих на нее» (Тихомиров, 1993).

При объяснении этого явления применимы понятия компетентности: «такого интегрального социально-личностно-поведенческого феномена, как результата образования в совокупности мотивационно-ценностных, когнитивных составляющих», и компетенции: «некоторые внутренние, потенциальные, сокрытые психологические новообразования: знания, представления, программы (алгоритмы) действий, систем ценностей и отношений, которые затем выявляются в компетентностях человека» (Зимняя, 2006). В их число входят компетенции общения, интеграции знаний, деятельности. Общекультурная компетентность относится к смысловой организации деятельности, пониманию места информационных технологий в конкретной деятельности. Отдельным видом выделяется информационная компетенция. В нее входит умения самостоятельных действий с искусственными объектами, освоения алгоритмов действий, самостоятельного поиска, анализа, отбора и организации информации в искусственной среде. Поэтому развитый уровень общекультурной и информационной компетентности как испытуемого, так и психолога является необходимым условием адекватного применения компьютеризированной методики.

С нашей точки зрения, объяснение практики компьютеризации психологических методик с позиций культурно-исторического подхода с помощью понятий компетенция/компетентность является наиболее продуктивным.

Литература

- Арестова О. Н., Бабанин Л. Н., Войскунский А. Е. Специфика психологических методов в условиях использования компьютера. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995.
- Бабанин Л. Н. Психологическая методика как объект общепсихологического анализа // Ученые записки кафедры общей психологии МГУ. Вып. 2. М.: Смысл, 2006. С. 177–202.
- Зимняя И. А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата современного образования [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Эйдос». 5 мая 2006. <http://www.eidos.ru/journal/2006/0505.htm>.
- Тихомиров О. К. Информационный век и теория Л. С. Выготского // Психологический журнал. 1993. № 1. С. 114–119.
- Bunderson C. V., Inouye D. K. and Olsen J. B. The four generations of computerized educational measurement [Текст] // Educational measurement / Ed. by R. L. Linn. American council on education. 1989. С. 367–407.
- Clariana R., Wallace P. Paper-based versus computer-based assessment: key factors associated with the test mode effect // British Journal of Educational Technology. 2002. V. 3. № 5. С. 593–602.
- Ford D. B., Vitelli R., Stuckles S. N. The effects of computer versus paper-and-pencil administration on measures of anger and revenge with an inmate population // Computers in human behavior. 1996. V. 12. № 1. С. 159–166.
- Hays S., McCallum S. A comparison of the pencil-and-paper and computer-administered Minnesota multiphasic personality inventory – adolescent // Psychology in the schools. 2005. V. 42. № 6. С. 605–612.
- McDonald A. S. The impact of individual differences on the equivalence of computer-based and paper-and-pencil educational assessments // Computers and education. 2002. V. 39. С. 299–312.
- Millsap C. M. Comparison of computer testing versus traditional paper and pencil testing: Diss. for the degree of PhD. Univ. of North Texas. 2000. <http://digital.library.unt.edu/permalink/meta-dc-2621:1>.
- Whitener E. M., Klein H. J. Equivalence of computerized and traditional research methods: the roles of scanning, social environment, and social desirability // Computers in human behavior. 1995. V. 11. № 1. С. 65–75.

ВОЗМОЖНОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПРОМИССА СКОРОСТЬ–ТОЧНОСТЬ

Д. Ю. Баланёв

Томский государственный университет (Томск)

balanev@mail.ru

Рассматриваются возможности реализации качественного подхода к анализу результатов экспериментального изучения соотношения скорости и точности движения человека при помощи специализированной программной системы. Показана возможность выявления типических проявлений решения компромисса скорость–точность, а также описание

этих проявлений при помощи показателей, подлежащих дальнейшему статистическому обобщению.

Ключевые слова: компромисс скорость–точность, закон Фиттса, качественный анализ, интерфейс человек–машина.

Проблема исследования

Экспериментальные исследования, посвященные проблеме компромисса между скоростью и точностью, а также амплитудой движения, представляют собой целое направление в психологии и смежных науках, существующее уже более пятидесяти лет, но до сих пор не нашедшее однозначной интерпретации и объяснения. Актуальность этой проблеме добавляет заинтересованность разработчиков и пользователей информационных систем в практических приложениях психологических исследований, используемых в области проектирования интерфейсов человек–машина.

Закон, предложенный П. Фиттсом (Fitts, 1954) много раз подвергался сомнению. Несмотря на возможность его подтверждения в практике эксплуатации элементов интерфейса человек–компьютер, наибольший интерес для психолога представляют именно те моменты, когда статистически достоверная тенденция нарушается в отдельных случаях. Этот закон стал своеобразной отправной точкой, представляющей значительную часть скрупулезных обзоров, посвященных теме компромисса скорость–точность–амплитуда, например в работе Н. Д. Гордеевой (Гордеева, 1995), или основанием для поиска моделей, в большей степени соответствующей реальности, как это можно видеть в исследовании S. Zhai, J. Kong, X. Ren (Zhai, 2004).

В своей работе, также направленной на поиск факторов, расширяющих представления об уникальности ситуации, отображаемой компромиссом скорость–точность–амплитуда, мы использовали модификацию стимульной ситуации, применяемой для демонстрации закона Фиттса. Мы также предпочли качественный подход в анализе данных, представленных в виде своеобразного паттерна, доступного для проведения визуальной типизации, так как это позволяет выявить специфику, которая может быть потеряна при рассмотрении статистических обобщений, направленных на выявлении общей тенденции.

Процедура и методы исследования

Экспериментальная процедура реализована на карманном персональном компьютере (КПК), особенностью которого является наличие сенсорного экрана, способного отображать мультимедийную информацию, обеспечивая непосредственное взаимодействие пользователя с отображаемыми на экране стимулами.

Процедура состоит в последовательном предъявлении 120 стимульных объектов, представляющих собой эллипсы с различными характеристиками – положение центра, эксцентриситет, диаметр. Необходимо указать центр этих фигур, прикоснувшись к нему пером КПК. Стимулы предъявляются в 2 этапа, каждый из которых различается только инструкцией, получаемой испытуемым. На первом этапе необходимо действовать как можно точнее, на втором – с наибольшей скоростью. На каждом этапе предъявляются 60 стимулов, организованных в 3 повторяющихся последовательности, по 20 единиц в каждой.

Точность решения задачи оценивается в минимальных единицах разрешения сенсорного экрана – «точках». Точность представляет собой сумму точек по вертика-

ли и горизонталы, находимых как разница между указанным испытуемым центром от его реального положения. Экран КПК имеет следующие характеристики: 240 точек по горизонтали и 320 точек по вертикали. В эксперименте использовались КПК с диагональю 92 мм. Величина экрана представляет собой фактор, характеризующий переменную «амплитуда» и зафиксирована в пределах, определяемых вышеуказанными размерами.

Необходимо иметь в виду, что точность, как зависимая переменная, измеряемая таким образом, относительно не только вследствие «огрубления» пространственной метрики до величины «точки» (пикселя) конкретного устройства, но также и из-за сложности измерения этой величины в стандартных единицах. Некоторую сложность представляет и учет изменения величины пикселя от устройства к устройству, а также ошибки, связанные с особенностями калибровки экрана КПК. Таким образом, переменная «Точность» может быть измерена не как абсолютная, а, скорее, как относительная величина.

Время реакции испытуемого на выводимый на экран стимул также оценивается в относительном виде, так как время ответа испытуемого на визуальный стимул складывается из нескольких фаз: время вывода стимула на экран, собственно время решения испытуемым задачи, время, необходимое для устранения эффекта «дребезга контактов» сенсорного экрана, время обработки сигнала от сенсорного экрана операционной системой и программой, реализующей алгоритм предъявления стимулов.

Время вывода стимула и время реакции микропроцессорной системы незначительны, и ими в большинстве случаев можно пренебречь, хотя они могут стать источником неконтролируемой дисперсии величины отрезков времени. Время, необходимое для устранения «дребезга» контакта с сенсорным экраном, имеет значительную, по сравнению с временем реакции испытуемого, длительность, и для различных устройств лежит в пределах от 5 до 15 мс.

В качестве независимой переменной в эксперименте используется характер инструкции, состоящей из двух частей, каждая из которых представляет один из уровней. Соответственно, предусмотрено два этапа экспериментальной процедуры. На первом этапе испытуемый должен выполнить задание как можно более точно, на втором этапе выполняется тот же набор заданий, но с инструкцией, делающей упор на скорость работы.

Детальная информация о каждом задании и результатах его выполнения содержится в файле данных, который сохраняется в памяти КПК и по окончании процедуры передается в базу данных, хранящуюся на интернет-сервере. Доступ к базе данных может быть осуществлен с любого персонального компьютера по сети.

Результаты исследования

Для анализа результатов была разработана специализированная программа для персонального компьютера, поддерживающая количественные и качественные приемы анализа, а также предусматривающая экспорт результатов в формат электронной таблицы, используемой программой Microsoft Excel. Таким образом, данные могут быть переданы в наиболее распространенные пакеты статистического обобщения данных.

Основным средством качественного анализа мы сделали гистограмму, состоящую из четырех основных сегментов. На рисунке 1 приведено окно программы,

с активной вкладкой «Гистограмма». Верхняя половина гистограммы представляет собой набор столбцов, каждый из которых отображает соответствующее по номеру задание. Высота столбца обозначает время, затраченное испытуемым на выполнение этого задания. Горизонтальные линии сетки соответствуют десятым долям секунды, линии сетки, имеющие выделение, обозначают целые секунды. Нижняя половина гистограммы предназначена для визуализации переменной «Точность». Сетка этой части графика каждым своим делением представляет один пиксель экрана КПК и служит указателем на величину ошибки, допущенной при выполнении задания.

Левая и правая части диаграммы соответствуют различным инструкциям. Левая часть отражает инструкцию «на точность», правая – «на скорость». Для удобства анализа левая и правая части выделены различным цветом. Это же относится к верхней и нижней части гистограммы, но здесь выделение происходит различной интенсивностью окраски.

Каждый из сегментов представлен одним обобщенным показателем: верхний левый (T1) – общее время решения задач «на точность», нижний левый (A1) – сумма ошибок при решении задач «на точность», верхний правый (T2) – общее время решения задач «на скорость», нижний правый (A2) – сумма ошибок при решении задач «на скорость».

Выбирая идентификатор испытуемого, расположенный в списке на левой части главного окна программы, аналитик базы данных наблюдает динамическое обновление гистограммы. Гистограммы различных испытуемых отличаются настолько значительно, что можно провести аналогию с отпечатком пальцев. Тем не менее, визуальный анализ дает основания выделить ряд типичных проявлений, а также оснований для подбора показателей, обобщающих наиболее характерные черты в количественном виде.

Исследовав более трехсот испытуемых в различных регионах России (республика Саха, Томская, Иркутская, Московская область), при визуальном анализе гистограмм мы обнаружили пять наиболее устойчивых типов.

Первый тип мы условно назвали «Оптимальный». На рисунке 1 представлен результат, характерный для испытуемого, представляющего его. Действия по инструкции на точность превышают по времени действия, требующие скорости выполнения. Точность при увеличении скорости работы снижается, но остается все же достаточно высокой, по сравнению с испытуемыми, которые представлены другими типами. Легко заметить также, что время выполнения заданий в целом имеет тенденцию постепенно снижаться от первого к последнему заданию. Такой эффект можно объяснить проявлением сенсомоторной обучаемости и обобщить в дальнейшем при помощи соответствующего численного коэффициента.

Второй тип характеризуется наличием ошибочных действий. Ошибка визуально определяется на гистограмме по своеобразному всплеску в нижней части графика, отображающего переменные «Точность 1» и «Точность 2». Мы выявили два основных источника ошибок. В первом и наиболее распространенном случае недостаточно четкие движения приводят к нажатию в тот момент, когда сам испытуемый не предполагал такого действия. Контроль за такого рода ошибками проводится путем наблюдения за выполнением задания испытуемым и в случае необходимости отображается в протоколе эксперимента. Ошибка второго типа возникает в результате предъявления нескольких стимулов подряд с близко расположенным центром. Если испытуемый невнимателен, он выполняет указание

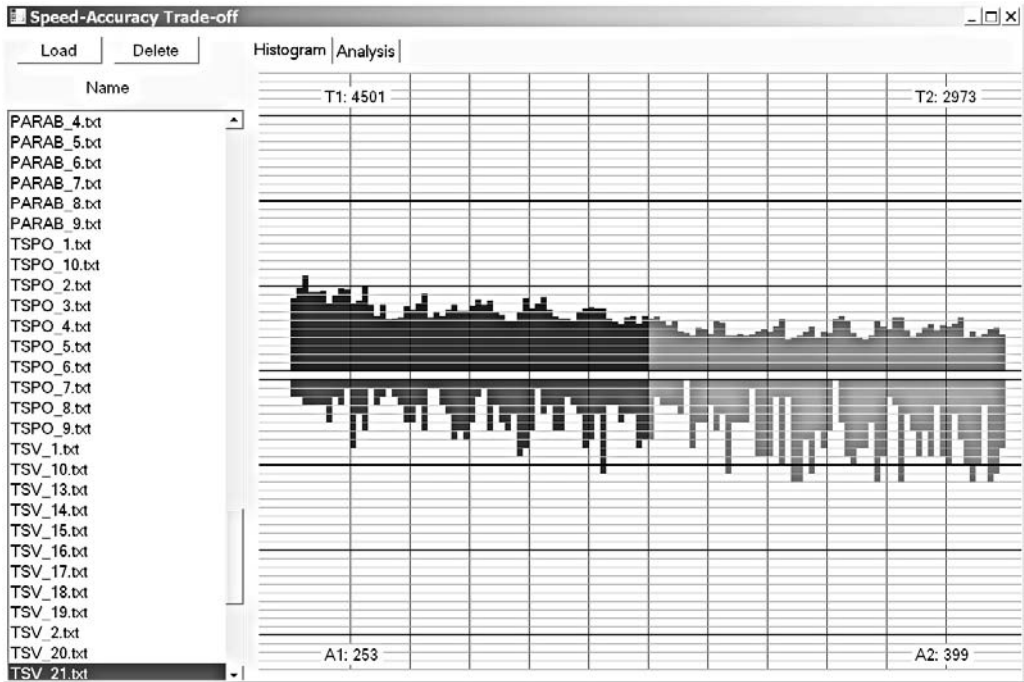


Рис. 1. Гистограмма результатов испытуемого, относящегося к типу «Оптимальный»

следующего центра в области, в которой искомый центр отмечался в предыдущих заданиях. Такое решение занимает очень малый отрезок времени и дает наибольшую ошибку по точности, которая и выделяется в виде «всплеска» на диаграмме. Источником данной ошибки может быть высокий уровень ригидности испытуемого.

Третий тип получил название «Нечувствительность к инструкции». Он интересен тем, что испытуемые, представляющие его, затрудняются в понимании сути инструкции «на точность» и «на скорость». Во время работы испытуемого экспериментатор ведет наблюдение и фиксирует соответствие действий инструкции на обоих этапах. При игнорировании инструкции, направленной на точность, проявляется торопливость при решении задач на первом этапе. В качестве меры контроля проявления этого эффекта, экспериментатор, ведущий наблюдение за действиями испытуемого, должен вслух повторить инструкцию на точность и сделать соответствующую отметку в протоколе наблюдения. Возможно, этот признак имеет отношение к такому когнитивному стилю, как полезависимость. Наиболее характерными признаками такого типа, подлежащими обобщению количественными показателями, являются: приблизительно равные между собой отрезки времени выполнения заданий «на точность» и «на скорость», при том что их значения существенно ниже тех, которые демонстрируют испытуемые, относящиеся к «Оптимальному» типу. Кроме того, точность выполнения заданий оказывается очень низкой. Анализ результатов в различных группах испытуемых показал, что к такому типу относятся испытуемые – молодые люди, не имеющие какого-либо опыта в достижении целей, учебных или профессиональных.

Четвертый тип назван «Сверхточным». Испытуемые, отнесенные к этому типу, демонстрируют значительные (по сравнению с типом «Оптимальный») затраты

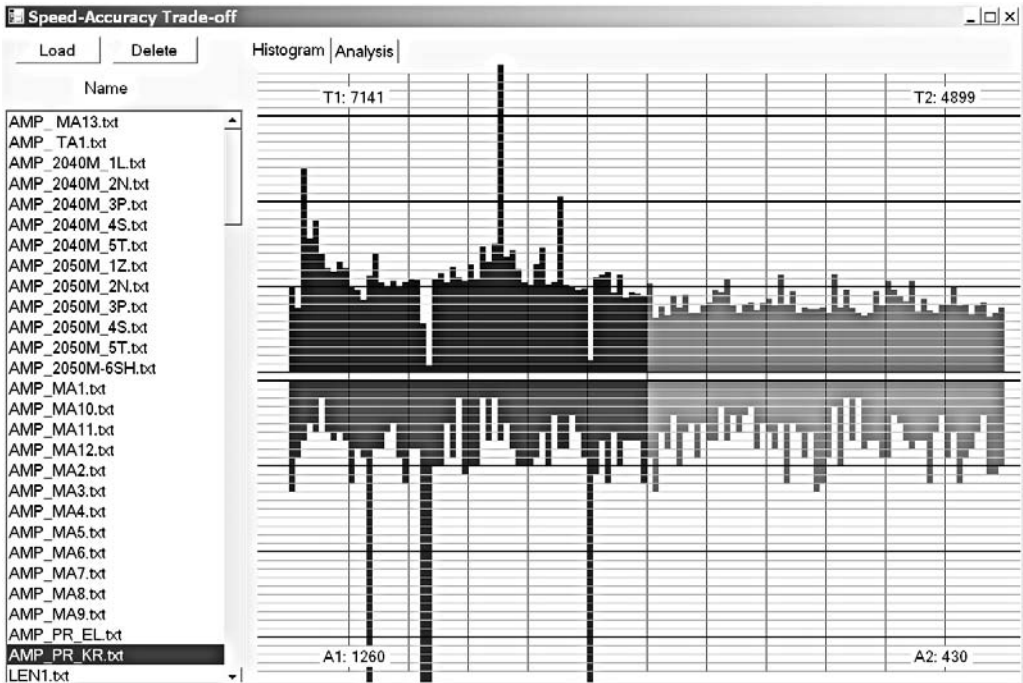


Рис. 2. Результаты испытуемого, эффективность действий которого проявляется в условиях дефицита времени

времени при выполнении инструкции «на точность», достигая при этом наиболее высоких показателей точности. При этом, действуя «на скорость», они все же способны допустить ошибку. В качестве подтипа мы склонны выделить здесь испытуемых, имеющих значительный опыт успешной профессиональной деятельности. Например, оказалось, что сварщики, имеющие непрерывный опыт работы по специальности свыше пяти лет, склонны решать компромисс скорость–точность в пользу повышения точности, но при этом время выполнения ими заданий в среднем заметно ниже, чем у других представителей этого типа в целом. Начинающие сварщики демонстрируют тенденцию повышать скоростные характеристики в ущерб точностным.

На рисунке 2 показан один из наиболее интересных, с нашей точки зрения, тип. Представители пятого типа, выполняя инструкцию на «точность», оказываются не достаточно внимательными, действуют неэффективно, допуская ошибки. После получения инструкции «на скорость», они оказываются существенно более продуктивны, демонстрируя более высокую точность при заметном снижении затрат времени.

Заключение

Таким образом, оказывается возможным использовать визуализацию действий испытуемого для выявления основных способов решения компромисса скорость–точность и связать различия типических проявлений с некоторыми факторами, которые ранее интерпретировались как внешние или устранялись как артефакты.

В дальнейшем возможно проведение более детального статистического анализа, приводящего к обобщениям, не подверженным огрублению за счет учета специфики решения человеком задач на движение.

Литература

- Гордеева Н. Д. Экспериментальная психология исполнительного действия. М.: Тривола, 1995.
- Fitts P. M. The information capacity of the human motor system In controlling the amplitude of movement // J. Exp. Psychol. 1954. V. 47. P. 381–391.
- Zhai S., Kong J., Ren X. Speed-accuracy trade-offs in Fitts' law tasks – on the equivalency of actual and nominal pointing precision // J. Human-Computer Studies. 2004. V. 61. № 6. P. 823–856.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМОДАЛЬНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ У СУБЪЕКТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Т. Н. Бандурка, Т. В. Бомштейн

Иркутский государственный лингвистический университет (Иркутск)
bandurka@list.ru

Обсуждаются вопросы необходимости разработки информационных технологий в психологических исследованиях, исследовательские и практические задачи выявления особенностей активности структур мозга, влияющих на восприятие и поведенческие реакции, полимодальности восприятия у субъектов образовательного процесса с помощью компьютерной программы.

Ключевые слова: активность структур мозга, полимодальность восприятия, компьютерная программа исследования.

Введение

Анализ современного состояния проблем создания компьютерных программ исследования полимодальности восприятия у субъектов образовательного процесса позволяет сделать вывод, что, во-первых, исследованию чувственного восприятия в ситуации обучения посвящены многие работы отечественных и зарубежных авторов (Артемов, 1969; Беляев, 1965; Зимняя, 1989; Плигин, 1998; Бандурка, 2005; Lеріneu, 1993; Тросме-Fabre, 1987); во-вторых, компьютерных программ по заявленной теме исследования в доступной для нас психологической литературе не удалось обнаружить. В то же время существует компьютерная программа психодиагностики познавательной сферы дошкольников (Гусев, 2010). Актуальность разработки компьютерной программы психологического исследования полимодальности восприятия у субъектов образовательного процесса определяется необходимостью формализации психологических знаний. Применение современных ИКТ-концепций позволяет ставить и решать с помощью информационных технологий исследовательские и практические задачи выявления полимодальности восприятия у субъектов образовательного процесса.

Организация системы обучения, воспитания, условий труда и быта с учетом психических особенностей людей, детерминированные активностью структур мозга и особенностями полимодальности восприятия у обучаемых и обучающих, –

настоятельная потребность современного образования. В школе и в вузе необходимо диагностировать и учитывать психологические особенности участников образовательного процесса и использовать эти знания для повышения эффективности обучения и учения. Среди факторов, определяющих как групповые, так и индивидуальные, психологические особенности участников образовательного процесса, важную роль играет профиль функциональной межполушарной асимметрии мозга и предпочтение, или доминирование определенных модальностей перцепции, которые являются структурными составляющими полимодальности восприятия.

Активность структур мозга определяет типологические характеристики личности, особенности восприятия и переработки информации, восприятие времени, пространства, восприятие других людей и возможности восприятия преподаваемых дисциплин.

Предложенная Н. Германом и описанная в книге Шалвин «Структуры мозга в классе» (Chalvin, 1993) методика выявления активности структур мозга доработана и адаптирована Т. Н. Бандурка (Бандурка, 2000). Необходимо помнить, что активность структур мозга – процесс, происходящий на протяжении всей жизни. Если, согласно полученным данным опросника АПМ, структура мозга активна (по полученным с помощью опросника результатам) на 30 и более баллов, то можно говорить, что человек можете успешно применять приемы, операции, характерные для этой структуры. Если активность меньше 30 баллов, т. е. неограниченные возможности для развития и роста. У каждого человека есть право развиваться дальше или оставить так, как есть.

Нами выделены шкалы активности структур мозга: шкала активности левого полушария; шкала активности правого полушария; шкала активности коры; шкала активности лимбической системы; шкала активности коры левого полушария; шкала активности лимбической системы левого полушария; шкала активности коры правого полушария; шкала активности лимбической системы правого полушария.

Краткие характеристики основных шкал

Шкала активности левого полушария. Отношение к пространству и времени: активность структур левого полушария позволяет лучше ориентироваться во времени, чем в пространстве. Мир воспринимается от частного к общему. Из отдельных фактов, ситуаций, фрагментов, каждый из которых очень важен, человек легко запоминаете их, строится его мир.

Человек видит красоту и надежность в деталях, фрагментах мира, ситуациях, предметах. Точность, краткость и ясность речи отличают от тех, у кого доминирует правое полушарие мозга. И в то же время может не хватать слов, чтобы объяснить ту же самую мысль по-иному, другими словами.

Шкала активности правого полушария. Отношение к пространству и времени: активность правого полушария позволяет лучше ориентироваться в пространстве, чем во времени. Мир воспринимается глобально, мир, где существует фантазия, творчество, новаторство, оригинальные идеи и юмор. Мир воспринимается от общего к частному. Легко запоминается, скорее, фон, чем фигура. Отдельные фрагмент, факты, ситуации, могут быть не замечены, но зато ясна общая тенденция фактов и событий, общие качества и преимущества сразу отмечаются.

Человек ощущает красоту и надежность мира, мир дан в ощущениях, чувствах наглядно и образно. Правое полушарие отвечает за сохранность организма и лич-

ности. Иногда без видимых причин хочется грустить или плакать. Могут быть «цветные», иногда «пророческие» сны. Развита интуиция, человек может предчувствовать некоторые события. Главное, научиться предчувствовать позитивно!

Шкала активности коры. Доминирование коры («новый мозг», структура, отвечающая за рациональную сферу личности, за осознание всех аспектов жизнедеятельности и профессиональной деятельности) означает: «Я в Мире».

Шкала активности лимбической системы. Доминирование лимбической системы («древний мозг», структура, отвечающая за работу жизненно важных функций организма и эмоциональную сферу) означает: «Мир во мне».

Мозг инициирует и активизирует функционирование полимодального поля восприятия. Психофизиологической основой модальностей восприятия является деятельность отдельных областей коры головного мозга (слуховой, зрительной, двигательной и др.), обладающих парциальными типологическими свойствами.

Содержание компьютерной программы исследования

Разработанный программный комплекс состоит из 2-х версий: для преподавателей и для студентов и школьников. Каждая версия включает: 4 опросника для исследования: моторный тест, опросник на изучение активности структур полушарий мозга (Герман–Бандурка), опросник на выявление активности полушарий мозга по И. П. Павлову, опросник на выявление полимодального восприятия (Бандурка, 2000).

Для проведения психологического исследования полимодальности восприятия было создано приложение в среде Borland Delphi (Фаронов, 2006), позволяющее проводить мониторинг активности структур мозга, анализаторных систем, эффективно анализировать индивидуальные и групповые данные исследования и управлять процессами перцепции в ситуации обучения.

Исследование с помощью компьютерной программы начинается с процедуры регистрации, данные регистрации и результаты каждого опросника импортируются и сохраняются в Microsoft Excel, в котором достаточно широко представлен набор функций по статистическим исследованиям.

После прохождения тестирования испытуемый получает результат в виде графика, наглядно показывающего активность структур полушарий мозга в балльном выражении и балльную наполненность модальностей восприятия, отражающие особенности полимодального восприятия.

Значение компьютерной программы исследования

Применение соответствующих программных продуктов для обработки данных опросников на выявление активности полушарий мозга и полимодальности восприятия дает возможность реализовывать расчетные алгоритмы на языках высокого уровня в психологическом исследовании полимодальности восприятия.

Использование компьютерной программы в исследовании полимодальности восприятия у субъектов образовательного процесса позволяет решать проблемы не только психодиагностики, но и исследовательские проблемы: сравнение профилей активности структур мозга и полимодальностей восприятия у студентов.

Программное обеспечение изучения полимодальности восприятия у субъектов образовательного процесса позволяет анализировать индивидуальные и групповые

данные исследования, что позволяет эффективно управлять процессами перцепции в ситуации обучения.

Благодаря компьютерному варианту исследования активности структур полушарий мозга и полимодальности восприятия, существенно сокращается время на проведение исследования и обработку данных, появляется возможность его проведения в более короткие сроки и одновременно на большом количестве испытуемых.

Оценка эффективности компьютерной программы исследования комплекса

Психодиагностика проводится для испытуемого – участника образовательного процесса в комфортных и привычных условиях пространства и времени. Исследование проводится в один временной промежуток времени.

Хранение данных исследования для лонгитюдных исследований

Загрузка данных исследования активности структур мозга и полимодальности восприятия по выборкам испытуемых обучающихся (преподавателей, учителей) и обучаемых (студентов и школьников); по классам, параллелям, школам, группам, потокам, факультетам, вузам.

Выгрузка результатов исследования на индивидуальные электронные карточки-паспорта испытуемых и карточки групповых данные исследования позволяет не только видеть данные исследования, но и сравнивать, анализировать их.

Преимущества применения компьютерных вариантов психодиагностики:

дополняет традиционные формы работы и позволяет сравнивать и анализировать данные: модуля бланкового тестирования, модуля «Карточка-паспорт испытуемых», модуля статистического анализа, модуля отчетов.

Используются способы наглядного представления результатов исследования.

Литература

- Артемов В. А. Психология обучения иностранным языкам. М.: Просвещение, 1969.
- Бандурка Т. Н. Полимодальность восприятия в обучении. Как раздвинуть границы познания: Монография. Иркутск: Оттиск, 2005.
- Бандурка Т. Н. Методика исследования модальной структуры восприятия у студентов, изучающих иностранный язык в вузе: Учебное пособие. Иркутск: ИГУ, 2000.
- Беляев Б. В. Очерки по психологии обучения иностранным языкам: Пособие для преподавателей и студентов. М.: Просвещение, 1965.
- Гусев А. Н. Программно-методический комплекс для автоматизации рабочего места психолога в дошкольном образовательном учреждении. Программа «1С: Дошкольная психодиагностика», 2010. <http://www.1c-personal.ru>.
- Зимняя И. А. Психология обучения неродному языку. М.: Русский язык, 1989.
- Плигин А. А. Концептуальные подходы к разработке личностно-ориентированного обучения русскому языку в школе // NLP: Научно-методический сборник. М.: Совершенство, 1998. С. 51–72.
- Фаронов В. В. Система программирования Delphi. СПб.: БХВ Петербург, 2006.

Chalvin M. J. Deux cerveaux pour la classe. Nathan, 1993.

Lepineux R. La programmation neuro-linguistique a l'école / N. Soleilhac, A. Zerah. Ed. Nathan, 1993.

Trocme-Fabre H. J'apprends, done je suis. Introduction a la neuropedagogie. Ed. Nathan, 1987.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АЙТРЕКЕРА И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ ГЛАЗ¹

В. А. Барабанищikov, Г. Ю. Окутина, О. Л. Окутин

Институт психологии РАН, Центр экспериментальной психологии МГППУ (Москва)
ol.okutin@gmail.com

Представлены результаты апробации оборудования Hi Speed компании SMI. Приведены значения границ предельной чувствительности этой аппаратуры. Показано, что в целом айтрекер удовлетворительно воспроизводит микро- (верхний диапазон) и макро- (нижний и средний диапазон) движения глаз. Однако существуют возмущающие воздействия, искажающие картину фиксации и целенаправленных саккадических поворотов глаз. Высокая частота видеосъемки поверхности глаз сама по себе недостаточна для адекватного отображения окуломоторных процессов. Необходима процедура сепарации собственно движений от совокупности событий, протекающих внутри глаза и на его поверхности.

Ключевые слова: окуломоторная активность, айтрекер, саккады, дрейфы, фиксации, точность измерений движений глаз.

Введение

Эффективное использование айтрекеров требует от экспериментатора знаний общих принципов устройства аппаратуры, способов регистрации положений/движений глаз и их погрешностей, принципов графического отображения данных. Однако даже эти знания не гарантируют научную обоснованность получаемых окулограмм – необходима проверка аппаратуры в «деле», в практике реальных исследований. В данной работе приводятся некоторые результаты апробации возможностей высокоскоростной системы видеорегистрации движений глаз при выполнении наблюдателями зрительных и двигательных задач.

Процедура и методы

Испытания проводилась на установке iView X™ Hi-Speed-1250/500 немецкой компании SMI (HSSMI), предназначенной для высокоскоростной видеорегистрации движения глаз в инфракрасном диапазоне излучения. Она состоит из регистрирующей скоростной видеокамеры, источника инфракрасного света, стойки-колонны с упором головы и подбородником, двух мониторов для предъявления стимулов и отображения данных регистрации, персонального компьютера и пакета программного обеспечения. Оценка направленности движений глаз опирается на видеоинформацию об относительном расположении центров зрачка и роговичного блика (Pupil-center/corneal reflex метод). Частота видеосъемки поверхности глаз в монокулярном режиме – 1250 или 500 Гц; разрешающая способность (чувстви-

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ: проект №08-06-00316а, 09-06-12003 офи-м.

тельность) айтрекера – $0,01^\circ$; рабочая точность определения направления глаз – $0,25-0,5^\circ$; диапазон линейности – $\pm 30^\circ$ по горизонтали, 30° вверх, 45° вниз.

Решались три основные задачи: апробация оборудования HSSMI на неподвижном «взоре» манекена; изучение устойчивой фиксации наблюдателем центра миниатюрного кольца; анализ траекторий движений глаз при переводе взора с одного точечного объекта на другой.

Регистрировался левый глаз, правый глаз прикрывался светонепроницаемой повязкой. Частота видеорегистрации – 500 Гц и 1250 Гц.

На экране монитора испытуемым предъявлялись: 1) миниатюрное черное кольцо на белом фоне (в центре экрана монитора) размером 11×11 пикселей или $18' \times 18'$ с белым внутренним кругом размером 5×5 пикселей или $8' \times 8'$; 2) две черные точки ($5' \times 5'$) на белом экране, расположенные одна в центре, другая на периферии (на расстоянии $\approx 14^\circ$) по диагонали – в правом верхнем углу монитора.

В испытаниях приняли участие 5 человек в возрасте 20–49 лет с нормальным или корректируемым до нормального зрением.

Направленность взора (положения глаз относительно объекта восприятия) определялась по экранным координатам в пикселях. Данные о координатах глаза обрабатывались с помощью программы Excel. Результаты представлялись графически в двух видах: 1) развертки движений глаз во времени отдельно для горизонтальной (x) и вертикальной (y) составляющих; 2) перемещения глаза относительно поверхности экрана (x, y).

Результаты испытаний

Апробация HSSMI на «взоре» манекена

Для установления величины чувствительности айтрекера испытания проводились на неподвижном глазе. Использовалась голова манекена, в глазных впадинах которой крепились протезы глазных яблок человека. Голова жестко фиксировалась в подбороднике стойки-колонны. Расстояние от левого искусственного глаза до экрана – 59 см.

Получено около 75 тысяч значений координат неподвижного «взора» манекена, что позволило установить область фиксации, отражающую собственный фон аппаратуры HSSMI, расположенной в помещении Центра экспериментальной психологии МГППУ (рисунок 1).

По результатам испытаний средняя ширина области фиксации неподвижного глаза составляет 12 пикселей ($19,2'$), высота – не более 9 пикселей ($14,4'$); размеры экрана – 1280×1024 пикселей ($34,1^\circ \times 27,3^\circ$). Расчеты показывают, что детекция позиции взора, выполняемая аппаратурой, опирается на статистическую модель с определенными параметрами. Максимальное расстояние между двумя соседними точками при детекции «взора» манекена не превышает 7 пикселей ($11'$) по горизонтали и 3 пикселя ($5'$) по вертикали, что и задает границы чувствительности тестируемой аппаратуры.

Метод искусственного «взора» позволяет установить диапазон значений координат глаза, при котором нивелируется «шум» от аппаратуры, заложенной в программе математической модели, а также от других источников осцилляций. Подобрав шкалу таким образом, чтобы стохастические значения координат области фиксации «взора» манекена на графике приобрели вид константы слабо осциллирующей

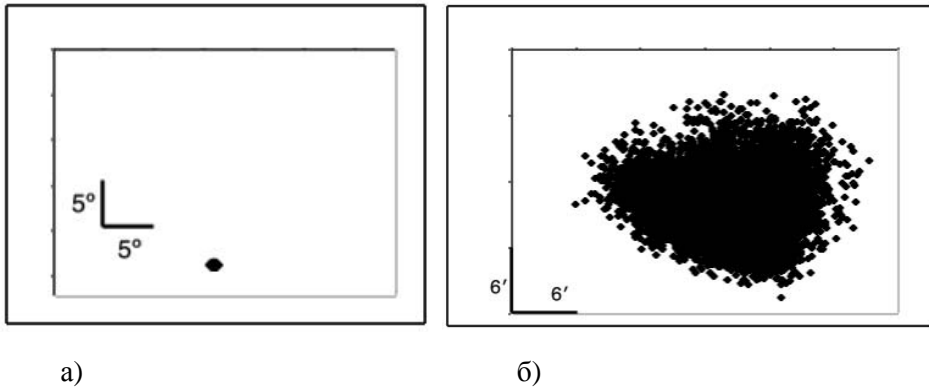
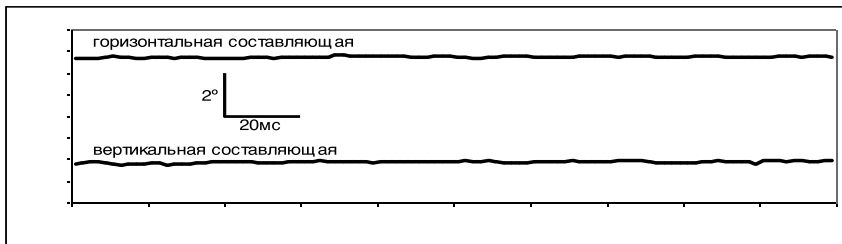
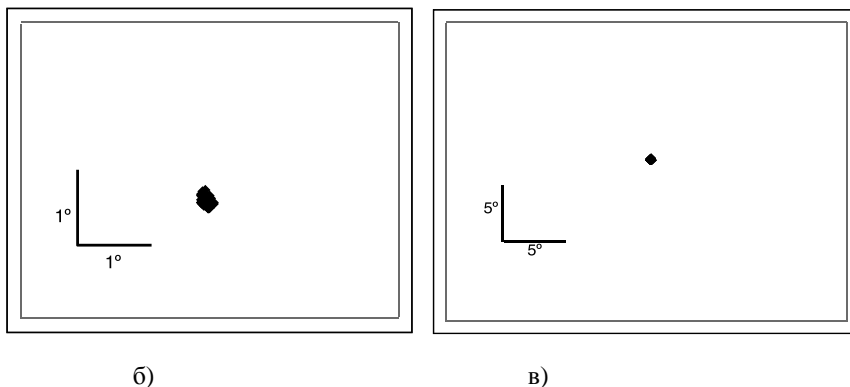


Рис. 1. Область фиксации неподвижного «взора» манекена: а) в масштабе экрана монитора; б) увеличенный масштаб (x 40)

во времени, можно эффективно реконструировать траектории микро- и макроперемещений глаз реальных испытуемых, выделяя феномены движения глаза на фоне «шума». В результате применения подобной процедуры открывается возможность использовать совокупность выходных данных без искажений, вызываемых «работой» математических фильтров, и статистической обработки исходной информации.



