

## Метод непараметрического многофакторного анализа вызванных ответов в ЭЭГ человека

*Морозов А. А., Морозов В. А., Обухов Ю. В.,  
Строганова Т. А., Обухова Е. Ю.*

{morozov,vmorozov,obukhov}@cplire.ru, stroganova@pirao.ru

Москва, ИРЭ РАН, ПИ РАО

Разработанный авторами метод непараметрического многофакторного анализа (НМА) позволяет анализировать влияние различных факторов на частотно-временную динамику волновых процессов коры головного мозга, порождаемых стимулом, а также эффекты взаимодействия различных факторов. Метод был реализован и успешно применён для анализа данных, собранных в ходе экспериментов с иллюзорными изображениями, проводимых Психологическим институтом РАО. Анализировались фазово-связанные и фазово-несвязанные компоненты электроэнцефалограмм (ЭЭГ), а также спектрограммы полной мощности ЭЭГ [1, 2, 3, 4].

Метод НМА направлен на преодоление следующих проблем, связанных с применением существующих статистических методов анализа вызванных ответов в электроэнцефалограммах:

1. Наличие пространственных (между различными каналами ЭЭГ), а также временных причинно-следственных (статистических) зависимостей в ансамблях экспериментальных данных.
2. Существенная негауссовость ансамблей экспериментальных данных, во многих случаях приводящая к невозможности применения наиболее мощных (для гауссовых выборок) и хорошо отработанных параметрических методов статистического анализа.
3. Нестационарность ЭЭГ, проявляющаяся на различных временных масштабах и, во многих случаях, обуславливающая некорректность применения существующих методов обработки сигналов.

### Учёт причинно-следственных зависимостей

Для нейрофизиологических исследований наличие в экспериментальных данных причинно-следственных зависимостей опасно, прежде всего, возможностью получения заниженных оценок ошибки первого рода, то есть, вероятности того, что наблюдаемые эффекты возникли случайно и не отражают объективно существующие закономерности.

Причинно-следственные зависимости, обусловленные «размытием» сигнала по времени, мы устраняем с помощью прореживания последовательностей измеренных значений. Наличие причинно-следственных зависимостей между каналами ЭЭГ учитывается с помощью преобразования многомерных (статистически связанных) исходных данных в одномер-

ный массив. Это преобразование осуществляется с помощью метода анализа главных компонент (principal component analysis, PCA). В качестве результата преобразования мы берём проекцию исходного массива данных на ось одного из главных компонент. Обычно, выбирается первый главный компонент, который вносит наибольший вклад в изменчивость анализируемых данных.

### **Анализ эффектов взаимодействия факторов**

Для проверки статистических гипотез мы используем непараметрические критерии. Для анализа эффектов взаимодействия внутригрупповых и межгрупповых факторов мы разработали специальный метод, основанный на том факте, что многие важнейшие факторы, влияющие на интерпретацию результатов нейрофизиологического эксперимента, являются бинарными, т. е. имеют два значения (например, тестовый и контрольный стимулы, левое и правое полушария). Поэтому для учёта влияния таких факторов достаточно вычислить парные разности значений, соответствующих противоположным значениям бинарного фактора, и проверить те или иные статистические гипотезы на ансамблях вычисленных разностей с помощью критерия знаков, критерия парных сравнений Вилкоксона, критерия Манна-Уитни, критерия Флайгера-Полицелло (Fligner-Policello) или перестановочного метода (permutation).

### **Учёт нестационарности ЭЭГ**

В случаях, когда нестационарность сигнала проявляется в достимульном интервале, возникает вопрос, какие именно интервалы времени можно использовать в качестве референтной области, для сравнения с ними сигнала после подачи стимула? Для решения этой проблемы мы разработали метод сравнения исследуемой величины с её значениями в многоотрезочной референтной области. Этот метод основан на следующих исходных предположениях:

1. Сегменты референтной области являются квазистационарными.
2. Рассматриваемый набор сегментов референтной области является репрезентативным по отношению к решаемой задаче, то есть, адекватно описывает все возможные состояния достимульного интервала.
3. Все сегменты референтной области содержат результаты независимых друг от друга наблюдений.

Исходя из этих предположений, осуществляется проверка статистических гипотез о стохастическом равенстве исследуемого ансамбля данных (соответствующего некоторой послестимульной пространственно-временной области) ансамблям различных сегментов референтной области. На основе полученных оценок  $p_1, \dots, p_N$  ( $N$  — общее количество сегментов референтной области) минимальной (для рассматриваемого те-

ста) статистической значимости различий сравниваемых ансамблей вычисляется  $F_c(K, p_1, \dots, p_N)$  — интегральная функция распределения вероятностей ошибки первого рода для утверждения, что рассматриваемый ансамбль данных стохастически больше (меньше) ансамблей некоторых  $K$  сегментов референтной области ( $K \leq N$ ). Функция  $F_c$  определяется с помощью обобщённого биномиального распределения.

### Трёхмерная визуализация результатов

Авторами работан метод трёхмерной визуализации результатов анализа, который пригоден как для визуализации результатов однофакторного анализа данных (вырожденный случай), так и для визуализации результатов анализа эффектов взаимодействия факторов. Идея состоит в том, что на горизонтальных осях координат откладываются значения факторов, не являющихся бинарными (например, «электроды» или «время»), а на третьей оси координат откладывается статистическая характеристика (среднее или медиана) исследуемой величины или разность значений (если анализируется взаимодействие бинарных факторов). Кроме того, с помощью цвета отображается информация о наличии статистически значимого отличия исследуемых выборок от референтной области, а также о знаке отличия (больше, меньше).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 06-07-89302 и № 05-01-00651, РГНФ, проект № 07-06-00208, а также программы Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине».

### Литература

- [1] Morozov A. A., Obukhov Yu. V., Stroganova T. A., Tsetlin M. M., Orekhova E. V. The search of the regularity in the spatio-temporal dynamics of the human visual cortex oscillations // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2005. — Vol. 15, № 4. — pp. 697–699.
- [2] Морозов А. А., Морозов В. А., Обухов Ю. В., Строганова Т. А. Метод многофакторного анализа электроэнцефалограмм человека на основе вейвлет-спектрографии и непараметрической статистики // Докл. VII межд. науч.-техн. конф. «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии», Владимир: Изд-во «Собор», 2006. — Книга 1. — С. 145–147.
- [3] Морозов А. А., Морозов В. А., Обухов Ю. В., Строганова Т. А. Непараметрический метод многомерного многофакторного анализа электроэнцефалограмм человека // Искусственный интеллект. — 2006. — № 3. — pp. 603–612.
- [4] Stroganova T. A., Orekhova E. V., Prokofyev A. O., Posikera I. N., Morozov A. A., Obukhov Y. V., Morozov V. A. Atypical event-related potentials response to illusory contour in boys with autism // NeuroReport. — 2007. — Vol. 18, № 9. — pp. 931–935.