

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра электроники, колебаний и волн

**Применение метода ортогональной декомпозиции Карунена-Лозва для
выявления закономерностей в сигналах ЭЭГ в различных зонах
головного мозга у пациентов с мигренью**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

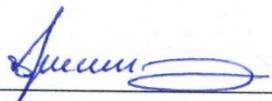
Студента 4 курса 4031 группы
направления 03.03.03 «Радиофизика»
Института Физики
Евстропова Максима Аркадьевича

Научный руководитель
доцент кафедры электроники,
колебаний и волн, к.ф.-м.н.


03.06.2024
дата, подпись

Е.Н.Егоров

Заведующий кафедрой
электроники, колебаний и волн.
к.ф.-м.н., доцент


03.06.2024г.
дата, подпись

С.В. Гришин

Саратов 2024 год

Введение

Актуальность темы работы. Анализ данных, полученных с помощью ЭЭГ, играет ключевую роль в понимании нейродинамики, распознавании патологий и развитии методов диагностики и лечения различных нейрологических состояний. В последние годы методы машинного обучения и обработки сигналов стали широко применяться в области анализа ЭЭГ для автоматической обработки и интерпретации данных. Одним из таких методов является метод Карунена-Лоэва (КЛ), который позволяет сжимать данные, выделять ключевые характеристики сигнала и проводить анализ изменчивости мозговой активности. В данном исследовании предпринимается попытка применить метод Карунена-Лоэва для анализа данных ЭЭГ с целью изучения основных компонент временных рядов мозговой активности и выявления паттернов, имеющих значение для диагностики состояний мозга.

Целью работы является расширение методологии анализа мозговой активности с помощью метода Карунена-Лоэва и оценка его применимости для работы с данными ЭЭГ.

Были поставлены следующие задачи:

1. Ознакомиться с теоретическими основами метода РК-преобразования данных, разобраться с имеющимся программным продуктом, позволяющим реализовать дискретный аналог КЛ-метода;
2. Проанализировать предоставленные данные ЭЭГ пациентов с мигренями с помощью КЛ-преобразования;
3. Построить и проанализировать характеристики полученных распределений сигналов по собственным векторам и собственным числам.

Работа состоит из следующих основных разделов:

1. Используемые методы:

— Практическое применение метода Карунена-Лоэва.

— Описание метода ортогональной декомпозиции пространственно-временных данных по Карунену-Лоэву.

— Методы и инструменты проведения эксперимента по снятию ЭЭГ.

2. Численный анализ экспериментальных данных (ЭЭГ-зависимостей):

— Анализ пространственно-временных данных (ЭЭГ) методом ортогональной декомпозиции по Карунену-Лоэву.

— Статистический анализ полученных распределений энергии КЛ-мод.

Основное содержание работы

В первом разделе представлен обзор метода ортогональной декомпозиции Карунена-Лоэва. Данный метод применяется во многих сферах: для уменьшения размерности, для описания изображений, для локации, так же им пользуются и в биомедицине. Нужно отметить, что выбранный метод хорош тем, что из всех линейных методов преобразований, он обеспечивает минимальную ошибку. Говоря о недостатках данного метода, стоит упомянуть что у него нет быстрых алгоритмов вычислений. Так же приводится математическое описание метода.

На практике обычно используют дискретную модификацию метода. Метод ортогональной декомпозиции по Карунену-Лоэву заключается в решении уравнения следующего вида:

$$\sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n K(x_p, x_q) \Psi^k(x_q) = \sum_{p=1}^n \lambda_k \Psi^k(x_p), \quad k = \underline{1, n}, \quad (1)$$

где $K(x_p, x_q)$ - ядро уравнения, которое формируется следующим образом:

$$K(x_p, x_q) = \frac{1}{T} \sum_{m=0}^T (\xi(x_p, t_m) \xi(x_q, t_m)). \quad (2)$$

В этих уравнениях x_p и x_q - координаты, соответствующие различным электродам, с которых снимают сигнал, t_m - моменты времени, которые соответствуют дискретизированному оцифрованному сигналу ЭЭГ.