а)



б)

в)

Рис. 2. Окулограммы фиксации испытуемым центра миниатюрного кольца: а) развертка во времени; б) траектория перемещения глаза на плоскости (x, y); в) область фиксации в масштабе экрана монитора. Время измерений – 200 мс

Регистрация микро- и макродвижений глаз

К числу важнейших технических характеристик HSSMI относится высокая частота видеосъемки поверхности глаза. Это является условием детальных исследований окуломоторики на интервалах от 0,8 мс, что невозможно на аппаратуре с низкой и средней дискретизацией изображения.

Согласно проведенным испытаниям, HSSMI удовлетворительно отображает основные виды движений глаза, в том числе микросаккады (от 10' до 40' – 1°), макросаккады (от 1° до 25°) и дрейфы ($V = 10'/с - 6°/с$). На рисунке 2 приведены окулограммы фиксационных движений.

На записях видны слабые осцилляции траектории взора, не превышающие 20', что соответствует области фиксации взора, сопоставимой с аналогичными параметрами «взора» манекена и значениям, описанным в литературе (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Барабанщиков, 1997; Гиппенрейтер, 1978; Ярбус, 1965).

При длительной монокулярной фиксации испытуемыми неподвижного кольца зарегистрированы всплески окуломоторной активности, не подпадающие под известные описания феноменов движений глаз (рисунок 3). Это – отдельные флики, либо фликовые комплексы с параметрами: амплитуда – 10'– 2°, время выполнения – 1,6–4 мс, частота фликов в комплексе – 10–150 Гц. По частотным характеристикам

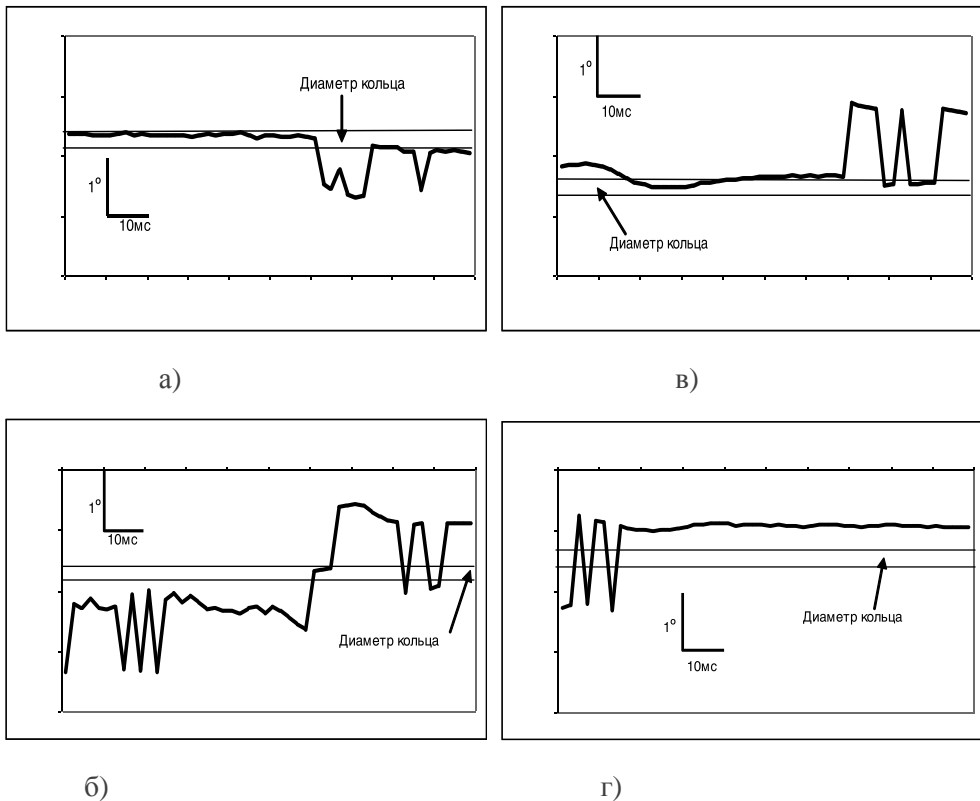


Рис. 3. Примеры фликов на окулограммах испытуемых Е.Х. и О.О.: а), в) – горизонтальные составляющие (х); б), г) – вертикальные составляющие (у)

флики находятся в диапазоне тремора, по амплитудным – на границе микро- и макросаккад. Флики появляются только при съемках живого глаза, имеют нерегулярный характер и варьируют от испытуемого к испытуемому.

Анализ сырых данных координат центра зрачка и центра инфракрасного блика показывает, что флики генерируются при изменении координат центра зрачка, но при практически неизменных координатах центра блика. Поскольку подвижность блика рассматривают как основной признак работы экстраокулярных мышц, зарегистрированные флики имеют не окуломоторную, а какую-то иную природу. Наиболее вероятно, что они обусловлены процессами, протекающими внутри глазного яблока, например микродинамикой зрачка во время длительных фиксаций, или особенностями работы математической модели, заложенной в основу программы обработки изображений глаз. В любом случае речь идет о внешних факторах, искажающих действительную картину окуломоторной активности.

На рисунке 4 представлена траектория перемещений глаз при переводе взора с одной точки на другую (по диагонали) и обратно: 1 – дрейф, сопровождающий фиксацию точки в центре экрана; 1–2 – диагональная саккада (амплитуда – $\approx 14^\circ$, скорость – $\approx 367^\circ/\text{с}$); 2–3 – дрейф, перемежающийся микросаккадами; 3–4 – возвратная саккада (амплитуда – $\approx 14^\circ$, скорость – $\approx 318^\circ/\text{с}$); 5 – дрейф (амплитуда – $\approx 1,3^\circ$, скорость – $\approx 2,26^\circ/\text{с}$), перемежающийся микросаккадами.

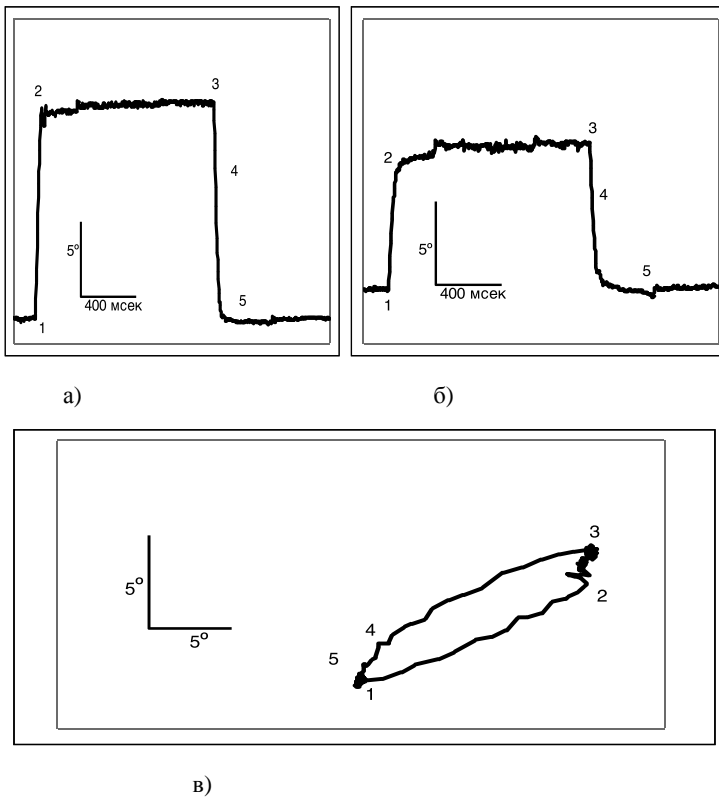


Рис. 4. Окулограммы саккад и дрейфов: а) горизонтальная составляющая (x); б) вертикальная составляющая (y); в) изображение на плоскости (x, y)

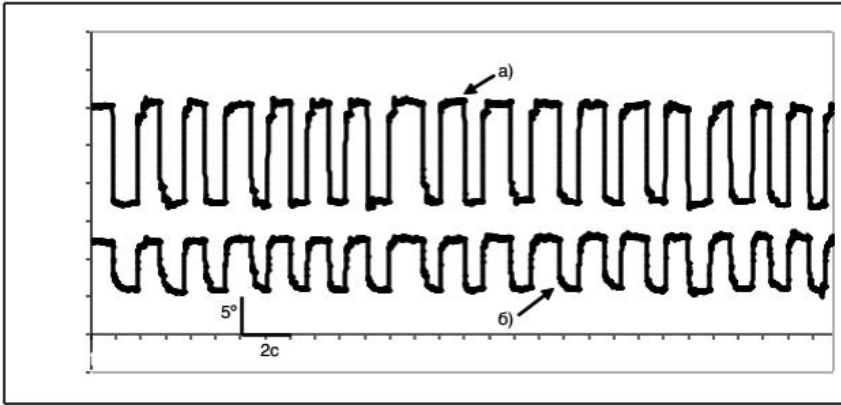


Рис. 5. Окулограммы регулярного перевода взора с точки на точку: а) горизонтальная составляющая (x); б) вертикальная составляющая (y)

Обратим внимание, что траектории саккад отображаются неравномерно и имеют вид каскада более мелких саккад. Скорость выполнения фиксационного поворота многократно разнонаправлено меняется. Это явно не соответствует динамике выполнения быстрых движений, хорошо описанных в литературе, и указывает на наличие внешних возмущающих воздействий. Не исключено, что регистрируемые искажения траектории и скоростного режима саккад вызваны теми же причинами, которые обуславливают появление фликов при устойчивой фиксации испытуемыми точечных объектов.

Окулограммы регулярного перевода взора с точки на точку представлены на рисунке 5. Анализ показывает, что общий вид окулограммы в целом соответствует образцам, приводимым в литературе (Андреева, Вергилес, Ломов, 1975; Барабанщиков, 1997; Гуревич, 1971; и др.) Как и ожидалось, повороты глаз имеет асимметричный характер и нередко состоят из нескольких саккад, однако дифференцировать коррекционные саккады и внешние возмущающие воздействия на фиксационный поворот затруднительно. Фиксационная привязка глаза к объекту внимания достаточно точна и стабильна.

Выводы

Апробация оборудования HSSMI на фиксированном «взоре» манекена показала, что максимальный разброс направлений, детектируемый айтрекером, составляет по горизонтали $\pm 11'$, по вертикали – $\pm 5'$. Эти значения задают границы предельной чувствительности аппаратуры.

Хотя в целом айтрекер удовлетворительно воспроизводит микро- (верхний диапазон) и макро- (нижний и средний диапазон) движения глаз, существуют возмущающие воздействия, искажающие картину фиксаций и целенаправленных саккадических поворотов глаз.

Высокая частота видеосъемки поверхности глаз сама по себе недостаточна для адекватного отображения окуломоторных процессов. Необходима процедура сепарации собственно движений от совокупности событий, протекающих внутри глаза и на его поверхности.

Литература

- Андреева Е. А., Вергилес Н. Ю., Ломов Б. Ф. Механизм элементарных движений глаз как следящая система // Моторные компоненты зрения. М.: Наука, 1975. С. 7–55.
- Барабанщиков В. А. Окуломоторные структуры восприятия. М.: ИП РАН, 1997.
- Гиппенрейтер Ю. Б. Движение человеческого глаза. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978.
- Гуревич Б. Х. Движения глаз как основа пространственного зрения и как модель поведения. Л.: Наука, 1971.
- Ярбус А. Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ МЕТОД ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ (ГРВ) В ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ¹

А. В. Жегалло**, С. Д. Кулик*, Е. А. Лупенко*,
Н. А. Смоленкова*, А. Н. Харитонов**

* Московский городской психолого-педагогический университет (Москва)

** Институт психологии РАН (Москва)

ankhome47@list.ru

Обсуждается возможность использования эффекта свечения биологических объектов в электромагнитном поле для диагностики состояний. Разность площадей свечения пальцев рук, регистрировавшегося методом газоразрядной визуализации с использованием фильтра и без фильтра, сопоставлялась с показателями вегетативного тонуса, определявшимися по тесту Люшера. Обнаружены корреляционные связи между величиной разности площадей свечения с коэффициентом Шипоша.

Ключевые слова: метод газоразрядной визуализации (ГРВ), ГРВ-граммы с фильтром и без фильтра, состояние вегетативной нервной системы, методики диагностики психологического и психофизиологического состояния.

Характерное свечение различных объектов, в том числе биологических, в электромагнитном поле известно более 200 лет. Впервые этот эффект был обнаружен Лихтенбергом в конце XVIII в. Позже свечение было запечатлено на фотопластинке и приобрело название «фигуры Лихтенберга». В 1904 г. де Моруа создал первую электрографическую камеру. Распространению метода регистрации мешала сложность использовавшейся тогда аппаратуры для получения снимков и ее объективная опасность. В России в 1891 г. это явление изучил и описал Я. О. Наркевич-Йодко, однако более широкую известность эффект получил благодаря работам С. Д. и В. Х. Кирлиан, изучавшим его в 1930–1940 гг. С помощью предложенного ими метода на фотопластинке фиксировались свечения самых разнообразных объектов, включая биологические.

Было замечено, что характер свечения изменяется в зависимости от состояния биологического объекта, что у человека связывается с хорошо известной кожно-гальванической реакцией – изменением электрической проводимости кожи. Это и послужило отправным пунктом для ряда исследований, имевших конечной целью разработку метода, основанного на регистрации данного эффекта, для использования в физиологии, психологии и медицине в целях диагностики состояний.

1 Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (ГК № 02.740.11.0420).

Одной из современных разработок в этой области является аппаратно-программный комплекс газоразрядной визуализации (ГРВ), который позволяет осуществлять регистрацию индуцированного электромагнитным полем разряда и анализ свечения с последующей компьютерной визуализацией (Коротков, 2001). ГРВ-комплекс позиционируется разработчиками как неинвазивное средство экспресс-диагностики и мониторинга состояния человека в медицинских целях. По данным разработчиков, метод валидизирован на 10 тыс. клинических случаев в различных нозологических группах путем корреляции со стандартными методами медицинской диагностики.

В состав аппаратно-программного комплекса входит разработанная К. Г. Коротковым ГРВ-камера, представляющая собой устройство, состоящее из генератора импульсного электромагнитного поля, вызывающего развитие скользящего или лавинного газового разряда в области контакта объекта и электрода устройства, и оптической системы с прибором с зарядовой связью, преобразующей свечение разряда в видеосигналы. Съем данных вводится с пальцев обеих рук человека, последовательно, от первого к пятому пальцу каждой руки. Запись осуществляется в виде одиночных кадров (ГРВ-грамм) или AVI-файлов, которые обрабатываются с помощью пакета программ для определения набора значимых параметров свечения и последующей интерпретации в целях медицинской диагностики.

Нами изучалась возможность использования некоторых штатных аппаратно-программных и процедурных средств получения, обработки и визуализации данных в диагностике психологического состояния человека. Следует отметить, что и ранее предпринимался ряд попыток использования эффекта в целях диагностики состояний. Так, в 1980-х годах сотрудником Института психологии АН СССР Ю. В. Коркиным проведена разработка и апробация метода газоразрядной индикации состояния (ГРИС) в применении к исследованию состояния оператора (Коркин, 1986, 1987). Ю. В. Коркиным была обоснована возможность использования газового разряда для оценки вегетативной составляющей психофизиологического состояния организма и предложен метод количественной оценки косвенного вегетативного показателя состояния на основе ГРИС. В качестве основного показателя свечения была выбрана его интенсивность, что обеспечивалось техническими характеристиками существующего на тот момент прибора, регистрирующего газоразрядное свечение. Было проведено количественное сопоставление показателей газоразрядной индикации с общепринятыми показателями психофизиологического состояния и качества операторской деятельности. Обнаружена достоверная связь индекса ГРИС и вышеперечисленных показателей, в том числе высокая статистически значимая корреляция индекса ГРИС с эталонным вегетативным показателем стресса – количеством эозинофилов в периферической крови, а также монотонное изменение индекса с ростом интенсивности физической, эмоциональной и интеллектуальной нагрузки оператора. Автором был сделан основной вывод об интегральной природе индекса ГРИС. Однако, несмотря на ряд интересных результатов, дальнейшая целенаправленная адаптация метода к психологическим исследованиям не проводилась.

Одной из решавшихся нами задач был поиск возможной связи между показателями ГРВ-грамм и данными, получаемыми с помощью методик диагностики психологического и психофизиологического состояния обследуемого.

Поскольку ранее было показано, что характеристики свечения кожного покрова человека зависят, в первую очередь, от активности вегетативной нервной системы

(Коркин, 1986; Дроздов, Шаццлло, 2005), мы сочли целесообразным выбрать тест Люшера в качестве одной из методик, которая по измеряемым показателям является довольно точным коррелятом состояния ВНС (Базыма, 2001; Семикин, 1987; Собчик, 1990). Подтверждение факта существования взаимосвязи предпочтения цвета и состояния ВНС человека можно найти также в классических исследованиях С. В. Кравкова (Кравков, 1948). Результаты экспериментальных работ школы С. В. Кравкова показали, что цветовое воздействие приводит к определенным изменениям тонуса ВНС и, в свою очередь, изменение тонуса ВНС оказывает влияние на цветовое зрение. Так, активация симпатической НС приводит к улучшению различения синего и зеленого, а активация парасимпатической НС – красного и желтого, что в результате приводит к восстановлению баланса, обеспечивая как гомеостаз, так и адаптацию к внешним воздействиям.

В качестве диагностического показателя в восьмицветовом варианте теста Люшера нами был выбран показатель вегетативного тонуса (так называемый вегетативный коэффициент К. Шипоша – КВ), вычисляемый по результатам цветового выбора.

При расчете коэффициента используется баланс суммы рангов основных четырех цветов, характеризующих вегетативно-эмоциональное состояние обследуемого. Коэффициент вегетативного тонуса вычисляется следующим образом:

$$KB = 18 - (Кр. + Ж.) / 18 - (С. + З.).$$

На место букв, обозначающих цветовые эталоны, ставятся порядковые номера позиций, занимаемых указанным цветом. Значение, превышающее единицу, интерпретируется как преобладание эрготропного тонуса (активация симпатической НС), значение меньше единицы – доминирование трофотропных тенденций (активация парасимпатической НС). Речь идет о готовности к затрате энергии, когда яркие цвета находятся на первых позициях, и о перевозбуждении и потребности в покое, когда яркие цвета передвигаются в конец ряда (особенно это касается красного цвета) (Собчик, 1990). Как отмечает Ю. В. Коркин, именно показатели энергозатрат относятся к наиболее важным характеристикам для оценки динамики состояния организма (Коркин, 1986).

Кроме того, по результатам цветового выбора был подсчитан коэффициент активности ($K_{акт}$), который является одним из психодиагностических коэффициентов, составляющих основу метода системной количественной обработки ряда цветовых предпочтений в восьмицветовом тесте М. Люшера по Д. В. Сочивко (Сочивко, 2007, с. 320). Он характеризует степень активности жизненной позиции, способность бороться и преодолевать ограничения и препятствия. Коэффициент активности вычисляется следующим образом:

$$K_{акт} = Кр./ (Черн. + С.),$$

где Кр. – номер позиции красного цвета; Черн. – номер позиции черного цвета; С. – номер позиции синего цвета.

Согласно Д. В. Сочивко, высокие оценки по этому показателю свидетельствуют об истощении жизненных сил, пассивности жизненной позиции, восприятия себя как жертвы, отказе от борьбы, стремлении к покою в атмосфере доброжелательности и безопасности. Низкие оценки характерны для людей, способных развивать значительные усилия в борьбе с ограничениями и препятствиями.

Участники эксперимента: взрослые – студенты московских вузов и сотрудники МГППУ в возрасте от 19 до 54 лет, средний возраст – 27,4 года, 31,8% мужчин и 68,2% женщин, общее количество – 46 человек. Снятие ГРВ-грамм и выполнение тестовых заданий проводилось последовательно, без перерыва.

Сопоставление двух методов осуществлялось следующим способом. Согласно разработчикам метода ГРВ, разность площадей свечения ГРВ-грамм пальцев рук человека, снятых в двух режимах съемки (с фильтром и без фильтра), характеризует уровень напряженности вегетативной нервной системы и является одним из диагностических показателей, интерпретируемых как интегральный уровень активации. Используемый при данной процедуре фильтр из полиэтиленовой пленки толщиной 0,4 мм предназначен для изменения характера газового разряда за счет отделения части газовой оболочки пальца, которая связана преимущественно с перспирацией. Обработка изображений, полученных в двух режимах съемки, производилось с помощью разработанной Н. А. Смоленковой программы распознавания и сравнения изображений. Сначала с помощью методов цифровой обработки (методы, преобразующие полутоновое изображение в бинарное) производилась пороговая обработка изображений. Для разделения изображения на два класса был выбран порог яркости цвета. Эмпирически было выявлено, что в процентном соотношении оптимальным порогом яркости цвета в данном виде цифровой обработки является порог, установленный в интервале от 30% до 35%. Затем осуществлялся поиск с помощью попиксельного просмотра изображения. Находились все пиксели, обладающие цветом, неравным черному, что и составляло площадь свечения на изображении ГРВ-граммы, снятой без фильтра. Аналогично находилась площадь свечения на изображении ГРВ-граммы, снятой с фильтром. Затем путем вычитания величины площади свечения ГРВ-граммы без фильтра из величины площади свечения ГРВ-граммы с фильтром производилось вычисление разности площадей свечения.

По результатам обработки данных теста Люшера и сопоставления с обработанными ГРВ-граммами были получены корреляционные зависимости между значениями K_B и $K_{акт}$ и разностью площадей свечения ГРВ-грамм пальцев рук, снятых с фильтром и без фильтра. Корреляционный анализ (по Спирмену) данных цветового теста М. Люшера и данных ГРВ-грамм показал наличие следующих статистически значимых связей:

- связь между разностью площадей свечения на изображениях ГРВ-грамм первого пальца правой руки и значением вегетативного коэффициента ($p < 0,05$);
- связь между разностью площадей свечения на изображениях ГРВ-грамм третьего пальца левой руки и значением коэффициента активности ($p < 0,01$);
- связь между разностью площадей свечения на изображениях ГРВ-грамм пятого пальца левой руки и значением коэффициента активности ($p < 0,05$);
- связь между разностью площадей свечения на изображениях ГРВ-грамм четвертого пальца правой руки и значением коэффициента активности ($p < 0,05$).

Ранее Н. А. Смоленковой было обнаружено наличие статистически значимой связи между разностью площадей свечения на изображениях ГРВ-грамм пятого пальца правой руки и значениями по каждому из факторов методики «САН» («Самочувствие. Активность. Настроение»).

Таким образом, можно констатировать, что разность площадей свечения ГРВ-грамм пальцев рук может являться диагностическим показателем, связанным с функциональным состоянием человека, и адаптация метода газоразрядной визуализации к задачам психологического исследования имеет определенную перспективу.

Необходимо, однако, отметить предварительный характер полученных зависимостей, поскольку обнаруженные связи выявлены на уровне корреляций. Физиологическая и психологическая природа связей остается во многом неясной. В частности, непонятно, почему на одних пальцах зависимости обнаруживаются, а на других – нет. С другой стороны, воспроизводимость эффекта делает его достаточно привлекательным объектом для дальнейшего исследования.

Кроме того, отмеченная в других работах (Коркин, 1986) интегральная природа газоразрядного свечения биологических объектов требует всестороннего комплексного подхода к его изучению в целом. Для развития этого направления необходимо расширение спектра психодиагностических методик, привлечение арсенала психофизиологических методов диагностики, получения массива данных на более представительных выборках, разработка методики обработки изображений ГРВ-грамм. Отдельную проблему представляет собой дальнейшее методологическое обоснование использования эффекта свечения для психологической диагностики, требующее системного подхода к изучению отношения этого явления к функциональному состоянию человека.

Литература

- Базыма Б. А. Психология цвета. Теория и практика. СПб: Речь, 2007.
- Базыма Б. А. Цвет и психика. Харьков, 2001.
- Дроздов Д. А., Шаццлло О. И. Анализ ГРВ – биоэлектрографических изображений с позиций вегетологии // Наука. Информация. Сознание. Материалы 9-го Междунар. конгресса. СПб.: СПбИТМО, 2005.
- Коркин Ю. В. Метод газоразрядной индикации состояния оператора и его техническое обеспечение: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1986.
- Коркин Ю. В. Использование метода газоразрядной индикации для оценки состояния утомления оператора // Методики исследования и диагностики ФС и работоспособности человека-оператора в экстремальных условиях. М.: ИПАН, 1987.
- Кравков С. В. Взаимодействие органов чувств. М.: Изд-во АН СССР, 1948.
- Коротков К. Г. Основы ГРВ-биоэлектрографии. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001.
- Коротков К. Г. Принципы анализа ГРВ-биоэлектрографии. СПб: Реноме, 2007.
- Семикин В. В. Цветовой тест Люшера в задачах диагностики ФС и работоспособности человека-оператора // Методики исследования и диагностики ФС и работоспособности человека-оператора в экстремальных условиях. М.: ИПАН, 1987.
- Собчик Л. Н. Метод цветových выборов. Модифицированный цветовой тест Люшера. М., 1990.
- Сочивко Д. В. Психодинамика. М.: Московский психолого-социальный институт, 2007.
- Шипов К. Значение аутогенной тренировки и биоуправления с обратной связью электрической активностью мозга в терапии неврозов: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. Л., 1980.

ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПСИХОДИАГНОСТИКИ В НАУЧНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ¹

С. А. Корнилов

МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва)

sa.kornilov@gmail.com

Рассматриваются современные представления о понимании надежности психологических шкал. Описываются основные подходы к пониманию одного из наиболее распространенных коэффициентов надежности – альфа Кронбаха; выделяются переменные, от которых он зависит; приводятся основные формулы. Обосновывается, что надежность играет важную роль в установлении валидности психологических шкал; раскрываются методы корректировки коэффициентов валидности. Делается вывод о необходимости более тщательного анализа надежности в психологических исследованиях и практике.

Ключевые слова: надежность, согласованность, валидность, психодиагностика, коррекция аттенуации.

Ключевыми понятиями для психодиагностики являются понятия *надежности* и *валидности* психодиагностических методик как инструментов, разрабатываемых в целях косвенной оценки гипотетических конструктов на основании наблюдаемых данных (ответов на задания и вопросы; Cronbach, Meehl, 1955). В классической теории тестов (КТТ) задания (пункты теста) предположительно представляют собой случайную выборку всех возможных заданий, измеряющих заданный конструкт, и выступают индикаторами эффектов (effect indicators), связанных между собой через общую для них латентную переменную. Разработка психологических шкал, измеряющих гипотетические латентные переменные, осуществляется путем создания определенного количества заданий с целью надежного измерения конструкта; при этом надежность понимается как «степень, в которой [измерения] являются повторяемыми» (Nunnally, 1967, с. 206), т. е. реплицируемыми.

Ни один психологический инструмент не обладает идеальной надежностью, поэтому классической формулой для обозначения балла по любой шкале в рамках КТТ является

$$Score_{Total} = Score_{True} + Score_{Error}$$

где общий балл состоит из двух частей – *истинного* балла (как среднего балла при прохождении теста бесконечное количество раз) и случайной *ошибки измерения*, которая признается *несистематической* в том смысле, что средняя ошибка измерения для группы = 0. Таким образом, включенность в общий балл ошибки измерения иногда ведет к повышению, а иногда – к понижению *индивидуальных* тестовых показателей по сравнению с истинными баллом. Таким образом, надежность (r) может пониматься как отношение «истинной» дисперсии к общей дисперсии:

$$r = \frac{\sigma_{True}^2}{\sigma_{Total}^2}$$

Эта формула применима только к группе тестовых показателей, поскольку для отдельного индивида истинная дисперсия всегда равна нулю (есть только один истинный балл).

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ 10-06-00416а.

Включение источников *систематических смещений* модифицирует обе формулы, что иллюстрируется следующими взаимоотношениями между надежностью и валидностью (v) (Judd, Smith, Kidder, 1991):

$$Score_{Total} = Score_{CI} + Score_{SE} + Score_{RE},$$

$$r = \frac{\sigma^2_{CI} + \sigma^2_{SE}}{\sigma^2_O},$$

$$v = \frac{\sigma^2_{CI}}{\sigma^2_O},$$

где CI – интересующий нас конструкт, SE – систематическая ошибка, RE – случайная ошибка измерения. Обсуждение систематической ошибки затрагивает вопросы валидности, но не надежности. Увеличение же случайной ошибки ведет к понижению как показателя надежности, так и валидности. Таким образом, возможно создание надежного, но не валидного инструмента, однако без обеспечения надежности валидизация психологической методики как измерительного инструмента невозможна.

Низкая надежность психологических шкал имеет критические последствия при их использовании как в исследовательских, так и в практических целях. К примеру, точность заключения о высоком уровне развития способностей ребенка, получившего балл 115 (т. е. находящегося в верхней 1/6 популяции), сделанное на основе теста интеллекта с надежностью 0,75, на самом деле ограничивается стандартной ошибкой измерения (standard error of measurement, SEM), вычисляемой по формуле:

$$SEM = \sqrt{1 - r} \times SD_{observed},$$

где r – надежность, а $SD_{observed}$ – стандартное отклонение наблюдаемых показателей. Поскольку распределение случайных ошибок принимается нормальным (при $M = 0$, $SD = SEM$), можно сделать вывод о том, что в реальности для 96% испытуемых полученный тестовый балл будет в пределах двух стандартных ошибок измерений от истинного балла, т. е. для указанного выше ребенка его истинный балл может быть как 100, так и 130 при полученном балле в 115 по шкале IQ ($SEM = 7,5$; William, 2000). Данный пример иллюстрирует, что даже тест с приемлемым уровнем внутренней согласованности может крайне неаккуратно измерять диагностируемые свойства на уровне отдельных испытуемых. Это имеет важные следствия для стратегий отбора людей в те или иные группы. Именно поэтому как решения о распределении в программы для одаренных, так и иные решения, связанные с «низким» полюсом шкалы IQ, например, никогда не должны делаться на основании единственного раз проведенных тестов.

При использовании психодиагностических шкал в рамках конкретных исследований, как и при валидизации методик, психологи сталкиваются с несколько иным ограничением: наличие случайной ошибки измерения в наблюдаемых переменных x и y накладывает ограничение на максимальный размер корреляции между ними (r_{xy}), которая будет меньше, чем корреляция между соответствующими x и y конструктами («истинными баллами») X и Y (r_{XY}). Игнорирование этого феномена, названного *аттенюацией корреляции* (correlation attenuation), может привести к ошибочным заключениям о взаимосвязях между гипотетическими конструктами,

в частности, при валидации методик. Традиционным способом преодоления этого ограничения является использование уравнений коррекций аттенюации, наиболее частым из которых в рамках КТТ является следующее (Fan, 2003):

$$r_{XY} = \frac{r_{xy}}{\sqrt{r_{xx} \times r_{yy}}},$$

где r_{xx} и r_{yy} – коэффициенты надежности для переменных x и y соответственно.

Нетрудно увидеть, что если истинная корреляция между интересующими нас конструктами равна 0,60, но обе измеренные переменные имеют надежность 0,50, то корреляция между измеренными переменными составит всего 0,30 (см. рисунок 1). Применение методов коррекции аттенюации хотя вызывает множество споров в литературе, но является вполне обоснованным подходом к преодолению указанного ограничения (вторым подходом является использование методов структурного моделирования для установления связей между латентными переменными при их автоматической коррекции в так называемых моделях измерения, задающих наблюдаемые переменные через латентные переменные и ошибки).

Традиционные источники *ненадежности* данных – факторы времени, неэквивалентности тестовых форм, эффекты наблюдателя, а также гетерогенность тестовых заданий. Последнее критично для КТТ, поскольку она постулирует, что случайно отобранные тестовые задания должны быть высоко связаны между собой, если предназначены для измерения одного и того же конструкта. На этом основано вычисление одного из самых популярных коэффициентов надежности как внутренней согласованности заданий – коэффициента альфа Кронбаха, определяемого по формуле (Cronbach, 1951):

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum \sigma_k^2}{\sigma_{Total}^2} \right],$$

где k – количество заданий, во второй дроби в числителе находится сумма дисперсий всех заданий, а в знаменателе – общая дисперсия. В случае равенства дисперсий всех заданий альфа равна среднему всех коэффициентов надежности, посчитанных по методу расщепления (split-half), в противном случае альфа меньше этого среднего. Таким образом, альфа Кронбаха является функцией общности (communalities) тестовых заданий или, наоборот, их «уникальности» (uniqueness). Это лишь самое

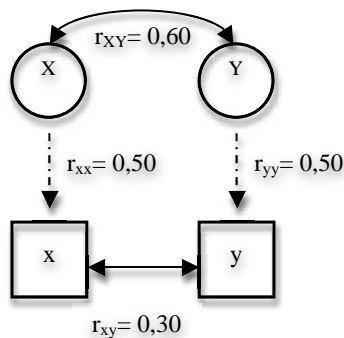


Рис. 1. Эффекты ненадежности психологических шкал при использовании корреляции r Пирсона

общее описание надежности как внутренней согласованности и альфы как способа ее измерения. Однако обратимся к использованию этого коэффициента в практике разработки психодиагностических методик.

В настоящее время в публикациях, посвященных созданию, апробации, валидации, стандартизации и в целом разработке различных психологических инструментов (от личностных опросников до тестов интеллекта), альфа Кронбаха занимает особое почетное место и считается золотым стандартом описания психометрических свойств методики. При этом чаще всего не учитывается ряд ключевых ограничений, часть из которых прямо вытекает из приведенных выше уравнений (Cortina, 1993; Streiner, 2003).

Во-первых, как отмечает Страйнер (Streiner, 2003), альфа *не является фиксированным свойством шкалы*, это свойство конкретных полученных баллов: один и тот же инструмент может демонстрировать различные (высокие и низкие) альфы на разных выборках, поэтому не имеет смысла обращение к некому ранее установленному уровню согласованности шкалы. Связано это как с тем, что сама оценка согласованности несвободна от ошибки (ввиду того, что мы никогда не знаем истинный балл), так и с тем, что надежность зависит от дисперсии общего балла по шкале, которая варьирует от выборки к выборке. В связи с этим в публикациях важно указывать не ту величину альфы Кронбаха, которая была установлена при изначальной разработке методики (вне зависимости от разработчика), а то значение, которое получено на представленной в конкретной публикуемой работе выборке.

Во-вторых, не имеет смысла обсуждение альфы без учета количества тестовых заданий: Кортин (1993) показал, что увеличение длины теста с 6 до 18 заданий при константной средней интеркорреляции между заданиями (0,30) увеличивает альфу с 0,72 до 0,88. Таким образом, необходимо учитывать как длину теста, так и средний уровень связанности заданий. Увеличение количество тестовых заданий: первый способ повышения внутренней согласованности (William, 2000). При имеющейся же согласованности r , если мы хотим достичь согласованности R , мы должны умножить количество заданий на n , где

$$n = \frac{R \times (1 - r)}{r \times (1 - R)}$$

В-третьих, альфа является мерой внутренней согласованности, но не дает информации о *количестве измеряемых факторов*: высокая альфа не означает наличие единого общего для заданий фактора, поскольку может быть получена для заданий, которые являются индикаторами нескольких ортогональных факторов – главное, чтобы внутри этих факторов задания были хотя бы на среднем уровне связаны между собой. Использование же высокой альфы в качестве аргументации в пользу наличия единого фактора недопустимо.

Четвертая проблема связана с конвенциями в отношении уровней, которые принято считать «приемлемыми». Разные авторы рекомендовали от 0,50–0,60 для ранних стадий исследований, 0,80 для исследовательских методов, и 0,90 для клинических (Nunnally, 1967) до меньших значений при учете содержания измеряемого конструкта: принцип «чем больше альфа, тем лучше» Страйнер (Streiner, 2003) называет одним из «мифов об альфе», поскольку альфа связана не только с гомогенностью заданий, но и с гомогенностью конструкта. Даже одномерные и однофакторные конструкты могут быть концептуализированы как имеющие множество различных

аспектов, что в итоге приведет к появлению определенной гетерогенности заданий разрабатываемой методики. Увеличение гомогенности заданий через уменьшение рассматриваемых в методике сторон гипотетического конструкта – второй способ повышения ее внутренней согласованности.

Таким образом, учет надежности (и, в частности, внутренней согласованности как одной из ее форм) психологических методик как средств операционализации тех или иных гипотетических конструктов, представляется одинаково важным как при проведении исследований, так и в практике психодиагностики. В первом случае недостаточный учет надежности (или, в крайнем, но распространенном случае полного ее игнорирования при публикации результатов исследований) потенциально ведет к серьезным ошибкам при проверке теоретических гипотез о взаимоотношениях между гипотетическими конструктами, стоящими за измененными переменными. И даже частый случай инконсистентности получаемых в различных исследованиях результатов может быть функцией различий в показателях надежности примененных исследователями инструментов на конкретных выборках, тогда как скорректированные результаты могут быть схожими. Отдельной проблемой является проблема генерализации надежности, в частности, при использовании ее для корректировки показателей, получаемых в рамках метаанализа (Корнилов, Корнилова, 2010). Во втором случае результаты прикладной диагностики оказываются зависимыми от точности методики на индивидуальном уровне, поэтому любые заключения и выводы на этом уровне должны учитывать надежность используемого психодиагностического инструментария, как минимум полученную на схожих выборках. Важным шагом на пути к преодолению указанных ограничений является выработка «привычки» к рутинной проверке и сообщению в результатах исследованиях и справочных материалах к методикам подробных характеристик надежности разработанных и использованных психологических шкал.

Литература

- Корнилов С. А., Корнилова Т. В. Мета-аналитические исследования в психологии // Психологический журнал. 2010. Т. 31. № 5. С. 5–17.
- Cortina J. M. What is coefficient alpha? An examination of theory and practice // Journal of applied psychology. 1993. V. 78. № 1. P. 98–104.
- Cronbach L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests // Psychometrika. 1951. № 16. P. 297–334.
- Cronbach L. J., Meehl P. E. Construct validity in psychological tests // Psychological Bulletin. 1955. № 52. P. 281–302.
- Fan X. Two approaches for correction correlation attenuation caused by measurement error: implications for research practice // Educational and Psychological Measurement. 2003. № 63. P. 915–930.
- Judd C. M., Smith E. R., Kidder L. H. Research methods in social relations. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1991.
- Nunnally J. C. Psychometric theory. New York: McGraw-Hill, 1967.
- Streiner D. L. Starting at the beginning: an introduction to coefficient alpha and internal consistency // Journal of Personality Assessment. 2003. V. 80. № 1. P. 99–103.
- William D. Reliability, validity, and all that jazz // Education. 2000. V. 29. № 3. P. 9–13.

