

Е.С.Исайчев¹, С.А.Исайчев¹, А.В. Насонов², А.М.Черноризов¹.

¹Факультет психологии МГУ имени М.В.Ломоносова

*²Факультет вычислительной математики и
кибернетики МГУ имени М.В.Ломоносова*

Векторный подход к анализу когнитивных потенциалов мозга на личностно значимую информацию

Развитие новых технологий детекции скрываемой информации является актуальной фундаментальной и прикладной проблемой современной психофизиологии. Поиск подходов к ее решению идет сразу по нескольким направлениям – использование данных по регистрации показателей периферической нервной системы, анализ суммарной активности мозга (электроэнцефалограммы, ЭЭГ) и вызванных потенциалов (ВП), звуков речи и паттернов поведенческой активности.

В настоящее время проблема выявления умышленно скрываемой ситуационно или личностно значимой для субъекта информации (детекция лжи) традиционно решается с использованием классических инструментальных методов – тестированием на полиграфе. В качестве ведущих процессов при выявлении значимой информации в разных школах и направлениях берутся различные психические функции и состояния. Чаще всего в теоретических работах по детекции лжи фигурируют внимание, рабочая память и эмоциональные реакции. При этом, реальные практические выводы о лжи/правде всегда основываются на динамических изменениях показателей вегетативной нервной системы (ВНС). То есть, коррелятами участия психических процессов и состояний, в процессе сокрытия значимой для субъекта информации являются показатели эмоционального напряжения и стресса. Попытки найти надежные «прямые» когнитивные показатели скрываемых знаний ведутся с 70-х годов прошлого века и связаны, прежде всего, с анализом электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и когнитивных вызванных потенциалов (КВП) мозга. Большинство исследователей в этой области основное внимание уделяют позитивному компоненту КВП с латенцией от 300 до 700 мс (P300). В ряде работ было показано, что отдельные компоненты КВП и их амплитудно-временные характеристики могут дифференцировать ложные ответы от

правдивых (Farwell, Donchin, 1991; Rosenfeld et al., 2012). В то же время имеются данные о том, что конфигурация и распределение компонентов КВП по скальпу, их амплитуда и латенция значительно меняются в зависимости от целого ряда факторов. Изменение экспериментальной парадигмы, порядка предъявления стимульного материала и инструкции, условия регистрации и усреднения – все это значительно меняет анализируемые параметры КВП (Vendemia, 2003; Vendemia et al., 2005; Isaychev et al.).

Таким образом, с одной стороны, многозначность психологической и психофизиологической интерпретации механизмов и процессов, которые связаны с генерацией отдельных компонентов КВП, порождает методологическую проблему использования КВП в детекции скрываемых знаний – проблему разработки адекватной теоретической модели «психофизиологических механизмов» обмана. С другой стороны, высокая динамичность компонентов КВП в зависимости от индивидуальных особенностей испытуемых, используемой экспериментальной парадигмы, способов подачи стимульного материала и методов регистрации и обработки данных поднимают вопрос о поиске надежных методов анализа КВП.

По нашему мнению, наиболее эффективным методологическим инструментом для построения моделей обмана являются теория функциональных систем П.К.Анохина (Анохин, 1968) и теория векторного кодирования Е.Н.Соколова (Соколов, 2014). Если интерпретировать процесс обмана с позиций теории функциональных систем, то он представляет собой поведение, направленное на сокрытие важной для человека информации, которое реализуется специфической функциональной системой. В таком случае, вопрос о доминирующей в этом процессе психической функции снимается. Понятие «функциональная система» имплицитно включает в себя взаимодействие всех центральных и периферических механизмов, которые направлены на достижение полезного результата или реализацию некоторого адаптивного процесса.

Теория векторного кодирования, предложенная Е.Н. Соколовым для объяснения работы сложных нейронных систем, предлагает новые подходы к пониманию интегральных процессов при обработке сенсорной информации, функционированию нейрональных механизмов обучения и управления поведением. В математике векторный подход активно используется при построении систем распознавания образов. В настоящем исследовании мы использовали методы математического построения векторов признаков КВП для анализа их различий в ситуациях принятия решения о ложных или правдивых ответах на личностно значимую информацию.