Решение уравнений (1)-(2) сводится к нахождению набора собственных значений $\{\lambda\}$ и собственных векторов $\{\Psi\}$.

Каждое собственное значение λ_n соответствует определённому собственному вектору Ψ_n , определяя n – моду колебательного процесса. Значение λ_n пропорционально энергии соответствующей моды, которую удобно рассматривать в виде:

$$W_n = \frac{\lambda_n}{\sum_i \lambda_i} * 100\%. \quad (3)$$

Далее приводится обзор эксперимента, данные эксперимента, с которого были получены данные для последующего анализа.

Во время эксперимента, пациентам показывались «стимулы» - картинки с различным количеством четырехугольников, которые могли располагаться хаотически.

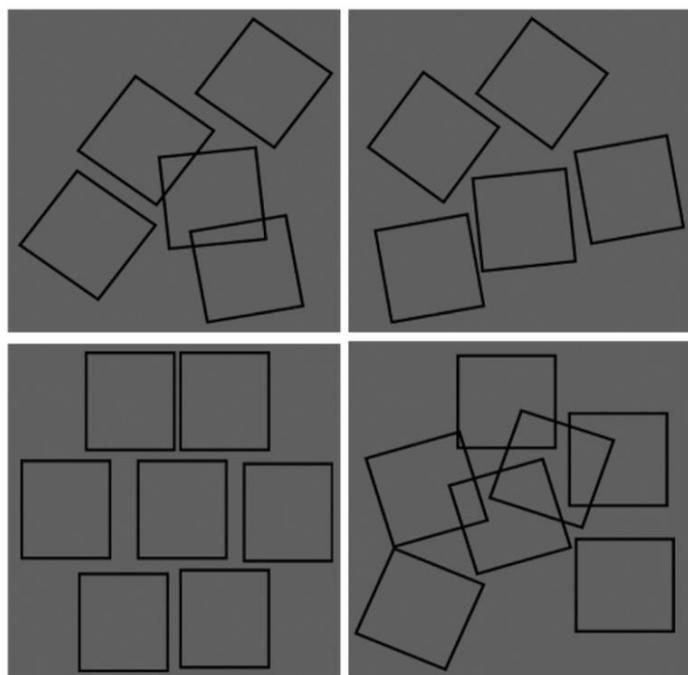


Рис 1. Пример стимулов.

Пациент должен был выбрать один из двух вариантов. Первый вариант подразумевал нечетное количество фигур на рисунке, второй четное.

На рисунке 2 изображена схема расположения электродов во время эксперимента. Так же выделены зоны, на которые разделяли электроды для анализа.