РОЛЬ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ПСИХОЛОГИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ¹

А. К. Крылов

Институт психологии РАН (Москва)

neuru@mail.ru

Показана роль модельного эксперимента для повышения объективности оценки теории. Обосновывается, что построение модели процесса на основе оцениваемой теории, проведение компьютерного модельного эксперимента, и сопоставления данных модельного эксперимента с реальными данными по неочевидной характеристике позволяет повысить объективность оценки адекватности теории. В качестве примера такой характеристики использована степень фрактальности последовательности интервалов между действиями.

Ключевые слова: моделирование, эксперимент, компьютерный эксперимент.

Введение

По мере формирования новой теории происходит уточнение ее терминологического аппарата, теоретические положения приобретают более строгую форму, что в итоге позволяет провести формализацию теории и построить математическую модель исследуемого процесса на основе этой теории. Наличие математической модели говорит о высоком уровне развития теории, о ее высоком уровне детализации, конкретизации. Для таких развитых научных направлений полный цикл исследования приобретает вид: проведение натурного эксперимента в соответствии с выдвинутой исследовательской гипотезой, модификация теории в связи с полученными результатами, модификация модели с учетом новых теоретических положений, проведение компьютерного модельного эксперимента с целью тестирования теории на полноту и непротиворечивость, генерация новой исследовательской гипотезы на основе модельного эксперимента (рисунок 1).

Проведение компьютерного эксперимента с моделью позволяет проверить полноту теории и ее внутреннюю непротиворечивость. Теория, как набор теоретических положений, представляет собой совокупность представлений об исследуемом процессе (предмете исследования). Моделирование позволяет воплотить эти представления в модельном виде и затем путем проведения компьютерного эксперимента сопоставить модельный процесс с реальным. Таким способом исследователь может увидеть, каким был бы реальный процесс, если бы его представления о процессе были верны.

Для объективной проверки теории существует натурный эксперимент, но насколько он объективен как метод верификации теории? При проверке теории натурным экспериментом исследователь строит гипотезу исследования на основе именно проверяемой теории и трактует полученные данные на основе опять же проверяемой теории. Это создает субъективность проверки теории: получается, что теория проверяет сама себя, через призму себя, глядя на реальность. При обнаружении «аномалий» путем натурного эксперимента, т. е. при обнаружении данных,

¹ Работа поддержана фондом РГНФ (грант № 08-06-00250а), Советом по грантам Президента Российской Федерации ведущим научным школам Российской Федерации (проект № НШ-3752-2010.6).

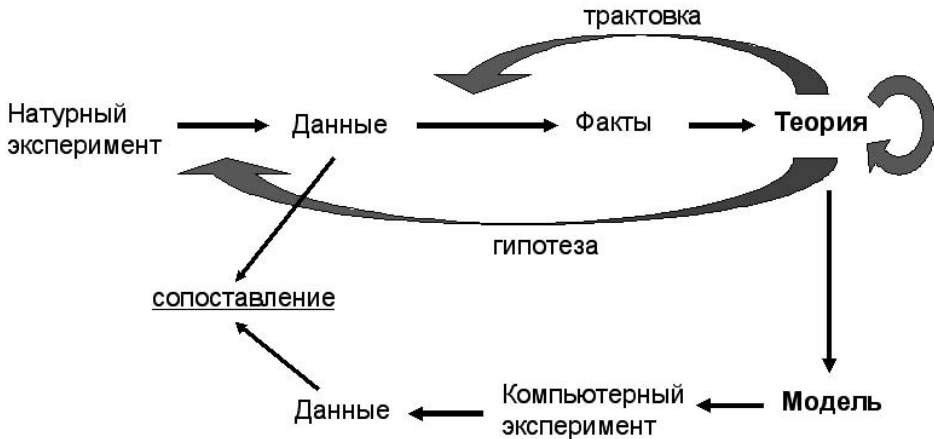


Рис. 1. Цикл экспериментального исследования. Наверху – петля без модельного эксперимента: теория формулирует гипотезу экспериментального исследования, трактует полученные данные и модифицирует себя, что отражает субъективизм при верификации теорией самой себя. Внизу – петля с модельным экспериментом: данные, полученные на основе компьютерного эксперимента с моделью, напрямую сопоставляются с данными натурального эксперимента

противоречащих теории, на следующем шаге цикла принято дорабатывать теорию, а не отвергать ее. В итоге теория не может отвергнуть сама себя, она сохраняет свое «твердое ядро» и лишь модифицирует «защитный пояс» (Лакатос, 1995).

При дополнительной проверке теории с помощью модельного эксперимента мы получаем возможность усилить объективность оценки теории, поскольку теперь не трактуем данные с помощью теории, а напрямую сопоставляем данные, полученные в натурном и модельном экспериментах (рисунок 1, внизу). Для этого будем использовать такие данные, которые эксплицитно в теории не фигурируют.

Например, теория рефлекса является достаточно развитой теорией и позволяет провести ее формализацию и построить математическую модель (Крылов, Александров, 2008). Мы создали компьютерную математическую модель рефлекторного агента, т. е. создали искусственного агента, который вел себя так, как предполагает теория рефлекса. Проведение компьютерного эксперимента позволило нам обнаружить, какое поведение можно было бы ожидать от реальных животных, если бы они были рефлекторны, т. е. если бы теория рефлекса была бы верна (Крылов, Александров, 2007, 2008, 2009). Зарегистрированные в компьютерном эксперименте поведенческие феномены являются следствием теории, и, если они не совпадут с поведением животных, значит, теория в чем-то неверна. Теория рефлекса оперирует связью между текущей ситуацией $S(t)$ и последующим действием $A(t)$ (что и называется «рефлекс»), но не делает никаких эксплицитных утверждений относительно связи между текущим действием $A(t)$ и последующей ситуацией $S(t+1)$ и не предполагает изменения распределения статистики возникновения различных ситуаций в процессе обучения. Именно эти величины были использованы нами для анализа теории рефлекса, и получены они были путем компьютерного эксперимента с моделью рефлекторного агента (Крылов, Александров, 2007, 2008, 2009). Результаты показали, что рефлекторный агент при взаимодействии со средой демонстрирует

такие свойства, которые рефлекторной теорией не могут быть адекватно описаны. Это означает, что рефлекторная теория неадекватна для описания взаимодействия организма со средой.

Далее представлен пример применения такого подхода к анализу цепочек действий.

Процедура и методы исследования

Рассмотрим некоторое поведение, в котором у испытуемого есть выбор только из двух альтернативных действий – «А» и «Б». Это могут быть эксперименты по распознаванию сигнала, в которых испытуемый должен принимать одно из двух решений относительно текущего стимула, или эксперименты, в которых животное движется направо («А») или налево («Б»), или данные регистрации нейронной активности, в которых в каждый момент времени спайк либо есть («Б»), либо его нет («А»). Известно, что животные в такого рода задачах демонстрируют поведение, обладающее фрактальной структурой, которое обнаруживается с помощью гистограмм интервалов в логарифмических осях (Непомнящих, 2003). Также последовательность межспайковых интервалов активности нейронов демонстрирует наличие фрактальной структуры, которую можно выявить, вычислив фактор Аллана (Teich, 1997).

Пусть в имеющихся данных, полученных в натурном эксперименте, в 94% случаев выполнялось действие «А» и в 6% случаев выполнялось действие «Б». На основе рефлекторного подхода можем сформулировать такую частную теорию применительно к нашим данным: «Есть рефлекс совершать действие «А», и он выполняется в 94% случаев, и есть рефлекс совершать «Б», и он выполняется в 6% случаев». Эта теория не делает никаких эксплицитных утверждений относительно того, сколько раз подряд может выбираться «А», т. е. о длительностях времени между совершениями действия «Б». Именно эту характеристику будем определять путем проведения модельного компьютерного эксперимента и сопоставлять с аналогичными данными натурного эксперимента. Если проводить упомянутую аналогию с нейронной активностью, то речь идет о межспайковых интервалах. Построим модель на основе этой теории и в компьютерном эксперименте с ней получим последовательность временных интервалов между действиями «Б», отражающую сегменты непрерывного совершения действия «А». Так определим, каким был бы реальный процесс, если бы эта гипотетическая теория была верна. Полученные данные, предсказанные теорией, сопоставим с данными натурного эксперимента.

Для оценки скрытых закономерностей в последовательности действий будем использовать показатель фрактальности этой последовательности. Для этого данные представим в виде гистограммы интервалов в логарифмических осях, проведем линейную аппроксимацию кривых (Непомнящих, 2003) и сопоставим модельную кривую с экспериментальной визуально. Более строгое сопоставление данных предсказываемых теорией и натуральных проведем, вычисляя фактор Аллана, оценивающий наличие фрактальной структуры в последовательности действий (Teich, 1997).

Результаты исследования

Результаты расчетов по модели и по натурным данным представлены на рисунке 2. Видно, что результаты обработки модельных данных отличаются от натуральных

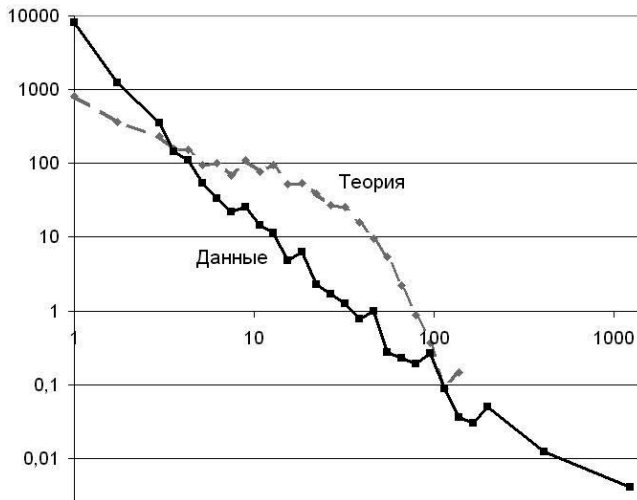


Рис. 2. Гистограммы интервалов между совершениями действия «Б» в логарифмических осях, с логарифмической величиной бина и нормализацией к величине бина

данных. Это означает, что теория неадекватно описывает имеющиеся данные, несмотря на то что построена на основе этих данных.

Однако являются ли эти отличия качественными или всего лишь количественными? Можно думать, что отличия между модельными результатами и натурными данными являются только количественными, и если подобрать подходящие численные параметры модели (коэффициенты), то можно получить удовлетворительное соответствие данным. В этом случае наша гипотетическая теория смогла бы «спасти» себя. Например, данные, предсказанные теорией для интервалов величины 2–35, т. е. большая часть данных, аппроксимируются прямой линией с углом наклона 0,83, а реальные данные аппроксимируются прямой линией с углом наклона 2,15. Можно было бы думать, что возможность аппроксимации прямой линией означает качественное сходство реальных и теоретически предсказанных интервалов, а разный угол наклона отражает лишь непринципиальные количественные разли-

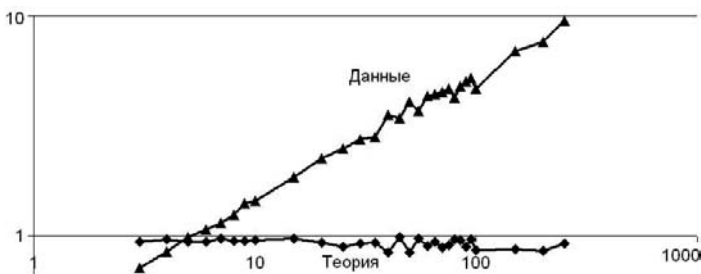


Рис. 3. Фактор Аллана для данных, предсказанных теорией («Теория») и для реальных данных («Данные»). Теория предсказывает, что данные должны иметь фактор Аллана, близкий к 1, что означает отсутствие фрактальности в них. Реальные данные демонстрируют линейный рост фактора Аллана в логарифмическом масштабе, что доказывает наличие фрактальной структуры в них

чия. Можно было бы сделать вывод, что теория качественно адекватно описывает большую часть данных.

Однако проведем анализ последовательности интервалов с оценкой фрактальности. Чтобы оценить соответствие теоретически предсказанных данных с натурными данными качественно, мы рассчитали фактор Аллана. Он представлен на рисунке 3. Если процесс является случайным процессом пуассоновского типа, без фрактальности, то фактор Аллана равен 1. Если процесс имеет фрактальную природу, то фактор Аллана линейно растет в логарифмических координатах (Teich, 1997).

По рисунку 3 видно, что теория описывает нефрактальный процесс, подобный пуассоновскому, в то время как реальный процесс имеет фрактальную структуру (линейный рост фактора Аллана). Следовательно, наша гипотетическая теория не только количественно, но и качественно непригодна для описания данного процесса, и ее следует отвергнуть.

Заключение

Продемонстрирован подход для оценки адекватности теорий путем формализации теории, построения модели процесса на основе оцениваемой теории, проведения компьютерного модельного эксперимента и сопоставления данных модельного эксперимента с реальными данными. Такой подход позволяет усилить адекватность в оценке теорий по сравнению с классическим подходом проверки теорией самой себя и последующей самомодификации теории. В качестве сопоставляемой характеристики данных предложено использовать такую, о которой теория не делает эксплицитных утверждений и которая является нелинейным (неочевидным, эмерджентным) следствием из постулатов теории. В настоящей работе в качестве такой характеристики использовалась оценка фрактальности последовательности интервалов между разнотипными действиями.

Литература

- Крылов А. К., Александров Ю. И. Погружение в среду как альтернатива методике предъявления стимулов: модельное исследование // Психологический журнал. 2007. Т. 28. № 2. С. 106–113.
- Крылов А. К., Александров Ю. И. Парадигма активности: от методологии эксперимента к системному описанию сознания и культуры // Компьютеры, мозг, познание: успехи когнитивных наук / Отв. ред. Б. М. Величковский, В. Д. Соловьев. М.: Наука, 2008. С. 133–160.
- Крылов А. К., Александров Ю. И. Особенности взаимодействия рефлекторного агента со средой: модельное исследование // Экспериментальная психология. 2009. № 1. С. 5–22.
- Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ. М.: Медиум, 1995.
- Непомнящих В. А. Как животные решают плохо формализуемые задачи // Проблемы интеллектуального управления – общесистемные, эволюционные и нейросетевые аспекты // Нейроинформатика-2003. М.: МИФИ, 2003. С. 186–190.
- Teich M. C., Heneghan C., Lowen S. B., Ozaki Y., Kaplan E. Fractal Character of the Neural Spike Train in the Visual System of the Cat // J. Opt. Soc. Am. A. V. 14. 1997. P. 529–546.

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ

Л. С. Куравский

Московский городской психолого-педагогический университет,
факультет информационных технологий (Москва)

l.s.kuravsky@gmail.com

Представлена технология распознавания аномальных участков электроэнцефалограмм, использующая возможности вейвлет-преобразований и релаксационных нейронных сетей. Важными практическими преимуществами предложенного подхода являются распознавание аномалий по их единичным образцам и возможности применения для анализа нестационарных сигналов и выявления характера патологий.

Ключевые слова: нейронные сети, вейвлет-преобразования, электроэнцефалограммы.

1 Введение

Большой объем данных, который приходится анализировать врачам-функционалистам при выявлении патологических состояний по электроэнцефалограммам (ЭЭГ), делает актуальным автоматическое выделение в них типовых фрагментов, свидетельствующих о наличии тех или иных аномалий.

Эксперименты, проведенные с достаточно большим количеством ЭЭГ, показали, что выводы о наличии аномальных фрагментов носят более качественный, чем количественный характер. В отличие от электромиографии и кардиографии, в электроэнцефалографии нет каких-либо нормативных таблиц основных параметров сигнала, поэтому каждая ЭЭГ имеет определенный набор характеристик, которые могут варьироваться для разных классов патологий и нормы. В частности, параметры ЭЭГ существенно зависят от возраста. Учитывая это, автоматический анализатор должен иметь критерии оценки ЭЭГ, адаптируемые к естественному разбросу характеристик внутри популяции.

Опыт показывает, что не все феномены ЭЭГ могут быть классифицированы в автоматическом режиме и невозможно с полной уверенностью отличить истинные аномалии от артефактов. Поэтому целесообразна не полная автоматизация процесса анализа ЭЭГ, при которой выдаются категоричные заключения, а выделение «подозрительных» участков сигнала, предназначенных для дальнейшего просмотра экспертом. При этом существенно уменьшается объем анализируемых данных, что повышает эффективность и скорость работы врача. Таким образом, оптимальный режим использования автоматического анализатора предполагает невмешательство в область компетенции эксперта и возможность гибкой настройки параметров распознавания.

Первыми подходами, обеспечившими эффективное выявление аномальных фрагментов ЭЭГ в указанном режиме, оказались методы прогнозирования временных рядов (в частности, оценки на базе моделей авторегрессии), турн-амплитудный анализ, методы спектрального и корреляционного анализа, метод цифровой фильтрации, структурно-лингвистический анализ, а также пороговые методы. Наиболее подходящими по совокупности нескольких критериев были признаны спектральный, корреляционный и структурно-лингвистический анализ.

Однако указанные выше подходы имели ряд недостатков. Во-первых, часть из них (и в частности, спектральный и корреляционный анализ) применима только для стационарных процессов, каковыми аномальные ЭЭГ не являются, что приводило к необоснованным допущениям при обработке данных. Во-вторых, эти методы обеспечивали в большинстве случаев только автономный анализ сигналов с заданных отведений, что недостаточно для полноценного исследования, требующего комплексной многопараметрической оценки данных, полученных с различных отведений ЭЭГ. В-третьих, такие методы, как сравнение с образцами с использованием оценок взаимных корреляционных функций и сравнения различных характеристик сигнала с пороговыми уровнями, требовали слишком детальной адаптации к форме аномалий каждого конкретного пациента, о которых, как правило, нет полной и достаточной информации. Отсутствие такой информации существенно ограничивает применение и метода цифровой фильтрации. Ряд подходов (в частности, структурно-лингвистический анализ) неизбежно приводил к высокой степени неоднозначности при переводе исходного сигнала в используемую при идентификации рабочую форму представления и, как следствие, к произволу в интерпретации результатов.

Перечисленные проблемы сделали актуальным применение более общих и универсальных методов анализа, свободных от указанных ограничений, в том числе вейвлет-преобразований и обучаемых структур, наиболее известными из которых являются нейронные сети. Новые подходы позволили корректно работать с нестационарными процессами и существенно расширили возможности для исследования. В частности, все особенности сигналов, выявляемые с помощью спектрального и корреляционного анализа, можно обнаружить с помощью вейвлет-анализа, а все, что оценивается посредством моделей авторегрессии, воспроизводится как упрощенный (вырожденный) вариант прогноза с помощью нейронных сетей.

Одной из наиболее сложных проблем, возникающих при использовании традиционных обучаемых структур на практике, является недостаток образцов сигналов, необходимых для определения настраиваемых параметров, что обусловлено сложностью формирования репрезентативной обучающей выборки (так называемая «проблема малой выборки»). Чаще всего в этой выборке надлежащим образом представлены только фрагменты сигналов, соответствующие отсутствию патологий. Для решения указанной проблемы предложена новая технология распознавания аномалий ЭЭГ, использующая возможности вейвлет-преобразований и релаксационных нейронных сетей (Куравский et al., 2005, 2007). Предложенный подход показал надежные результаты даже при наличии только одного образца для каждого типа аномалий. В отличие от ряда перечисленных выше методов, он менее чувствителен к качеству преобразований исходной формы сигнала в удобные для распознавания представления; эффективен для выявления как кратковременных аномалий сигнала (типа спайков), так и устойчивых изменений его параметров; пригоден не только для установления факта появления патологии, но и определения ее характера.

2 Технология распознавания

Основные этапы распознавания аномалий ЭЭГ представлены на рисунке 1. Процедура распознавания последовательно выполняется для оцифрованных временных реализаций заданной фиксированной продолжительности, выделенных из анализируемого сигнала. После каждого выполнения указанной процедуры начало исследуемой реализации смещается вдоль этого сигнала на достаточно малый

временной шаг (таким образом, рассмотренный фрагмент «скользит» от начала к концу). Частоты дискретизации эталонных образцов и анализируемого сигнала должны совпадать. На первом этапе распознавания очередная обрабатываемая реализация преобразуется в соответствующее биполярное или бинарное представление (при некоторых схемах распознавания этот этап может быть опущен). Полученное представление затем подается на вход асинхронной сети Хопфилда (Hopfield, 1982) с дискретными состояниями и временем или сети Хэмминга (Lipmann, 1987), чьи весовые коэффициенты вычислены в соответствии с имеющимися эталонными образцами аномалий, а также образцами сигналов, характерных для нормального состояния испытуемых. После циклических вычислений корректно настроенная сеть Хопфилда сходится к так называемому аттрактору, который является предельной точкой в пространстве допустимых выходных сигналов и представляет собой некоторый восстановленный эталонный образец, ближайший к входному сигналу. В свою очередь, сеть Хэмминга сходится к номеру ближайшего эталонного образца непосредственно. На последнем этапе происходит идентификация состояния испытуемого по выходному сигналу, к которому сошлась сеть, после чего начало

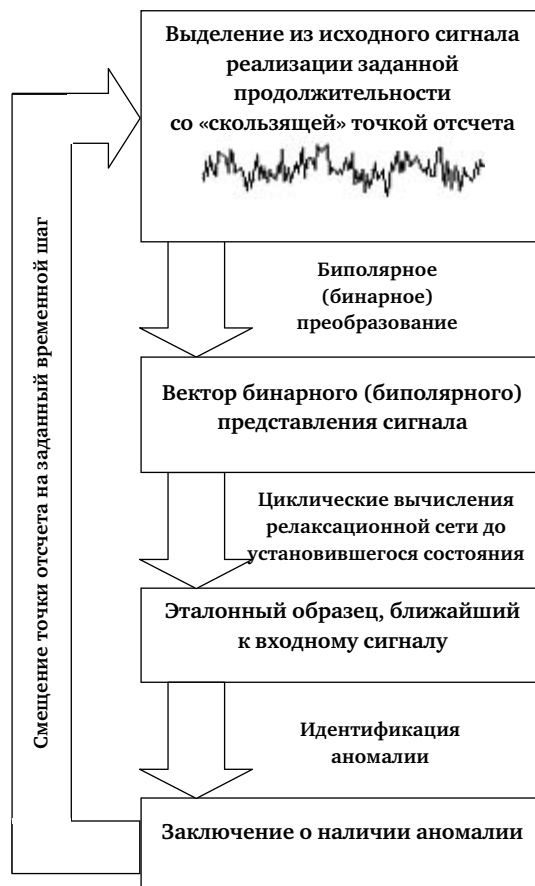


Рис. 1. Распознавание аномалий при использовании бинарного (биполярного) преобразования

анализируемого участка сдвигается на заданный временной шаг и процедура распознавания повторяется. Таким образом, сходство с одним из заданных эталонных образцов определяется нахождением в соответствующей области притяжения в пространстве допустимых представлений входного сигнала.

Применение для распознавания сигналов именно сетей Хопфилда или Хэмминга не является принципиальным. Другие типы релаксационных сетей, такие, например, как двунаправленная ассоциативная память или сеть Коско (Kosko, 1987–1988), могут также оказаться удобными при решении ряда прикладных задач, и их применение может рассматриваться как дальнейшее развитие предлагаемой технологии. Сети Хопфилда и Хэмминга были выбраны благодаря их лучшему математическому обоснованию и предсказуемости результата.

Основные этапы обработки оцифрованных представлений эталонных образцов представлены на рисунке 2.

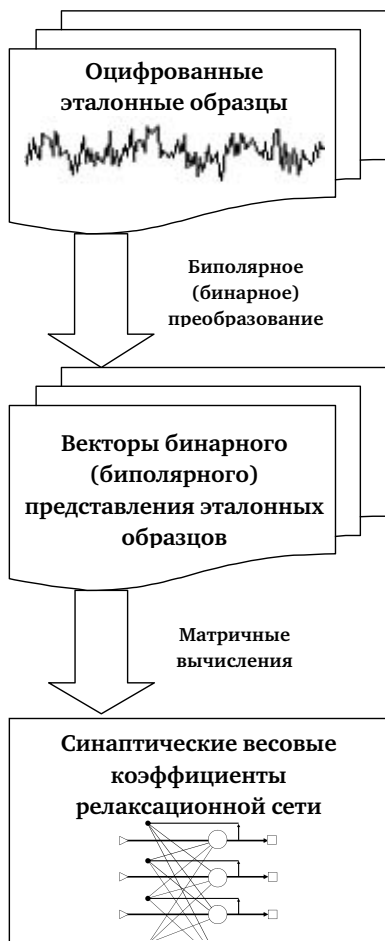


Рис. 2. Ввод эталонных образцов в релаксационную сеть

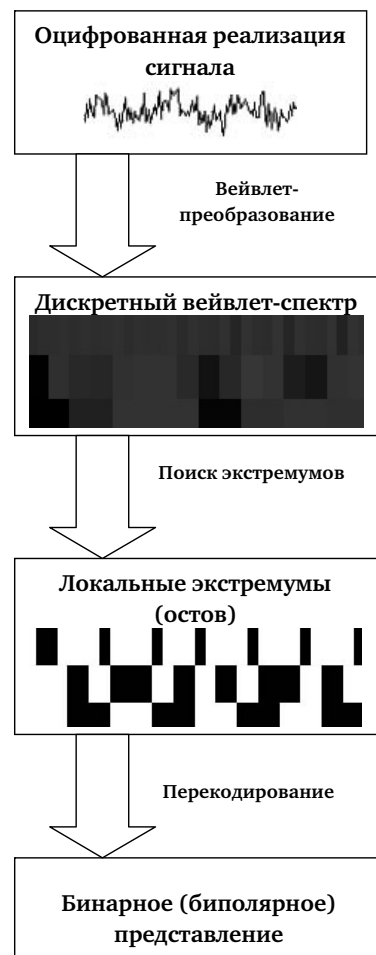


Рис. 3. Бинарное (биполярное) преобразование сигнала

Бинарное (биполярное) преобразование сигналов представлено на рисунке 3. На первом этапе оцифрованная реализация сигнала, снятая с соответствующего отведения, подвергается вейвлет-преобразованию. Его результат, вейвлет-спектр, является функцией двух переменных, которая может быть представлена поверхностью в трехмерном пространстве либо двумерной диаграммой, отображающей значения ее уровней.

На практике обычно используется дискретное вейвлет-преобразование. Для получения бинарного (биполярного) представления необходимо выбрать одну из его упрощенных форм, содержащих достаточное количество информации об исследуемом процессе и пригодных для последующего анализа. Этим условиям хорошо удовлетворяет простая дискретная аппроксимация так называемых остовных функций, которые показывают распределение точек локальных экстремумов дискретного вейвлет-спектра. При построении такой аппроксимации значения локальных экстремумов заменяются на 1, а другие значения – на -1 (в случае биполярного представления) или 0 (в случае бинарного представления).

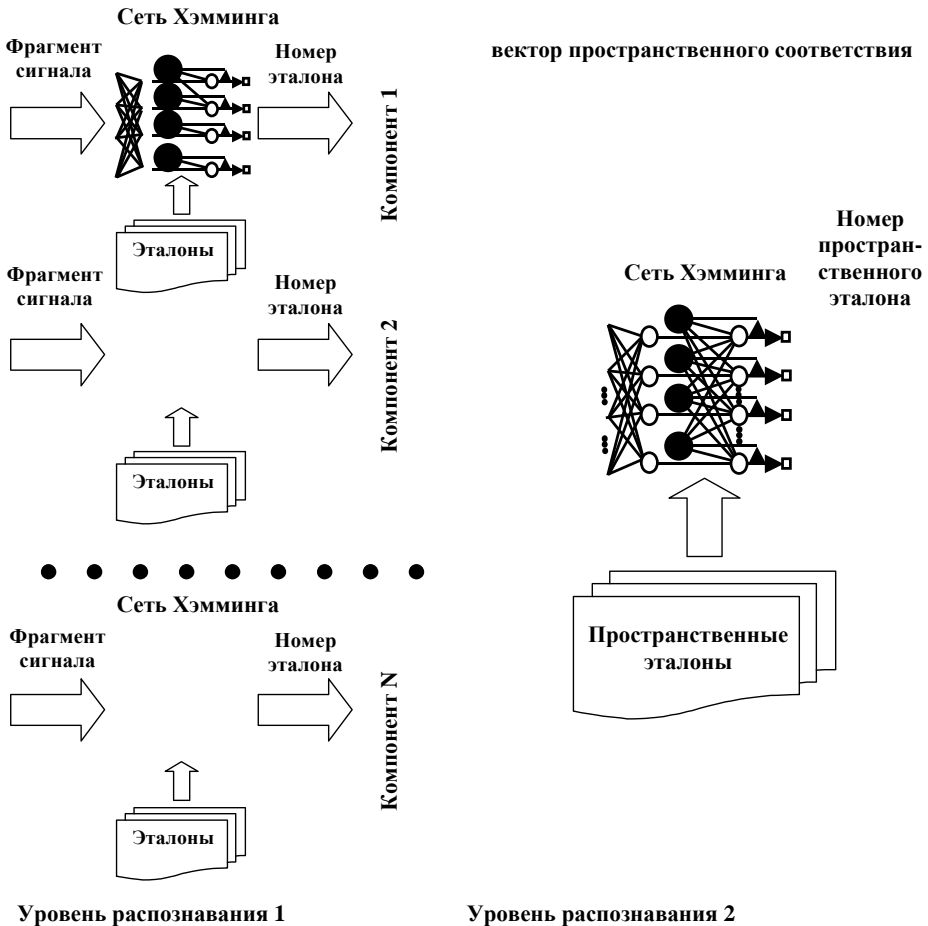


Рис. 4. Двухуровневое распознавание с использованием сетей Хэмминга с радиальными базисными элементами и экспоненциальными функциями активации

Предложенная технология может быть модифицирована для распознавания состояния диагностируемой системы по пространственному распределению наблюдаемых сигналов (одновременно по всем отведениям). Для этого организуется *двухуровневое распознавание* с использованием сетей Хэмминга с радиальными базисными элементами и экспоненциальными функциями активации (рисунок 4).

Полученные векторы пространственного соответствия сравниваются с *пространственными эталонными образцами* – образцами второго (*глобального*) уровня распознавания. Каждый из них представляет пространственное распределение соответствия образцам первого уровня, характерное для определенной патологии. Выявление номера наиболее подходящего образца, как и на первом уровне распознавания, производится с помощью сети Хэмминга, после чего делается окончательное заключение о наличии или отсутствии в анализируемых данных информации о патологии.

3 Приложения

Рассмотренная технология была программно реализована на базе системы программирования *LabVIEW*.

Выявление патологических фрагментов, свойственных эпилепсии – *спайков* и *острых волн* – является одной из наиболее важных задач, решаемых посредством анализа ЭЭГ. Особенностью мозга при эпилепсии является повышенный уровень реакции возбуждения нейронов и синхронизация их активности, что приводит к нарастанию амплитуды волн на ЭЭГ в результате суммации во времени амплитуд синфазных колебаний. Если разряды отдельных нейронов плотно группируются во времени, то, помимо нарастания амплитуды, наблюдается уменьшение длительности суммарного потенциала, приводящее к образованию высокоамплитудной, но короткой аномалии – спайка. Длительность спайка – порядка 5–50 мс. Амплитуда, как правило, превосходит амплитуду фоновой активности и может достигать сотен микровольт. Иногда спайки группируются в пакеты, называемые *полиспайками*. Близкой по происхождению аномалией является острая волна. Внешне она напоминает спайк и отличается от него только растянутостью во времени, имея длительность более 50 мс. Ее амплитуда может достигать тех же значений, что и амплитуда спайков.

Для распознавания аномалий использовались модификации сетей Хэмминга и Хопфилда. Наиболее эффективными оказались сети Хэмминга с радиальными базисными элементами и экспоненциальными функциями активации, обеспечившие успешное распознавание всех имевшихся эталонных образцов. Их эффективность обусловлена возможностью гибкой настройки на различные аномалии и категории испытуемых.

4 Основные результаты и выводы

Разработана и программно реализована технология распознавания аномалий ЭЭГ, основными компонентами которой являются биполярное (бинарное) преобразование, получаемое на базе вейвлет-преобразования наблюдаемого сигнала и биполярной (бинарной) аппроксимации его основной функции, и идентификация состояния системы с помощью релаксационной сети.

Преимуществами используемой технологии являются возможность ее применения в случае небольшого числа (или даже одного) образца для каждого типа аномалий; возможность применения для анализа нестационарных сигналов (эффективное выявление как кратковременных аномалий сигнала, так и устойчивых изменений его параметров); возможность не только установления факта появления патологии, но и определения ее характера; распознавание пространственной картины аномалий ЭЭГ; удобство накопления данных, отражающих изменение индивидуальных образцов ЭЭГ.

Литература

- Куравский Л. С., Баранов С. Н., Буланова О. Е., Кравчук Т. Е. Нейросетевая технология диагностики патологических состояний по аномалиям электроэнцефалограмм // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2007. № 4. С. 4–14.
- Hopfield J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // Proc. National Academy of Sciences USA. 1982. P. 2554–2558.
- Kosko B. Competitive adaptive bidirectional associative memories // Proc. IEEE 1st International Conference on Neural Networks. IEEE Press. 1987. V. 2.
- Kosko B. Feedback stability and unsupervised learning // Proc. IEEE 2nd International Conference on Neural Networks. IEEE Press. 1988. V. 3.
- Kuravsky L. S., Baranov S. N. and Kravchuk T. E. Structure condition diagnostics based on the wavelet transform and relaxation networks // Proc. Condition Monitoring 2005. Cambridge, United Kingdom, 2005. P. 119–126.
- Lipmann R. An introduction to computing with neural nets // IEEE Acoustic, Speech and Signal Processing Magazine. 1987. № 2. P. 4–22.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ТРЕНАЖЕР – СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л. С. Куравский, А. А. Марголис, Г. А. Юрьев

Московский городской психолого-педагогический университет (Москва)
nezdeshni@gmail.com

Рассматривается принцип организации тренажера, используемого при обучении студентов-психологов, которым при работе с психометрическими методиками часто недостает наблюдений, что обусловлено необходимостью значительных затрат различного рода ресурсов, требуемых для получения полезной информации, а так же опыт его применения.

Ключевые слова: вероятностные нейронные сети, компьютерная модель, психометрические методики, радиальный базисный элемент.

Введение

Эффективность использования тренажерных систем при обучении специалистов позволяет говорить об актуальности разработки психологических тренажеров, позволяющих моделировать и исследовать на компьютере результаты, полученные с помощью психометрических методик для различных типов испытуемых (кон-

цепция этих систем предложена А. А. Марголисом). Несмотря на то, что психологические тренажеры не дают навыков непосредственной работы с респондентом и соблюдения необходимых процедур исследования, они формируют полезные базовые навыки работы с итоговым протоколом, позволяя при последующей практике в реальных условиях сосредоточиться на освоении особенностей работы с участниками тестирования.

К преимуществам этих обучающих систем также относятся:

- 1) интенсификация процесса обучения;
- 2) легкая адаптация под любые методики при наличии достаточной выборки;
- 3) возможность тиражирования полезного опыта путем использования для обучения тренажера результатов проверки вновь разработанных методик на тест-группах с их последующим занесением в базу данных;
- 4) повышение доступности знаний, необходимых для специалиста (в том числе путем генерации новых результатов тестирования при недостаточном объеме проведенных наблюдений);
- 5) развитие навыков самостоятельной работы у студентов;
- 6) разгрузка преподавателей от рутинной работы.

Принципы построения и особенности применения психологического тренажера

Тренажер предполагает работу с тестами закрытого типа, в которых испытуемый выбирает один из заранее заданных вариантов ответов, охватывая, в частности, практически все личностные опросники и большинство диагностических методик. После настройки на заданный тест или обучения психологический тренажер позволяет решать две основные задачи:

- 1) диагностировать типы испытуемых по распределениям их ответов на тест (прямая задача);
- 2) генерировать различные варианты ответов на тесты для испытуемых заданных типов (обратная задача).

Схема построения и особенности применения психологического тренажера представлены на рисунке 1. Основные возможности этой структуры, связанные со способностью диагностировать и обучаться по накопленным результатам испытаний, обеспечиваются организацией ее работы по правилам вероятностной нейронной сети.

Вероятностная нейронная сеть, использованная в тренажере, имеет три слоя: входной, радиальный и выходной (рисунок 2). Радиальный слой состоит из радиальных базисных элементов, каждый из которых соответствует одному из наблюдений обучающей выборки. Функции активации этих элементов представляют собой гауссовы функции с центрами в соответствующих наблюдениях:

$$f(r) = \exp(-r^2/s^2),$$

где $r = (\sum_{i=1, \dots, n} (x_i - w_i)^2)^{1/2}$ – расстояние в евклидовой метрике между вектором входного сигнала $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, представляющим распределение ответов на вопросы теста, и вектором $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, представляющим связанное с данным элементом распределение ответов из обучающей выборки; s -настраиваемый параметр.

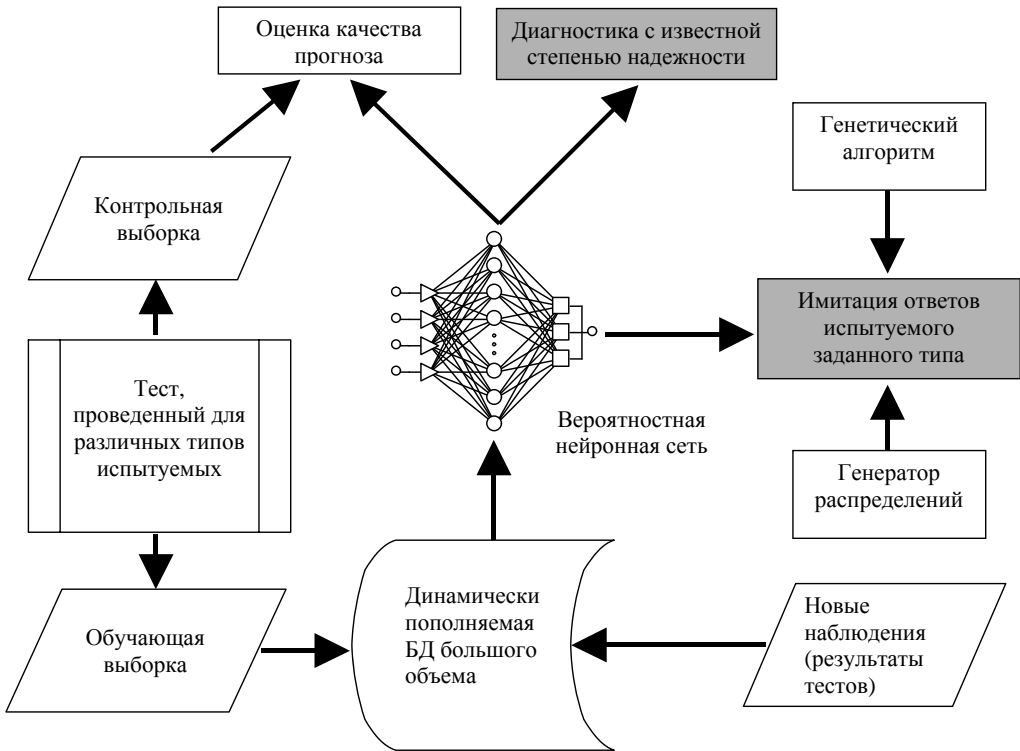


Рис. 1. Схема построения и особенности применения психологического тренажера

Каждому классу соответствует свой выходной элемент, соединенный со всеми радиальными базисными элементами, которые к нему относятся, и не связанный с остальными элементами радиального слоя.

