

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НЕЙРОИНФОРМАТИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

НЕЙРОИНФОРМАТИКА-2015

XVII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ с международным участием

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ЧАСТЬ 1

- **НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И КОГНИТИВНЫЕ НАУКИ**
- **ТЕОРИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**
- **НЕЙРОСЕТЕВЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ,
РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ И УПРАВЛЕНИЯ**

МОСКВА

Стендовая сессия 1

Нейронные сети и когнитивные науки

**И.А. РЕБРУН, К.В.СИДОРОВ, С.А. ТЕРЕХИН,
Н.Н. ФИЛАТОВА, П.Д. ШЕМАЕВ**

Тверской государственный технический университет
nfilatova99@mail.ru

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ ИСПЫТУЕМОГО

В докладе предлагается биотехническая система для исследования электрической активности мозга при выполнении ограниченного набора заданий в условиях и при отсутствии внешних эмоциональных стимулов. Методика исследования основана на объективном подтверждении изменения эмоционального состояния испытуемого по результатам мониторинга ЭЭГ. Рассмотрен процесс построения испытуемым лингвистических шкал для оценки размеров и цвета двумерных объектов простой формы.

Ключевые слова: *электроэнцефалограмма, биотехническая система, эмоция, аттрактор, лингвистическая шкала.*

**I.A. REBRUN, K.V.SIDOROV, S.A.TEREKHIN,
N.N. FILATOVA, P.D. SHEMAYEV**

Tver State Technical University
nfilatova99@mail.ru

BIOTECHNICAL SYSTEM FOR RESEARCH OF COGNITIVE ACTIVITY IN VARIOUS EMOTIONAL CONDITIONS OF THE EXAMINEE

The biotechnical system for research of electric activity of a brain when performing a limited set of tasks in conditions and in the absence of external emotional incentives is offered. The technique of research is based on objective confirmation of change of an emotional condition of the examinee by results of mon-

itoring of EEG. A process of creation of linguistic scales for an assessment of the sizes and color of two-dimensional objects of a simple form is considered.

Keywords: *electroencephalogram, biotechnical system, emotion, attractor, linguistic scale.*

Введение

В последние годы активно исследуется возможность внедрения в обучающие комплексы, компьютерные тренажеры [1] и другие человеко-машинные системы средств, предназначенных для мониторинга психофизиологического состояния оператора и формирования объективной оценки состояния человека. Особый интерес представляет определение характеристик, позволяющих описать эмоциональное состояние и выявить степень его влияния на производимую агентом деятельность, в частности на процедуры качественной оценки метрических или иных характеристик объектов. Для проведения таких исследований необходимо создание специализированной биотехнической системы, позволяющей использовать различные каналы предъявления стимулов и обрабатывать результаты с использованием общего математического аппарата.

Архитектура биотехнической системы

Биотехническая система EEG/S (electroencephalogram / speech signal) предназначена для исследования особенностей обработки информации в процессе выполнения заданий, связанных с оценкой качественных характеристик или вычислениями. Ее отличительной особенностью является возможность выполнения когнитивных экспериментов с испытуемым, эмоциональное состояние которого может изменяться под действием внешних стимулов, что позволяет моделировать условия различных ситуаций для принятия решений. Основное внимание при создании EEG/S уделялось вопросам формирования внешних эмоционально значимых воздействий, для восприятия которых испытуемый использует один или несколько каналов. Регистрация откликов осуществляется параллельно по двум каналам (с использованием сигналов электрической активности мозга и речевого тракта). Идея построения такой системы рассматривалась в работе [2] при создании методики формирования базы образцов эмоциональной речи. Биотехническая система (БТС) позволяет пользователю выбирать канал предъявления (V_h) / восприятия (V_{OS}) стимула для формирования у испытуемого соответствующего эмоционального состояния. Вариация V_h позволяет использовать в качестве каналов V_{OS} зрительный,

го времени (T) выполнения задания. Тогда образцы ЭЭГ ($A(t < T)$) можно рассматривать как паттерны временных рядов, содержащих информацию о влиянии эмоциональной реакции на процесс решения. Реализация этого допущения осуществляется путем:

- ограничения объема отдельного задания (обычно время выполнения не превышает 10 – 15 с);

- специального сценария, предусматривающего чередование заданий и стимульного материала, вызывающего положительные или отрицательные эмоции.