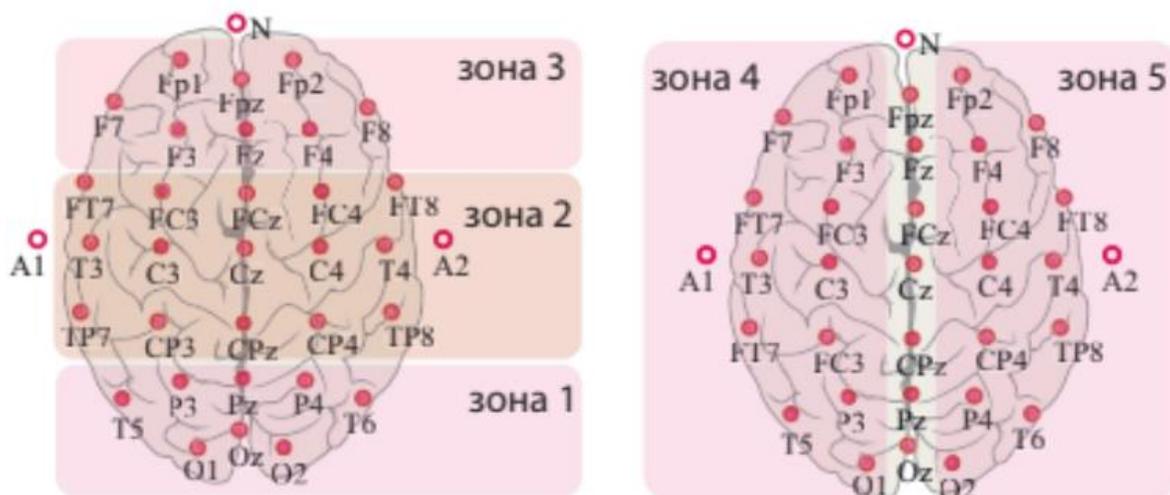


Рис. 2. Схема расположения электродов.

Во втором разделе представлено описание применения метода КЛ. Показан ход действий применения данного метода. Построены различные зависимости.

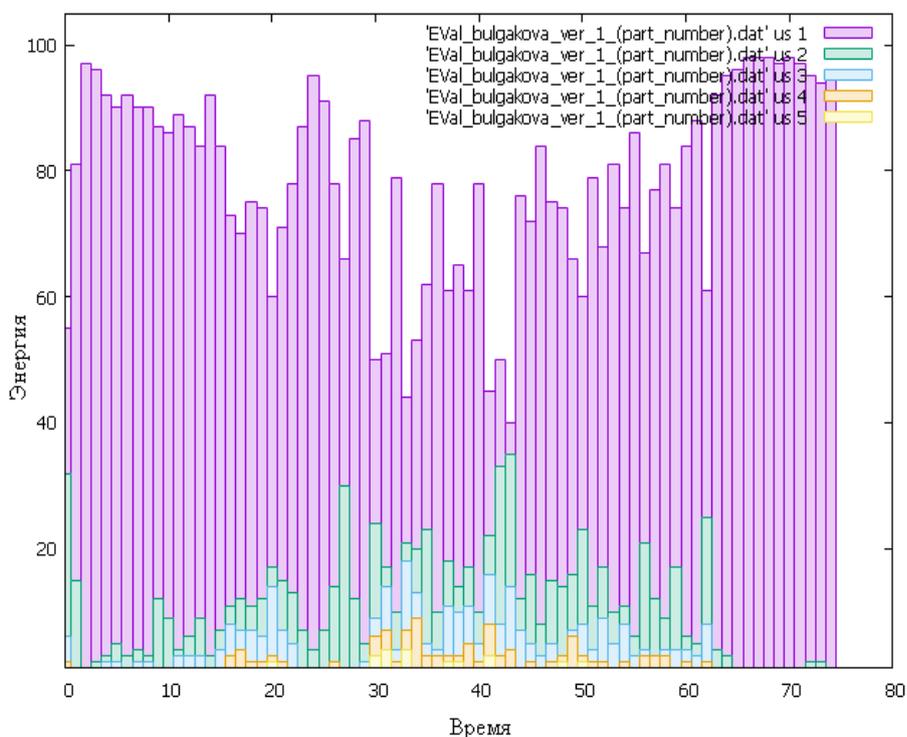


Рис. 3. Гистограмма зависимости энергии от момента времени эксперимента.

На рисунке 3 видно, что в начале и конце эксперимента преобладает первая КЛ мода, с энергией близкой к 100%, и только в середине эксперимента видно влияние мод высших порядков. Из рисунка видно, что вторая КЛ-мода не превышает по величине 30% энергии, за исключением нескольких временных отрезков.

На рисунке 4 изображены графики распределения энергии в зависимости от номера зоны, для первых 5 КЛ мод в разные интервалы времени эксперимента. Это было сделано для того чтобы понять как различается активность головного мозга в зависимости от стадии эксперимента и сравнения этих отличий. Видно, что распределение КЛ мод по энергиям, различается, в зависимости от зоны, в которой снимался сигнал. Так, несложно заметить, что в начале и конце эксперимента разброс энергии меньше чем в середине эксперимента, что говорит о сосредоточённости испытуемого. В первой зоне, первая КЛ мода в начале и конце эксперимента содержит в себе практически всю энергию (90%), в отличие от середины, где заметен разброс энергии. Во второй зоне первой КЛ моды наблюдается широкий спектр энергии на протяжении всего эксперимента. Так же выделяется первая зона в третьей КЛ моде, которая на протяжении всего эксперимента имеет широкий разброс энергии.