Единственным параметром обучения использованной вероятностной нейронной сети является настраиваемый параметр s . В правильно обученной сети функции активации радиальных базисных элементов должны в определенной степени «перекрываться»: выбор небольших значений s приведет к отделенным друг от друга гауссовым функциям и неспособности сети к обобщению, а при слишком больших значениях s распознавание будет неустойчивым. Приемлемое значение этой величины можно найти на этапе обучения, подбирая его так, чтобы определенная далее усредненная среднеквадратическая ошибка классификации испытуемых по типам была минимальной. Следует отметить, что вероятностные сети не очень чувствительны к выбору данного параметра.

Для обучения тренажера необходима выборка ответов на тест закрытого типа для группы испытуемых. Распределение ответов для каждого испытуемого известного типа кодируется по правилу «Один-из- N » и запоминается в соответствующем радиальном базисном элементе вероятностной нейронной сети. При кодировании по этому правилу каждому вопросу, предполагающему N возможных вариантов ответов, ставится в соответствие N позиций, каждая из которых может содержать значение 0 или 1. Выбор i -го ответа на вопрос кодируется заданием единицы в i -й позиции и нулевых значений – во всех остальных. При указанном способе представления в данные не вносится искусственное отношение порядка.

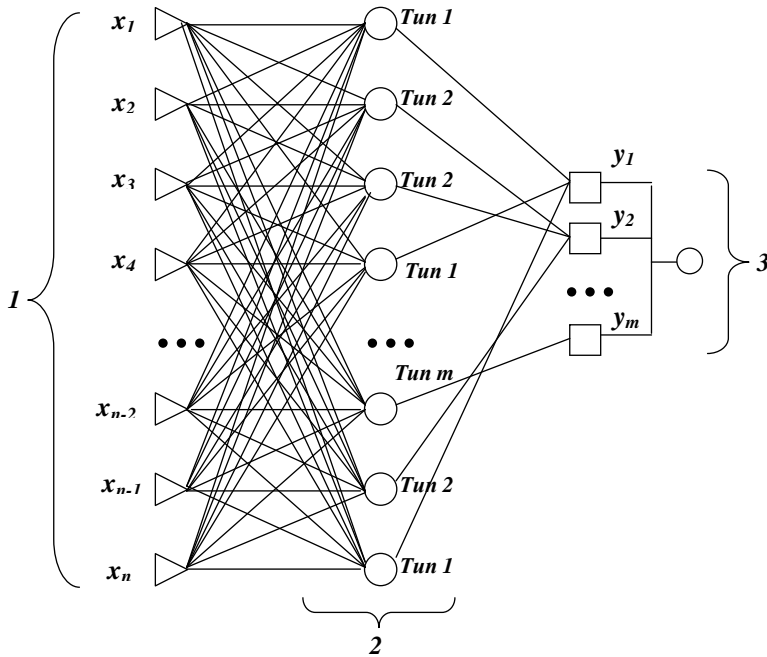


Рис. 2. Структура вероятностной нейронной сети: 1 – входной слой, на который подается закодированное по правилу «Один-из-N» распределение ответов испытуемого на вопросы теста; 2 – слой радиальных базисных элементов, каждый из которых соответствует наблюдаемому распределению ответов; 3 – выходной слой, каждый элемент которого соответствует типу испытуемых (кодирование по правилу «Один-из-N»)

Известные распределения ответов образуют банк данных, определяющий «диагностическую квалификацию» нейронной сети. Этот банк может пополняться по мере накопления информации о новых испытуемых. Особенности организации вероятностной нейронной сети позволяют накапливать подобную информацию без переобучения созданной структуры.

Сигналы, снимаемые с выходных элементов, как правило, могут принимать любые значения в диапазоне от 0 до 1. Ошибка ϵ распознавания типа испытуемого по его ответам на тест оценивается как евклидово расстояние между вектором выходных сигналов, представляющим вычисленные оценки вероятностей принадлежности к различным типам, и вектором, кодирующим наблюдаемый тип испытуемого по правилу «Один-из-N»:

$$\epsilon = (\sum_{i=1, \dots, m} (y_i - t_i)^2)^{1/2},$$

где m – число распознаваемых классов, вектор $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ представляет вычисленное распределение мер принадлежности испытуемого к различным типам, а вектор $t = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ – кодировку наблюдаемого типа испытуемого по указанному правилу. В качестве оценки качества классификации используется среднее квадратическое значение ϵ для контрольной тестовой выборки, элементы которой не использовались при обучении сети.

Полученная структура позволяет решать обратную задачу: создавать выборку ответов, характерных для заданного типа испытуемых.

Особенности программной реализации

Основными режимами работы с тренажером являются обучение, диагностика и имитация. В представленном режиме обучения вводится информация, необходимая для формирования вероятностной сети, а также название будущей методики, размерность выборки, число распознаваемых классов и число вопросов, составляющих методику. В процессе работы организуются два дополнительных диалога для ввода названий классов и данных о расположении вопросов на тестовом бланке, которые используются при формировании отчета. В режиме диагностики производится выбор используемой вероятностной сети, задается распределение ответов на вопросы теста в бинарной форме представления, также, если в этом есть необходимость, производится подбор оптимального значения свободного параметра функции активации.

В режиме имитации задаются используемая вероятностная сеть и диагностируемый класс, а также, если в этом есть необходимость, производится подбор оптимальных значений свободного параметра функции активации и параметра принятия решения.

Результаты применения

Разработанная концепция и программные средства применялись при работе с опросником для анализа семейных взаимоотношений (АСВ). Заложённая в нем методика разработана Э. Г. Эйдемиллером и В. В. Юстицкисом для оценки результатов воспитания ребенка.

Обучение тренажера проводилось на 400 бланках тестирования, проведенного кафедрой дошкольной педагогики и психологии факультета психологии образования МГППУ под руководством проф. И. А. Бурлаковой в 2007 г. При проверке валидности рассматриваемого подхода с помощью тренажера было сгенерировано 400 новых бланков, на которых была обучена новая вероятностная сеть, безошибочно проводившая диагностику на данных, не использованных при вторичном обучении, что подтвердило эффективность разработанной концепции.

Основные результаты и выводы

Разработан и программно реализован обучаемый психологический тренажер, обеспечивающий диагностику различных типов испытуемых и имитацию их ответов на тесты.

Основные возможности психологического тренажера и преимущества реализованной в нем концепции достигаются за счет организации работы этой структуры по правилам вероятностной нейронной сети и универсального формата представления результатов тестирования.

Результаты практического применения психологического тренажера при работе с опросником для анализа семейных взаимоотношений подтвердили целесообразность и эффективность концепции его использования в образовательном процессе.

Литература

Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение: Учеб. пособие. М.: ИПРЖР, 2001.

- Джесксон П. Введение в экспертные системы: Уч. пос. / Пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс», 2001.
- Джонс М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / Пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2004.
- Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2002.
- Куравский Л. С., Баранов С. Н., Малых С. Б. Нейронные сети в задачах прогнозирования, диагностики и анализа данных. М.: РУСАВИА, 2003.
- Куравский Л. С., Баранов С. Н., Корниенко П. А. Обучаемые многофакторные сети Маркова и их применение для исследования психологических характеристик // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. № 12. 2005. С. 65–76.
- Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. / Пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс», 2003.
- Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. М.: Горячая линия-Телеком, 2000.
- Эйдемиллер Э. Г., Юстицкис В. В. Анализа семейных взаимоотношений (АСВ).
- Kuravsky L. S., Baranov S. N. Synthesis of Markov networks for forecasting fatigue failures // Proc. Condition Monitoring 2003. Oxford, United Kingdom. July 2003. P. 76–91.
- Kuravsky L. S. and Baranov S. N. The concept of multifactor Markov networks and its application to forecasting and diagnostics of technical systems // Proc. Condition Monitoring 2005. Cambridge, United Kingdom. July 2005. P. 111–117.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА В НЕЙРОПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ПАТОЛОГИИ

Л. П. Лассан, Е. А. Вершинина***

* Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена (Санкт-Петербург)

** Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН (Санкт-Петербург)
lassan@mail.ru

Представлены результаты дискриминантного анализа нейропсихологического исследования когнитивных функций 78 больных гидроцефалией и 119 здоровых четырех возрастных групп: 7–9 лет, 10–12 лет, 13–15 лет и 16–18 лет. Обнаружена высокая вероятность правильного прогноза патологии. Для каждой возрастной категории рассчитана формула, позволяющая отнести каждого исследованного индивида либо к больным гидроцефалией, либо к здоровым.

Ключевые слова: дискриминантный анализ, гидроцефалия, когнитивные функции, школьный возраст.

Работы, посвященные освещению вопросов изменения психики при гидроцефалии, немногочисленны (Симерницкая, 1981; Ор Нејј, 1985; Берснев, 1993; Буклина, 1993). В них приводятся данные о том, что при водянке мозга может наблюдаться как нормальный уровень развития отдельных психических функций, так и полное отсутствие всяких признаков интеллекта. К характерным нарушениям психики больных гидроцефалией относят резонерство, эйфорию, нарушения внимания и инициативы, быструю утомляемость. Часто отмечаются нарушения

зрительного восприятия и пространственных представлений, которые диссоциируют с хорошим восприятием и запоминанием слуховых (как вербальных, так и невербальных) стимулов и прекрасным музыкальным слухом. Патология развития при гидроцефалии нередко обнаруживается только с возрастом: разница между реальными возможностями больного и тем, что он должен уметь делать, все больше возрастает (Симерницкая, 1985).

Представляется актуальным выявление алгоритма, позволяющего практическому психологу диагностировать нарушения когнитивных функций при гидроцефалии у больных разного возраста и дифференцировать их от нормы.

Данная работа основана на результатах ретроспективного анализа нейропсихологического исследования 78 пациентов в возрасте от 7 до 18 лет с врожденной гидроцефалией различной (неопухолового) генеза, среди них лиц мужского пола было 44 человека, женского – 34.

Изучение нарушений когнитивных функций предполагает сопоставление результатов с соответствующими нормальными показателями той же возрастной категории здоровых детей. Поэтому для возможности сравнения полученных данных с нормой была исследована тем же набором нейропсихологических методик контрольная группа 119 здоровых испытуемых, которые являлись учениками 1–10 классов средних школ Санкт-Петербурга. Критерием отбора служила успешность обучения.

С учетом специфики данного контингента больных были использованы стандартные психологические методики для изучения памяти и внимания (запоминание 10 слов и 9 трудно вербализуемых фигур, таблицы Шульте). Эти методики соответствовали важным и необходимым требованиям: простота и доступность выполнения заданий независимо от возраста, возможность по одной методике получить несколько характеристик психической деятельности, относительно небольшая продолжительность процедуры исследования (с учетом тяжести состояния больных). Особенности памяти изучали в зависимости от модальности запоминаемой информации, ее содержания и способа воспроизведения. Исследовались объем вербальной памяти (зрительной и слуховой) и зрительной пространственной в звене кратковременного и отсроченного воспроизведения. С целью исследования несформированности/нарушения письма, чтения, счета, экспрессивной и импрессивной речи, двигательной сферы (динамического праксиса, реципрокной координации), зрительного и тактильного восприятия использовались пробы из набора нейропсихологических тестов А. Р. Лурия (Хомская, 2006).

Для анализа были взяты 11 показателей когнитивных функций, из них 6 – памяти и внимания: объем краткосрочной слухоречевой памяти (КПсл1), объем воспроизведения после трехкратного повторения (успешность заучивания КПсл3), объем отсроченного воспроизведения (ДПсл), объем краткосрочной зрительной вербальной памяти (КПзр), объем краткосрочной зрительной пространственной памяти (КПо) и объем внимания (ОВ). Объем памяти определяли количеством правильно воспроизведенных слов или фигур. Объем внимания измеряли временем (в с) поиска чисел в таблицах Шульте (при дальнейшем анализе использовали не абсолютное значение объема внимания, а его логарифм, чтобы сделать симметричным распределение значений).

Навыки чтения, письма, счета, речевые функции (понимание речи, повторная речь, называние предметов), тактильный гнозис, зрительный предметный гнозис, зрительный пространственный гнозис, динамический праксис, реципрокную ко-

ординацию оценивали в баллах: 0 – нет нарушений, 1 – легкие нарушения, 2 – выраженные нарушения. Нарушения корковых функций в большинстве случаев были выражены слабо или, особенно у здоровых, отсутствовали (1 или 0 баллов). Поэтому 11 показателей объединены в четыре группы: чтение, письмо, счет – навыки; понимание речи, повторная речь, называние предметов – речь; зрительный предметный гнозис, зрительный пространственный гнозис, тактильный гнозис – восприятие (гнозис); динамический праксис, реципрокная координация – двигательная сфера (праксис). При дальнейшем анализе сравнения проводили между этими объединенными группами показателей.

Корреляционный анализ (с разбивкой по году) выявил сильную зависимость показателей психических функций от возраста, как в норме, так и при патологии головного мозга. Для возможности дальнейшего анализа, чтобы увеличить размер сравниваемых групп, все больные и здоровые были разделены на четыре возрастные группы: 1) 7–9 лет; 2) 10–12 лет; 3) 13–15 лет; 4) 16–18 лет. Корреляции внутри этих групп были значительно ниже, чем при корреляционном анализе по всем возрастам с разбивкой по году, это позволило рассматривать их как однородные выборки и сделало правомерным последующий анализ.

По возрастным группам дети и подростки распределились следующим образом: младший школьный возраст – 11 больных и 28 здоровых, предпубертатный возраст – 24 и 31, пубертатный возраст – 30 и 33, старший школьный возраст – 13 и 27 соответственно. Соотношение мальчиков и девочек в группах здоровых было равное, за исключением группы младших школьников 7–9 лет, где девочек оказалось в 2 раза больше (19 девочек и 9 мальчиков), что можно объяснить критерием отбора здоровых испытуемых.

Для разработки способа прогнозирования диагностики гидроцефалии по данным исследования когнитивных функций использован математический метод линейного дискриминантного анализа, который рассчитывает формулу (решающее правило), позволяющую отнести каждого исследованного ребенка к определенной группе (1-ая группа – больные гидроцефалией, 2-ая группа – здоровые), когда заранее неизвестно, к какой из групп он принадлежит. В результате применения этого метода получается линейная форма (называемая дискриминантной функцией) вида: $Y = C_0 + C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_k X_k$, где k – число показателей; $x_0, x_1, x_2, \dots, x_k$ – значения показателей конкретного обследованного; $c_0, c_1, c_2, \dots, c_k$ – коэффициенты при показателях, которые определяются в результате применения метода дискриминантного анализа. Если в результате подстановки данных $x_0, x_1, x_2, \dots, x_k$ для конкретного испытуемого в указанную линейную форму получается значение $Y \geq 0$, то его относят к первой группе, если $Y < 0$ – то ко второй.

В рамках дискриминантного анализа проведено сравнение средних значений показателей по критерию Wilks' Lambda в каждой возрастной группе между здоровыми и больными. Во всех возрастных группах выявлены высокозначимые различия (преимущественно $p \leq 0,001$) между всеми средними показателями больных с гидроцефалией и здоровых.

Обнаружены достаточно высокие канонические корреляции (Canonical correlation – корреляции между рассчитанными значениями дискриминантной функции и показателем принадлежности к группе): 0,938 в группе 7–9 лет, 0,854 в группе 10–12 лет, 0,777 в группе 13–15 лет, 0,801 в группе 16–18 лет.

Тест на различия средних значений дискриминантной функции (Wilks' Lambda) в обеих группах выявил очень высокие значимые различия между средними значе-

ниями дискриминантной функции в группе гидроцефалии и у здоровых, т. е. очень хорошую классификацию ($p < 0,001$) в каждой возрастной группе.

В практической работе задача сводится к тому, что психолог по результатам исследования когнитивных функций должен определить: какой из двух вариантов (норма или патология) наиболее вероятен для индивида. Для решения этой задачи при проведении дискриминантного анализа рассчитаны вероятности правильной и ошибочной классификации для каждой группы, т. е. вероятности, с которыми больной может попасть в группу здоровых и наоборот. На основании этих вероятностей можно судить о надежности прогноза (дискриминации).

Таблица 1
Вероятности правильной и ошибочной классификации
в каждой возрастной группе

Возрастная группа				Предсказанные		Всего
				гидроцефалия	здоровые	
7–9 лет	Исходные	Частота	гидроцефалия	11	0	11
			здоровые	0	28	28
		%	гидроцефалия	100,0	0	100,0
			здоровые	0	100,0	100,0
10–12 лет	Исходные	Частота	гидроцефалия	22	2	24
			здоровые	0	31	31
		%	гидроцефалия	91,7	8,3	100,0
			здоровые	0	100,0	100,0
13–15 лет	Исходные	Частота	гидроцефалия	26	4	30
			здоровые	1	32	33
		%	гидроцефалия	86,7	13,3	100,0
			здоровые	3,0	97,0	100,0
16–18 лет	Исходные	Частота	гидроцефалия	11	2	13
			здоровые	0	27	27
		%	гидроцефалия	84,6	15,4	100,0
			здоровые	,0	100,0	100,0

По формуле Байеса рассчитаны вероятности правильного прогноза в каждой возрастной группе: в 7–9 лет вероятность правильного прогноза 100,0%, во второй возрастной группе – 96,4%, в третьей – 92,1%, в четвертой – 95,0%.

В качестве иллюстрации высокой вероятности правильного прогноза на рисунках 1а–г представлены распределения дискриминантной функции в четырех возрастных группах с гидроцефалией и здоровых (с указанием значения дискриминирующей константы).

В рамках дискриминантного анализа получены канонические коэффициенты дискриминантного уравнения. По этим уравнениям можно рассчитывать значения дискриминантной функции для каждого индивида определенного возраста.

В результаты проведенного дискриминантного анализа для диагностики гидроцефалии на основании параметров когнитивных функций получены следующие диагностические формулы, которые можно использовать в практической работе при классификации здоровых и больных гидроцефалией, – это:

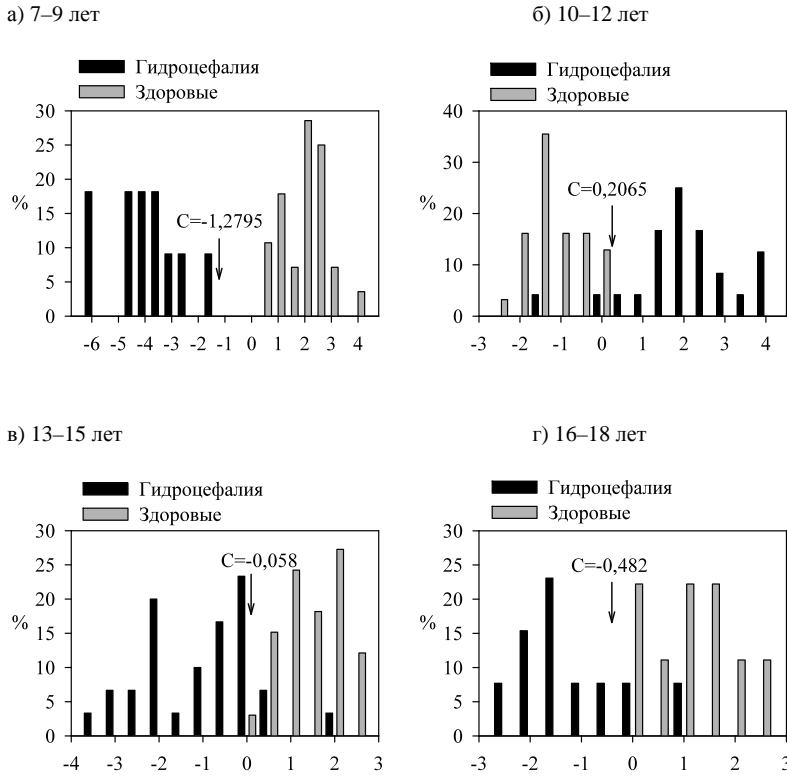


Рис. 1а-г. Распределения дискриминантной функции в четырех возрастных группах больных с гидроцефалией и здоровых

в возрасте 7–9 лет

$$y = -0,274 \cdot x_1 - 1,534 \cdot x_2 - 0,047 \cdot x_3 + 0,554 \cdot x_4 + 0,242 \cdot x_5 + 0,216 \cdot x_6 - 0,246 \cdot x_7 + 1,657 \cdot x_8 - 1,558 \cdot x_9 - 1,556 \cdot x_{10} - 0,595.$$

$C_1 = -1,2795$. Если $y \leq C_1$, то у ребенка гидроцефалия, если $y > C_1$, то ребенок относится к группе здоровых.

в возрасте 10–12 лет

$$y = 0,753 \cdot x_1 + 1,546 \cdot x_2 - 0,158 \cdot x_3 - 0,026 \cdot x_4 - 0,068 \cdot x_5 - 0,059 \cdot x_6 + 0,114 \cdot x_7 + 0,051 \cdot x_8 + 1,024 \cdot x_9 - 0,301 \cdot x_{10} - 3,943.$$

$C_2 = 0,2065$. Если $y \geq C_2$, то у ребенка гидроцефалия, если $y < C_2$, то ребенок относится к группе здоровых.

в возрасте 13–15 лет

$$y = -1,483 \cdot x_1 - 0,392 \cdot x_2 + 0,116 \cdot x_3 + 0,374 \cdot x_4 + 0,039 \cdot x_5 - 0,007 \cdot x_6 - 0,062 \cdot x_7 - 0,776 \cdot x_8 + 0,115 \cdot x_9 - 0,582 \cdot x_{10} + 3,592.$$

$C_3 = -0,058$. Если $y \leq C_3$, то у подростка гидроцефалия, если $y > C_3$, то подросток относится к группе здоровых.

в возрасте 16–18 лет

$$y = 0,594 \cdot x_1 - 1,437 \cdot x_2 + 0,437 \cdot x_3 + 0,167 \cdot x_4 - 0,055 \cdot x_5 + 0,421 \cdot x_6 - 0,403 \cdot x_7 + 2,153 \cdot x_8 + 1,347 \cdot x_9 - 3,571 \cdot x_{10} - 4,418.$$

$C_4 = -0,487$. Если $y \leq C_4$, то у подростка гидроцефалия, если $y > C_4$, то подросток относится к группе здоровых.

Таким образом, в каждой возрастной группе обнаружена высокая вероятность правильного прогноза классификации больных и здоровых, а также рассчитаны диагностические формулы при классификации здоровых и больных гидроцефалией для четырех возрастных групп. Работа показала высокую эффективность распознавания данной патологии на основании измерений параметров когнитивных функций при применении метода дискриминантного анализа.

Литература

- Берснев В. П., Хачатрян В. А., Лассан Л. П. Дифференциальная оценка психомоторного развития детей в диагностике и лечении врожденной гидроцефалии // Материалы научно-практической конференции, посвященной 30-летию нейрохирургического отделения республиканской клинической больницы. Махачкала, 1993. С. 36–37.
- Буклина С. Б., Филатов Ю. М., Мякота А. Е. Клинико-нейропсихологические обследования больных с арезорбтивной гидроцефалией // Вопросы нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко. 1993. Вып. 4. С. 21–24.
- Симерницкая Э. Г., Симерницкий Б. П. О нарушениях высших психических функций у больных с ранней гидроцефалией // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 1981. № 10. С. 1470–1474.
- Симерницкая Э. Г. Мозг человека и психические процессы в онтогенезе. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985.
- Хомская Е. Д. Нейропсихология: 4-е изд. СПб.: Питер, 2006. С. 441–466.
- Op Heij C. P., Remer W. O., Cabreils F. J. M. Intellectual sequelae of primary non-obstructive hydrocephalus in infancy: Analysis of 50 cases // Clin. Neurol. Neurosurg. 1985. V. 87. № 4. P. 247–253.
- Tabachnick B. G., Fidell L. S. Using Multivariate Statistics // HarperCollins College Publishers. 1996. P. 507–574.

ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА НАПРАВЛЕНИЕМ ВЗОРА НАБЛЮДАТЕЛЯ¹

А. А. Малыхин, В. А. Барабанщиков

Институт психологии РАН, Центр экспериментальной психологии МГППУ
0.1.2.3.4.5.6.7@mail.ru

Изложены результаты тестирования возможностей и границ применимости подвижного айтрекера IVIEW X™ HED (SMI). Определены: а) среднее отклонение указателя направления взора от положения реального объекта для расстояний 0,75 м и 1,5 м; б) стандартное отклонение при направленности взора в одну точку на манекене и живом глазе; в) природа и величина ошибки параллакса в системе.

Ключевые слова: айтрекинг, SMI, IVIEW X™ HED, двигательный параллакс, чувствительность айтрекера, точность регистрации направленности взора.

Направленность взора человека изучается в экспериментальной психологии с середины XIX в. В течение столетия было разработано несколько методик, каждая из которых обладала определенными преимуществами и недостатками.

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект N08-06-00316а, 09-06-12003 офи-м.

К числу наиболее точных относятся контактные, предполагающие укрепление присосок, контактных линз либо колец непосредственно на глазное яблоко (Барбанщиков, 1997). В последние годы с развитием информационных технологий и принципов видеосъемки широкое распространение получили методики, основанные на анализе положения зрачка, получаемого из видеоданных, и последующем расчете направления взгляда (айтрекинг). С помощью видеокамер небольших размеров и веса оказалось возможным расширить границы исследований движений глаз и использовать неконтактные методы регистрации в новом классе подвижных приборов. Мобильные айтрекеры без труда устанавливаются на голове испытуемого, не мешают его естественным движениям и поведению, позволяя тем самым приблизиться к проведению эксперимента в экологически валидных условиях.

Вопрос о границах применимости айтрекеров, использующих метод видеорегистрации положений зрачка (Guestrin, Eizenman, 2006), до сих пор остается открытым.

Методика

В нашем исследовании апробация возможностей «подвижного» метода регистрации движений глаз, проводилась на аппарате IView X™ HED производства немецкой компании SensoMotoric Instruments (SMI), принадлежащем Центру экспериментальной психологии МГППУ.

Принцип работы данного аппарата заключается в видеорегистрации смещений зрачка и блика, от направленного в глаз источника ИК-излучения. На роговице образуется блик, видимый камере как светлое пятно, зрачок распознается как черное. Регистрация ведется на одном глазе. Чтобы не загромождать испытуемому взор, используется зеркало, прозрачное для видимого спектра. На рисунке обозначены: **d** – камера, снимающая панораму перед испытуемым, на которую накладывается указатель направления взгляда; **d** – глаз испытуемого, с которого с помощью камеры **f** снимается положение зрачка и положение блика на роговице от источника ИК-излучения **h, g** – ИК-зеркало. При калибровке испытуемому предлагается посмотреть последовательно на 5 (или 13 для большей точности) точек, попадающих в поле



Рис. 1. Айтрекер IView X™ HED SMI в рабочем положении

контрольного монитора и совпадающих с соответствующими указателями на нем, при этом фиксируется положение глаза по координатам центров зрачка и роговичного блика. Таким образом устанавливается взаимное соответствие между изображением на экране контрольного монитора и направлением взгляда испытуемого. Основные характеристики прибора: частота кадров видеосъемки поверхности глаза 50 Гц/200 Гц, рабочая точность определения направленности взгляда $0,5^{\circ}$ – 1° , результатом работы является видео файл формата avi с графическим указателем положения взгляда для каждого кадра (рисунок 2).

Алгоритм работы на приборе, предлагаемый производителем, включает следующие шаги: установка и закрепление прибора на голове испытуемого, калибровка айтрекера на заданных условиях эксперимента расстоянии, сбор данных, освобождение испытуемого от прибора.

Попробуем выяснить, что происходит, если испытуемый отслеживает объект, перемещающийся в третьем измерении (в глубину), либо при приближении/удалении к объекту самого испытуемого. Производитель рекомендует осуществлять калибровку на таком же расстоянии, на котором будет происходить сбор данных. Но бывают случаи, когда этого недостаточно и исследователь вынужден столкнуться с подобной ситуацией.

Авторы провели ряд тестов, направленных на установление предельных возможностей мобильного айтрекера. Были выбраны два наиболее типичных расстояния, при которых происходит сбор окуломоторных данных: ближняя и дальняя зоны – 0,75 и 1,5 м соответственно. Испытуемый находился в положении «сидя», а его голова фиксировалась с помощью подбородника. Регистрация движений левого глаза велась с помощью аппаратуры IVIEW X™ HED, SMI. Испытуемому экспонировались две таблицы (по одной на каждую зону), расположенные на одной оси и увеличивающие свои размеры, пропорционально удаленности так, чтобы каждая таблица занимала в поле зрения приблизительно одну и ту же рабочую область (по горизонтали около 30°). Таблицы состояли из пяти строк и пяти столбцов, размеры таблиц 752×480 мм для 1,5 м и 376×240 мм для 0,75 м соответственно. Объекты в таблицах представляли из себя круги диаметром до 5 мм красного цвета с выколотыми центрами (белый круг диаметром до 2 мм). Испытуемому предлага-

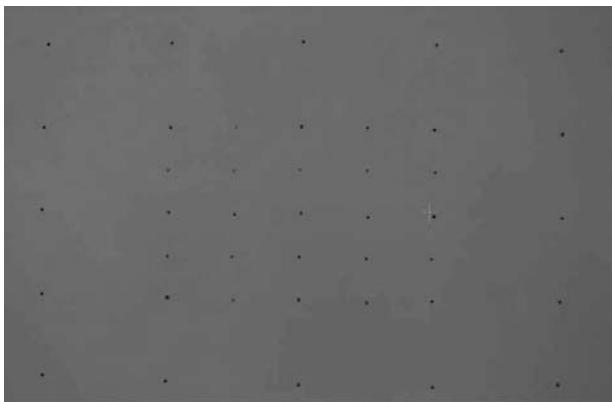


Рис. 2. Поле зрения наблюдателя с указателем направления взгляда (крест). Съемка таблицы с расстояния 1,5 м

лось последовательно фиксировать положение взора на кругах. После выполнения задания проводился анализ отклонений направления взора от расположения кругов в таблицах.

Проведено 10 замеров, по 5 для каждой зоны. Пробы с минимальными и максимальными средними значениями для каждой зоны были отброшены. Таким образом в расчет брались данные из трех тестов на расстоянии 0,75 м и трех на расстоянии 1,5 м, по 25 точек в каждом: соответственно усреднение проводилось по 150 результатам.

Результаты апробации

Согласно полученным данным, средняя точность составила 10,42 пикселей для расстояния 0,75 м и 16,09 пикселей для расстояния 1,5 м. Средняя ошибка прибора: 13,26 пикселей или $0,6^\circ$, что укладывается в размер точности, заявленной производителем аппаратуры (в видеофайле данных эта величина приблизительно совпадает с длиной луча крестика, являющегося указателем направленности взора (рисунок 2). При проведении замеров на расстоянии, отличающемся от калибровочного, возникающая ошибка изменяется по линейному закону, что говорит об ошибке параллакса. Также были проведены измерения на глазе манекена и глазе испытуемого, смотрящего в одну точку, длительностью около 30 с. Стандартное

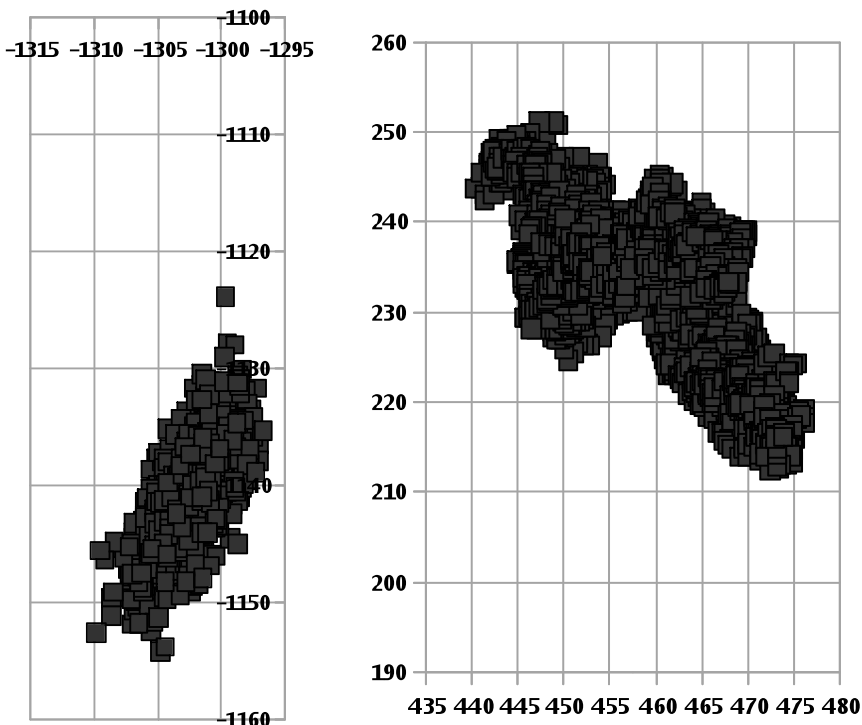


Рис. 3. Фиксация взора на неподвижной точке в условиях искусственного (слева) и живого (справа) глаз, координаты даны в пикселях

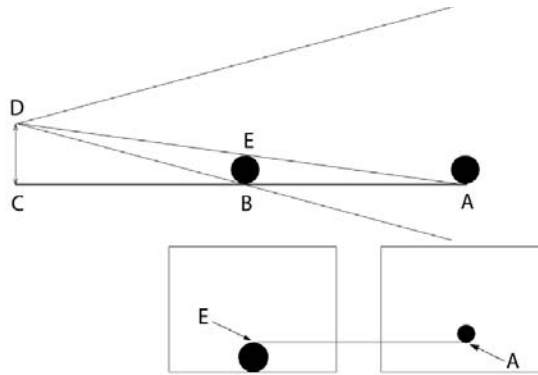


Рис. 4. Схема возникновения ошибки параллакса

отклонение составило $S = 3,1$ пикселей ($S = 0,16^\circ$) для манекена и $S = 7,84$ пикселя ($S = 0,4^\circ$) для живого глаза (рисунок 3).

Упрощенная схема эффекта параллакса представлена на рисунке 4. Природа его появления в том, что оптические оси внешней камеры, снимающей предметы в поле зрения испытуемого, и глаза исходят из разных точек пространства, удаленных друг от друга на расстояние, сравнимое с линейными размерами наблюдаемых объектов и их удаленностью.

Расстояние между точками расположения глаза (C) испытуемого и камеры слежения (D) занимает нескольких сантиметров. Первоначально объект предъ-является в дальней зоне наблюдения – в точке «А». Пусть испытуемый фиксирует нижнюю грань объекта (CA), тогда после калибровки на экране контрольного дисплея можно увидеть картинку, как на рисунке справа: где стрелкой указана точка, куда согласно прибору направлен взор испытуемого (DA). Если переместить объект ближе к испытуемому в два раза, его изображение увеличится вдвое, но направленность глаз не изменится. Глядя на левое изображение экрана на рисунке, нетрудно заметить рассогласование между направлением взора, как его презентирует прибор, и реальным направлением глаз испытуемого: наблюдатель по-прежнему смотрит на нижнюю границу шара, а прибор тем временем указывает на верхнюю.

С помощью несложных вычислений можно оценить величину ошибки, возникающей вследствие эффекта параллакса. Если CD – среднее расстояние между положением зрачка и объектива смотрящей вперед камеры. CA – расстояние на котором делалась калибровка, CB – расстояние от испытуемого до объекта в ходе эксперимента, то тогда величина ошибки (BE) может быть рассчитана по формуле $BE = CD \cdot (CA - CB) / CA$.

В данном случае: CD = 100 мм, CA = 1500 мм, CB = 750 мм, следовательно величина ошибки (BE) = 50 мм, что составляет для длиннофокусного объектива $f = 8$ мм около 8 пикселей ($0,45^\circ$) с расстояния 0,75 м.

Таким образом, используя мобильный айтрекер, исследователь сталкивается с возможностью появления ошибки, которая по величине может превосходить аппаратную в несколько раз. К счастью, эффект параллакса можно устранить или учесть. Решит проблему, например, совмещение в приборе оптических осей глаза и камеры наблюдения через систему зеркал. Учет ошибки возможен, по простой формуле: $BE = CD \cdot (CA - CB) / CA$, где для данной калибровки константами являются все пере-

менные, кроме СВ, которую можно получить: используя знание о расположении объекта в каждый момент времени, используя спецтехнику для определения расстояний или вычислив это расстояние на основе информации о вергентных движениях глаз испытуемого.

Выводы

Апробация возможностей подвижного айтрекера IView X™ HED показала, что:

- 1 На небольших расстояниях (несколько метров) прибор возможно использовать только для демонстрации стимульного материала в одной, заранее фиксируемой плоскости.
- 2 Получены значения погрешности измерений для неподвижного искусственного ($0,16^\circ$), условно неподвижного живого ($0,4^\circ$) и аппаратной ошибки для подвижного живого глаза ($0,6^\circ$).
- 3 Предложены методы нивелирования ошибки параллакса и, следовательно, повышения точности аппаратуры.

Литература

- Барабанщиков В. А. Окуломоторные структуры восприятия. М.: Изд-во ИП РАН, 1997.
- Guestrin E. D. and Eizenman M. General Theory of Remote Gaze Estimation Using the Pupil Center and Corneal Reflections, IEEE Transactions on Biomedical Engineering. V. 53. № 6. 2006. P. 1124–1133.
- SMI. SensoMotoric Instruments GmbH, Telto., 2002. <http://www.smivision.com>.