Методика. Регистрация ЭЭГ и КВП проводилась монополярно по 21 каналу с референтами A1, A2 (система 10-20). Исследовательский комплекс включал Электроэнцефалограф ЭЭГА-21/26; «Аудиовизуальный стимулятор»; программное обеспечение для регистрации, обработки и усреднении КВП. Регистрация ЭЭГ велась в частотном диапазоне от 0,16 до 30 Гц с частотой дискретизации 250 Гц. Для контроля состояния испытуемого и артефактов регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ), фотоплетизмограмму (ФПГ), кожно-гальваническую реакцию (КГР) и электроокулограмму (ЭОГ). Процедура усреднения КВП включала регистрацию сырой записи ЭЭГ с синхронизированными отметками подачи стимулов и отметками сенсомоторной реакции испытуемого при нажатии левой или правой клавишей компьютерной мыши. В соответствии с заранее определенными типами стимулов, подаваемыми в случайной последовательности и с заранее определенной вероятностью появления, проводилось усреднение КВП по отдельным типам стимулов.

В качестве значимого стимула для женщин использовалось собственное имя испытуемой, для мужчин – его фамилия. В исследовании приняли участие 28 человек (20 женщин и 8 мужчин, средний возраст - 23 года). Для повышения мотивации испытуемых моделировалась игровая ситуация. Испытуемому рассказывали про технологии и методы выявления лжи и предлагали обмануть программу, которая точно определяет ложь. Инструкция испытуемым: «Вам будут предъявлены на экране монитора различные женские имена (фамилии). Среди имен будут встречаться Ваше собственное имя и выбранный Вами псевдоним. На вопрос «Ваше имя - Татьяна?» Вы должны отвечать отрицательно (если Вас зовут Татьяна), нажимая клавишу «нет» (правая клавиша мыши). При предъявлении имени-псевдонима Вы должны отвечать утвердительно, нажимая клавишу «да» (левая клавиша мыши). При предъявлении любых других имен Вы отвечаете «нет» (правая клавиша мыши)». Обработка данных и их статистическая оценка проводилась с помощью модифицированных или же специально разработанных нами математических алгоритмов и методов.

Результаты. Главной задачей исследования была разработка эффективного алгоритма математической обработки КВП. Основное требование к построению алгоритма - это минимизация количества одиночных посылок при усреднении КВП и векторное представление признаков КВП. В поиске такого алгоритма были опробованы следующие методы математического построения векторов признаков ВП, информативных для различения правдивых и ложных ответов: а) построение вектора признаков, состоящего из коэффициентов оконного преобразования Фурье; б) построение вектора признаков, состоящего из коэффициентов вейвлет-преобразования;

в) построение вектора признаков, состоящего из коэффициентов преобразования Эрмита.

Для построения обучаемого алгоритма и построения классификатора, способного дифференцировать КВП, зарегистрированные в ситуациях правдивого и ложного ответов, были использованы два метода машинного обучения: AdaBoost и дискриминантный анализ. Наиболее эффективными, в итоге, оказались классификаторы, основанные на коэффициентах преобразования Эрмита и вейвлет-преобразования.

Общие итоги разработки математических методов выявления ложных и правдивых ответов по данным ЭЭГ и КВП можно резюмировать следующим образом.

1) Метод анализа соотношений ритмов, основанный на групповых данных, не является «обучаемым» и измеряет уровень активации мозга человека при ответе на значимый для него вопрос. Преимущество: высокая помехоустойчивость. Недостаток: динамика ритмов индивидуальна, и требуется предварительное тестирование для определения индивидуальных частот и локусов наибольшей выраженности ритмов.

2) Метод, основанный на машинном обучении, — «обучаемый» метод, основанный на выделении индивидуальных ВП на правду и ложь и их последующем сравнении с целевым ВП. Преимущества: индивидуальный подход, низкий процент ошибки. Недостаток: необходимость специального предварительного моделирования ситуации, при которой человек будет лгать (цель — «обучение» алгоритма).

3) Метод поиска отличий в ВП — «необучаемый» метод, основанный на определении отклонения целевого КВП от среднего по всем ответам. Преимущество: индивидуальное вычисление среднего КВП. Недостаток: точность метода ниже, чем у первых двух методов.

4) Метод анализа величины пика P300, основанный на групповой динамике изменений амплитуды P300 в отведениях Cz, Fz, Pz. Недостатки: низкая точность, сильная зависимость от динамики функционального состояния мозга, при длительном тестировании на P300 накладываются медленные ритмы и увеличивают амплитуду этой волны.

