

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

Кафедра Физики открытых систем

**Применение рекуррентного анализа
для обработки ЭЭГ данных**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 4041 группы
направления 09.03.02 Информационные системы и технологии
код и наименование направления (специальности)
Института физики
наименование факультета, института, колледжа
Зинченко Александра Олеговича
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель
доцент кафедры физики открытых систем,
к.ф.-м.н.



А.О. Сельский

Заведующий кафедрой
физики открытых систем
профессор, д.ф.-м.н.



А.А. Короновский

Саратов 2022 год

Введение.

Цель настоящей работы изучение возможностей рекуррентного анализа для обработки сложных сигналов и применение рекуррентного анализа к данным для одного нейрофизиологического эксперимента для выделения ряда индивидуальных особенностей в рассматриваемой группе испытуемых на основе рекуррентных показателей. Для выполнения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи: изучить рекуррентный анализ и специфику его применения к данным ЭЭГ, создать программу для расчета рекуррентного показателя по временным рядам, настроенная на работу с данными ЭЭГ, рассчитать рекуррентные показатели по данным ЭЭГ в рамках одного нейрофизиологического эксперимента для выделения индивидуальных особенностей. Актуальность работы в последующем использовании метода выделения индивидуальных особенностей для классификации испытуемых на группы для последующего исследования и в задачах реабилитации.

Первая глава работы посвящена описанию электроэнцефалографии, как одного из наиболее перспективных методов записи активности головного мозга, а также описанию дизайна нейрофизиологического эксперимента, проводимого коллегами из СГМУ им. Разумовского, который будет использоваться в работе для применения рекуррентного анализа.

Во второй главе дан обзор рекуррентного анализа, описана его работа, ограничения, области применения. Рекуррентный анализ основан на повторяемости сигналов во времени. Анализируя число повторений на временном ряду можно описать динамику всего временного ряда.

В третьей главе работы описаны основные результаты применения рекуррентного анализа к данным ЭЭГ. Выделены индивидуальные особенности при прохождении когнитивного теста по сравнению рекуррентного показателя в начале и в конце эксперимента. Такая методика сравнения рекуррентных показателей в разных фазах эксперимента важна для оценки тренировки и привыкания в тестах, что имеет большое значение при проектировании интерфейсов мозг-компьютер.

Основное содержание работы

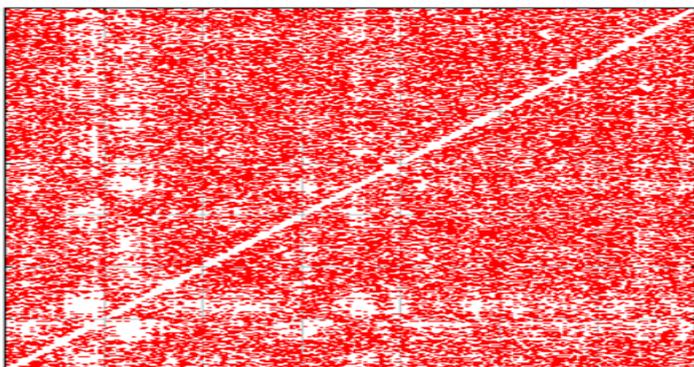
Электроэнцефалография и нейрофизиологический эксперимент. В рамках данной работы для последующей обработки были использованы результаты нейрофизиологического эксперимента, проведенного коллегами из Саратовского Государственного Медицинского Университета им. В.И. Разумовского. Эксперимент представлял собой когнитивный тест для детей с нарушениями зрения. В эксперименте участвовало 4 ребенка. Для записи сигнала ЭЭГ на скальпе было размещено 24 электрода, после чего испытуемый был размещен в удобном кресле. На рисунке 1 продемонстрирована одна из типовых схем расположения каналов. Тест представлял собой последовательности звуковых сигналов. Сигнал представлял собой серию звуков (от 1 до 4) с высокой, но не раздражающей частотой. Число звуков в серии определяется случайным образом. Серии разделяются паузами в 2.5-3 секунды. Задача испытуемого определить четное или нечетное было число звуков и нажать соответствующую кнопку на пульте. Серии были объединены в сессии по 15 повторений. Между сессиями, до эксперимента и после была предусмотрена запись фонового сигнала в состоянии покоя.

Рекуррентный анализ. В 1987 г. Экман (Echmann) и соавторы предложили способ отображения m -мерной фазовой траектории состояний системы $x(t)$ длиной N на двумерную квадратичную двоичную матрицу размером $N \times N$, в которой 1 (черная точка) соответствует повторению состояния при некотором времени i в некоторое другое время j , а обе координатные оси являются осями времени [1]. Такое представление было названо рекуррентной диаграммой (recurrenceplot, RP), так как оно фиксирует информацию о рекуррентном поведении системы.