КОНФИРМАТОРНЫЙ ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА

П. А. Мармалюк

Московский городской психолого-педагогический университет, факультет
информационных технологий (Москва)
ykk.mail@gmail.com

Представлен новый метод, позволяющий проводить анализ результатов лонгитюдных исследований или данных мониторинга и выявлять факторы, влияющие на наблюдаемые характеристики, определять наличие и значимость связей между выявленными факторами, оценивать степень адекватности прикладных факторных моделей, используя статистические критерии согласия, а также новый критерий, позволяющий снять с результатов наблюдений ограничения, связанные с их вероятностным распределением.

Ключевые слова: мониторинг, лонгитюдные исследования, подтверждающий факторный анализ, вейвлет-анализ, сети Кохонена, критерий согласия χ^2 .

Разработан новый подход (Куравский, Мармалюк, Баранов, Абрамочкина, Петрова, 2009; Куравский, Мармалюк, Абрамочкина, Петрова, 2009; Kuravsky et al., 2008), опирающийся на возможности вейвлет-преобразований и идентификации



Рис. 1. Основные этапы альтернативного конфирматорного факторного анализа результатов вейвлет-преобразований

руемых факторных структур, который позволяет проводить конфирматорный факторный анализ результатов лонгитюдных исследований или данных мониторинга.

Основные этапы предлагаемого подхода представлены на рисунке 1.

Предлагаемый вариант конфирматорного факторного анализа позволяет находить единственное оптимальное решение задачи идентификации свободных параметров факторной модели прямым (неитерационным) методом. Процедура анализа включает в себя следующие этапы:

- преобразование исходных данных с помощью дискретного вейвлет-преобразования, позволяющего сократить размерность анализируемых временных рядов наблюдаемых характеристик с минимальными потерями полезной эмпирической информации;
- составление переопределенной системы алгебраических уравнений, выражая выборочные дисперсии и ковариации через аналогичные факторные показатели, используя модель дисперсионных составляющих;
- выявление и устранение зависимых свободных параметров модели, которые обуславливают вырожденность матрицы системы;
- решение полученной системы прямым (неитерационным) методом;
- проверку адекватности полученной модели наблюдениям, с опорой на статистические критерии согласия или на новый критерий адекватности, использующий возможности самоорганизующихся карт признаков Кохонена;
- построение заключений о статистической значимости различных компонентов прикладной модели;
- оценка факторных влияний на изменчивость наблюдаемых характеристик и показателей факторного взаимодействия (ковариации или корреляции между факторами).

Вейвлет-преобразования

Рабочие представления анализируемых временных рядов наблюдаемых параметров формируются с помощью дискретного вейвлет-преобразования, которое позволяет выявлять различия в характеристиках процесса на различных шкалах измерений и на всем протяжении интервала наблюдений.

Если исследуемый процесс есть функция одной переменной, то его вейвлет-спектр – функция двух аргументов, один из которых характеризует период составляющих компонентов, а другой – смещение вычисляемых показателей вдоль оси времени. Вейвлет-преобразование имеет очевидные преимущества перед традиционным преобразованием Фурье, поскольку он обеспечивает корректные результаты в случае нестационарных процессов и содержит более полную информацию о поведении изучаемого процесса. Это сделало данный подход популярным среди исследователей разных специальностей.

Состав вейвлет-коэффициентов, используемых при анализе в качестве наблюдаемых переменных, зависит от рассматриваемой прикладной задачи и может меняться. Обычно предполагается, что число моментов времени, в которые производятся наблюдения, является степенью числа 2.

Модель дисперсионных составляющих

Для создания прикладных факторных моделей применяются модели дисперсионных составляющих (Neale, Cardon, 1992), типовой вариант которых представлен на рисунке 2.

В случае модели дисперсионных составляющих аналитические выражения для ковариаций и дисперсий вейвлет-коэффициентов W_i являются линейными:

$$\text{Cov}(W_i, W_j) = \sum_k C_{kij}, \quad \text{Var}(W_i) = \sum_k V_k + \sum_k \sum_l C_{kl},$$

где k и l – индексы факторов, V_* – дисперсии, C_{**} и C_{***} – ковариации между факторами. Линейность выражений дает возможность получать оценки свободных параметров прямым методом, который описан далее.

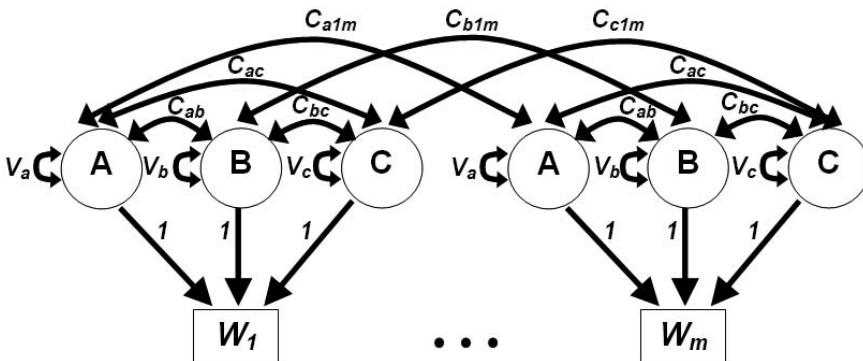


Рис. 2. Модель дисперсионных составляющих, представленная путевой диаграммой: А, В, С – латентные гипотетические факторы; W_m – вейвлет-коэффициенты, соответствующие различным периодам наблюдений

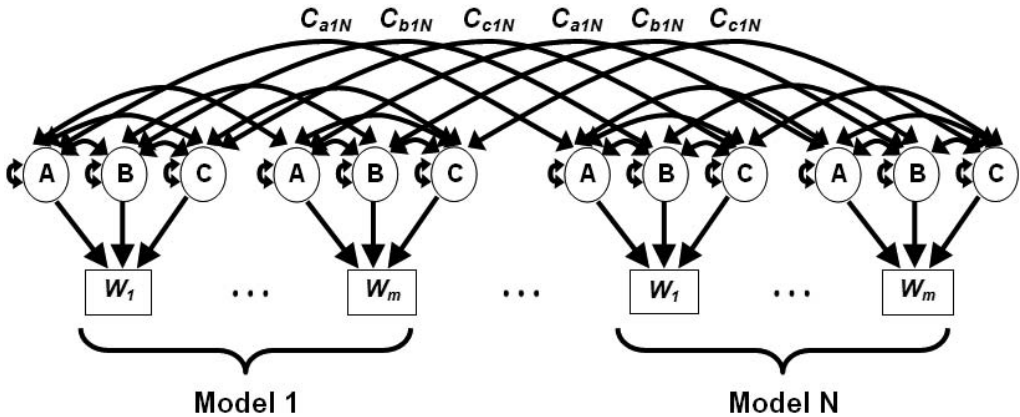


Рис. 3. Изучение факторных влияний в различных условиях: одновременный анализ различных групп моделей

Модель дисперсионных составляющих может принимать различные частные формы. Например, при изучении факторных влияний в различных условиях может быть полезен одновременный анализ различных групп моделей (рисунок 3).

Число степеней свободы, выражающее степень переопределенности модели (число дополнительных свободных параметров, которые могут быть включены в модель), является важной характеристикой возможностей ее практического применения. Сравнение числа степеней свободы для различных типов моделей (симплекс-модели, модели путевых коэффициентов и модели дисперсионных составляющих) показало, что наилучшими в смысле переопределенности обычно оказываются модели дисперсионных составляющих (Куравский, Мармалюк, Баранов, Абрамочкина, Петрова, 2009).

Идентификация свободных параметров модели

При использовании модели дисперсионных составляющих каждой наблюдаемой дисперсии и ковариации ставится в соответствие алгебраическое уравнение, которое связывает ее выборочную оценку с соответствующей прогнозируемой величиной, выраженной аналитически через неопределенные дисперсии и ковариации латентных переменных (Bollen, 1989). В результате получается система, число уравнений которой равно числу наблюдаемых дисперсий и ковариаций.

Для вычисления оценок максимального правдоподобия и проверки адекватности модели необходимо, чтобы значения наблюдаемых переменных описывались многомерным нормальным распределением, а число уравнений в исследуемой системе превышало число свободных параметров модели.

Представим полученную переопределенную систему n уравнений в матричной форме:

$$Ax = b,$$

где A – матрица системы, коэффициенты которой определяются факторной моделью; b – вектор-столбец n выборочных дисперсий и ковариаций, определяемых результатами наблюдений; x – вектор-столбец m искомых дисперсий и ковариаций латентных переменных.

Если рассматриваемая система невырождена (т. е. ранг матрицы системы равен числу свободных параметров модели), значения наблюдаемых переменных описываются многомерным нормальным распределением, а псевдорешение

$$\mathbf{x}_* = (\mathbf{A}_0^T \mathbf{A}_0)^{-1} \mathbf{A}_0^T \mathbf{b}_0 = (\mathbf{A}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{b}$$

получено методом наименьших квадратов, то вектор невязки ϵ_0 имеет многомерное нормальное распределение, а само псевдорешение является оценкой максимального правдоподобия. При этом статистика

$$X^2 = (\mathbf{b}_0 - \mathbf{A}_0 \mathbf{x}_*)^T (\mathbf{b}_0 - \mathbf{A}_0 \mathbf{x}_*) / \sigma^2 = (\mathbf{b} - \mathbf{A} \mathbf{x}_*)^T \mathbf{V}^{-1} (\mathbf{b} - \mathbf{A} \mathbf{x}_*) / \sigma^2$$

имеет распределение χ^2 с $n - m$ степенями свободы (Королюк, Портенко, Скороход, Турбин, 1985).

Выявление зависимых свободных параметров модели

Если модель, построенная для решения прикладной задачи, приводит к матрице системы, ранг которой меньше, чем число свободных параметров, то псевдорешение не может быть вычислено однозначно из-за вырожденности матрицы $\mathbf{A}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{A}$. В этом случае следует уменьшить число свободных параметров модели, исключив зависимые, и обеспечить таким образом невырожденность указанной матрицы.

Число подлежащих сокращению параметров равно дефекту матрицы $\mathbf{A}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{A}$. В наиболее полной статье, посвященной данному подходу (Куравский, Мармалюк, Баранов, Абрамочкина, Петрова, 2009), показано, как при помощи вращения базиса собственного подпространства матрицы $\mathbf{A}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{A}$ можно выявить зависимые свободные параметры. Исключение выявленных параметров путем выражения их через независимые характеристики или присваивания постоянных значений обычно приводит к устранению дефекта матрицы $\mathbf{A}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{A}$.

Если эти преобразования приводят к явно неприемлемой модели, то можно, сохранив ее первоначальное представление, вычислить псевдорешение приближенно, используя итерационный метод Гаусса–Зейделя или другие подходящие методы решения систем уравнений с вырожденными матрицами.

Степень адекватности модели наблюдениям и значимость компонентов модели

Указанная статистика X^2 позволяет, при условии, что рассматриваемая система невырождена, а значения наблюдаемых переменных описываются многомерным нормальным распределением, проверять гипотезу о представимости выборочных дисперсий и ковариаций, составляющих вектор \mathbf{b} , дисперсиями и ковариациями латентных переменных исследуемой модели. Область принятия гипотезы есть $X^2 \leq \chi^2_{n-m; \alpha}$, где α есть уровень значимости критерия.

Как и в традиционном конфирматорном факторном анализе, рассматриваемый метод дает возможность строить заключения о статистической значимости различных компонентов модели, используя статистические критерии согласия.

Для этого следует сравнить статистики X^2 для двух моделей: полной модели, содержащей исследуемый компонент, и упрощенной модели, в которой этот ком-

понент отсутствует. Гипотезу о том, что полная модель согласуется с результатами наблюдений, будем обозначать как H_f . Выявление степени значимости исследуемого компонента производится, если отвергать гипотезу H_f нет оснований. Сначала следует оценить свободные параметры упрощенной модели. Полученное значение статистики X^2 для упрощенной модели сравнивается с аналогичной характеристикой для полной модели.

Поскольку разность указанных статистик асимптотически распределена как χ^2 с числом степеней свободы, равным разности в числах степеней свободы полной и упрощенной моделей, эта разность используется для проверки нулевой гипотезы H_f о том, что упрощенная модель согласуется с результатами наблюдений, против альтернативной гипотезы H_f .

Если гипотеза H_f не отвергается при заданном уровне значимости, то исследуемый компонент признается статистически незначимым и делается вывод о том, что имеющиеся данные не свидетельствуют о его влиянии на данную характеристику. Если гипотеза H_f отвергается (а гипотеза H_f принимается), то можно говорить о влиянии исследуемого компонента на эту характеристику.

Новый способ оценки степени адекватности факторных моделей

Использование метода максимального правдоподобия для идентификации значений свободных параметров и оценки степени адекватности модели предполагает проверку многомерной нормальности распределения как наблюдаемых переменных, так и компонентов вектора невязки. Эта процедура является трудоемкой и зачастую невозможной из-за малой выборки исследуемых данных. Для преодоления этой проблемы предлагается новая технология (Kuravsky et al., 2009; Мармалюк, 2010), которая использует возможности самоорганизующихся карт признаков Кохонена (Галушкин, 2000).

Оценка степени адекватности основывается на сравнении вектора невязки псевдорешения $\varepsilon = Ax - b$ с выборкой случайных векторов невязки $\varepsilon_r = Ax_r - Ax_r$, где x_r – это выборочная оценка псевдорешения, в которой определенный процент случайных компонентов выходит за рамки доверительных интервалов. Векторы невязки ε и ε_r подсчитываются по рассматриваемой факторной модели.

Выборка случайных векторов невязки ε_r используется для обучения самоорганизующихся карт признаков подходящей размерности, а затем для получения наборов евклидовых расстояний между векторами невязки ε_r , используемых в качестве входных данных, и центрами (весовыми векторами) нейронов – победителей обученной сети.

Принимая во внимание метрику евклидова расстояния и высокую размерность векторов невязки, типичную для практических задач, по центральной предельной теореме, наборы полученных расстояний нормально распределены.

Оценки средних значений и дисперсий полученных наборов идентифицируют полученные распределения и позволяют вычислить вероятность превысить расстояние между вектором невязки псевдорешения ε и соответствующим центром нейрона-победителя, что делает возможным оценить степень адекватности модели. Сравнение распределений расстояний для различных процентных соотношений позволяет выявить наиболее правдоподобную покомпонентную структуру статистически значимых отклонений от вектора невязки псевдорешения ε .

Интерпретация результатов

Интерпретация результатов рассмотренного варианта конфирматорного факторного анализа обычно опирается на:

- оценки свободных факторных дисперсий и ковариаций;
- оценки свободных корреляций между различными факторами в одни и те же моменты времени;
- оценки свободных корреляций между одинаковыми факторами в разные моменты времени;
- оценки статистической значимости различных компонентов модели.

Соответствующие примеры могут быть найдены в статьях о применении рассмотренного подхода (Куравский, Мармалюк, Абрамочкина, Петрова, 2009; Куравский, Юревич, Мармалюк, Иванова, 2010; Мармалюк, Федулов, Куравский, Юсов, 2010).

Литература

- Галушкин А. И. Теория нейронных сетей: Учеб. пособие. М.: ИПРЖР, 2000.
- Корольюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М.: Наука, 1985.
- Куравский Л. С., Мармалюк П. А., Баранов С. Н., Абрамочкина В. И., Петрова Е. А. Факторный анализ результатов вейвлет-преобразований лонгитюдных данных как новый метод исследования динамических характеристик сложных систем // *Нейрокомпьютеры: разработка и применение*. 2009. №9. С. 5–19.
- Куравский Л. С., Мармалюк П. А., Абрамочкина В. И., Петрова Е. А. Применение факторного анализа результатов вейвлет-преобразований для исследования динамики психологических характеристик // *Экспериментальная психология*. 2009. Т. 2. № 1. С. 97–111.
- Куравский Л. С., Мармалюк П. А., Абрамочкина В. И., Петрова Е. А. Применение факторного анализа результатов вейвлет-преобразований для исследования динамики психологических характеристик // *Экспериментальная психология*. 2009. Т. 2. № 1. С. 97–111.
- Куравский Л. С., Юревич А. В., Мармалюк П. А., Иванова Е. Г. Факторный анализ показателей нравственного состояния общества в европейских странах // *Психологическая наука и образование*. 2010. № 1.
- Мармалюк П. А. Оценка степени адекватности факторных моделей с помощью самоорганизующихся карт признаков Кохонена // *Нейрокомпьютеры: разработка и применение*. 2010. № 10 (в печати).
- Мармалюк П. А., Федулов Ю. Г., Куравский Л. С., Юсов А. Б. Применение факторных моделей для определения весовых коэффициентов в когнитивных картах на основе экспертных оценок // *Сборник тезисов конференции «Ситуационные центры 2010»*. М.: РАГС, 2010.
- Bollen K. A. *Structural equations with latent variables*. New York: John Wiley, 1989.
- Kuravsky L. S. and Baranov S. N. Development of the wavelet-based confirmatory factor analysis for monitoring of system factors // *Proc. 5th International Conference on Condition Monitoring & Machinery Failure Prevention Technologies*. Edinburgh, United Kingdom. July 2008. P. 818–834.
- Kuravsky L. S., Baranov S. N. and Baranov N. I. Wavelet-based confirmatory factor analysis for monitoring of system factors: estimating goodness-of-fit measures with the aid of self-organizing feature maps // *Proc. 6th International Conference on Condition Monitoring & Machinery Failure Prevention Technologies*. Dublin, Ireland. June 2009. P. 224–245.
- Neale M. C., Cardon L. R. *Methodology for genetic studies of twins and families* // Dordrecht, the Netherlands. Kluwer Academic Publishers, 1992.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАУЗАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ¹

О. В. Митина

МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва)

omitina@inbox.ru

Рассматривается методология анализа детерминационных связей с точки зрения конечной цели ее использования. Разбираются виды переменных связанных с детерминациями. Вводится понятие каузального поля. Приводятся различные количественные методы пригодные для анализа экспериментальных данных, получаемых в исследовании каузальных связей.

Ключевые слова: детерминационные связи, количественные методы, влияние, эффект, медиатор, модератор.

Установление каузальных связей между переменными (синоним детерминационные, причинные), наверное, одна из самых важных задач в исследовательской психологии. Психотерапевт стремится добиться максимального эффекта в ходе работы с клиентом (т. е. знать, что определяет успешность), школьный психолог старается установить причины плохой успеваемости и/или дезадаптивного поведения ученика. Специалист в рекрутинговом агентстве должен заранее предсказать, будет ли человек хорошим работником на предприятии, на которое его направляют. Как пройдут политические выборы, что влияет на психологический климат в коллективе, будет ли иметь эффект реклама – это лишь только отдельные примеры множества задач, связанных с выявлением причинно-следственных связей и установлением условий достижения желаемого результата.

Понятие каузальности достаточно широкое. По этой причине не существует единого подхода к ее исследованию (Asher, 1983; Steyer et al., 2010; Галицкий, 2001). Для строгости введем следующие определения. Будем говорить о наличии воздействия (причинного фактора) X , который должен каким-то образом влиять на результат (отклик) Y . Нужно установить, действительно ли эта связь имеет место, существуют ли какие-то иные переменные участвующие в этой связи (модераторы (M_o), влияющие на характер этой связи, и медиаторы (M_e), эту связь опосредующие). По отношению к указанным переменным должна выполняться следующая хронология: фактор X должен быть совершен ранее отклика Y . Модератор M_o фиксируется ранее наступления фактора X или, по крайней мере, вместе с ним, медиатор по хронологии стоит между X и Y .

Поскольку исследование причинных связей имеет смысл тогда, когда есть обоснованное предположение, что изучаемый феномен проявляется в определенных жизненных ситуациях, в определенных видах деятельности, то первое основание классификации относится к целям, в соответствии с которыми можно говорить о прагматическом (ориентированном на практическую ценность, полезность) и исследовательском (интересует вся феноменология данной связи, максимальная полнота учета всех переменных) подходах исследования каузальности.

В первом случае можно говорить о текущей (одновременной) причинности: информация о наступлении результата Y собирается непосредственно после воздействия X . В случае, когда информация о наступлении результата Y собирается через значимо длительный промежуток времени после воздействия X , то речь идет об отложенной причинности. Ретроспективная причинность аналогична отложен-

1 Работа выполнена при поддержке РФФИ. Проект № 08-06-001-176А.

ной причинности с той лишь разницей, что информация о наступлении результата Y собирается в настоящий момент, а данные о воздействии черпаются из источников, относящихся к прошлым этапам.

Но исследователя может интересовать сам феномен, задаваемый связкой $X \Rightarrow Y$ в большей степени научный аспект, а не только практическое применение. Тогда изучаются и все смежные взаимосвязи: множество иных независимых переменных $\{X'\}$, которые также могут влиять на Y , множество других переменных $\{Y'\}$, зависящих от X , все возможные модераторы и медиаторы. Все выявленные таким образом переменные и взаимосвязи между ними можно назвать каузальным полем.

Каузальное поле характеризует те или иные поведенческие и другие индивидуальные и средовые реакции, характеристики в широких психологических понятиях, позволяет с психологических позиций закономерно объяснить устанавливаемые результаты и их дисперсию, обосновать связи, введя их в систему психологических категорий, делать прогнозы в более широких пределах, чем это задается областью деятельности, для которой определялась прагматичная каузальность. Чтобы определить это поле, необходимо исходя из содержательных соображений обосновать входящие в него переменные, а затем проверить факт экспериментально. Вместе с тем бывают ситуации, что какие-то взаимосвязи устанавливаются в ходе анализа экспериментальных данных. Но в этом случае нужны последующие подтверждения и обоснования. При построении каузального поля полезным бывает установить, что родственные характеристики, содержательно близкие характеристики как для X , так и для Y , также демонстрируют наличие каузальной связи, наоборот, далекие по смыслу переменные не должны ни влиять на Y , ни зависеть от X . Если все же установлены какие-то факты, которые трудно объяснить, то, по крайней мере, необходимо убедиться, что это не артефакты. Факторная каузальность возникает в том случае, если переменные X и (или) Y являются наблюдаемыми переменными (индикаторами) латентных факторов и каузальная связь на самом деле имеет место именно для этих факторов.

Предполагаемая каузальность, подтверждающая совокупность теоретически ожидаемых связей, когда исследователь выдвигает гипотезы о природе этой связи и сопутствующих ей. Можно надеяться раскрыть психологический смысл детерминации только на основе тщательной теоретической проработки, при постепенном накоплении разнообразной информации, анализе теоретических предпосылок и экспериментальных данных. Важную роль для доказательства детерминации играет строгий каузальный эксперимент на основе того или иного экспериментального дизайна: плана сбора экспериментальных данных с правилами отбора испытуемых, оказанию на них влияния фактора X и временем измерения результата Y (Asher, 1983).

Чтобы объяснить связь, необходимы разносторонние данные о переменных, участвующих в детерминации, а также их взаимодействии с другими социально-демографическими и психологическими параметрами, например с возрастом, полом, образованием, профессией, индивидуальными психологическими характеристиками и т. д. Каждый из этих параметров может являться модератором или медиатором. Теоретически обоснованное различие в силе детерминации, ее знаке в группах, выделяемых в соответствии со значениями модератора, может служить принципом установления каузального поля, базой для установления модераторов и медиаторов.

Важно помнить, что если построено каузальное поле, то использование детерминации в практических целях становится более ясным и однозначным. Не реко-

мендуется использовать каузальные связки с чисто прагматическим обоснованием, без отчетливой научно-теоретической базы. Наиболее продуктивным является подход, позволяющий учитывать оба целевых аспекта использования методики. Независимо от целевой ориентации исследования детерминации для ее доказательства исследователь может ориентироваться как на внешние критерии, так и на внутреннее содержание. Так, оценка детерминации может производиться с помощью того, насколько знание значения X уточняет определение результата Y , основываться как на профессиональном мнении, так и на обыденных представлениях.

Количественные способы оценки каузальности

Не существует каких-либо количественных методов, однозначно закрепленных за каузальными исследованиями, точно так же как использование тех или иных количественных методов не накладывает никаких ограничений на решения стоящих перед исследователем задач.

Корреляционный анализ. В качестве меры детерминации наиболее часто на практике применяются разные виды корреляционного анализа связи между индивидуальными оценками по обоим переменным (X и Y). Однако значимое отличие коэффициента корреляции от нуля является, скорее, достаточным, а не необходимым условием связи, а именно: связь является линейной. Но зависимость Y от X может быть квадратичной, маятниковой, с насыщением. Во всех случаях рекомендуется строить новую переменную как функцию от Y и считать коэффициент корреляции именно с ней. Если оба набора данных нормально распределены и могут быть признаны интервальными, то в качестве показателя валидности используют коэффициент корреляции Пирсона. Однако чаще всего оценки по критерию бывают дихотомическими или ранговыми. В этих случаях вычисляют коэффициент корреляции точечно-бисериальной или ранговой соответственно, а также выполняют тесты сравнения выборок (связанных или нет, параметрических и (или) нет).

Если независимый фактор имеет более двух уровней реализации, следует использовать однофакторный дисперсионный анализ (параметрический или непараметрический, в зависимости от типа данных по переменной Y). Установленные и содержательно интерпретированные межгрупповые различия по значениям переменной Y в зависимости от уровней реализации фактора X позволяют более аргументировано обосновать каузальность.

Еще один способ установить значимость связи применяется при любом типе данных, получаемых как по независимой переменной X , так и по зависимой Y – подсчет хи-квадрат коэффициента сопряженности в кросс-табуляционных таблицах. Для этого оба сопоставляемых набора данных перекодируются в категориальные (дихотомические или полихотомические). Данный показатель может служить дополнительным подтверждением значимой корреляционной связи (в случае совпадения выводов) или, наоборот, предостеречь исследователя от поспешных заключений (в случае если статистические заключения будут противоречить друг другу).

При этом необходимо помнить, что использовать коэффициент корреляции как показатель детерминации корректно в случае, когда выполнены следующие условия:

- 1 Наблюдаются совместные вариации переменных X и Y .
- 2 Все переменные имеют правильное хронологическое упорядочение.
- 3 Исключено возможное влияние других факторов.

Первые два условия проверить достаточно просто, а вот обеспечить полную гарантию, что охвачено все каузальное поле, невозможно. Все зависит от компетенции, опыта исследователя, его «чутья».

При необходимости выявить влияние модератора (Mo) на детерминацию можно использовать двухфакторный дисперсионный анализ (если Mo является категориальной переменной). Первый фактор реализуется по переменной X , а второй по Mo . Главный интерес при этом представляет анализ межфакторного взаимодействия, значимость которого свидетельствует о том, что при различных уровнях реализации Mo характер воздействия X на Y качественно меняется. Другой способ анализа – это построение множественной регрессии. При этом в качестве независимых переменных можно рассматривать сумму любых одночленов от X и Mo и из сомножителей (Aiken, West 1991; Войскунский, Митина 2003).

Рассмотрим самую простую регрессионную модель:

$$Y = a_0 + a_1 X + a_2 Mo + a_{12} X Mo.$$

Ее можно переписать так:

$$Y = (a_0 + a_2 Mo) + (a_1 + a_{12} Mo) X.$$

И при фиксированных значениях X оценивать угол наклона регрессионной прямой зависимости переменной Y от переменной Mo , а также значимость отличия прямых друг от друга при разных значениях Mo . Если число значений переменных Mo конечно, то рекомендуется построить и сравнить прямые для каждого возможного значения. Если Mo реализует непрерывную переменную, то рекомендуется Mo центрировать, выделить три значения $Mo = \{Mo - \sigma, 0, Mo + \sigma\}$, (σ – стандартное отклонение), построить три регрессионные прямые и сравнить их.

Структурное моделирование оказывается очень полезным при определении значимости медиаторов. Сравняются две модели (правила составления уравнения см.: Митина 2006, 2007):

$$Me = a_{1X} \cdot X + E_{Me},$$

$$Y = a_{2Me} \cdot Me + a_{2X} \cdot X + E_Y,$$

$$Y = b_{2X} \cdot X + E_Y.$$

При этом возможны следующие ситуации: b_{2X} значим, a_{2Me} незначим, т. е. ролью медиатора в данной детерминации можно пренебречь. Если значимы a_{2Me} и a_{1X} , то говорят о косвенном влиянии X на Y , опосредованном Me . Может быть ситуация, что a_{2X} в этой ситуации теряет свою значимость (нет прямого влияния) или вообще имеет противоположный знак. Тогда можно говорить об амбивалентном влиянии X на Y .

Еще один способ анализа эффекта влияния, который оказывается особенно корректным в ситуации, когда нельзя обеспечить абсолютную рандомизацию при отборе в группы с различным уровнем реализации фактора X (что, собственно, в реальности и бывает) – проведение межгруппового сравнения. Одну и ту же модель –

$$Me = a_{1X} \cdot Mo + E_{Me},$$

$$Y = a_{2Me} \cdot Me + a_{2Mo} \cdot Mo + E_Y -$$

рассматривают на различных группах реализации фактора X и сравнивают значимость совпадения/различия одноименных коэффициентов.

В ситуации когда влияние какого-то эффекта исследуется в эксперименте с повторными измерениями то можно использовать метод латентных изменений с построением факторов уровня, роста и если необходимо более высоких зависимостей (Митина 2008) и изучением влияний на эти факторы различных модераторов.

Литература

- Войскупский А. Е., Митина О. В. Применение модели множественной нелинейной регрессии для анализа гендерных различий в применении Интернета. Труды VI Всероссийской объединенной конференции «Технологии информационного общества – Интернет и современное общество (IST/IMS – 2003)». СПб., 2003. С. 7–9.
- Галицкий Е. Б. Каузальные исследования // Практический маркетинг. № 11. 2001.
- Митина О. В. Основные идеи и принципы структурного моделирования // Ученые записки кафедры общей психологии МГУ. Вып. 2 / Под. общ. ред. Б. С. Братуся, Е. Е. Соколовой. М.: Смысл, 2006. С. 272–296.
- Митина О. В. Задачи и методы структурного моделирования как средства приращения нового знания // Моделирование и анализ данных: Труды факультета информационных технологий МГППУ. Вып. 3 / Под ред. Л. С. Куравского, А. Д. Яшина, С. Н. Баранова. М.: РУСАВИА, 2007.
- Митина О. В. Моделирование латентных изменений с помощью структурных уравнений // Экспериментальная психология. 2008. № 1. С. 131–148.
- Aiken L., West S. Multiple Regression: Testing and Interpreting Interactions. London: Sage, 1991.
- Asher H. Causal Modeling. Sage, 1983.
- Steyer R., Partchev I., Kroehne U., Nagengast B. & Fiege C. Probability and Causality: Theory. Heidelberg: Springer, 2010 (в печати).

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОСПРИЯТИЯ ЗНАЧИМЫХ ЗВУКОВ ЧЕЛОВЕКОМ¹

М. П. Напольских*, П. А. Мармалюк*, В. В. Гаврилов**, А. Н. Харитонов**

* Московский городской психолого-педагогический университет (Москва)

** Институт психологии РАН (Москва)

napolskih_m@mail.ru

Для проведения психофизиологических исследований восприятия людьми значимых звуков разработан аппаратно-программный комплекс (АПК), позволяющий анализировать скоростные характеристики выполняемого поведения и амплитудно-пространственно-временные характеристики суммарных электрических потенциалов мозга (ЭЭГ). Проверялась гипотеза о том, что разные звуки имеют разное значение и при их появлении будут активироваться разные элементы индивидуального опыта, что скажется, в частности, на скорости реализации поведенческих актов и динамике активности мозга. Представлены первые результаты экспериментов с регистрацией ЭЭГ при реализации точностных движений (попадании курсором в цель).

Ключевые слова: индивидуальный опыт, акустические события.

Среда, описанная в терминах акустики, представляет собой акустический континуум, в котором те или иные звуки приобретают определенное значение в соответствии с фило- и онтогенетическим опытом индивида. С другой стороны, поведенческий континуум состоит из поведенческих актов, направленных на достижение нужных организму соотношений со средой (Швырков, 1987, 2006; Александров, 2004, 2006). Эти два континуума являются лишь двумя из множества

¹ Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (ГК № 02.740.11.0420).

других аспектов описания поведения разных организмов. Поскольку формирование нового элемента опыта происходит в определенной среде, в том числе сопровождается определенными звуками, то можно предположить, что эти звуки должны быть каким-то образом ассоциированы с элементами опыта и впоследствии разными звуками можно актуализировать разные элементы опыта, с ними связанные. Очевидно, что актуализация разных элементов опыта при реализации одного и того же поведения скажется на его характеристиках, например, точностных, скоростных, из-за интерференции между элементами опыта реализуемого акта и элементами опыта, актуализированными разными звуками.

Акустический континуум (звуки) разный в разных экологических нишах, что определяет видовые различия в акустической среде. Но поведение конкретного индивида связано с особенностями конкретно его среды обитания. Связанные с результатами поведения акустические параметры среды (акустические события или значимые звуки) становятся, биологически значимыми и через них возможна актуализация элементов опыта. Исходя из сравнительного анализа палеогенеза акустических структур и их функциональной актуализации у современных видов (Харитонов, 2004), можно предположить, что некоторые акустические события являются одинаково значимыми для особей разных видов (например, звуки, издаваемые опасными животными, или журчание воды), тогда как другие акустические события являются важными только для представителей одного вида (например, крик ястреба или восклицание «эй!»), а какие-то – только для конкретного индивида. Это определяется сходством и различиями в наборах элементов индивидуального опыта у индивидов разных видов и индивидуальными различиями у особей в пределах вида. Таким образом, акустические параметры среды (звуки) через актуализацию ими разных элементов опыта, как и сами акустические события (значимые звуки, акузмы), могут быть использованы для изучения закономерностей отношений между элементами в структуре индивидуального опыта. В частности, предполагалось, что разные звуки, в случае образования акузм, будут актуализировать разные элементы опыта, что приведет к изменениям в скорости реализации поведенческого акта и отразится в амплитудно-временных параметрах электрической активности мозга.

Для реализации проекта был создан аппаратно-программный комплекс (АПК) и подготовлены специальные программы, позволяющие:

- тестировать скорость точностных движений от центрально расположенного на экране дисплея стартового положения к мишеням, появляющимся в разных местах в случайном порядке (аналог прототипа, разработанного А.В. Жегалло в 2005 г.);
- автоматизировать подачу звуков по определенному сценарию в нужные моменты времени при реализации субъектом определенного поведенческого акта при реализации компьютерного теста;
- синхронизировать регистрируемые данные (отметки поведения и подачи звука с суммарной электрической активностью мозга).

Поскольку значимые для субъекта события имеют разный возраст и разную акустическую составляющую, то при появлении разных звуков при реализации одного и того же поведенческого акта должна происходить актуализация элементов опыта разного возраста, что может привести к изменению скорости реализации этого акта и к изменениям в динамике активности мозга (Максимова, Александров, 1987;

Гаврилов, 1987). В соответствии с видовым значением звука (значимые для крысы и/или человека) и «возрастом» элемента опыта, связанного с этим звуком («старый», филогенетический, или «новый», онтогенетический), были отобраны 20 звуков, которые, согласно исходному предположению, распределили по следующим 6 группам:

Общие старые	Шипение атакующей змеи Пение птиц Журчание воды Раскат грома
Крысиные старые	Крик ястреба Крик совы
Человеческие старые	Плач ребенка
Общие новые	Шуршание целлофанового пакета Сигнал таймера
Человеческие новые	Лязг металла Звон разбиваемого стекла Гул высоковольтных проводов Восклицание «Эй!» Восклицание «Ай!» Восклицание «О-оу!!» Ошибка Windows
Крысиные новые	Звук нажатия на педаль в клетке Стук насыпаемого корма Звук поилки

Для того чтобы иметь возможность провести сравнительный анализ данных, полученных в аналогичном исследовании на крысах (см.: Нармухамедова и др. в настоящем сборнике), мы использовали аналогичные звуки, только в группу «человеческие новые» были добавлены восклицание «О-оу!» и звук, подаваемый системой Windows при ошибке пользователя.

Все звуковые файлы были отформатированы с помощью Adobe Audition так, чтобы их длительность не превышала 1 сек. (что составляет в среднем половину времени реализации двигательного акта от стартовой зоны до мишени), но в то же время звук оставался узнаваем и соответствовал по силе громкой разговорной речи.

Звуки предъявлялись при выполнении испытуемым компьютерного теста Mouser. Испытуемый располагался перед экраном монитора, в центре которого всегда в одном месте высвечивалась стартовая зона в виде квадрата (рисунок 1а). В соответствии с инструкцией испытуемый должен был совместить курсор мыши с этой зоной и однократно нажать на левую кнопку мыши. Квадрат после этого исчезал, а в одной из четырех позиций (вверху, внизу, слева или справа) в случайном порядке появлялась цель или мишень в виде круга, по которому также нужно было кликнуть курсором мыши (рисунок 1б).

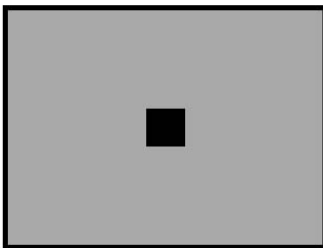


Рис. 1а. Стартовая зона

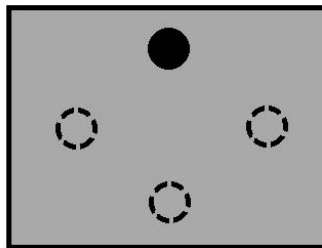


Рис. 1б. Цели



Рис. 2. Один поведенческий цикл

При прохождении курсором половины пути от стартовой зоны до цели появлялся один из вышеназванных звуков (рисунок 2). В 30% случаев звук при движении к цели не появлялся. Цель после нажатия на нее курсором исчезала, снова появлялась стартовая зона, и процедура повторялась.

В исследовании приняли участие 7 испытуемых (все мужчины в возрасте от 18 до 60 лет). Каждый испытуемый участвовал в двух экспериментальных сериях, между которыми для отдыха делался 10-минутный перерыв. Каждая серия состояла из 400 проб, в 70% которых на пути к цели появлялся звук.

Регистрацию ЭЭГ приводили «Нейровизором» (Нейроботикс) с использованием 32 хлорсеребряных электродов, расположенных по системе 10–20. Индифферентным электродом служили объединенные мочки ушей. Для контроля движения глаз и артефактов регистрировали вертикальную и горизонтальную составляющие электроокулограммы. Анализировались скорость движения мыши до и после появления звука, усредненные потенциалы мозга от моментов кликов мыши на стартовую зону и цель, а также от момента подачи звука. Статистический анализ поведения проведен в пакете Statistica с применением t-теста для сравнения средних значений времени реализации актов, однофакторного и многофакторного дисперсионного анализа.