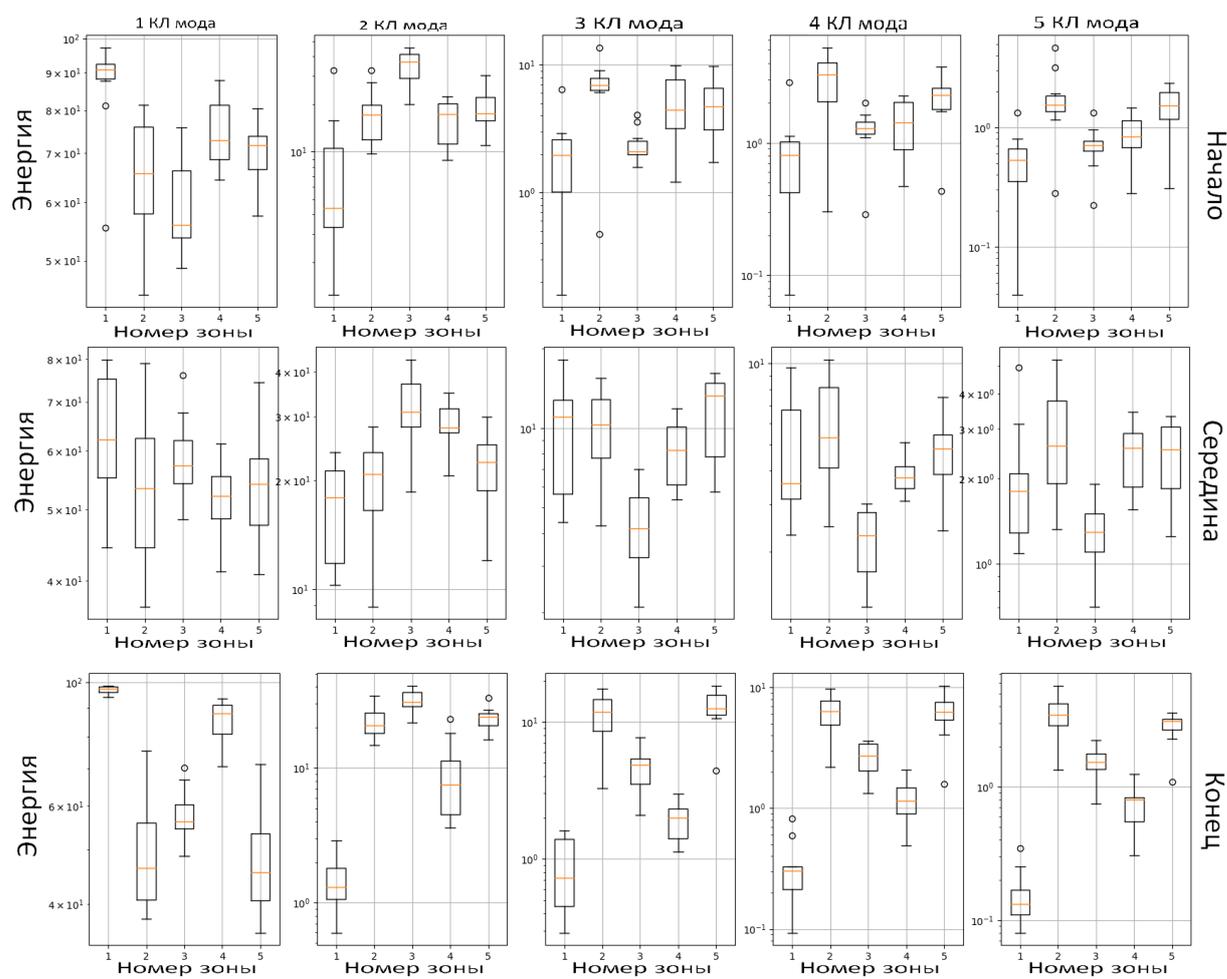


Рис. 4. Распределение энергии в зависимости от номера зоны, для первых 5 КЛ мод в разные интервалы времени эксперимента.