Визуальный контроль за сигналами ЭЭГ позволяет оператору наблюдать возникающие различия в электрической активности головного мозга при восприятии стимулов разных видов. В ситуациях, когда в ЭЭГ оператор наблюдает факты значимого изменения электрической активности головного мозга объекта, происходит предъявление слайда с заданием. Обработанные речевые сигналы (с ответами) и ЭЭГ поступают в блок формирования признаков пространств, в котором формируются две гетерогенные векторные модели. Блок мониторинга эмоций осуществляет распознавание эмоционального состояния объекта по речевому сигналу или ЭЭГ.

Для количественной оценки эмоционального состояния испытуемого на основе анализа записей биомедицинских сигналов применяются методы нелинейной динамики, в частности m -мерные реконструкции аттрактора исходной динамической системы. Для построения аттракторов использован алгоритм из работы [3].

Применение аттракторов для обработки результатов экспериментов с системой EEG/S позволило перейти к многомерному представлению каждого отдельного сигнала (рис. 2 и 3).

Как показали исследования [4,5] при смене знака эмоционального состояния испытуемого наблюдаются изменения во временных диаграммах биомедицинских сигналов и в графиках соответствующих аттракторов. Приведенные на рис. 4 примеры наглядно иллюстрируют изменения проекций аттрактора, построенных по одному отведению ЭЭГ, при изменении эмоционального состояния испытуемого. Аналогичные результаты получаются по речевым образцам.

Для количественной оценки характеристик проекций аттрактора его площадь покрывается равномерной, ортогональной сеткой. Используются три типа признаков [2,4,5]: размеры проекции аттрактора, максимальная плотность точек проекции аттрактора, число ячеек с нулевым значением плотности точек аттрактора.

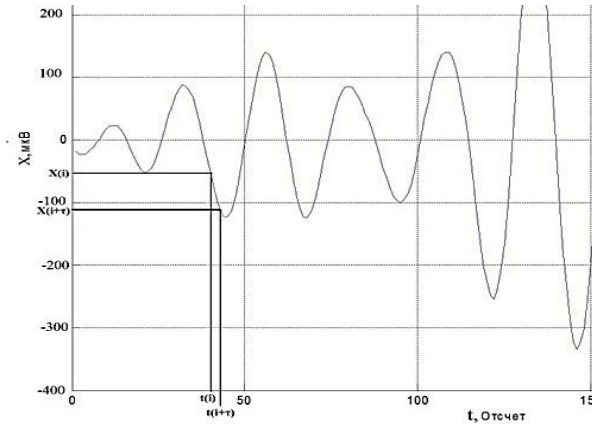


Рис. 2. Фрагмент ЭЭГ с произвольно выделенными точками $X(i)$ и $X(i+\tau)$

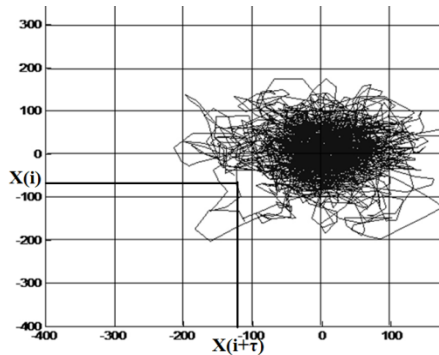


Рис. 3. Аттрактор, восстановленный по сигналу X : выделена одна точка аттрактора с координатами $(X(i), X(i+\tau))$

Основные правила оценки этих признаков описаны в работах [5,6]. Для классификации векторных моделей сигналов созданы две автономные нейросетевые иерархические структуры, каждая из которых поддерживает правила классификации эмоциональных реакций объекта [7,8]. Учитывая субъективность эмоциональных реакций при построении правил использовался аппарат нечеткой логики, что позволяет в ходе анализа образца ЭЭГ или речи рассчитывать степень его соответствия каждому классу. В итоговом заключении указывается класс, степень соответствия которому оказалась максимальной [8].