Получены следующие предварительные результаты:

- 1 Независимо от того, предъявлялись звук при перемещении курсора к цели или нет, скорость всегда уменьшалась при приближении к целевому объекту ($p < 0,05$).
- 2 Не выявлено значимых различий в скорости движения к цели в реализациях поведения со звуком и без звука.
- 3 Найдены достоверные различия в скорости перемещения курсора к разным целям: движение вниз было субъективно самым трудным и объективно самым медленным, а движение к цели влево – самым быстрым. Следует отметить, однако, что у разных испытуемых направления самых быстрых и самых медленных перемещений могут не совпадать.
- 4 Значимые различия в скорости перемещения курсора найдены только при сравнении реализаций поведения после звука поилки (группа «крысиных новых») и после звука таймера (группа «человеческих новых» звуков).
- 5 В усредненных ЭЭГ-потенциалах от кликов мыши на старт и на цель выявляются сходные по конфигурации в разных отведениях позитивные колебания с латенцией пика около 200 мс (рисунок 3), при этом амплитуда позитивности при кликах на цели значительно выше, чем при кликах на стартовую зону. Оба этих факта соответствуют ранее установленным фактам о разном системном значении негативных и позитивных колебаний ЭЭГ: негативные колебания



Рис. 3. Усредненные ЭЭГ потенциалы от отметок поведения. Внизу – шкала времени (в мс)

соответствуют реализациям поведенческих актов, а позитивные – сменам актов (Максимова, Александров, 1987; Гаврилов, 1987).

- 6 Не выявлено значимых различий в усредненных от отметок поведения колебаниях ЭЭГ в реализациях с предъявлением разных звуков, а также не выявлено различий в ЭЭГ непосредственно в момент предъявления разных звуков.

Для реализации плана более широкого сравнительного исследования восприятия звуков человеком и животными, в рамках которого создан данный комплекс, необходим более детальный анализ уже имеющихся данных, а в последующих экспериментах с использованием разработанного АПК – увеличить объем выборки испытуемых и репертуар звуков, а также внести некоторые изменения в процедуру исследования.

Литература

- Александров Ю. И. Научение и память: системная перспектива // Вторые симоновские чтения. М.: Изд-во РАН, 2004.
- Психофизиология / Под ред. Ю. И. Александрова. СПб.: Питер, 2006.
- Гаврилов В. В. Соотношение ЭЭГ и импульсной активности нейронов в поведении у кролика // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях / Отв. ред.: В. Б. Швырков, В. М. Русалов, Д. Г. Шевченко. М.: Наука, 1987.
- Максимова Н. Е., Александров И. О. Типология медленных потенциалов мозга, нейрональная активность и динамика системной организации поведения // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях / Отв. ред.: В. Б. Швырков, В. М. Русалов, Д. Г. Шевченко. М.: Наука, 1987.
- Харитонов А. Н. Палеогенез акустических структур: Дис. ... канд. психол. наук. М.: Изд-во ИП РАН, 2004.
- Швырков В. Б. Что такое ЭЭГ и нейрональная активность с системно-эволюционного подхода // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях / Отв. ред.: В. Б. Швырков, В. М. Русалов, Д. Г. Шевченко. М.: Наука, 1987.
- Швырков В. Б. Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики // Избранные труды / Под ред. Ю. И. Александрова. М.: Изд-во ИП РАН, 2006.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВОСПРИЯТИЯ ЗНАЧИМЫХ ЗВУКОВ ЛАБОРАТОРНЫМИ ЖИВОТНЫМИ¹

*Е. И. Нармухамедова**, *В. В. Гаврилов***, *А. Н. Харитонов***

* Московский городской психолого-педагогический университет (Москва)

** Институт психологии РАН (Москва)

lotsee@gmail.com

Разработан аппаратно-программный комплекс (АПК) для проведения психофизиологических исследований особенностей восприятия звуков, имеющих разное значение. В режиме тестирования созданного АПК проверялась гипотеза о том, что разные звуки будут активировать разные элементы индивидуального опыта, о чем можно судить по изменениям в потенциалах суммарной электрической активности мозга и скорости реализации поведенческих актов. Представлены первые результаты экспериментов с регистрацией ЭЭГ в инструментальном пиццедобывательном поведении у крыс.

Ключевые слова: индивидуальный опыт, акустические события, инструментальное поведение.

Поведение живых организмов направлено на получение результатов – нужных соотношений со средой, и история этих соотношений со средой, фиксирована в структуре индивидуального опыта в виде элементов опыта разного возраста (Александров, 1995, 2006; Швырков, 1987, 2006; Шевченко и др., 1997). Акустические параметры среды (звуки) определяются как экологической нишей вида, так и особенностями среды, в которой живет конкретный индивид. Связанные с результатами поведения акустические параметры среды (акустические события) оказываются, таким образом, биологически значимыми, и через них возможна актуализация элементов опыта. Сравнительный анализ палеогенеза акустических структур (Харитонов, 2004) позволяет предположить, что некоторые звуки, становясь акустическими событиями, являются одинаково значимыми для представителей разных видов (например, для людей и для крыс), тогда как другие акустические события являются важными только для представителей одного вида, а какие-то – только для группы или конкретного индивида. Это определяется сходством и различиями в наборах элементов индивидуального опыта у индивидов разных видов и индивидуальными различиями у особей в пределах вида. Следовательно, акустические параметры среды (звуки) и акустические события (значимые звуки) могут быть использованы для тестирования наличия тех или иных элементов опыта у индивида и для определения отношений между элементами опыта.

Мы исходили из предположения, что разные звуки будут актуализировать разные элементы опыта, что приведет к изменениям в поведении и отразится в амплитудно-временных параметрах электрической активности мозга (Гаврилов, 1987; Максимова, Александров, 1987).

Поскольку элементы опыта имеют разный возраст и разную акустическую составляющую, поэтому появление разных звуков должно приводить к актуализации элементов опыта разного возраста. С этой целью среди звуков были выбраны те, которые могли бы актуализировать как сходные (новые и старые) элементы опыта у человека

1 Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (ГК № 02.740.11.0420).

и у крыс, так и разные (новые и старые) – у человека и у крыс. Мы выбрали 18 звуков, которые, исходя из нашего предположения, разделили на следующие 6 групп:

Старые	Общие	Шипение атакующей змеи Пение птицы Журчание воды Раскат грома Скрип дерева
	Крысиные	Крик ястреба Крик совы
	Человеческие	Плач ребенка
Новые	Общие	Шуршание целлофанового пакета Сигнал таймера
	Человеческие	Лязг металла Звон разбиваемого стекла Гул высокого напряжения Восклицание «Эй!» Восклицание «Ай!»
	Крысиные	Звук нажатия на педаль в клетке Стук насыпаемого корма Звук поилки

Все звуковые файлы были отформатированы так, чтобы их длительность не превышала 1 с (поскольку длительность побежки крысы от педали к кормушке в среднем была около 1 с), но в то же время звук оставался узнаваем.

В инструментальном пищедобывательном поведении крысы должны были нажимать на педаль для получения порции пищи в кормушке. При побежке от педали к кормушке появлялся тот или иной звук. Предъявления звуков чередовались с «пустыми» пробами без звука. Регистрировали суммарную электрическую активность мозга над моторной, зрительной, слуховой и лимбической областями коры, для чего использовали хлорсеребряные электроды, вживленные эпидурально с референтом над носовыми пазухами.

Были проведены психофизиологические эксперименты на 4 крысах (самцах Wistar), предварительно обученных добывать себе пищу нажатием на педаль. Для этого и подобных экспериментов было разработано программное обеспечение, которое позволило:

- автоматизировать подачу звуков по определенному сценарию в нужные моменты времени при реализации индивидом определенного поведенческого акта;
- синхронизировать регистрируемые данные (отметки поведения и подачи звука с суммарной электрической активностью мозга).

Аппаратно-программный комплекс включает следующие элементы:

- 1 Экспериментальная клетка в виде куба со стороной 60 см, в углах которой расположены педаль и кормушка. Для определения пересечения крысой середины стенки – начала предъявления звука – были установлены фотоэлектрическая пластина ФЭП и излучающий светодиод (рисунок 1).
- 2 Два АЦП для сбора данных: National Instruments USB-6008 (NI) для автоматизации подачи звуков и Lcard DL-120 для сбора поведенческих и ЭЭГ данных.
- 3 Программы: сбора данных DigiScope (Ds), подачи звука (Е. Нармухамедова), обработки ЭЭГ (Psy 2.2) (А. Анашкин).

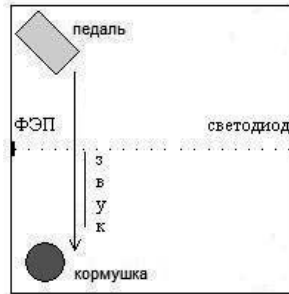


Рис. 1. Схема экспериментальной клетки (вид сверху)

Стрелкой показан акт побежки от педали к кормушке, во время которого появлялся звук, как только крыса пересекала середину стенки, что фиксировалось фотоэлектрической пластиной. Рядом линией условно показана длительность звука пропорционально времени реализации поведенческого акта.

Функционирование комплекса происходит по следующей схеме: сигналы с датчиков о нажатии на педаль, опускании головы в кормушку и пересечении середины стенки поступают на АЦП (NI), где они преобразуются в цифровую форму. Программа на компьютере считывает сигналы и при наступлении определенных условий воспроизводит звук. В момент запуска звука обратно на АЦП подается соответствующая каждому звуку метка. Сигнал с отметками, вместе с сигналом от датчиков нажатия на педаль или опускания головы в кормушку и энцефалографическими данными поступает на второй АЦП (Lcard) и после преобразования – в регистрирующую программу.

Для подачи звука в среде программирования NI LabView нами была разработана специальная программа, которая позволяет выбирать звуковые файлы, которые следует воспроизводить. На вход программы поступают данные с АЦП о текущем поведении: нажатии на педаль, пересечении середины стенки, опускании головы в кормушку. При условии, что крыса нажала на педаль и пересекла середину стенки, программа случайным образом выбирает один из звуков и проигрывает его. В этот же момент с помощью ЦАП-АЦП подается отметка в программу сбора данных о проигрываемом звуке.

Проведено несколько экспериментальных серий, в которых:

- 1) звуки появлялись в инструментальном пищедобывательном поведении:
 - при побежке крысы к кормушке на середине пути между педалью и кормушкой;
 - при нажатии крысы на педаль (для исключения вероятности того, что некоторые звуки продолжают звучать на протяжении всего этапа анализируемого поведения – побежки от середины стенки к кормушке);
- 2) звуки предъявлялись при фиксации крысы:
 - в гамаке (для исследования вызванных потенциалов при ограничении движений);
 - под наркозом (без поведения).

Для каждой из серий программа для подачи звука была модифицирована в соответствии с задачами.

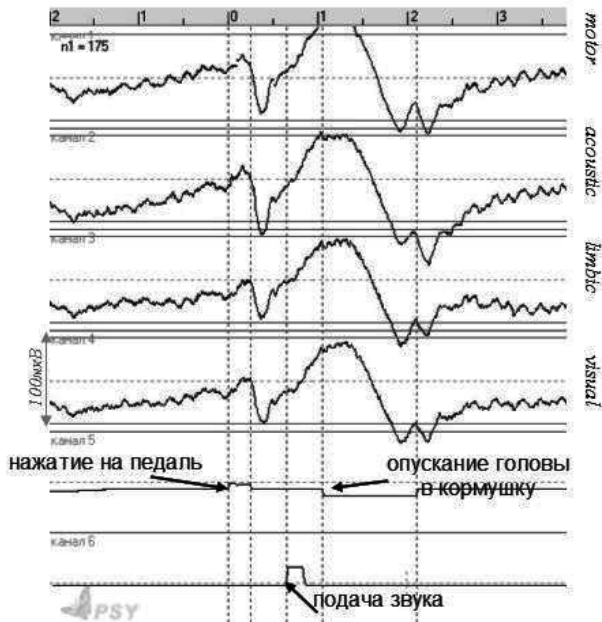


Рис. 2. Усредненные ЭЭГ потенциалы от отметок поведения – вертикальные пунктирные линии (Rat#4). N = 175 – число реализаций в усреднении; наверху – шкала времени в секундах

Полученные данные обрабатывались в программе Psy 2.2 (А. Анашкин), которая позволяет отмечать границы поведенческих актов и усреднять ЭЭГ от этих отметок. Для разделения отметок о звуках на разные категории в зависимости от самого звука была написана программа в системе LabView, которая обрабатывала файлы с отметками и из одного файла со всеми отметками создавала отдельный файл для каждого звука. Используя полученные отметки, в программе Psy 2.2 усреднялись суммарные потенциалы мозга от отметок нажатия на педаль, опускания головы в кормушку и от момента подачи звука.

Получены следующие предварительные результаты: реализациям и сменам актов поведения соответствуют негативные и позитивные ЭЭГ-колебания сходные по конфигурации и амплитуде во всех отведениях (рисунок 2). Появление разных звуков при реализации одного и того же поведенческого акта «разбило» этот акт на два субакта, что отразилось в появлении дополнительного ЭЭГ-компонента – «ступеньки», который возник в результате появления дополнительного позитивного колебания во время негативизации при побежке крысы к кормушке (отмечен звездочкой на рисунке 2). Этот компонент сохранялся и в реализациях без предъявления звука, что можно объяснить тем, что он связан с ожиданием звука.

Значимых различий в ЭЭГ в момент предъявления разных звуков выявлено не было. Только на один звук («звон меча») при регистрации ЭЭГ у крысы, фиксированной в гамаке, был выявлен выраженный во всех отведениях потенциал (отмечен на рисунке 3).

Для оценки изменений в поведении рассматривались временные интервалы от окончания нажатия на педаль до опускания головы в кормушку. Для анализа скорости реализации поведенческих актов была разработана специальная програм-

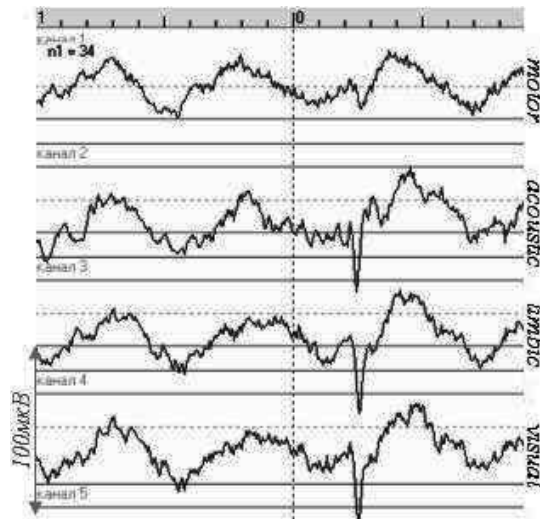


Рис. 3. Усреднение от момента предъявления звука «Звон меча» – вертикальная пунктирная линия – у крысы в гамаке (Rat#1). N = 34 – число реализаций в усреднении; наверху – шкала времени: одно деление – 100 мс

ма. Статистическая обработка данных проводилась в пакете Statistica с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Были определены звуки, при появлении которых время реализации акта побежки крысы от педали к кормушке значимо отличалось от других. Оказалось, однако, что для разных крыс такие звуки были разные. При этом их появление могло по-разному сказываться на скорости реализации исследуемого поведенческого акта: у одних крыс замедлять, у других – ускорять.

Анализ времени реализации актов поведения в зависимости от групп звуков выявил некоторые значимые отличия. Выделилась группа «Человеческие новые» звуки, которая значимо отличается от групп «Крысиных новых», «Человеческих старых» звуков и «Без звука». При появлении звуков из группы «Человеческие новые» сокращалось время реализации анализируемого акта поведения, во время которого они появлялись. Также установлено, что среднее время реализации акта побежки к кормушке, когда звук не появлялся, было значимо больше времени реализации того же акта при появлении звуков.

Полученные предварительные данные можно, по-видимому, объяснить различиями в индивидуальном опыте крыс, актуализацией разных элементов опыта в зависимости от значения звука. У разных животных появление одних и тех же звуков по-разному сказывалось на временных (скоростных) характеристиках реализации поведенческих актов. Однако в настоящее время недостаточно данных для выводов о закономерностях в отношениях между элементами индивидуального опыта, возникающими при актуализации элементов опыта разными акустическими событиями (значимыми звуками).

В последующих экспериментах предполагается увеличить не только объем выборки животных, но и репертуар звуков, проверить «качество» звуков, искусственно придать значение некоторым звукам, ранее незначимым для животного. Разработанный АПК может быть легко перенастроен и использован для выполнении разнообразных аналогичных психофизиологических исследований.

Данная работа выполнена в рамках более широкого сравнительного исследования восприятия звуков человеком и животными.

Литература

- Александров Ю. И. Системная психофизиология // Психофизиология / Под ред. Ю. И. Александрова. СПб.: Питер, 2006. С. 252–309.
- Александров Ю. И. Предисловие // В. Б. Швырков. Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики / Под ред. Ю. И. Александрова. М.: Изд-во ИП РАН, 1995. С. 7–12.
- Гаврилов В. В. Соотношение ЭЭГ и импульсной активности нейронов в поведении у кролика // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях / Отв. ред.: В. Б. Швырков, В. М. Русалов, Д. Г. Шевченко. М.: Наука, 1987. С. 33–44.
- Максимова Н. Е., Александров И. О. Типология медленных потенциалов мозга, нейрональная активность и динамика системной организации поведения // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях / Отв. ред.: В. Б. Швырков, В. М. Русалов, Д. Г. Шевченко. М.: Наука, 1987. С. 44–72.
- Харитонов А. Н. Палеогенез акустических структур: Дис. ... канд. психол. наук. М.: Изд-во ИП РАН, 2004.
- Швырков В. Б. Что такое ЭЭГ и нейрональная активность с системно-эволюционного подхода // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях / Отв. ред.: В. Б. Швырков, В. М. Русалов, Д. Г. Шевченко. М.: Наука, 1987. С. 5–23.
- Швырков В. Б. Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики // Избранные труды / Под ред. Ю. И. Александрова. М.: Изд-во ИП РАН, 2006.
- Шевченко Д. Г., Александров Ю. И., Гаврилов В. В., Горкин А. Г., Гринченко Ю. В., Греченко Т. Н., Александров И. О., Максимова Н. Е., Безденежных Б. Н., Бодунов М. В. Закономерности формирования и реализации индивидуального опыта // Журнал высшей нервной деятельности. 1997. 47. № 2. С. 243–460.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАБОТКЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ¹

А. И. Панов

Институт системного анализа РАН (Москва),
МФТИ, ф-т управления и прикладной математики (Долгопрудный)
alex.panov.msk@gmail.com

В работе предлагается новый подход к обработке психологических данных, в основе которого лежат два метода интеллектуального анализа данных – метод АQ-покрытий и ДСМ-метод. На основе этого подхода реализован алгоритм, предназначенный для выявления причинно-следственных связей. Описано применение алгоритма в эксперименте и представлены его преимущества по сравнению со статистической обработкой.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, причинно-следственные связи, ДСМ-метод, АQ-покрытия.

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (№07-06-80159, №09-07-12128-офи_м).

1 Введение

Одной из важнейших задач анализа данных является задача по выявлению и извлечению причинно-следственных (каузальных) зависимостей между свойствами объектов в массиве эмпирических данных. Однако само понятие каузальной зависимости требует предварительного уточнения с учетом особенностей предметной области, связанных с типом взаимосвязей входящих в нее объектов. Финн в своих работах (Финн, 2000) приводит описание трех «миров» (в нашем случае это классы предметных областей), с которыми работают интеллектуальные системы, отличающихся характером причинно-следственных связей. В первом «мире» все события случайны и связи между объектами носят стохастический, корреляционный характер. Во втором – наоборот, существуют только строго детерминистические отношения между объектами и причинами, которыми могут являться, например, проявления каких-либо свойств другого объекта. Третий мир – это одновременное сосуществование детерминации и случайных возмущений.

Для каждого типа предметной области существуют свои методы выявления каузальных зависимостей, основывающиеся на характерных особенностях этих зависимостей. Так, в первом «мире» применимы статистические инструменты. Во втором – широко известен развитый аппарат классического **ДСМ-метода** (Финн, 1991). Однако большое количество изучаемых предметных областей лишь приблизительно могут быть отнесены к первому или второму типу и на самом деле являются представителями третьего типа с разным соотношением детерминации и случайности, которое зачастую определяется разным уровнем исследованности связей между объектами. Характерным примером может служить психология, где взаимосвязь между психологическими характеристиками личности объяснима далеко не всегда, не смотря на ее очевидное наличие, и до сих пор главным математическим инструментом любого психолога является пакет программ по статистической обработке.

Одним из примеров попытки построить аппарат описания каузальных отношений в третьем «мире» служит расширение ДСМ-метода с помощью введения фальсификации по статистическим соображениям (Григорьев, 1996). Однако в этом и других методах корреляционные связи рассматриваются лишь как вспомогательный механизм для поправки функции сходства объектов. Показательными с точки зрения психолога могут служить работы А. А. Михеенковой в области социологии, которая, как предметная область, достаточно близка собственно психологии (Климова, Михеенкова, Панкратов, 1999). В этих работах строится так называемая диспозиционная теория регуляции социального поведения личности за счет выделения ситуации, недетерминировано влияющей на поведение субъекта. Т. е. происходит искусственное разделение влияющих факторов поведения на детерминированные и случайные, при этом, в основном, за счет знаний эксперта.

В разрабатываемом автором методе, представляющем данный подход, предлагается иное использование статистических соображений в процессе выявления каузальных связей. В основе метода лежат первоначальная статистическая обработка по построению корреляционного графа, вывод правил относительного описания объектов по методу **AQ-покрытий** (Michalski, 1973; Осипов, 2009) и первый шаг ДСМ-метода. AQ-обучение основывается на идее постепенного покрытия целевого класса объектов с помощью последовательно порождаемых правил. ДСМ-метод представляет собой индуктивный метод порождения гипотез о наличии причинно-следственных связей в объекте, описываемом набором значений атрибутов (свойств).

Основные шаги алгоритма, являющегося составной частью метода, были описаны в работе автора (Панов, 2010), здесь же мы остановимся на некоторых деталях применения метода в условиях реального эксперимента.

2 Подготовка данных

Входными данными для рассматриваемого метода являются данные психологического тестирования людей по некоторым признакам, значения которых задаются соответствующими шкалами измерений. Далее под объектами будем подразумевать конкретные данные, полученные от испытуемого. На объектах задается разбиение по классам (группам). Обычно такое разбиение определяется проводимым эмпирическим исследованием: тестирование людей разных профессий, возраста, вероисповедания и т. п. – или через выделение групп собственно психологического *классифицирующего признака* (уровня агрессивности, тревожности и т. п.). При достаточно большом количестве испытуемых возможно проведение предварительного **кластерного анализа**, по результатам которого строится так называемый *статистический классифицирующий признак*. В процессе полного цикла обработки данных одного тестирования предусматривается проведение *реклассификации* – выделение нового классифицирующего признака и соответствующее переразбиение объектов на классы.

Следует заметить, что наиболее продуктивной, в смысле находимых зависимостей, особенно при малых объемах выборок, является именно такая постановка эксперимента, когда разбиение на группы происходит естественным образом в ходе самого эксперимента. Это связано с тем, что в дальнейшем, в ходе работы алгоритма, происходит построение *отличительного описания* каждого класса, поэтому отличающиеся группы испытуемых в рамках эксперимента будут более кратко и емко (см. далее) описываться на этапе собственно анализа данных.

Еще одним предварительным и исключительно важным шагом является **дискретизация** шкал признаков. Выбор стратегии разбиения непрерывной шкалы на определенное количество непересекающихся интервалов во многом сказывается на получаемых результатах и определяется условиями предметной области и условиями эксперимента. Наиболее часто применяемые стратегии:

- *равномерное разбиение* используется при небольшом количестве объектов исследования, которые изначально равномерно распределены по всей шкале;
- *частотное разбиение* используется при достаточно большой выборке ($n > 50$);
- *разбиение по алгоритму ChiMerge* – наиболее универсально и использует метрику χ^2 для выявления интервалов с использованием информации о классах (Kerber, 1992).

Количество интервалов разбиения также играет большую роль. При проведении экспериментов было установлено, что наиболее интерпретируемые результаты при работе с психологическими данными получаются при разбиении на 3 интервала (высокое значение признака, среднее и низкое).

3 Определение меры однородности и структуры классов

После проведения предварительной обработки данных получается множество объектов тестирования, каждый из которых обладает набором *объектных свойств*,

разделенных на определенные классы. Свойство представляет собой пару: название признака (шкалы) и набор интервалов из множества всех интервалов, на которые разбита соответствующая шкала. В объектном свойстве набор интервалов представлен одним интервалом, в которое попадает значение данного признака у рассматриваемого объекта. Например, признак «Возраст» определяется непрерывной шкалой [0–100], которая разбивается на интервалы: «дети» (1-й интервал) [0–16], «взрослые» (2-й интервал) [16–55] и «пожилые» (3-й интервал) [55–100]. Объект «Иванов» имеет значение «40» по этому признаку, что означает, что он обладает свойством «взрослый» (или «Возраст=2», т. е. «Возраст – средний»).

При помощи метода АQ-покрытий строится описание каждого класса объектов, состоящее из *классовых свойств*, набор интервалов которых в общем случае состоит более чем из одного интервала (*дизъюнкция* интервалов). Например, группа людей может обладать следующим классовым свойством: «Возраст = IV2» (т. е., «Возраст – невысокий»). Это означает, что каждый представитель класса по признаку «Возраст» обладает либо свойством «ребенок» («Возраст – низкий»), либо свойством «взрослый» («Возраст – средний»). Классовые свойства каждой группы объединены в *правила* (*конъюнкция* свойств), каждое из которых описывает определенную подгруппу в данном классе. Набор правил класса обладает следующими свойствами:

- каждый объект класса описывается как минимум одним правилом из набора, т. е. он принадлежит как минимум одной подгруппе класса;
- ни одно правило набора не покрывает ни одного объекта из другого класса, т. е. ни один объект данного класса не описывается ни одним правилом из наборов других классов;
- каждое правило характеризуется **покрытием** (емкостью – количеством объектов исследования, подпадающих под это правило) и **сложностью** (например, длиной–краткостью).

Процесс построения набора правил является *расширением* объектных свойств до классовых и зависит от порядка встречающихся объектов и от порядка рассмотрения их свойств, что напоминает образование естественных понятий у человека в модели Дж. Брунера (Панов, Чудова, 2010).

Таким образом, каждый класс объектов эксперимента получает так называемое отличительное описание. В это описание попадают только те свойства, которые помогают отличить объект этого класса от объектов других классов. При этом общие характеристики набора, такие как количество правил в классе и их общая сложность, могут служить источником дополнительной информации о классе. Большое количество правил может говорить о разрозненности группы (крайний случай – количество правил равно количеству объектов, что говорит о том, что объединяющие признаки не выявляются в эксперименте). Наоборот, их малое количество – о большой однородности группы (крайний случай – одно правило, что говорит о большой схожести объектов). Так как правила строятся согласно принципу минимальности (критерий отбора правил при наличии альтернатив – наименьшая длина), то их сложность так же говорит о степени схожести объектов класса. Описываемые каждым правилом подгруппы определяют внутреннюю структуру класса.

4 Выявление причинно-следственных связей

Все уникальные классовые свойства набора правил образуют *универсум* свойств данного класса. В ходе экспериментов были выявлены пороги по размеру универсу-

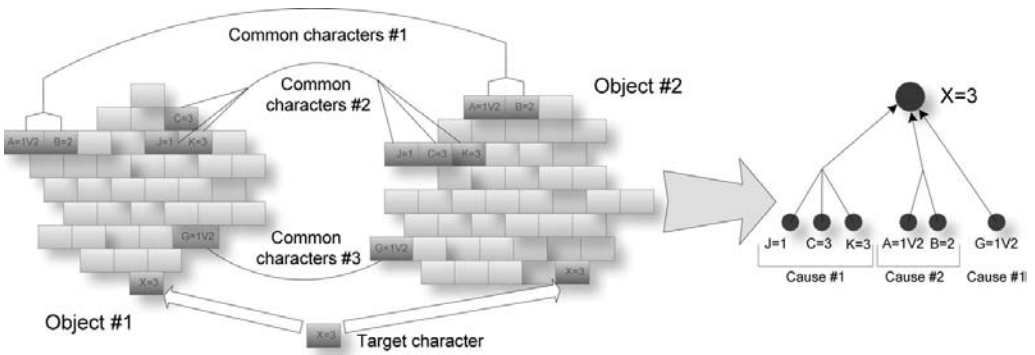


Рис. 1. Выявление причинно-следственных связей

ма, классифицирующие группу по возможности дальнейшего анализа (выявления причинно-следственных связей). При небольшом размере универсум является основой для **базы фактов** ДСМ-метода, которая содержит только «+» – элементы (объект обладает свойством) и «-» – элементы (объект не обладает свойством). *Целевым свойством* (для которого ищутся причины) выбирается поочередно каждое классовое свойство из универсума группы, все остальные свойства являются возможными компонентами причин (**атомами**). Объектами в базе фактов являются все объекты тестирования, в том числе и не принадлежащие анализируемому классу. Т. е. на данном этапе информация о классах переносится в состав универсума – для каждого класса будет свой универсум и, соответственно, свой тип структуры объектов (свой набор атомов).

Процесс выявления причинно-следственных связей, представленный на рисунке 1, основывается на понятии структурного сходства объектов, состоящих из атомов, входящих в универсум рассматриваемого класса, т. е. характерных для данного класса.

В качестве примера можно привести следующий эксперимент. После тестирования учителей и журналистов каждая группа описывается характерными для нее свойствами: («Вера в доброжелательность» – высокая, «Конфликтность» – низкая, «Напряженность» – низкая) – универсум учителей и («Ценность знания» – высокая, «Отчужденность» – низкая, «Напряженность» – низкая) – универсум журналистов. Затем выявляются причины наличия таких свойств, например, у учителей. Для этого каждый объект тестирования оценивается на наличие у него характерных для учителей свойств (оценка объекта с точки зрения его сходства с типичным учителем).

Таблица 1
База фактов

Объект	Вера в доброжелательность – высокая	Конфликтность – низкая	Напряженность – низкая
Алиса (учитель)	+	-	+
Вера (учитель)	+	+	+
Иван (учитель)	-	+	-
Алекс (журналист)	-	-	-
Анна (журналист)	+	-	-

Далее, уже вне зависимости от того, относится ли объект к учителям, ищется то общее между всеми объектами, обладающими целевым свойством (например, «Напряженность – низкая»), что и называется причиной (в данном примере, причина – «Вера в доброжелательность – высокая», так как именно это является общим между Алисой и Верой) этого целевого свойства.

Заключение

Выявляемые причинно-следственные связи обладают следующими отличиями от корреляционных статистических связей:

- наличие связи задается структурным сходством объектов, в то время как корреляционная связь отражает лишь совместное изменение признаков при поочередном рассмотрении объектов;
- наличие связей также определяется характерными свойствами анализируемого класса, в то время как корреляционные связи не учитывают классификацию;
- процесс выявления причинно-следственных связей методами искусственного интеллекта моделирует рассуждения эксперта при работе с данными.

Стоит заметить, что применение методики дает возможность учета как детерминированных связей, так и статистических соображений.

Метод был реализован в качестве программной системы, которая осуществляет поддержку по обработке экспериментальных данных и предоставляет средства по визуализации результатов. Было проведено пилотажное исследование на материале данных 67 испытуемых, характеризующихся по 44 признакам 7 опросников. Как показало это исследование, преимуществом разрабатываемой системы является то, что получаемые результаты более легко интерпретируются и более наглядно визуализируются, чем классическое представление стохастических связей в виде корреляционного графа.

Литература

- Григорьев П. А. Sword-системы или ДСМ-системы для цепочек, использующих статистические соображения // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 1996. № 5–6. С. 45–51.
- Климова С. Г., Михеенкова М. А., Панкратов Д. В. ДСМ-метод как метод выявления детерминант социального поведения // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 1999. № 12. С. 3–14.
- Осинов Г. С. Лекции по искусственному интеллекту. М., 2009.
- Панов А. И. Методика интеллектуального анализа результатов психологического тестирования // Труды I Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2010. Т. 1. С. 39–45.
- Панов А. И., Чудова Н. В. Моделирование процесса образования естественных понятий методами искусственного интеллекта // Четвертая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов. В 2 т. Томск, 22–26 июня 2010 г. 2010. Т. 2. С. 455.
- Финн В. К. Правдоподобные рассуждения в интеллектуальных системах типа ДСМ // Итоги науки и техники. 1991. Т. 15. С. 54–101.
- Финн В. К. Каузальный анализ данных в интеллектуальных системах // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 2000. № 11. С. 1–5.

- Kerber R. ChiMerge: Discretization of Numeric Attributes // In Proc. AAAI-92, Ninth.
- Michalski R. S. AQVAL/1-Computer Implementation of Variable-Valued Logic System VL1 and Examples of its Application to Pattern Recognition // Proc. Of the First Int. Joint Conf. on Pattern Recognition. Washington, DS, 1973. P. 3–17.
- National Conference Artificial Intelligence. AAAI Press / The MIT Press. 1992. P. 123–128.

ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ОТ ВЫБРАННОЙ МЕРЫ СВЕТОВОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СТИМУЛА

А. П. Пахомов

Российский университет дружбы народов (г. Москва)

Pakhomoff44@yandex.ru

В статье проверяется предположение о том, что функции, полученные в психофизическом эксперименте со световой и электрической стимуляцией, зависят от меры, выбранной для репрезентации величины физического стимула. Показано, что в зависимости от выбранной меры указанных физических стимулов результаты классических психофизических экспериментов могут иметь неклассическую интерпретацию.

Ключевые слова: психофизическое шкалирование; кривые Фехнера и Стивенса, отношение Вебера, мера физического стимула.

Измерение физического стимула обычно имеет несколько альтернатив. Отсюда выбор шкалы стимула может определять: а) величину экспоненты в показательной функции; б) величину константы k в логарифмической функции (функции Фехнера); в) будет ли общая форма психофизической функции показательной, логарифмической или какой-либо другой; г) величину отношения Вебера и степень постоянства, которую оно имеет; д) междимENSIONАЛЬНЫЕ корреляции между показателем степенной функции и динамическим диапазоном стимула.

Стимулами в психофизике являются основные физические величины длины, массы, времени и такие величины как вес, плотность, частота стимула, сила, энергия и т. д., которые обычно можно выразить через базисные величины с помощью простых математических функций. Приписывание чисел основным физическим величинам в общем случае рассматривается как пример процесса экстенсивного измерения (Krantz, Luce, Suppes, Tversky, 1971).

Как показано в работе (Myers, 1982), психофизические функции могут зависеть от того, как определен физический стимул. Ведет ли «прямое» психофизическое шкалирование к показательной, логарифмической или к любой другой функции, может определяться тем, какой аспект стимула выбран для того, чтобы представить его «интенсивность». Кроме того, величина экспоненты в показательной функции может зависеть от принятой меры стимула, а, если функция рассматривается как логарифмическая по результатам «прямого» субъективного шкалирования или же из-за принятия предположений Фехнера, величина константы k в выражении $\psi = k \log \varphi$ может зависеть от определения шкалируемого стимула.

Абсолютная величина отношения Вебера также может изменяться как функция меры стимула. Кроме того, отношение Вебера может быть константой при одном варианте измерения φ , но изменяться систематическим образом при переходе к другим вариантам измерения φ в той же самой модальности стимула. Отсюда вытекает,

что ведут ли предположения Фехнера к логарифмическому психофизическому закону или к некоторой другой функции, также может зависеть от измерения стимула. Можно привести примеры, иллюстрирующие эти утверждения.

Большая часть последующего изложения имеет дело с работами Стивенса. Есть несколько оснований для этого. Во-первых, показательный закон предположительно является общим принципом, который приложим ко всем интенсивным измерениям¹ ощущения. «В каждой сенсорной модальности ощущение является степенной функцией стимула» (Stevens, 1975). Во-вторых, степенной закон в настоящее время широко используется как наиболее удовлетворительная функция психофизического шкалирования. В-третьих, в работах Стивенса исследовалось и вводилось в единую понятийную систему больше различных сенсорных измерений, чем в работах какого-либо другого исследователя. В-четвертых, Стивенс придавал большое значение не только самой идее о том, что психофизические функции для протетического континуума являются показательными, но и абсолютной величине экспоненты, которая получается экспериментально для данной измерения ощущения. По этим причинам публикации Стивенса являются полезным источником для изучения влияния меры физического стимула на психофизическую функцию.

Рассмотрим некоторые измерения ощущений, которые во многих работах анализировались как психофизические показательные функции с эмпирически определенными величинами показателей степени n . В соответствии с работой (Stevens, 1970) величина показателя степени дает информацию об основных свойствах системы «вход–выход» рассматриваемых сенсорных измерений. Она характеризует пропорциональность, с которой выход системы, обозначенный как ψ , изменяется как функция входа стимула ϕ . Например, в работе (Stevens, 1961) перечислены 14 сенсорных измерений, имеющие величины показателя степени в диапазоне от 3,5 для субъективной величины удара как функции электрического тока, протекающего через палец, до 0,33 для яркости как функции светлоты однородной светящейся стимульной поверхности. Величины этих показателей степеней рассматриваются как характеристические параметры рассматриваемых систем, которые дают важную информацию о лежащих в их основании механизмах опосредования сенсорной интенсивности (Stevens, 1970). Показатель степени, равный 1,0, указывает на прямую пропорциональность между ощущением и стимулом. Считается, что малые величины показателя степени для громкости ($n < 1,0$) означают, что ухо действует как «компрессор», а большое значение показателя степени для электрического удара предполагает действие некоторого «расширителя» (Stevens, 1975)

Но нет смысла сравнивать показатели степени в психофизических функциях для громкости, яркости, электрического удара, тяжести и т. д., если нет осмысленного способа сравнивать измерение физического стимула в различных измерениях. Обычно существуют альтернативные способы измерения физического стимула, и часто далеко не ясно, что именно может конституировать эквивалентное измерение стимула в различных сенсорных измерениях. Эта позицию можно прояснить, если рассмотреть, как использовались физические шкалы измерения в различных задачах психофизического шкалирования, и увидеть, как это может влиять на психофизические уравнения.