Испытуемых, принимавших участие в исследовании можно разделить на две группы: I – число приступов мигрени 1-3 раза в месяц(четверо участников), II – число приступов мигрени 6-8 раз в месяц(трое участников).

На рисунке 5 изображено распределение энергии первой КЛ-моды для различных зон головного мозга для всех испытуемых, разбитых на две группы (I и II). Видно, что у I группы пациентов в начале и конце эксперимента распределение первой КЛ моды в 1 зоне превосходит II группу, по медианным значениям энергии. У I группы во второй зоне на протяжении всего эксперимента наблюдается большее медианное значение энергии, чем у

II группы, в отличие от 3 зоны, где превосходство наблюдается у II группы пациентов.

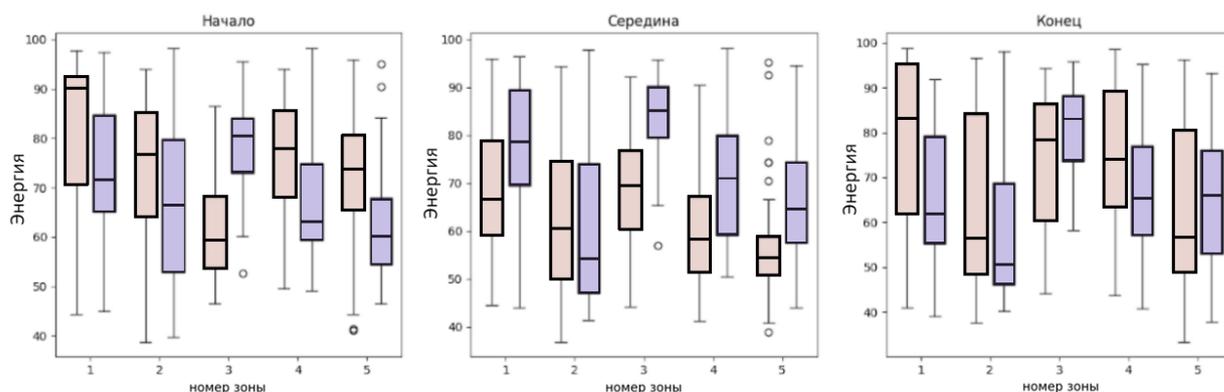


Рис. 5. Распределение энергии первой КЛ-моды для различных зон головного мозга для всех испытуемых, разбитых на две группы (I и II).

Заключение.

В ходе исследования была проведена проверка применимости метода ортогональной декомпозиции Карунена-Лоэва для анализа ЭЭГ. Были изучены различные статьи с применением данного метода. Его часто используют для уменьшения размерности, для описания изображений, для локации, так же им пользуются и в биомедицине. Анализ проводился на основе данных семи пациентов. По рассчитанным данным были построены различные графики: зависимость энергии в различных зонах головного мозга от времени эксперимента, распределение медианных значений энергии трёх первых КЛ-мод от номера зоны для различных стадий эксперимента, зависимость медианных значений энергии трёх первых КЛ-мод от различных стадий эксперимента для различных зон головного мозга и распределение энергии первой КЛ-моды для различных зон головного мозга для всех испытуемых, разбитых на две группы (I и II). К I группе относились пациенты с числом приступов мигрени 1-3 раза в месяц (четверо участников), ко II группе относились пациенты с числом приступов мигрени

6-8 раз в месяц (трое участников). Анализируя полученные зависимости, удалось определить моменты времени в которых испытуемые были сконцентрированы. Получилось выявить различия в активности головного мозга между испытуемыми из I и II групп.