Знак эмоции:	Количество нулевых ячеек:	Максимальная плотность:
-	766	177
n	760	172
+	623	168

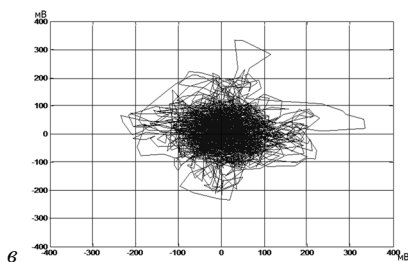
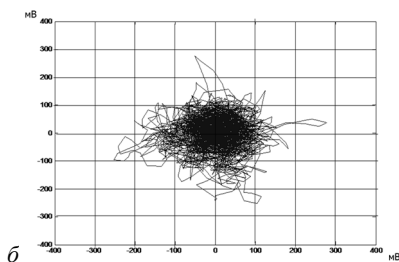
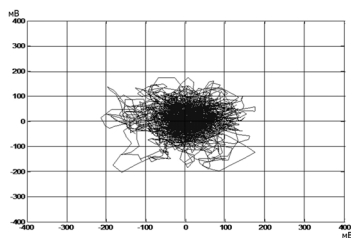


Рис. 4. Изменение характеристик аттракторов ЭЭГ сигнала при нейтральном состоянии (а), при отрицательных (б) и положительных(в) эмоциях

Рассмотренные средства позволяют получать объективные оценки знака эмоций, испытываемых участником эксперимента, практически сразу после завершения предъявления эмоционально значимого стимула и не приводят к дополнительным нагрузкам на испытуемого.

Методика проведения экспериментов по построению модели шкал

Система EEG/S предназначена для изучения особенности когнитивной деятельности испытуемого в условиях сложных или нечетко определенных ситуаций, которые могут возникать в управлении, проектировании, диагностике.

Одной из самых распространенных задач, решаемых операторами автоматизированных систем управления, является задача сравнения на множестве $\{A_i\}$ альтернатив и выбора одной, субъективно наилучшей A . Однако в практической деятельности мы постоянно сталкиваемся с ситуацией, когда множество $\{A_i\}$ существует только в воображении лица, принимающего решение (ЛПР). Наиболее часто это возникает в задачах оценки A_i по качественной шкале [9]. Этот вид когнитивных задач предполагает существование в памяти агента множества образов $\{x_i\}$, которые

определяют некоторые реперные точки на лингвистической шкале оценки свойства (L). Каждый такой образ $\forall x_i \in X$ можно рассматривать с одной стороны как одноточечное множество $1/l_i$, а с другой – как элемент нечеткого множества L с функцией принадлежности $0 < \mu_L(l_i) < 1$. Если образы упорядочены по условию:

$$\mu_L(l_{i+1}) > \mu_L(l_i), \quad i = 2, \dots, n-1, \quad \mu_L(l_1) = 0, \quad \mu_L(l_n) = 1,$$

то можно построить новую функцию принадлежности $\mu_L(i)$, которая будет использоваться в качестве ограничений при определении смысла единственной нечеткой переменной L , определяющей некоторое свойство объекта.

Задачи оценки таких характеристик, как размер, цвет, возникают постоянно, и человек их решает, опираясь на собственную коллекцию запомненных образов, которые и выступают в качестве $\{x_i\}$. Качество решения таких задач, т.е. близость оценок по шкале L к некоторым эталонам, которые закрепляются общепринятыми представлениями в данном сообществе, зависит от уровня знаний субъекта и от его способностей в реализации ряда когнитивных операций: вспоминания эталона, мысленного сравнения образца и эталона и др. Если коллекцию эталонных образов рассматривать, как элемент личного опыта, то тогда для оценки влияния некоторого фактора $X1$ (эмоциональный стимул) на решение когнитивных задач, связанных с оценкой качественных характеристик, необходимо создать ситуацию, при которой все испытуемые будут обладать примерно одинаковым множеством $\{x_i\}$.

К проведению экспериментов были привлечены 11 мужчин в возрасте от 18 до 27 лет. Испытуемые решали два типа задач: оценки размеров квадратов черного цвета, и определения цветовых оттенков затонированных квадратов одинакового размера. На экране монитора предъявлялся набор объектов, различающихся одной характеристикой (например, размером, R). Для каждого эталонного образа $x(R_i)$ было сформулировано единственное высказывание с качественной оценкой отличительного свойства (R). Упорядоченные эталоны $\{x(R_i)\}$ позволяли построить одну функцию принадлежности, для оценки свойства (R). Например, при решении задач с оценкой размеров квадрата использованы семь эталонов: $R_1 :=$ (точно не большой квадрат, 4 см), $R_2 :=$ (совсем не большой квадрат, 5 см) и т.д. до $R_k :=$ (точно большой квадрат, 10 см). Для определения цветовых оттенков объектов использованы 5 эталонов, параметры которых задавались с учетом настроек модели цветов RGB (табл. 1).