1 Димензия – характеристика стимула (например, сила тока, интенсивность, высота и т. д.). Данное понятие использовалось в работах К. В. Бардина.

При шкалировании яркости света используется обычно как мера стимульной интенсивности. Независимо от используемой единицы света является линейной функцией плотности мощности светового потока на единицу телесного угла на единицу площади проекции целевой поверхности в направлении смотрящего глаза, т. е. если принять постоянным распределение спектральной энергии, то света прямо пропорциональна энергии стимула. Тем не менее вместо того, чтобы описывать интенсивность видимого электромагнитного излучения при помощи его плотности мощности, можно встретить определение интенсивности видимого электромагнитного излучения через интенсивность его поля. Такова обычная практика при измерении полей радиочастоты, которую можно распространить и на измерение света. В соответствии с ней света является линейной функцией мощности (пропорция потока энергии), но она пропорциональна квадрату интенсивности поля (когда мы имеем дело с полем с постоянным затуханием, что здесь предполагается). Можно полагать, что есть широко распространенная привычка считать, что света связана с мощностью, а не с интенсивностью поля.

С позиций измерения оптической интенсивности мощность поля и его интенсивность могут быть одинаково информативны, но с точки зрения психофизического шкалирования есть различия в том, какая мера используется. В последующей дискуссии надо помнить, что если ψ является показательной функцией одной шкалы стимула φ и, если надо сохранить показательную функцию второй шкалы стимула φ^* , то эти две шкалы стимулов должны быть показательными трансформациями друг друга, т. е., если $\psi = a\varphi^n$ и $\psi = b(\varphi^*)^m$, то тогда $\varphi^* = [(a/b)\varphi^n]^{1/m}$ или (принимая, что $a/b = c$), $\varphi^* = c\varphi^{n/m}$. Этот вывод также следует из того, что когда две альтернативные шкалы стимула являются показательными трансформациями друг друга и между ними существует простая связь, а психофизическая показательная функция была получена для одной из шкал стимула, то ψ должна быть также показательной функцией другой шкалы стимула φ^* , и при этом отношение двух психофизических показателей степени должно равняться показателю степени экспоненциальной трансформации между двумя шкалами стимула.

Простым примером этого положения является случай, когда имеются описания мощности светового поля (светота) и интенсивности электромагнитного поля, что является альтернативными экспоненциальными трансформациями видимой интенсивности стимула. В эксперименте, в котором испытуемые в темноте оценивали светящиеся круги малого размера (Stevens, 1975), делается вывод о том, что яркость является показательной функцией светлоты вида $\psi = k\varphi^{0,33}$. Но если интенсивность стимула была бы связана с интенсивностью электромагнитного поля, а не с мощностью, то тогда показатель был бы равен 0,66, а не 0,33, так как мощность пропорциональна квадрату интенсивности электрического поля. Если психофизическая функция действительно является показательной, то тогда она должна оставаться показательной независимо от того, какая из шкал используется, так как они являются степенными трансформациями друг друга. Но при этом величина показателя степени будет зависеть от используемой меры стимула.

О том, что существуют шкалы, относящиеся и к энергии, и к интенсивности стимула, вероятно, лучше знают работающие в области исследования слуха, чем в области зрения. При предположении, что среда имеет постоянную величину акустического затухания (как это принято в экспериментах со слухом), мощность фронта акустической волны считается пропорциональной квадрату давления акус-

тического поля. При исследовании слуха или в психофизических экспериментах по слуху обычно используются и та, и другая шкалы.

Так же, как и в случае шкалирования яркости, если принять, что громкость является показательной функцией акустической интенсивности, то тогда показатель степени должен быть удвоен при условии, что φ в формуле $\psi = k\varphi^n$ является акустическим давлением, а не акустической мощностью. Этот факт используется в некоторых работах Стивенса по шкалированию громкости (Stevens, 1971, 1975). В одних работах он определяет стимул просто как акустическое давление и приводит величину показателя степени, равную 0,6 (Stevens, 1959); в других работах он определяет стимул как акустическую мощность и приводит показатель степени равный 0,3 (Stevens, 1961); есть работы, в которых он переходит от одного показателя степени к другому (Stevens, 1975).

В этом отношении димензия величины удара током вызывает особый интерес. При сравнении показательных функций различных димензий ощущений, электрический удар всегда имеет самую крутую форму с показателем степени, примерно равным 3,5. Эти графики и таблицы многократно повторяются во всех учебниках и обычно сопровождаются утверждениями о том, что величина показателя степени (или наклон функции) указывает на пропорцию, с которой выход системы (ощущение) растет как функция входа системы (физическая интенсивность). Функция для электрического удара является наибольшей в списке по этой характеристике. Но что является входом системы? В экспериментах Стивенса физическим стимулом является электрический ток (I) в миллиамперах, проходящий через палец испытуемого (Stevens, Shickman, 1958). Это служило димензией стимула, которая использовалась в большинстве психофизических работ по электрическому удару (Hawkes, 1960).

Интересно отметить, что начиная с работы 1959 г. Стивенс, очевидно, решил использовать шкалу дБ для интенсивности электрического удара так же, как это он делал для света и звука (Stevens, 1959). Хотя и не было показано, как величина удара конвертируется в дБ, но видно, что дБ электрического удара должны быть подсчитаны как $\text{дБ} = 10\log(I_a^2/I_b^2)$, где I_a является током удара, который должен быть выражен в дБ, а I_b является током референтного стимула. Можно только догадываться о том, что Стивенс решил, что квадрат тока пропорционален мощности стимула, и потому для того, чтобы сделать дБ электрического удара аналогичными дБ звука или света, его надо отнести к мощности стимула. Но интересно, что, предварительно выбрав I^2 как меру, в наибольшей степени сходную с мощностью света и звука, он, видимо, не считал необходимым использовать I^2 для шкалирования φ в психофизических экспериментах при получении показательных функций субъективной интенсивности электрического удара. Если бы φ было шкалировано в I^2 , а не в I , то тогда показатель степенной функции имел бы меньшую величину и был бы равен 1,75, а не был бы самым большим и равным 3,5. В действительности есть весомые доказательства того, что при работе с обычными электродами в процедурах электрической стимуляции импеданс человеческой ткани постоянно изменяется как функция величины тока и потому I^2 не является точной мерой мощности стимула. По этой же причине, когда стимул определяется через приложенное напряжение (U), то не существует простой связи между мерой стимула и рассеиваемой в стимулируемой ткани мощностью. При средней константе импеданса мощность прямо пропорциональна U^2 .

Этот факт был принят во внимание в работе, в которой импеданс кожи контролировался таким образом, что могли быть определены психофизические функ-

ции для тока или мощности. В работе делается вывод о том, что субъективный электрический удар является показательной функцией стимульного тока и имеет показатель степени, примерно равный 2,26. При этом субъективный удар электро-током является показательной функцией мощности стимула с показателем степени примерно вдвое меньшим. Эта единственное исследование, в котором получен результат, что различные способы измерения воздействия электрического тока resultируются в различные функции ощущения.

Таким образом, как показано выше, расчеты показывают, что при обращении к корректным альтернативным физическим мерам в психофизическом эксперименте при шкалировании яркости и воздействия электрическим током могут быть получены результаты, интерпретируемые неклассическим образом.

Литература

- Fechner G. T.* Elemente der Psychophysik. Leipzig: Breitkopf & Hartel, 1860.
- Hawkes G. R.* Cutaneous communication: Absolute identification of electrical intensity // *Journal of Psychology*. 1960. 49. 203–212.
- Kranz D. H., Luce R. D., Suppes P. & Tversky A.* Foundations of measurement. New York: Academic Press, 1971.
- Myers A. K.* Psychological scaling and scales of physical stimulus measurement // *Psychological bulletin*. 1982. V. 92. N 1. 203–214.
- Stevens S. S., Shickman G. M.* The perception of repetition rate // *Journal of Experimental Psychology*. 1959. 433–440.
- Stevens S. S.* Mathematics, measurement, and psychophysics // S. S. Stevens (Ed.). *Handbook of experimental psychology*. New York: Wiley, 1951.
- Stevens S. S.* Decibels of light and sound // *Physics Today*. 1959. V. 10. 1217.
- Stevens S. S.* On the psychophysical law // *Psychological Review*. 1957. 64. 153–181.
- Stevens S. S.* Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration and electric shock // *Journal of Experimental Psychology*. 1959. 201–245.
- Stevens S. S.* Tactile vibration: Dynamics of sensory intensity *Journal of Experimental Psychology*. 1959. 210.
- Stevens S. S.* The psychophysics of sensory function. Mass.: M. I. T. Press, 1961.

ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ТЯЖЕСТЬЮ, ЗАПАХАМИ И ВКУСОМ ОТ ВЫБРАННОЙ МЕРЫ ФИЗИЧЕСКИХ СТИМУЛОВ

А. П. Пахомов, Н. Г. Шпагонова***

* Российский университет дружбы народов (Москва)

** Институт психологии РАН (Москва)

Pakhomoff44@yandex.ru

В статье проверяется предположение о том, что функции, полученные в психофизическом эксперименте с тяжестью, запахом и вкусом, зависят от меры, выбранной для репрезентации величины физического стимула. Показано, что в зависимости от выбранной меры указанных

физических стимулов результаты классических психофизических экспериментов могут иметь неклассическую интерпретацию.

Ключевые слова: психофизическое шкалирование; кривые Фехнера и Стивенса, отношение Вебера, мера физического стимула.

Целью психофизического шкалирования является определение природы функции, связывающей субъективную величину (ψ) с физической величиной (ϕ) в формуле $\psi = f(\phi)$.

Одной из проблем интерпретации результатов психофизического эксперимента является то обстоятельство, что используемые меры физического стимула бывают не всегда конвенциональны, что может приводить к различию в интерпретациях результатов одинаково выстроенных экспериментов.

Если не рассматривать громкость, яркость, электрический удар и тактильную вибрацию, то трудно придумать димензию, которая была бы объектом исследования по психофизическому шкалированию и которая могла бы быть связана в некоторой простой форме с мерами энергии стимула. Необходимо отметить, что только в упомянутых выше 4 модальностях Стивенс измерял стимулы в дБ. Для большинства других димензий трудно представить себе, как психофизическая показательная функция с некоторой величиной показателя степени может быть связана осмысленным образом с показательными функциями и показателями степени для других сенсорных димензий. В качестве примера можно рассмотреть эксперименты с тяжестью. Так, в классических экспериментах по поднятию веса применялся метод продуцирования отношений и был сделан вывод о том, что тяжесть является показательной функцией веса. В работе (Stevens, 1975) сообщается о величине показателя степени, равной 1,45 для большинства исследований такого рода. Тем не менее почему вес должен быть использован как мера стимула при шкалировании тяжести? Является ли вес взвешиваемого объекта сравнимым с единицами измерения стимула, используемого в изучении слуха и зрения?

Процесс преобразования энергии, несомненно, является некоторой функцией веса взвешиваемого объекта, хотя мало что известно о том, чем могла бы быть эта функция. В психофизических исследованиях с подниманием веса проблема становится запутанной, так как в оценку тяжести, видимо, вовлечен более чем один тип рецепторов. Поэтому есть небольшое основание для предположения о том, что психофизическая функция, связывающая тяжесть с весом, является сравнимой с аналогичной функцией, связывающей яркость со светлотой, т. е. не существует особого резона верить в то, что энергия, переносимая на релевантные рецепторы тяжести, прямо пропорциональна оцениваемому весу, и потому шкалу веса в суждениях о тяжести можно рассматривать как эквивалентную шкале светлоты в оценках яркости.

Но, рассматривая другие димензии, можно сказать, что там еще труднее определить какой-либо базис для сравнения результатов шкалирования физических стимулов. Как, например, сравнивать частоту появления стимула в исследованиях зрения и слуха, длину линии, численность точек на карте, силу сжатия, шероховатость поверхности и концентрацию пахучего вещества, хотя это не полный список? Если в этих модальностях продуцируются различные функции «вход–выход», то как узнать, что эти различия большей частью не определяются тем, что величина стимула для каждой модальности была определена некоторым особым способом?

Работа Стивенса, посвященная шкалированию субъективной шероховатости и гладкости, также показывает возможность использования альтернативных мер стимула. Стимулами у Стивенса были различные варианты наждачной бумаги. Измерение проводилось при помощи использования разных номеров ее грубости, и был получен показатель степени, равный 1,5. В работе говорится, что «для настоящих целей номер наждачной бумаги может рассматриваться как пропорциональный соответствующему диаметру зерна». Но предположим, что стимулы измерены по плотности частиц, т. е. по числу частиц на единицу площади. Это будет примерно пропорционально квадрату диаметра соответствующей частицы при предположении, что песчинки различных размеров расположены столь плотно, сколь возможно, на поверхности бумаги. Показатель степени для плотности частиц тогда был бы равен примерно половине того, чем он является для размера песчинки, т. е. 0,75, а не 1,5.

Приведенный выше пример является случаем, в котором одна мера стимула приводит к показателю степени, большему 1, что в работах Стивенса обычно интерпретируется как констатация наличия класса «расширителей» сенсорных преобразований, а другая мера приводит к показателю степени, меньшему 1,0, что интерпретируется как «сенсорная компрессия» (Stevens, 1959, 1970).

Выбор меры физического стимула может быть важным и для ответа на вопрос, является ли психофизическая функция в действительности показательной, логарифмической или какой-либо еще.

Даже такая кажущаяся простой проблема, каким образом была определена концентрация вещества, выступающая как стимул в экспериментах со вкусом, может иметь важные последствия для уравнений шкалирования. В классической работе на эту тему шкалировались субъективные интенсивности вкуса для некоторых растворенных в воде веществ. Авторы исследования придумали новый термин «густ» для единицы субъективной интенсивности вкуса. В работе (Stevens, 1957) эти результаты рассматриваются как показывающие, что интенсивность вкуса является степенной функцией меры стимула, которая описывается как «отношение растворимого к растворителю», т. е. в работе, где растворы были сделаны путем добавления определенного числа граммов растворимого вещества (поваренная соль, сахар, сульфат хинина и т. д.) к 100 кубическим сантиметрам воды, а интенсивность стимула была определена в граммах растворимого вещества (плюс 100 кубических сантиметров воды). Если плотность раствора принять равной 1,0, то стимульная шкала является эквивалентной $100 \times$ (вес растворимого/вес растворителя). При получении показательной функции для вкуса в некоторых работах также используется эта мера.

В то же время в ряде работ сообщается о показательной функции, полученной при работе со стимулами, измеренными в концентрации при помощи веса (т. е. вес растворимого/общий вес раствора). Эта мера концентрации не является мерой, использованной в других классических работах. Поэтому в принципе не представляется возможным, чтобы и для той, и для другой меры существовала бы одинаковая показательная функция интенсивности вкуса.

В большинстве психофизических исследований вкуса стимулы измерялись или в молярной концентрации, или в «проценте» веса растворимого на единицу объема общего раствора. Эти две меры являются просто пропорциональными функциями друг друга, но они не являются показательными функциями двух ранее описанных шкал стимула. В значительном числе исследований сообщалось

о степенной функции интенсивности вкуса для стимулов, измеренных в молярной концентрации или при помощи веса растворимого/объем раствора. И снова, если субъективная интенсивность была показательной функцией этого класса мер, то она не могла быть показательной функцией какого-либо другого класса мер.

Различные вещества дают различные кривые молярной концентрации при разных мерах из-за характеристик молекулярных структур растворяемых веществ и из-за их взаимодействия с молекулами воды при получении общего объема раствора. Связь между концентрацией, определяемой при помощи веса и при помощи веса раствора, +100 кубических сантиметров является одной и той же для любого растворяемого вещества.

На всем диапазоне концентраций различные варианты измерения являются примерно линейными функциями друг друга, и в психофизическом эксперименте по шкалированию может оказаться трудным обнаружить различия между ними при использовании ограниченного диапазона стимулов. В то же время в некоторых работах с использованием сахара и сахарина были использованы концентрации в широком диапазоне от очень большого разбавления до 50% от общего веса. В таких экспериментах было бы интересно попробовать получить данные по всем трем методам измерения для того, чтобы посмотреть, что лучше подходит к показательной функции и не дают ли некоторые другие функции лучшее соответствие определенным мерам. Некоторые из этих мер могут превосходить другие для определенных практических и теоретических целей, и тогда можно было бы получить основательные аргументы для утверждения о том, что одна из них является самой подходящей мерой для психофизического шкалирования.

Сходная ситуация существует в психофизическом шкалировании интенсивности запахов. В исследованиях по загрязнению воздуха обычно определяют загрязнители воздуха в частицах-на-миллион (ppm). Иногда использование этого способа для оценки концентрации пахучих веществ можно найти в работах по шкалированию запахов. В других работах стимулы определяются как масса пахучего вещества на единицу объема смеси с воздухом (мг на литр) или как давление пара внутри бутылки с раствором пахучего вещества в жидком растворителе, из которого осуществляется вдыхание.

Концентрация «частицы на миллион» является по базису относительным индексом концентрации (т. е. молекулы пахучего вещества/молекулы воздуха), а другие индексы концентрации являются мерами пропорции пахучего вещества в данном объеме газовой смеси (т. е. молекулы пахучего вещества/всего молекул в смеси). Это приблизительно эквивалентно различию между мерой «вес растворителя +100 кубических сантиметров воды» и процентом веса (об этом было написано выше для концентраций жидкостей при изучении вкуса). Использование этих двух методов оценки концентрации приводит к шкалам, которые являются в принципе криволинейными функциями друг друга. На практике концентрация газа в работах по шкалированию запахов бывает столь малой, что различия в измерении стимулов не имеют последствий для психофизических функций.

Есть некоторые экспериментальные исследования по шкалированию и запахов, и вкуса, в которых мера концентрации не определяется с точностью, достаточной для того, чтобы получить ясную картину о том, какая шкала стимулов используется. Например, термин «процентная концентрация» сам по себе не является достаточно детализированным для того, чтобы определить различия между несколькими обсужденными выше мерами. С другой стороны, в других работах есть не только

разделы, посвященные единицам концентрации, но также показана важность проблем измерения стимула.

Легко показать, что использование таких методов «прямого» шкалирования, как оценка величины при различных способах измерения физического стимула, приводит к различным формам психофизической функции. Но это замечание также справедливо в отношении получения психофизических шкал с использованием логики Фехнера. Предположим, что было эмпирически найдено, что последовательные ЕЗР на некоторой интенсивной димензии соответствуют росту физического стимула с равными отношениями (т. е. что закон Вебера эмпирически справедлив). Если принять, что ЕЗР является единицей субъективной интенсивности, то тогда психофизическая функция для рассматриваемой димензии должна быть логарифмической.

Когда стимулы перешкалируются, т. е. переводятся из одной шкалы в другую (эти шкалы являются показательными функциями друг друга) логарифмическая психофизическая функция обычно остается логарифмической, но константа k в формуле $\psi = k \log \phi$ изменится, т. е. если $\psi = a \log \phi^*$ и $\psi = b \log(\phi^*)^m$, то тогда $a_n \log \phi = b_m \log \phi^*$ и $a \log \phi = b(m/n) \log \phi^*$. Например, если яркость рассматривать как логарифмическую функцию светлоты в соответствии с законом Фехнера, то тогда, если стимулы измерять в интенсивности электромагнитного поля, а не светлоты, функция стала бы логарифмической с величиной $2k$. Эти рассуждения представляют собой параллель случаю показательной функции, в котором перевод в единицы интенсивности электромагнитного поля с необходимостью удваивал бы показатель степени. Для некоторых случаев нелинейного пересчета стимула функция перестает быть логарифмической. Например, если интенсивность вкуса является логарифмической функцией интенсивности стимула, измеренного с использованием концентрации стимула, то в случае, когда стимул был определен в молярной концентрации, она не будет логарифмической.

Может показаться примечательным, что показательная функция была найдена для очень разных групп мер стимула, как об этом сообщается во многих публикациях, но надо помнить о том, что определение той или иной психофизической функции по данным, которые зашумлены и подвержены ошибкам, часто определяются без необходимой тщательности. На практике уравнение показательной функции должно включать в себя не только константы n и k , но также и оценку величины стимула, соответствующего абсолютному порогу ϕ_0 , что приводит к уравнению вида $\psi = k(\phi - \phi_0)^n$. Это уравнение предполагает три степени свободы для подбора кривой. В некоторых работах высказана критика, связанная с тем, что для лучшего соответствия показательной функции величина ϕ_0 иногда просто подгоняется. В других работах отмечается, что при помощи того или иного степенного уравнения может быть достаточно обоснованно подобрано большое число монотонных функций.

Литература

- Fechner G. T.* Elemente der Psychophysik. Leipzig: Breitkopf & Hartel, 1860.
- Hawkes G. R.* Cutaneous communication: Absolute identification of electrical intensity // *Journal of Psychology*. 1960. 49. 203–212.
- Kranz D. H., Luce R. D., Suppes P. & Tversky A.* Foundations of measurement. New York: Academic Press, 1971.

- Myers A. K. Psychological scaling and scales of physical stimulus measurement // Psychological bulletin. 1982. V. 92. N 1. 203–214.
- Stevens S. S. & Shickman G. M. The perception of repetition rate // Journal of Experimental Psychology. 1959. 433–440.
- Stevens S. S. Mathematics, measurement, and psychophysics // S. S. Stevens (Ed.). Handbook of experimental psychology. New York: Wiley, 1951.
- Stevens S. S. Decibels of light and sound. Physics Today. 1959. V. 10. 1217.
- Stevens S. S. On the psychophysical law // Psychological Review. 1957. 64. 153–181.
- Stevens S. S. Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration and electric shock // Journal of Experimental Psychology. 1959. 201–245.
- Stevens S. S. Tactile vibration: Dynamics of sensory intensity // Journal of Experimental Psychology. 1959. 210.
- Stevens S. S. The psychophysics of sensory function. Mass.: M. I. T. Press, 1961.

ВЕБ-РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОГО МАТРИЧНОГО ТЕСТА ИНТЕЛЛЕКТА БЕРТЛИНГА–ХОЛЛИНГА

Е. С. Перевезенцева, Д. В. Ушаков, А. С. Панфилова

Московский городской психолого-педагогический университет (Москва)
panfilova87@gmail.com

Автоматизация методик тестирования оказывает положительное действие на повышение качества и снижение стоимости психодиагностического эксперимента. В данной работе рассматривается веб-реализация адаптивного матричного теста интеллекта, который основывается на анализе геометрических фигур, разработанном Бертлингом–Холлингом.

Ключевые слова: тестирование интеллекта, адаптивный тест, тест Бертлинга–Холлинга.

Введение

Адаптивное тестирование – это такой подход к тестированию, при котором предъявляемые испытуемому текущие задания зависят от результатов его ответов на предыдущие задания. Использование заданий, соответствующих уровню подготовленности респондента, существенно повышает точность измерений и минимизирует время индивидуального тестирования до 5–10 минут.

Целесообразность адаптивного контроля вытекает из соображений рационализации традиционного тестирования. Подготовленному испытуемому нет необходимости давать легкие задания, потому что высока вероятность их правильного решения. Симметрично, из-за высокой вероятности неправильного решения нет смысла давать трудные задания слабому испытуемому.

Общая характеристика теста

Каждый вопрос теста имеет одинаковую логическую структуру: геометрические фигуры А, В, С, состоящие из нескольких элементов, фигура D под знаком вопроса и 9 вариантов ответа (рисунок 1). Респонденту необходимо выбрать объект, который должен быть вместо вопросительного знака (фигуры D). Для этого ему необходимо

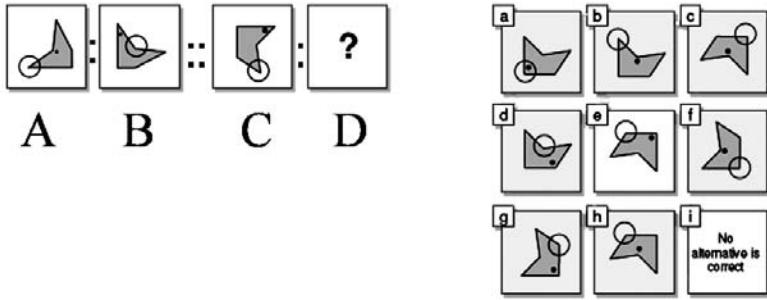


Рис. 1. Структура вопроса теста

понять закономерность между фигурами А и В, т. е. каким образом из фигуры А была получена фигура В, и по аналогии выбрать фигуру, которая должна быть получена тем же методом из фигуры С.

В качестве фигур, которые предъявляются испытуемому, используется 8 основных форм: 4 вида выпуклых и 4 вида вогнутых пятиугольников. Из основных форм путем различных преобразований могут быть получены еще по 7 вариантов для каждой. В качестве методов преобразования основных используются поворот и отражение. В качестве дополнительных особенностей фигур используются: круг, прямоугольник, точка, прямая. В каждой фигуре могут использоваться любые 2 особенности одновременно. Преобразование фигуры А в фигуру В осуществляется не только путем преобразования исходной формы, но и путем преобразования дополнительных особенностей. Таким образом, в тестовом задании предполагается использовать 9600 возможных фигур.

Трудность задания определяется количеством преобразований, которые были применены к фигуре «А» для получения фигуры «В».

Самая главная характеристика заданий адаптивного теста – это уровень их трудности, полученный опытным путем. Таким образом, были определены различные коэффициенты трудности для преобразований фигур в вопросах теста.

К предъявляемым вариантам ответов существуют определенные требования:

- 7 частично правильных вариантов ответа;
- 1 правильный вариант ответа;
- 1 вариант «Ни один из представленных вариантов не подходит».

К неправильным вариантам ответов предъявляются требования, предполагающие генерацию: 3 вариантов с 1 отклонением от правильного варианта ответа; 2 вариантов с 2 отклонениями от правильного варианта ответа; 2 вариантов с 3 отклонениями от правильного варианта ответа;

Данный тест гарантирует уникальность тестовых заданий и вместе с тем достаточное количество вариантов ответов (генерация которых уникальна к каждому тестовому заданию), в результате чего минимизируется возможность заучивания правильных ответов.

Математическая модель

В работе для оценки уровня интеллектуальных способностей используется модель Rasch Measurement (Г. Раш) как частная модель Item Response Theory (IRT –

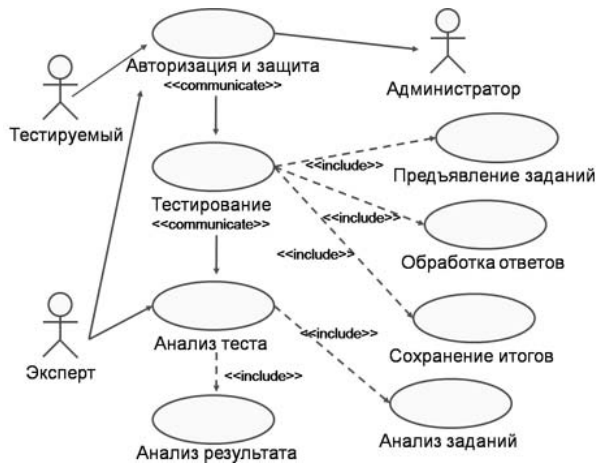


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования системы интернет-тестирования (UseCase диаграмма)

математико-статистическая теория оценки латентных параметров заданий теста и уровня подготовленности испытуемых). Согласно данной модели, вероятность ответа испытуемого на вопрос тестового задания должна быть равна 0,5, что исключает угадывание ответа.

Для оценки возможной ошибки измерения используется алгоритм Ньютона–Рафсона, согласно которому можно установить порог допустимой ошибки оценки интеллектуальных способностей испытуемого, после превышения которой тестирование завершается.

Структура основных компонентов теста

Диаграмма вариантов использования системы приведена на рисунке 2. Диаграмма отображает структуру и функции системы применительно к различным целевым категориям пользователей (администратор, тестируемый, эксперт), выделены подсистемы авторизации и защиты, тестирования и анализа теста.

Структура ключевой подсистемы тестирования с точки зрения разработчика, реализованная средствами расширения языка UML, показана на рисунке 3. Система состоит из ряда модулей, представляющих собой скрипты (сценарии) на языке PHP или html-страницы, включающие такие скрипты. Состав и схема взаимодействия модулей представлена на рисунке 3.

Тест реализован на базе компьютерной сети, что обеспечивает все удобства работы, предоставляемые Интернетом:

- удаленный доступ к информации;
- наглядность;
- привычность и простоту использования.

В качестве средств реализации используются:

- интернет-сервер с ОС Unix FreeBSD;
- веб-сервер Apache;

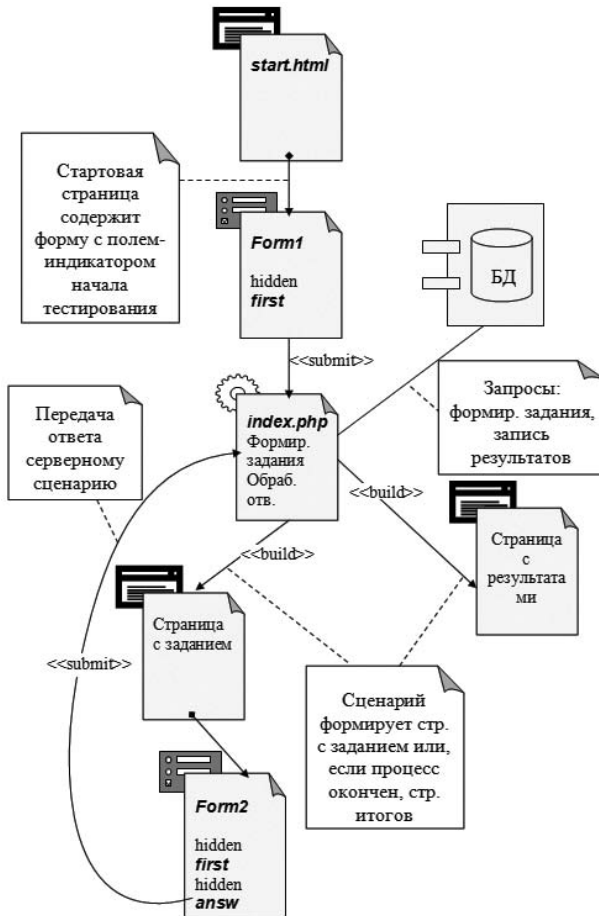


Рис. 3. Логическая схема функционирования подсистемы тестирования

- интерпретатор языка PHP;
- СУБД MySQL.

Результат работы представляет собой web-приложение с обработкой данных на стороне сервера, функционирующего в Интернете и размещенного по адресу: <http://be.myentity.ru>.

Литература

- Jonas Bertling & Heinz Holling. Figural Analogy Test // Westfälische Wilhelms-Universität. Münster, 2009 г. (в рукописи).
- Колисниченко Д. Н. Разработка Web-приложений. СПб.: БХВ-Петербург, 2009.
- Коналлен Д. Разработка Web-приложений с использованием UML / Пер. с англ. Вильямс, 2007.
- Розенфельд Л. Информационная архитектура в Интернете. 2-е изд. / Пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2005.
- Томсон Лаура. Разработка Web-приложений на PHP и MySQL. СПб.: ДиаСофтЮП, 2003.

ПРИБОР ДЛЯ ЗВУКОВОГО КОНТАКТА С ПЛОДОМ В УТРОБЕ МАТЕРИ

Д. А. Савинов*, П. В. Субочев**

* Институт физики микроструктур РАН (Нижний Новгород)

** Институт прикладной физики РАН (Нижний Новгород)

Den-12006@yandex.ru

Известны многочисленные попытки доставки в утробу внешних звуков – музыки, голосов сторонних людей и др. – с целью оценки их влияния на пре- и постнатальное психологическое развитие ребенка. При этом обычно параметры звуковых сигналов не нормируют и не измеряют, что может быть опасным для плода, а также затруднять оценку их когнитивного влияния. Настоящая работа направлена на обеспечение доставки содержательных акустических сигналов с нормированными физическими характеристиками.

Ключевые слова: пренатальное развитие, виброакустические поля, восприятие звуков.

Известно, что зародыш, находящийся в утробе, слышит голос матери и реагирует на него (Logan, 1995). В результате последних исследований внутриутробного развития человеческих эмбрионов были выявлены новые возможности для поддержки развития малыша до его рождения, что обусловило открытие многочисленных «пренатальных университетов» по всему миру. Для еще не родившихся малышей разработана специальная программа дородового обучения. Программа основана на звуковом общении матери с ребенком. Благодаря этому после рождения дети привыкают к окружающему миру гораздо быстрее и более эффективно развиваются в нем. Однако из-за того, что разница акустических импедансов воздуха и биологических тканей велика, звуки внешнего мира очень плохо проникают в материнскую утробу. Поэтому прочие родственники младенца лишены возможности такого дородового контакта с ребенком, который доступен матери.

Предлагаемая разработка направлена на создание прибора, благодаря которому человеческий зародыш мог бы слышать голоса и других людей. Для этого предполагается преобразовывать акустический сигнал, возникающий во внешнем мире, в вибрационный, который может быть введен в материнскую утробу с помощью простого согласующего устройства.

Разработку прибора предполагается проводить в несколько этапов:

- Исследование амплитудно-частотных характеристик сигналов, возникающих на поверхности живота матери под воздействием ее голоса.
- Разработка согласующего устройства, включающего в себя систему вибровозбуждения и фильтрации, которые обеспечат приблизительное соответствие диапазонов амплитудно-частотных характеристик полей внутри утробы таким, которые создаются в ней при тканевом проведении голоса матери. Тем самым будут обеспечены и условия того, чтобы искусственный сигнал в утробе не нанес вред плоду и не напугал его.
- Проведение исследований работоспособности метода. Будут определены спектры сигнала, переданного в среду, имитирующую утробу, изучена зависимость амплитудно-частотных характеристик от типа среды и сопоставлены со спектрами сигналов, произведенных естественным голосом матери.
- Проведение исследований на беременных, где будут сопоставлены виброакустические сигналы на поверхности живота матери, возникающие непо-

средственно под действием ее голоса с сигналами, возникающими на поверхности живота при действии разработанного устройства.

- Изучение влияния дополнительной акустической информации на пре- и постнатальное психологическое развитие ребенка

На данный момент успешно завершен первый этап. Исследованы амплитудно-частотные характеристики сигналов, возникающих на поверхности живота матери под воздействием ее голоса, что, подобно работе (Korenbaum, 2008), позволило определить граничные значения амплитуд и частот виброакустических полей, возникающих под действием естественного голоса.

Экспериментальная установка включала в себя два высокочувствительных датчика. Первый из них являлся обыкновенным воздушным микрофоном с равномерной частотной характеристикой в слышимом диапазоне частот, регистрировавшим аудиосигнал, воспроизводимый матерью. Второй датчик – акселерометр – размещался на поверхности живота матери и регистрировал вибрации брюшной стенки, возникающие под действием ее голоса.

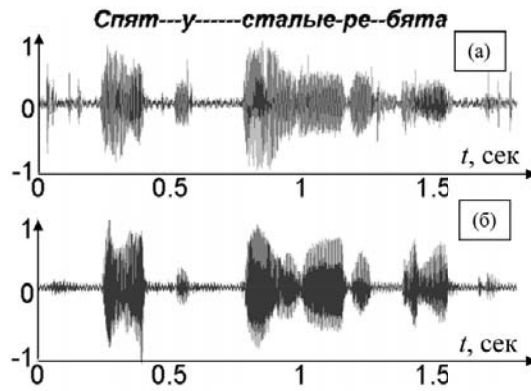


Рис. 1. Нормированные осциллограммы голоса беременной женщины, слышимые: (а) – в животе женщины; (б) – в воздухе

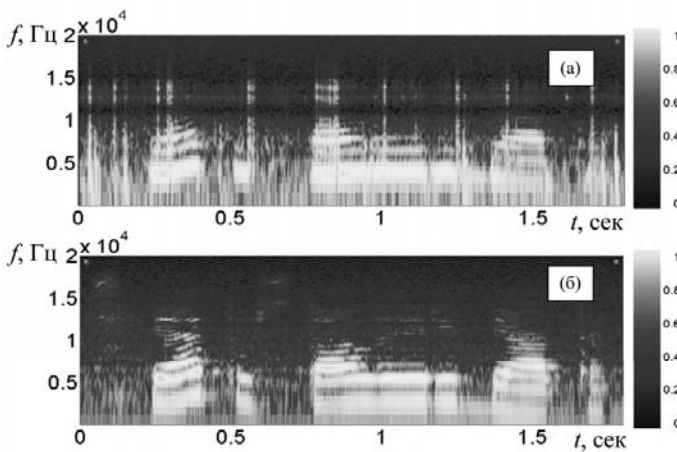


Рис. 2. Нормированные спектрограммы голоса беременной женщины, слышимые: (а) – в животе женщины; (б) – в воздухе

Проведение временного и спектрального анализа синхронно записанных сигналов (рисунки 1, 2) позволило получить достоверную информацию, достаточную для составления технических требований к характеристикам устройства для преобразования внешних звуковых сигналов в вибрации, которые позволят сделать эти звуки доступными для восприятия плодом.

Авторы выражают признательность профессору В. А. Антонцу за участие в постановке задачи и обсуждении путей ее решения.

Литература

Korenbaum V.I., Tagil'tsev A.A., Kostiv A.E., Gorovoy S.V., Pochekutova I.A. and Bondar' G.N. Acoustic Equipment for Studying Human Respiratory Sounds // Instruments and Experimental Techniques. 2008. V. 51. №2. P. 296–303.

Logan B. Fetal Sonic Stimulation // The Royal College of General Practitioners Official Reference Book. London, 1995.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЮЗАБИЛИТИ-МЕТРИК ПРИ АНАЛИЗЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ

М. В. Синуцына, А. Н. Костин

Институт психологии РАН (Москва)
msinits@gmail.com

В предлагаемой работе обосновывается необходимость психологического анализа деятельности пользователя для оценки удобства использования компьютерных интерфейсов с использованием юзабилити-метрик. Анализируется их новый вариант, разработанный на основе субъектно-деятельностного подхода. Рассматриваются результаты его применения для анализа деятельности пользователей корпоративной системы обучения.

Ключевые слова: пользователи, анализ деятельности, юзабилити-метрики.

В последние два десятилетия бурно развивается новая отрасль эргономики, которая называется юзабилити (примерный перевод – «удобство исследования»), задачей которой является создание удобных компьютерных интерфейсов. Одной из наиболее актуальных проблем юзабилити является разработка методов психологического анализа деятельности пользователей. В существующих международных стандартах ISO 9126–4 и ISO 9241–11 деятельность пользователя при работе с некоторым программным продуктом предлагается оценивать по следующим основным группам параметров:

- Эффективность – то, насколько успешно пользователь смог выполнить задачу.
- Продуктивность – количество затрат, как правило, временных, необходимых для выполнения задачи.
- Удовлетворенность – субъективная удовлетворенность пользователей от работы с продуктом.