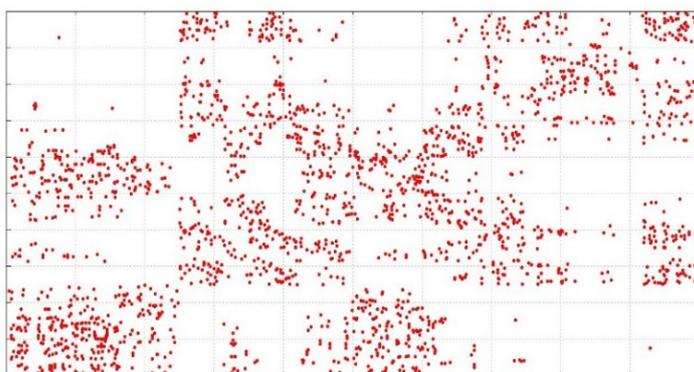
Математически вышесказанное описывается как

$$R_{i,j}(\varepsilon) = \theta(\varepsilon - \|x_i - x_j\|) \quad (1)$$

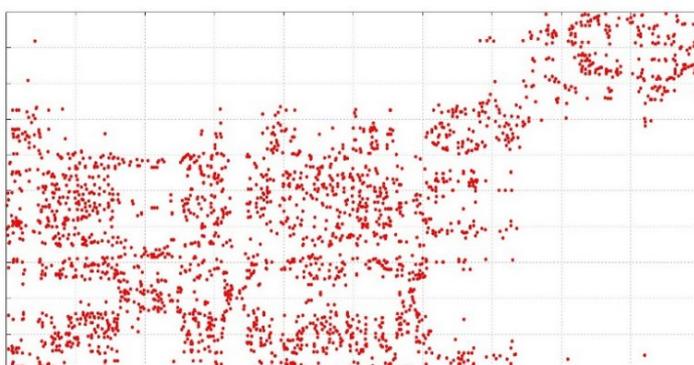
где ε —размер окрестности точек, θ —функция Хэвисайда. Способы интерпретации данных рекуррентных диаграмм приведен на рисунке 1.



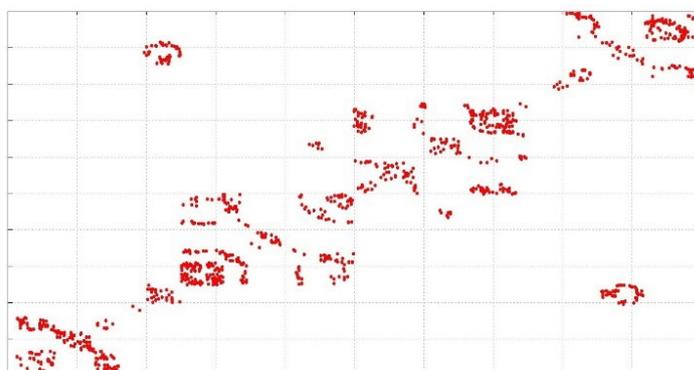
а) однородная
(нормально
распределенный шум)



б) периодическая



в) дрейф



г) контрастные
области или
полосы
(обобщенное
броуновское
движение)

Рисунок 1. Характерные топологии рекуррентных диаграмм

Збилут (Zbilut) и Веббер (Webber) разработали инструмент вычисления ряда мер на основе подсчета плотности рекуррентных точек и построения частотного распределения длин диагональных линий: recurrence rate (RR, коэффициент самоподобия), determinism (DET, предсказуемость), divergence (DIV, обратная величина максимальной длины диагональной линии), entropy (ENTR, энтропия) и trend (TREND, тренд).[2] Вычисление данных мер в подматрицах рекуррентной диаграммы вдоль линии идентичности показывает нам поведение этих мер во времени. Некоторые исследования данных мер показали, что их применение может содействовать обнаружению точек бифуркации, особенно переходов хаос-порядок. [3]

Позднее были предложены меры в которых используется плотность вертикальных (или горизонтальных) структур: laminarity (LAM, замирание), trapping time (TT, показатель задержки). Данные меры позволяют выявлять переходы хаос-хаос. Важно отметить нечувствительность этих мер к стационарности и длине исследуемых рядов.

Применение рекуррентного анализа может показаться ограниченным. Но это вовсе не так. Приведем некоторые возможные области применения рекуррентного анализа.

1. Изучение:

- a) самой методики
- b) динамики систем, к примеру, сложных физико-химических процессов, на предмет выявления хаотического поведения, природных явлений. [4]

2. Мониторинг состояния систем, протекания каких-либо процессов (в том числе в режиме реального времени после каждого рабочего цикла). В процессе работы системы производятся измерения каких-либо ее параметров, характеризующих протекающий процесс. После окончания каждого рабочего

цикла производится построение рекуррентной (или кросс-рекуррентной) диаграммы.

Применение рекуррентного анализа к нейрофизиологическому эксперименту. В ходе работы при помощи языка программирования python была написана программа для обработки ЭЭГ данных. С ее помощью были построены рекуррентные диаграммы для 4 испытуемых по всем каналам ЭЭГ. В рамках настоящего исследования было рассмотрено как изменяется рекуррентный показатель в течении эксперимента. Результаты данного исследования интересны с точки зрения исследования усталости при выполнении когнитивных задач.