В течение 15–20 с испытуемый знакомился с набором эталонных образов, которые иллюстрировали качественную шкалу для оценки размера

или цвета. Далее эталоны убирались и испытуемому в случайном порядке предъявлялись задания (от 20 до 40 заданий), заключающиеся в оценке единичных образов по качественной шкале. Каждый образ выводился на экран монитора на белом фоне на расстоянии одного метра от испытуемого t раз.

Таблица 1

Лингвистическая шкала	Точно не X	Не очень X	Более или менее X	Примерно X	Точно X
Ранг эталона	1	2	3	4	5
Параметры эталона X	15	75	135	195	255

Эксперименты проводились в условиях нейтрального состояния испытуемого и после восприятия серии эмоционально значимых видео или аудио стимулов. Для удобства обработки результатов упорядоченным эталонам поставлена в соответствие последовательность целых чисел: $i = 1, \dots, 7$. Тогда при использовании формулы “сигмоида 2” (из библиотеки MatLab) и эталонных образов получим расчетную $\mu_R(i)$. По результатам работы каждого испытуемого можно построить аналогичную функцию, отражающую его субъективные оценки свойства R . Для этого используется правило:

$$\mu_R^j(z) = \mu_R(i), \quad \tilde{R} = \sum_{i=1}^k \mu_i / i, \quad \tilde{R}_{Is} = \sum_{z=1}^k \mu_z / z,$$

где z – средняя оценка i -го образа j -ым испытуемым на множестве из t однотипных заданий, \tilde{R} – нечеткое множество, построенное на базовой шкале эталонов (i), \tilde{R}_{Is} – нечеткое множество, построенное на базовой шкале j -го испытуемого (z).

На рис. 5 приведен фрагмент построения функции принадлежности испытуемого $\mu_R^j(z)$ по результатам оценки размеров черного квадрата. Видно, что завышение оценки размера i -го эталона эквивалентно снижению значения функции принадлежности, а занижение оценки свойства R эквивалентно увеличению значения $\mu_R(i)$. Функции принадлежности, построенные по результатам экспериментов, отличаются от эталонной функции на участке $0 < \mu_R(i) < 1$.

Проведенные эксперименты показали, что даже незначительные эмоциональные изменения, вызванные внешними стимулами и объективно

подтверждаемые изменениями в характеристиках аттракторов биоэлектрических сигналов, приводят к изменениям в шкалах для оценки качественных признаков (рис. 6).

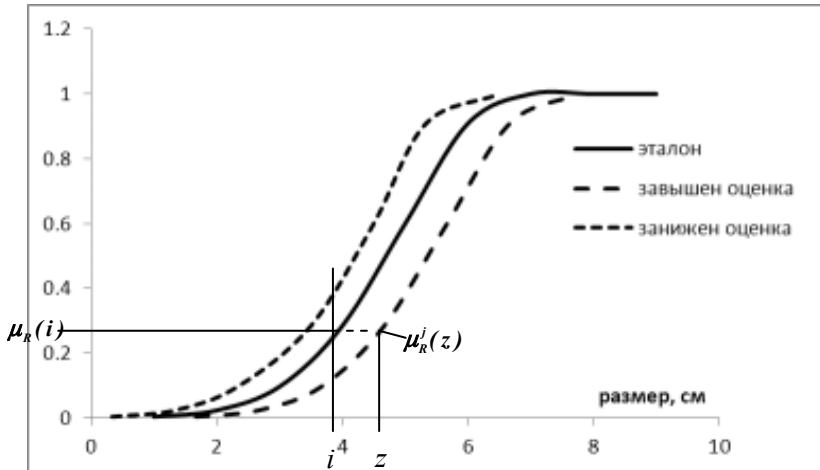


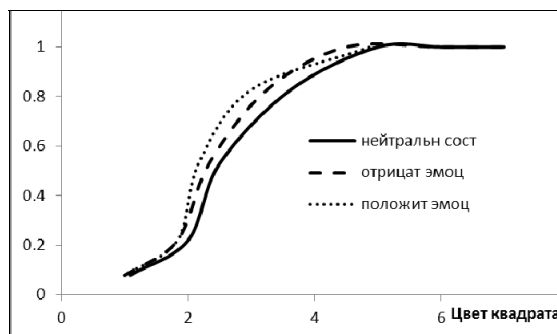
Рис. 5. Изменение функции принадлежности нечеткого множества «большой квадрат» при завышении и при занижении оценок размеров эталонов