В ходе теоретического анализа данного варианта юзабилити-метрик А. Н. Костин показал, что они неполны, часто не совпадают друг с другом, а самое главное – они

не охватывают всех аспектов деятельности (Костин, 2009). В частности, ни в ISO 9126-4, ни в ISO 9241-11 нет четкого определения, что такое «эффективность», «продуктивность» и «удовлетворенность», поэтому использование этих метрик носит ситуативный и зачастую произвольный характер. Метрика же «удовлетворенность» в том виде, в котором она существует сейчас, практически бесполезна. Подавляющее большинство пользователей, даже столкнувшись с существенными затруднениями в ходе решения определенной задачи, не могут четко осознать природу этих затруднений, поэтому решают, что работать с продуктом достаточно удобно, а все затруднения – это следствие их личных недостатков или внешних факторов (усталость, некомпетентность и т. д.).

Для преодоления отмеченных недостатков А. Н. Костиным был предложен субъектно-деятельностный подход к разработке юзабилити-метрик (Костин, 2009). В разработанном варианте юзабилити-метрики делятся на следующие четыре группы:

- Эффективность деятельности: различные аспекты результативности деятельности, такие как успешность деятельности (степень достижения целей деятельности) или эффективность анализа информации (психологическая характеристика, отображает степень адекватности, полноты и своевременности понимания возникающих ситуаций или представленной информации). Группа содержит 7 метрик.
- Экономичность деятельности: ресурсы, затрачиваемые на деятельность, такие как количественные показатели затрат на выполнение деятельности или субъективная сложность деятельности. Группа содержит 8 метрик.
- Надежность и безопасность деятельности: оценка помехоустойчивости выполнения, безошибочности, рисков и возможных опасных последствий деятельности. Группа содержит 8 метрик.
- Удовлетворенность деятельностью: различные аспекты отношения пользователя к продукту. При этом оценивается не только удовлетворенность от выполнения конкретного задания, но и отношение к продукту в целом, например, насколько он полезен и эффективен. Группа содержит 12 метрик.

Для большей определенности и разносторонности оценок метрики каждой группы разделены на технологическую и психологическую подгруппы. Метрики технологической подгруппы отражают аспекты деятельности пользователя, связанные со свойствами продукта, а метрики психологической подгруппы – с особенностями психологических процессов деятельности.

Средствами получения данных по юзабилити-метрикам являются экспертная оценка и анкетирование пользователей. Для этого разработаны специальные бланки экспертной оценки и анкеты пользователей. В качестве эксперта обычно выступает экспериментатор, проводящий исследование. Пользователь самостоятельно оценивает свою деятельность по каждой группе метрик, отвечая на простые вопросы, например: «Всегда ли ваши действия приводили к нужному результату?» Тем самым пользователю предоставляется мощный инструмент для анализа собственной деятельности и снимается проблема, описанная выше (неподготовленному человеку сложно понять природу затруднений, которые у него возникли в ходе выполнения того или иного задания).

Проиллюстрируем эффективность применения описанных выше метрик на примере исследования корпоративной системы обучения, которая применяется в одной

из крупных российских компаний. Целевое назначение данной системы – введение в профессию новых сотрудников и повышение квалификации сотрудников, уже имеющих опыт работы в компании. Процесс обучения состоит в прохождении электронных обучающих курсов. Успешность обучения контролируется при помощи тестов, которые пользователи проходят в этой же системе. Часть курсов обязательна для прохождения и назначается администраторами системы: в этом случае пользователь получает уведомление о том, что ему назначен курс. Большую часть курсов пользователь может пройти самостоятельно, не дожидаясь назначения от администратора. Каждый сотрудник компании имеет доступ к системе со своего рабочего компьютера и может заниматься самообразованием в любое удобное для него время.

Система состоит из нескольких основных экранов: начало обучения, выбор курса для прохождения, экран с самим курсом, статистика по прохождению курса. Однако владельцы системы сообщают, что пользователи испытывают затруднения при работе с нею: часто обращаются за помощью в техническую поддержку, не занимаются самообразованием. Для повышения эффективности системы необходимо выявить причины этих затруднений и устранить их.

Для достижения поставленной цели было проведено тестирование системы. В ходе тестирования пользователи выполняли определенные задачи: например, выбрать и начать проходить курс для самообразования. Их деятельность по выполнению каждой задачи оценивалась по ряду специально отобранных для данного проекта метрик:

1 Метрики группы «эффективность»:

- Успешность деятельности: степень достижения целей деятельности.
- Эффективность анализа информации: степень адекватности, полноты и своевременности понимания возникающих ситуаций или представленной информации.
- Эффективность исполнительских действий: степень правильности, своевременности и точности исполнительных действий.

2 Метрики группы «экономичность»:

- Допустимость временных затрат, необходимых для выполнения поставленных задач.
- Субъективная сложность деятельности: степень затруднений при выполнении деятельности.
- Выраженность негативных эмоций: частота и относительная длительность проявления реакций раздражения, недовольства, чувства гнева, тупика, безысходности и т. п.

3 Метрики группы «безопасность»:

- Ошибочность действий: частота и количество допускаемых ошибок.

4 Метрики группы «удовлетворенность»:

- Удовлетворенность функциональностью продукта: отношение к назначению и полезности продукта.
- Удовлетворенность эффективностью продукта.
- Удобство представления информации: субъективная оценка привлекательности структуры и формы представления информации в интерфейсе.

- Удобство управления: субъективная оценка совершенства средств управления, ввода и корректировки данных в интерфейсе.
- Эстетическая удовлетворенность: отношение к эстетическим свойствам интерфейса в целом (красивый, изящный, элегантный или некрасивый, грубый, безобразный и т. п.).

Нами была выдвинута гипотеза, что опытные сотрудники будут испытывать меньше затруднений при выполнении заданий, чем те, которые никогда не работали с этой системой, поскольку они имели возможность ознакомиться с ней раньше. Это должно проявиться в том, что показатели по всем четырем группам метрик для опытных пользователей системы будут выше, чем для неопытных.

Для проверки этой гипотезы к тестированию было привлечено 8 человек: 4 неопытных пользователя системы (ни разу не проходили обучение до начала тестирования) и 4 опытных (проходили назначенное обучение и занимались самообучением до начала тестирования). Все пользователи выполняли 9 заданий. После каждого из заданий они заполняли анкету, содержащую параметры оценки деятельности. Кроме того, деятельность пользователей оценивалась экспертом, проводящим тестирование. Результаты тестирования представлены на рисунке 1.

Гипотеза не подтвердилась: эффективность деятельности опытных пользователей не выше, а иногда и ниже, чем у новичков. При этом удовлетворенность опытных пользователей от работы с системой ниже, чем неопытных. Оценить статистическую значимость представленных результатов не представляется возможным из-за слишком немногочисленной выборки, однако можно рассматривать их как тенденцию. Отчасти это связано с тем, что опытный пользователь, уже имея некий стереотип взаимодействия с системой, был вынужден выполнять в ходе тестирования некоторые принципиально новые для себя задания, в ходе которых он узнавал о новых функциях системы и понимал ошибочность некоторых своих представлений об устройстве системы. Новички в этом смысле имели некоторое преимущество над опытными пользователями, так как должны были усваивать новые знания, а не перестраивать уже прочно сложившиеся схемы.

Главными проблемами системы являются: неудобное расположение элементов управления (снижение оценок по шкалам «эффективность исполнительских действий», «ошибочность действий» и «удобство управления») и непонятные названия ссылок и кнопок (снижение оценок по шкалам «эффективность исполнительских действий», «эффективность анализа информации», «удобство представления информации»).

Анализ шкал «Удобство управления», «Оценка полезности системы», «Оценка эффективности системы», «Оценка эстетических качеств системы» и «Выраженность позитивных эмоций» дает дополнительную информацию о проблемах системы. По всем этим параметрам опытные пользователи дали более низкую оценку системы, чем неопытные. Очевидно, что опытный пользователь в ходе самообучения сталкивался со значительным количеством проблем и до начала тестирования. Поэтому в какой-то степени он «разочарован» системой. Если неопытный пользователь может предполагать, что источник всех его проблем – это его личная неопытность, то опытный пользователь точно знает, что проблема заключается в самой системе: она некрасива, ей неудобно и не всегда приятно пользоваться, и именно поэтому она неэффективна. Следовательно, ключевой проблемой данной

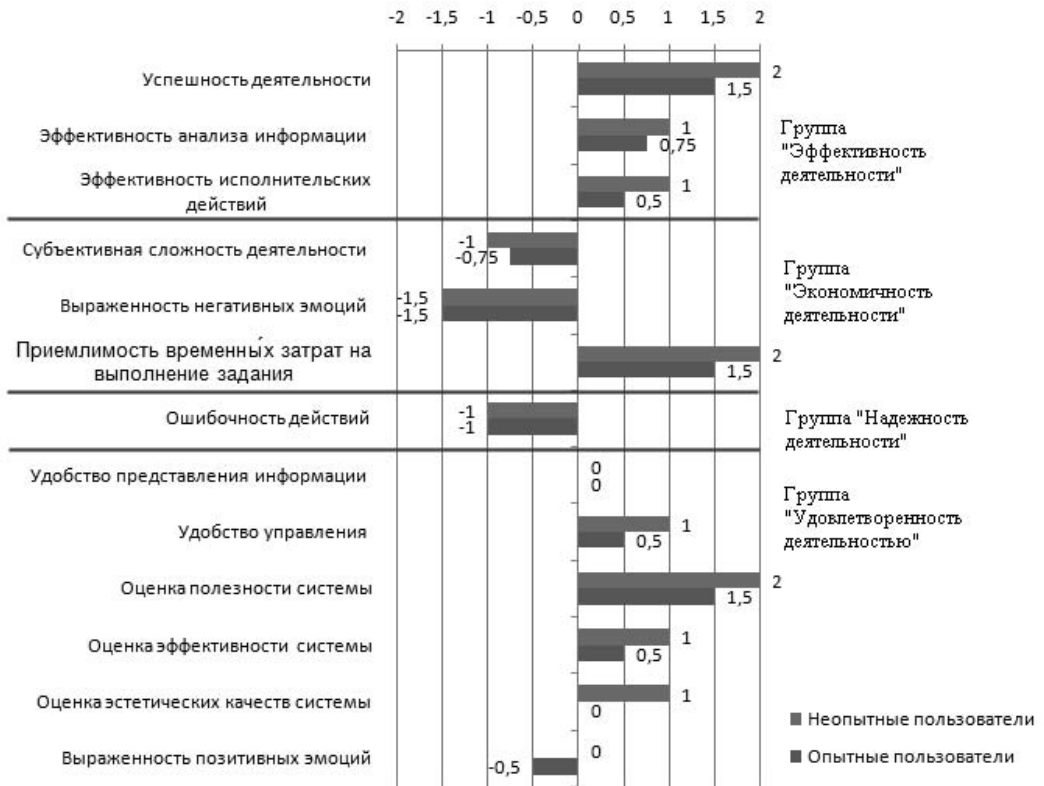


Рис. 1. Результаты юзабилити-метрик

системы является не то, что из-за ее неудобства сотрудники компании вынуждены часто обращаться в службу технической поддержки, а то, что она снижает у них мотивацию к самообучению и в этом смысле не достигает изначально возложенной на нее цели.

Таким образом, уже на основании одного анализа метрик (без анализа данных, полученных в ходе наблюдения за выполнением каждого задания) можно сделать выводы о природе затруднений, которые возникают в деятельности пользователя. На основании проведенного анализа становится ясно, что проблемы системы имеют не частный, а общий характер, поэтому вся система корпоративного обучения нуждается в перестройке и разработке новой единой стратегии развития. С использованием классических юзабилити-метрик такой анализ был бы невозможен.

Литература

Костин А. Н. Разработка юзабилити-метрик для эргономической экспертизы компьютерных продуктов на основе субъектно-деятельностного подхода // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Вып. 1. М.: Изд-во ИП РАН, 2009.

ОБОБЩЕННЫЙ ОБРАЗ И ПРОБЛЕМА ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

А. И. Худяков

Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, психолого-педагогический ф-т (Санкт-Петербург)
haipsy@yandex.ru

Что мы измеряем? Чем определяются результаты измерения? Что можно считать «измерительным прибором» в психологии? Результаты психофизических экспериментов дают надежду доказать возможность построения метрических шкал на основе прямых методов психологического измерения. Для доказательства этой возможности необходим анализ деятельности человека в процессе психологического измерения.

Ключевые слова: психологические измерения, обобщенный образ, модельное представление, свойства модели, концепция.

Постараемся показать, что основная проблема психологических измерений заключается не в построении соответствующих математических моделей, а в психологических основах деятельности человека при оценивании стимулов. В эту деятельность включается вся психика человека, поэтому из измерения элементарных ощущений как субъективной величины стимула сегодня проблема психологических измерений выросла в проблему моделирования структуры субъективного мира человека (Артемьева, 1990).

Действительно, тип шкалы главным образом определяется структурой эмпирической системы, т. е. структурой психического образа измеряемого стимульного набора. А формирование психического образа определяется, кроме всего прочего, организацией измерительной процедуры, которая включает человека-измерителя в контекст психологического измерения-эксперимента в соответствии с его индивидуальными особенностями. Таким образом, как раз исследование шкал, полученных посредством различных измерительных эмпирических процедур, позволяет получать, во-первых, более валидные результаты психологического измерения, во-вторых, судить о интер- и интраиндивидуальных различиях психических систем, актуализированных процессом измерения.

Если вспомнить три слоя субъективного отражения, которые рассматривала Е. Ю. Артемьева и соответствующие им модельные представления, то наиболее близким к представлению «образа мира» и, следовательно, к проблеме психологических измерений, проведение которых затрагивает самые глубинные структуры психики, нам представляется подход, развиваемый в концепции «обобщенного образа» (Худяков, Зароченцев, 2000). «Обобщенный образ» в этой концепции рассматривается как познавательная модель базовых психических образований. Эта модель разрабатывалась специально применительно к психофизическим исследованиям, в которых проявление психических явлений в экспериментальной ситуации наименее опосредовано.

Обобщенный образ (ОО) представляет базовую структуру целостной системы психики, которая отражает динамику реального, объективного мира в процессе непрерывного взаимодействия с ним. Активность, целостность, динамичность – основные свойства (характеристики) ОО и, следовательно, психики.

Активность ОО выражается, прежде всего, в выборе системы целей, которые обеспечивают существование субъекта деятельности, и постановке задач по их до-

стижению. В этом утверждении воплощается принцип развития, так как длительное существование любой системы (в том числе и психической) невозможно без ее развития, в противном случае система деградирует – разрушается. В основе выбора цели лежит прогноз потребного будущего.

Под целостностью системы психики и, соответственно, обобщенного образа понимается, прежде всего, равноправие элементов системы, отношения между которыми построены по координационному принципу.

В зависимости от конкретной деятельности, особенно в психологической лаборатории, эти элементы могут образовывать динамические иерархические цепочки, которые распадаются при изменении деятельности. При изменении деятельности образуются новые цепочки, иерархическая структура которых может быть совершенно иной. Этот процесс аналогичен образованию психологических систем (Выготский, 1982).

Изначальная целостность обобщенного образа является причиной неприятия людьми неопределенности. Неопределенность представляет угрозу целостности обобщенного образа. Устранить неопределенность – вернуть ощущение целостности. Так как принципиальное расхождение модели и объекта – обобщенного образа и мира – всегда порождает неопределенность, стремление эту неопределенность устранить лежит в основе активности субъекта.

Динамика обобщенного образа выражается в непрерывном его изменении, в процессе непрерывного взаимодействия с внешним миром. При ослаблении или прерывании этого взаимодействия в работе психики наступают сбои, она пытается компенсировать такое ослабление посредством галлюцинаций, чтобы сохранить целостность обобщенного образа. Примером этого могут служить психические изменения в ситуации сенсорной депривации.

Взаимодействие психики с объектом выражается в изменении психического образа объекта, т. е. результатом взаимодействия является не сам образ, а его изменение в процессе взаимодействия. В этом проявляется активность ОО, который изменяет образ объекта-ситуации, принимая его в свою структуру.

Так как процесс взаимодействия непрерывен и продолжается всю жизнь, результат пассивного воздействия на психику просто неуловим, в процессе жизни оно теряет смысл – каждый мгновенный срез динамического психического образа предопределен прошлым и будущим, поэтому уже является результатом взаимодействия. Психологическое время, оцениваемое примерно в 10 мс (Найсер, 1981), может служить отражением психикой такого «среза» в динамике обобщенного образа. Его можно назвать «временем квазистабильности».

Относительная неизменность внешней среды определяет в динамике обобщенного образа наличие составляющей, которая обладает достаточной инерционностью. Эта составляющая генерирует перцептивные гипотезы, которые, как правило, находят подтверждение в практике. Структуру обобщенного образа можно представить в виде ряда:

$$OO = O_0 + O_1 + O_2 + \dots + O_n,$$

у членов которого, по мере роста номера, убывает инерционность, повышается чувствительность к изменениям среды. Например, действие первых членов ряда проявляется в личностных особенностях людей, в их стереотипных реакциях на обыденные привычные ситуации; члены ряда с очень высокими номерами отвечают за реакции на микроизменения положения тела и принимают участие в организации уровней построения движений.

Активность, целостность и динамичность – основные свойства обобщенного образа – не могут быть независимы ни в каком смысле, даже в статистическом. Эти свойства вытекают одно из другого. Целостность, как целостность психического образования, не может быть неактивна, а активность, в свою очередь, проявляется в динамике.

Обобщенный образ, будучи активной субъективной моделью движения объективного мира, принципиально не может быть полным, тем более тождественным, отражением своего объекта. Модель всегда имеет довольно сильное расхождение со своим объектом, что представляется одним из источников развития. Расхождение объекта и модели не просто следствие опосредованности построения модели, но и принципиальное условия существования субъекта деятельности. Разумеется, расхождение подразумевается в разумных пределах, допустимый диапазон которых еще не был исследован.

Принято считать, что психический образ отражает ситуацию и регулирует деятельность, это ставит образ как бы несколько в стороне от деятельности. В концепции обобщенного образа последний определяет саму деятельность, будучи непосредственно включенным в нее.

Концепция «обобщенного образа» не просто декларирует целостность психики и предлагает новый предмет психофизики. Главное состоит в отказе от жесткой иерархии структуры психики, в представлении ее приближенной модели в виде динамической психологической системы, которая непрерывно меняется соответственно с изменением контекста: «объективный контекст + субъективный контекст = динамическая психологическая система» (моментальный снимок динамики обобщенного образа).

Концепцию обобщенного образа можно представить в виде следующих тезисов.

- 1 Вводится понятие обобщенного образа, отражающее целостность системы психики. Понятие целостности системы подразумевает равноправность ее элементов.
- 2 Равноправность элементов обобщенного образа означает, что невозможно выделить в «чистом» виде работу ни одной психологической системы. В лабораторных экспериментах можно организовать психологическую систему, в которой уровни активизации психических процессов будет различен, но эта искусственность, приводит к малой информативности подобных экспериментов. Отсюда следует, что понятия «сенсорная система», «перцептивная система», «когнитивные процессы» и т.д. представляют некоторые частные достаточно ограниченные модели.
- 3 Обобщенный образ формируется в течение всей жизни человека. Гетерохронность развития в детстве никак не отменяет понятие целостности.
- 4 Обобщенный образ – это активная опосредованная модель движения окружающего мира. Ее принципиальная нетождественность объекту отражения (объективной реальности) – один из возможных источников активности и развития психики.
- 5 Одним из принципов построения обобщенного образа является принцип снятия неопределенности между нашим представлением о внешнем мире и поступающей о нем актуальной информацией
- 6 Обобщенный образ формируется индивидуально. Не существует двух одинаковых обобщенных образов.

7 Индивидуальность обобщенного образа при экспериментальных исследованиях проявляется в индивидуальном образе экспериментальной ситуации, куда входят образ стимульного набора, образ инструкции (самоинструкция), образ критерия оценки (самокритерий), образ предполагаемых действий по выполнению инструкции и т.д. Это все проявляется в интериндивидуальных и интраиндивидуальных различиях результатов психофизических экспериментов.

Предложенная выше идея обобщенного образа может быть наиболее плодотворно применена к решению проблемы психологического измерения. Вне модели обобщенного образа эта проблема просто не возникает. Ограничиваясь рассмотрением только участием сенсорной системы в процессе психологического измерения, представители классической психофизики уподобляют субъект измерения измерительному прибору, из-за чего психологическое измерение теряет свою специфику (первая и вторая парадигмы классической психофизики).

Вся психометрия основана на предположении нормальности распределения «сырых» оценок. Но «...по своей природе закон нормального распределения лишь в очень ограниченных случаях может быть распространен на фенотипические образования. Такие образования не возникают, как это предусматривается гауссовым законом, в качестве результата воздействия на признак бесчисленного множества факторов – положительных, т.е. способствующих его увеличению, и отрицательных, способствующих его уменьшению. Напротив, действует такой мощный фактор как культурно-историческая среда, имеющий определенное содержание и направленность; социальное окружение хорошо знает, что оно хочет от человека и какими должны быть те или иные его свойства и признаки. Нормативные требования среды вполне реализуются во внешнем поведении и привычках... Но им подчиняется и психическая деятельность – даже когда человек намерен вступить с ними в конфликт» (Гуревич, 1997).

Сторонники современных методов многомерного шкалирования увлечены математическими преобразованиями, но при этом забывают, что в основе любых математических построений лежат результаты, полученные эмпирически.

Причины такого пренебрежения психологическими проблемами психологического измерения лежат главным образом, во-первых, в еще неизжитых двух парадигмах классической психофизики, во-вторых, в определении измерения как процесса сравнения объекта измерения с неким «объективным эталоном», отсюда недоверие к возможности психологического измерения.

Действительно, что и с чем можно сравнивать в психологии? Сегодня измерением называют не сравнение объекта измерения с эталоном, а гомоморфное отображение структуры объекта измерения в какое-то формальное множество. Степень гомоморфизма и отношения, определенные на формальном множестве, определяют тип полученной шкалы.

«Эксперименты по количественному оцениванию отличаются от экспериментов по идентификации тем, что, функция идентификации не задается экспериментатором. Мы предполагаем, что такая функция вводится испытуемому инструкцией, и именно эту функцию хотят оценить по результатам эксперимента» (Льюс, Галантер, 1967). Опасность при количественной оценке, кроме всего прочего, видится и в том, что отклики испытуемых могут отражать их привычки к тем или иным числам, а не оценки стимулов.

Концепция обобщенного образа рассматривает непосредственное включение в ситуацию эксперимента всей психики в целом. В результате этого взаимодействия у испытуемого формируется индивидуальная «функция идентификации». Насколько формирование этой функции определено ситуацией эксперимента, а насколько «привычкой испытуемых к тем или иным числам» или влиянием эффекта «long-standing measurement oversight» (Левин, 2000) – т. е., по сути, влиянием индивидуального семантического поля испытуемого на понимание инструкции – зависит от нашего умения организовать эмпирическую процедуру эксперимента-измерения. Но декларируемое в концепции обобщенного образа непосредственное включение в процесс измерения всей целостной структуры психики позволяет надеяться именно в рамках этой концепции подойти к решению проблемы психологического измерения.

Литература

- Артемьева Е. Ю. Психология и математические модели субъективного мира // Вестник Московского университета. Сер. 14. Психология. 1990. №3. С. 4–15.
- Выготский Л. С. О психологических системах // Собр. соч. М., 1982. Т. 1.
- Гуревич К. М. Психологическая диагностика и проблема индивидуальных различий // Психологический журнал. 1998. Т. 19. №3.
- Левин К. Теория поля в социальных науках. СПб., 2000.
- Льюс Р., Галантер Е. Психофизические шкалы // Психологические измерения. М., 1967. С. 119–195.
- Стивенс С. С. Математика, измерение и психофизика // Экспериментальная психология / Под ред. С. С. Стивенса. М., 1960. С. 19–89.
- Худяков А. И., Зароченцев К. Д. Обобщенный образ как предмет психофизики. СПб.: Изд. СПбГУ, 2000.
- Biederman I. Perceiving Real-World Scenes // Science. 1972, July. V. 177. P. 77–80.
- Link S. W. The wave theory of difference and similarity. NJ: Hillsdale, 1992.

ПОСТРОЕНИЕ ШКАЛЫ ОТНОШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПРЯМЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТИМУЛОВ, НЕ ИМЕЮЩИХ ФИЗИЧЕСКОЙ МЕТРИКИ

А. И. Худяков*, К. Д. Зароченцев**

* Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, психолого-педагогический факультет (Санкт-Петербург)

** Санкт-Петербургский государственный университет, факультет психологии
(Санкт-Петербург)
haipsy@yandex.ru

В предлагаемой работе рассматриваются результаты экспериментального подтверждения возможности построения шкалы отношений на основе данных прямых методов оценки стимулов, не имеющих физической метрики.

Ключевые слова: шкала отношений, обобщенный образ, метод парных сравнений, непосредственная оценка отношений, С. Стивенс, Г. Экман.

- Худяков А. И., Зароченцев К. Д. Обобщенный образ как предмет психофизики. СПб.: Изд. СПбГУ, 2000.
- Экман Г., Кюннапс Т. Шкалирование эстетических оценок «прямыми» и «косвенными» методами // Семиотика и искусствознание. М., 1972. С. 264, 267–277.
- Ekman G. Weber's low and related functions // Journal of Psychology. 1959. № 47. P. 343–352.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗРИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА¹

В. Н. Чихман, С. Д. Солнушкин, С. В. Пронин, Ю. Е. Шелепин, В. М. Бондарко

Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН (Санкт-Петербург)

v_c_pavlinst@mail.ru

В предлагаемой работе рассматриваются средства компьютерной поддержки для проведения автоматизированных психофизиологических экспериментов по исследованию механизмов зрительного восприятия. Рассматриваются вопросы синтеза и хранения изображений-стимулов, их предъявления наблюдателю и обработки ответов в программах, ориентированных на проведение экспериментов по изучению механизмов распознавания неполных изображений, предъявляемых в условиях маскировки или низкого контраста.

Ключевые слова: зрительное восприятие, автоматизация эксперимента, цифровая обработка изображений.

Одним из инструментов исследования зрительного восприятия являются психофизиологические эксперименты, организация которых сегодня невозможна без участия информационных технологий. В зрительных экспериментах в качестве стимулов используют цифровые изображения, хранящиеся в памяти ЭВМ и предъявляемые в эксперименте испытуемым на мониторе или экране с помощью проекционной аппаратуры. Зрительные стимулы получают дискретизацией изображений натуральных сцен или синтезируют методами цифровой обработки изображений (Чихман, 2003). В общем виде схема зрительного эксперимента включает следующие этапы: 1) предъявление наблюдателю последовательности изображений-стимулов с заданными параметрами; 2) регистрация ответов наблюдателя; 3) обработка ответов; 4) сопоставление параметров стимулов с ответами и выявление закономерностей. Исследования механизмов зрительного восприятия характеризуются частым изменением методики опыта, вида стимулов, их параметров, способа обработки ответных реакций наблюдателя. Поэтому важно обеспечить возможность гибкой и быстрой модификации используемых аппаратно-программных средств в соответствии с меняющимися условиями экспериментов.

Разработанные нами программные модули реализованы с помощью средств Delphi в среде Windows, поскольку это широко распространенная операционная система, для которой разработаны многочисленные приложения, обеспечивающие удобство работы. В среде Windows взаимодействие программных и аппаратных модулей обеспечивают встроенные в систему обработчики событий. Однако Windows не является операционной системой реального времени, в любой момент компьютер под ее управлением может выполнять ряд служебных процессов. В результате, при необходимости точной синхронизации работы программы с оборудованием

1 Работа поддержана грантом РФФИ 09-07-00336.

могут возникать проблемы, так как в нужный момент времени компьютер может быть занят выполнением какого-либо служебного процесса. Кроме того, при разработке программ для психофизиологических экспериментов должны учитываться технические характеристики используемого оборудования, например, длительность предъявления тестового изображения на мониторе должна быть согласована с параметрами его кадровой развертки. При малом времени предъявления стимулов (десятки миллисекунд) недопустимо применение стандартного компонента «Timer», поэтому нами использованы обработчики интервалов времени DirectX.

Разработанные программные модули характеризуются одинаковой структурой ядра, которое обеспечивает формирование цифровых баз данных, хранящих информацию об испытуемых, тестовых изображениях, параметрах их предъявления и ответы испытуемых на эти предъявления. База данных результатов экспериментов содержит две таблицы. Первая таблица – это список испытуемых, вторая – результаты экспериментов и вспомогательная информация (дата опыта, время начала и окончания опыта, имя директории расположения стимулов). Результаты экспериментов представляются в виде матриц правильных ответов. Компоненты графического интерфейса программ (окна, кнопки) предоставляют возможность управления параметрами эксперимента, отображают информацию об испытуемых, сигналах, параметрах их предъявления, ответах испытуемых. Разработана структура таблицы цифровой базы изображений-стимулов, в полях которой хранятся ссылки на blob-объект (binary large object), т. е. изображение. Таблица содержит файлоориентированные поля. Этим обеспечивается более быстрый поиск по базе, а затем извлечение изображений. Кроме того, такая структура препятствует возникновению «мертвых» зон в памяти («дырок») при удалении ненужных blob-полей. В процессе инсталляции программ устанавливается загрузочный модуль и необходимые для его работы библиотеки Delphi, BDE-модули поддержки цифровых баз данных.

На базе разработанного ядра реализован ряд программ, ориентированных на проведение психофизиологических экспериментов по исследованию механизмов зрительного восприятия неполных изображений, предъявляемых в условиях маскировки или низкого контраста.

Программа **Show_Fragmented** осуществляет предъявление фрагментированных контурных изображений (рисунок 1) в соответствии с заданными параметрами: временем предъявления, числом предъявлений стимула, величиной паузы между ответом испытуемого и предъявлением следующего стимула. Задача испытуемого – распознавание изображения и ввод ответа с помощью клавиатуры. Используется процедура вынужденного выбора.

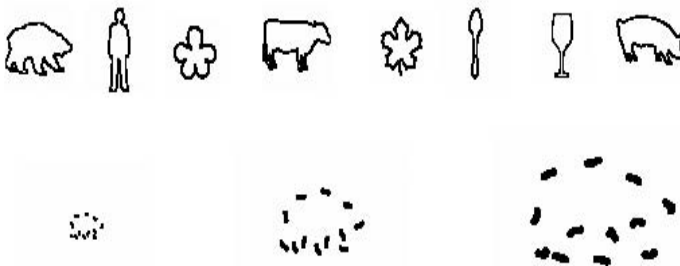


Рис. 1. Примеры изображений-стимулов (вверху – набор исходных изображений, внизу – фрагментированное изображение трех размеров)

Интерфейс программы содержит кнопки запуска эксперимента, вывода на печать матрицы ответов, окна для выбора директорий хранения изображений-стимулов и результатов опыта, для протокола эксперимента и навигации по базе данных.

Программа **Show_Fragmented_Halftone** формирует стимулы с нужным контрастом, задавая яркость фона и контура изображения в пределах от 0 до 255. Набор файлов в bmp-формате, представляющих изображения в битовом режиме, трансформируется в набор файлов с изображениями в черно-белом режиме RGB (8 бит на канал), что позволяет задавать градации серого от 0 до 255. Интерфейс программы позволяет задавать время предъявления стимула, количество предъявлений, формировать протокол эксперимента.

Программа **Show_Mask** предъявляет фрагментированные контурные изображения в режиме прямой и обратной маскировок. Программа позволяет устанавливать времена предъявления стимулов и изображений-масок, интервалы задержек между сигналами, формировать матрицы ответов испытуемых. Измеряется и отображается время реакции испытуемого на предъявление очередного стимула. Графический интерфейс программы сконструирован подобно интерфейсу предыдущих программ. Имеется возможность выбора типа маски, ее параметров, управления уровнями фона стимула и маски.

Программа **Show_Izbir_Vnim** выполняет предъявление пары изображений – тестового стимула в центре экрана и цифры, предъявляемой в одном из четырех углов экрана. Положение цифры меняется случайно. Первой предъявляется цифра, вторым – стимул. Назначение цифры – перевод внимания из центра поля зрения, где предъявляется стимул, в другой участок (отвлечение внимания от стимула), или, наоборот, привлечение внимания к стимулу. Задача наблюдателя – опознать стимул и цифру. Параметры (время предъявления, пауза между стимулом и цифрой, контраст, положение цифры относительно центра) задаются с помощью интерфейса. Ответы испытуемого запоминаются как элементы трехмерного массива с координатами: (X) – положение цифры на экране, (Y) – цифра, (Z) – стимул. Элемент массива – двузначное число $D \cdot 10 + S$, где D – воспринимаемая испытуемым цифра, S – воспринимаемый испытуемым стимул.

Программа **Show_Kanizsa** служит для измерения в эксперименте пространственной области интеграции в иллюзии Каниши. В качестве иллюзорной фигуры выбран квадрат, образованный четырьмя кругами с вырезанными четвертями (рисунок 2). Круги размещаются таким образом, чтобы их центры находились в вершинах виртуального квадрата. При первом предъявлении (и далее – при каждом нечетном) круги с секторами ориентированы случайно. При каждом втором (и далее – четном) – так, чтобы вырезанные сектора образовывали изображение виртуального квадрата. Задача испытуемого – назвать геометрические фигуры, которые он видит на экране. После ввода ответа происходит смещение кругов к центру экрана в соответствии с заданной величиной шага. В процессе выполнения программы фиксируются параметры, при которых испытуемый увидел иллюзорный квадрат.



Рис. 2. Работа программы **Show_Kanizsa**



Рис. 3. Примеры формирования изображений по методу **Gollin-Test**. Вверху – изображения объекта с разным поворотом в пространстве, внизу – изображения разного размера

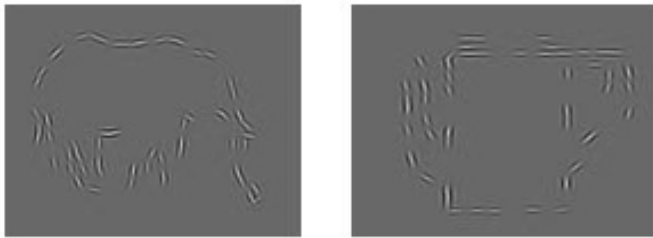


Рис. 4. Примеры вейвлетных фрагментированных изображений

Ранее нами были реализованы компьютерные версии Голлин-теста (Chikhan, 2006), когда контурное изображение разбивается на фрагменты заданного размера, которые выводятся в случайном порядке, постепенно формируя полный контур объекта (рисунок 3).

Фиксируется пороговая площадь фрагментов, при которой испытуемый распознал изображение. Разработана программа **Wavelet_Gollin_Test**, использующая вейвлетное преобразование. В качестве элементов, из которых строится фрагментированное изображение, в программе используются разные вейвлеты (LoG, DOG – функции, элементы Габора, отрезки линий, подвергнутые фильтрации), что позволяет формировать изображение с определенными пространственно-частотными характеристиками. Программа позволяет варьировать дистанцию между элементами, их размер, задавать угловой размер формируемого изображения. В программе использован адаптивный алгоритм (Mallat, 1993), который дает компактное описание и позволяет достичь заданной точности аппроксимации при минимальном количестве элементов разложения. При подготовке эксперимента для каждого изображения формируется файл с его вейвлет-разложением. Затем программа **Wavelet_Gollin_Test** на основе вейвлет-разложения формирует тестовое изображение с заданным коэффициентом фрагментации (рисунок 4).

На рисунке 5 показан пример формирования фрагментированного изображения из фотографии, с использованием в качестве элементов изображений отрезков линий и краев, подвергнутых цифровой фильтрации.

При исследовании инвариантного восприятия неполных изображений интерес представляет информация об участках изображения, на которых испытуемый фиксировал взгляд в процессе распознавания. Нами реализована возможность



Рис. 5. Формирование фрагментированного изображения на основе вейвлетов

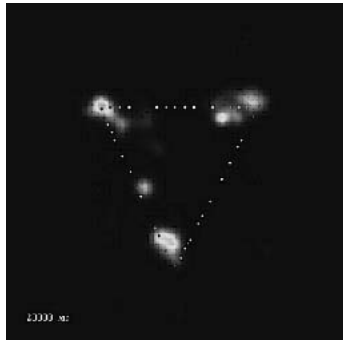


Рис. 6. Результат работы программы ET_Viewer

синхронизации с системой дистанционного трекинга движений глаз iView X RED. Для обработки данных системы iView X RED разработана программа **ET_Viewer**, которая использует генерируемый системой iView X RED файл с записью направления взгляда испытуемого. На рисунке 6 представлен результат обработки данных одного из экспериментов.

Объектом для распознавания служил треугольник, составленный из цепочек вейвлетов (LoG-функций). Полное изображение треугольника формировалось из фрагментов в течение 31567 мсек. На рисунке показано изображение в момент времени 20000 мсек от начала измерения. На изображение фрагментированного контура наложена карта внимания, демонстрирующая области, на которых испытуемый фиксировал свой взгляд в процессе распознавания объекта. Каждая точка фиксации взгляда на карте внимания изображается пятном с ярким профилем в виде гауссоиды.

С помощью разработанных программ проведены психофизиологические эксперименты, были получены новые сведения о работе механизмов зрительного восприятия неполных изображений (Чихман, 2009; Chikhman, 2006, 2007).

Литература

- Чихман В. Н., Шелепин Ю. Е., Солнушкин С. Д. и др. Методические средства для исследования зрительного восприятия фрагментированных изображений // Российский физиологический журнал. 2003. Т. 89. № 10. С. 1313–1321.
- Чихман В. Н., Бондарко В. М., Голузина А. Г., Данилова М. В., Солнушкин С. Д. Влияние маскировки на опознание контурных изображений // Сенсорные системы. 2009. Т. 23. № 1. С. 51–60.
- Chikhman V., Shelepin Y., Foreman N., Merkuljev A., Pronin S. Incomplete figure perception and invisible masking // Perception. 2006. V. 35. P. 1441–1457.
- Chikhman V., Bondarko V., Danilova M., Solnushkin S. Contour images recognition // Perception. Supplement. 2007. V. 36. P. 99.
- Mallat S. and Zhang Z. Matching Pursuit in a Time-Frequency Dictionary // IEEE Sig. Proc. 1993/ V. 41. P. 3397–3415.