Ни один из описанных выше методов не даёт 100% точности определения лжи. Возможными причинами этого являются малое количество данных для обучения; высокие различия между КВП, как между разными индивидами, так и на разные ответы одного индивида; недостаточный уровень индивидуальной значимости «лжи» для испытуемых (низкий уровень мотивации в лабораторных экспериментах). При этом увеличение объёма данных невозможно из-за того, что более-менее значимый отклик

наблюдается лишь на первые несколько стимулов. В силу вышеперечисленного, для анализа методов был проведён корреляционный анализ: для каждой пары методов считалась доля совпадающих либо вложенных ответов, т.е. результаты вида “а” и “а, b” считались одинаковыми. При этом, если хотя бы один из методов не работал, т.е. в графе стоял «–», то эта пара никак не учитывалась. Корреляционный анализ (таблица 1) показал, что результаты работы методов 1, 2 и 3 близки друг к другу, тогда как результаты метода 4 сильно отличаются от результатов первых трёх методов.

Таблица 1 - Результаты корреляционного анализа данных, получаемых с помощью разных методов

	Метод 1	Метод 2	Метод 3	Метод 4	Совокупный результат
Метод 1	–	0.87	0.67	0.31	1.00
Метод 2	0.87	–	0.60	0.48	0.95
Метод 3	0.67	0.60	–	0.40	0.79
Метод 4	0.31	0.48	0.40	–	0.37
Совокупный результат	1.00	0.95	0.79	0.37	–

В ходе поиска количественного критерия для выявления ситуационно-значимой информации по компонентам КВП и проведения статистического анализа индивидуальных и групповых данных были разработаны три метода определения лжи на основе различных характеристик ЭЭГ. Затем был проведён корреляционный анализ и выявлена взаимосвязь между этими методами. На основе корреляционного анализа методов предложен алгоритм, использующий результаты этих методов в совокупности, точность которого существенно выше каждого из методов, используемых по отдельности, и составляет 93%.

Исследование поддержано грантом РГНФ, проект № 16-06-00924

Список литературы:

1. Анохин П. К. Избранные труды. Философские аспекты теории функциональных систем. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем . — М.: Наука. 1978. С. 49—106.

2. Соколов Е. Н. Принцип векторного кодирования в психофизиологии / Под ред. В. И. Аршинова, И. Н. Трофимовой, В. М. Шеляпина // Синергетика и психофизиология. М.: Когито-Центр, 2004. Вып. 3. С. 320—335.
3. Farwell L.A., Donchin E. The truth will out: Interrogative polygraphy (lie detection) with event-related brain potentials/ L.A. Farwell, E. Donchin // Psychophysiology. 1991. V.28. P. 531-547.
4. Peter Rosenfeld , Xiaoqing Hu, Kristine Pederson. Deception awareness improves P300-based deception detection in concealed information tests. International Journal of Psychophysiology, 2012, 86, 114–121
5. Vendemia, J. M. C. Detection of Deception, Polygraph, 2003, 32, 97-106.
6. Vendemia, J. M. C., Buzan, R.F., & Green, E. P. Practice, Work Load, and Reaction Times in Deception, American Journal of Psychology, 2005, 118(3), 413-430.
7. Isaychev S.A., Edrenkin I.V., Chernorizov A.M., Isaychev E.S. Event-Related Potentials in Deception Detection. В журнале Psychology in Russia: State of the Art, 2011, том 4, с. 438-447

S. Kazi

Department of Psychology, Jagannath University, Bangladesh

Auditory temporal perception of the stimuli as factors of signal processor

The perception of auditory durations was measured in many studies of which different parameters are used. In this connection one study was conducted¹ which used a model entitled “Auditory-brain system”² where stimuli are explained by autocorrelation function (ACF; e-1) as a signal processor².

$$\phi(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} p(t)p(t + \tau)dt \quad (e-1)$$

Where, $p(t)$ is the stimulus at the entrance of the ears is the delay time, and $2T$ is the integration interval. In such ACF analysis, there are four parameters, namely-

(a) the energy represented at the origin of the delay, $\phi(0)$; (b) the amplitude, ϕ_1 , between the first peak and the zero crossing number; (c) the structure including the time delay of the first peak, τ_1 and (d) the effective duration of the envelope of the normalized ACF, τ_e , which is defined by ten percentile delay or at which the envelop of the ACF becomes -10dB.

In this study, two different stimuli of pure-tone and complex-tone were determined by the digital analysis of the ACF. Those stimuli were presented in the anechoic chamber for getting subjective responses under pair-comparison test spectrum. Data were collected on the 50%