Следует отметить, что если в нейтральном состоянии у испытуемого проявляется тенденция к завышению или занижению оценок, то она сохраняется и при небольших эмоциональных изменениях его состояния. Проведенные эксперименты не только подтверждают вывод об увеличении нечеткости в оценках размеров и цвета в условиях наличия внешнего эмоционального стимула и использования в качестве эталона образа из памяти, но и иллюстрируют эффективность интегрирования методик исследования когнитивной деятельности и эмоциональных реакций.

Заключение

Созданная биотехническая система EEG/S позволяет расширить методики исследования когнитивной деятельности в условиях внешних эмоциональных стимулов, степень влияния которых на испытуемого можно объективно оценить путем определения специальных признаков аттракторов, восстановленных по сигналам ЭЭГ.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-01-00719).



а



б

Рис. 6. Влияние эмоций:

а – видео стимулы на оценку синего цвета;

б – аудио стимулы на оценку зеленого цвета

Список литературы

1. Проектирование тренажерных комплексов для технического образования Филатова Н.Н. Монография / Н.Н. Филатова, О.Л. Ахремчик, Н.И. Вавилова; Федер. агентство по образованию. Тверь: Тв.ГТУ, 2005.
2. Филатова Н.Н., Сидоров К.В. Модель интерпретации эмоций в речи // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'13». Научное издание в 4 томах. М.: Физматлит, 2013. Т. 1. С. 98–105.
3. Practical Implementation of Nonlinear Time Series Methods. In: The TISEAN package / R. Hegger, H. Kantz, T. Schreiber // CHAOS, 1999. V. 9. № 2. P. 413–435.
4. Сидоров К.В., Филатова Н.Н. Анализ признаков эмоционально окрашенной речи // Вестник Тверского государственного технического университета, 2012. № 20. С. 26-31.

5. Модель интерпретации знака эмоций по естественной речи Сидоров К.В., Филатова Н.Н. // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2012. № 9. С. 39.
6. Филатова Н.Н., Сидоров К.В., Ханеев Д.М. Применение нейроподобной иерархической структуры // XVI Всероссийская научно-техническая конференция «НЕЙРОИНФОРМАТИКА-2014» с международным участием: Сборник научных трудов в 3-х частях. Ч. 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2014. С. 291–300.
7. Ханеев Д.М., Филатова Н.Н. Пирамидальная сеть для классификации объектов, представленных нечеткими признаками // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2012. № 9 (134). С. 45-49.
8. Филатова Н.Н., Ханеев Д.М., Сидоров К.В. Интерпретатор сигналов на основе нейроподобной иерархической структуры // Программные продукты и системы, 2014. № 1 (105). С. 92–97.
9. Виноградов Г.П. Методы и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах управления производствами с непрерывной технологией на основе субъективных представлений. Тверь: ТвГТУ, 2013.

**М.Е. КОРОЛЕВА¹, А.В. БАХЧИНА¹, И.Л. УШАКОВА¹,
М.М. НЕКРАСОВА², В.В. КРУПА³, С.Б. ПАРИН^{1,2}**

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

²Нижегородская государственная медицинская академия

Министерства здравоохранения РФ

³Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева
marijacoroleva@yandex.ru

ВЕГЕТАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФОРМ СОЦИАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ¹

В работе рассматривается проблема связи функционального состояния человека и социальных условий, в которых он находится. Мы рассматриваем такие специфические формы социального взаимодействия как публичное выступление, где исследуется влияние наличия аудитории слушателей на сердечный ритм говорящего, и езда курсанта автошколы с инструктором при обучении вождению.

Было показано, что контекст естественного публичного выступления для большинства испытуемых является фактором, провоцирующим стресс-активацию организма. Промежуточные результаты исследования

¹ Работа выполнена при частичной поддержке гранта РГНФ № 14-16-52005 а(р).