Так как цель исследования – оценить изменение рекуррентного показателя, было предложено выводить для каждого канала рекуррентную матрицу не целиком, а разделив выборку экспериментальных данных на 4 части. Тогда можно для каждой части по рекуррентному показателю оценить число повторов на ограниченной выборке. Так как основным приоритетом было рассмотрение усталости, наибольшее внимание уделяться будет первой и последней четвертям выборки экспериментальных данных. Помимо того, вторую и третью четверть не совсем верно сравнивать с первой и последней, так как в первую и четвертую четверть эксперимента кроме записи прохождения когнитивных тестов входит также запись испытуемых в состоянии покоя с закрытыми глазами.

На рисунке 2 показано по зонам головы как соотносятся рекуррентные показатели в первой и последней четверти. Рисунок выполнен с помощью модуля fieldtrip. Отношение рекуррентного показателя, построенного по последней четверти временного ряда, к рекуррентному показателю, построенному по первой четверти временного ряда показывает то насколько отличается привыкание к стимулу от испытуемых к испытуемому. Если это отношение близко к единице – серьезных отличий нет. Если больше единицы – больше повторов в динамике в последней четверти для данного канала. Если

меньше единицы, то больше повторов наблюдается в динамике в начале временного ряда.

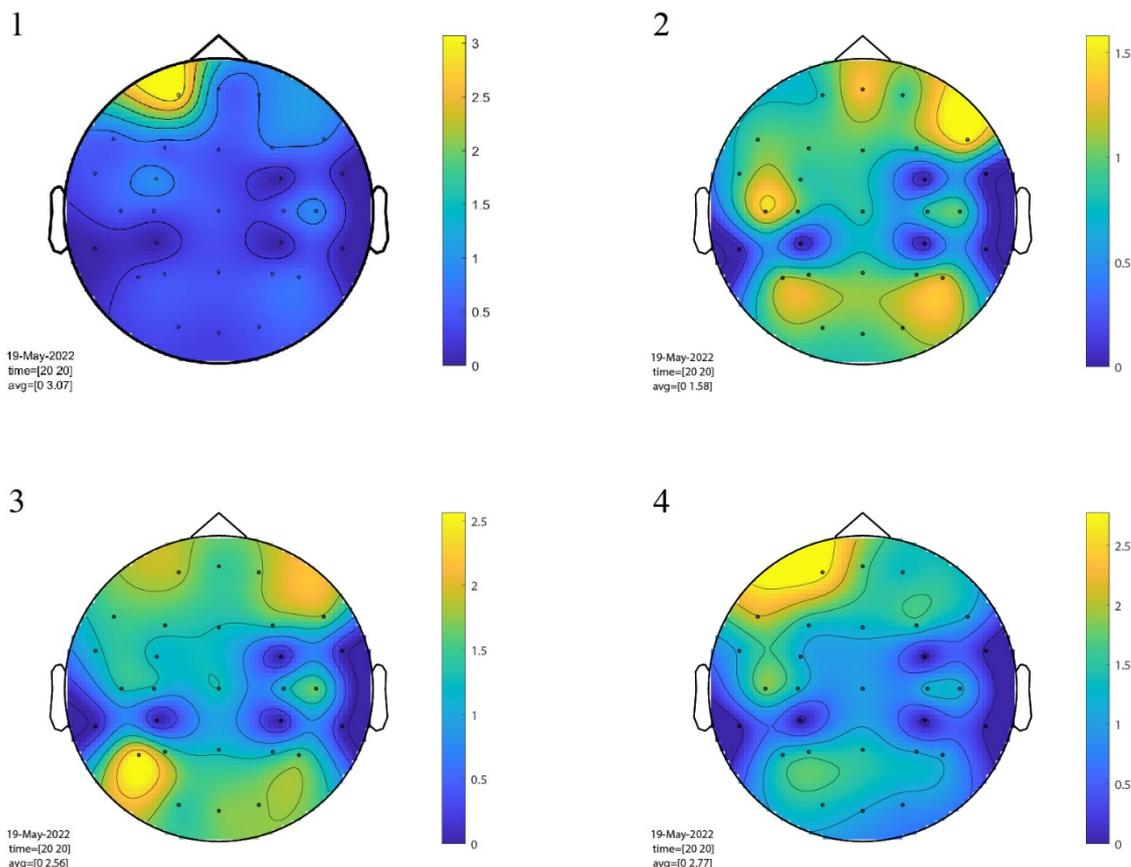


Рисунок 2. Распределение по каналам отношения рекуррентного показателя, построенного по последней четверти временного ряда, к рекуррентному показателю, построенному по первой четверти временного ряда для четырех испытуемых.

Приведенный рисунок показывает, что дети, прошедшие эксперимент, по-разному реагируют на него. У испытуемых 1 и 4 почти всегда оказывается выше рекуррентный показатель в первой четверти временного ряда. Исключение представляет левая височная доля. У испытуемых 2 и 3, напротив, почти всегда выше оказывается значение рекуррентного показателя в конце временного ряда. Без детального дополнительного исследования влияния количества повторов на вид реализаций ЭЭГ сложно сказать, какая пара

испытуемых демонстрирует лучшее привыкание к прохождению эксперимента, но четко видно разделение на два типа.

Приведенные результаты разделения на две группы хорошо соотносятся с результатами рекуррентного анализа в статье [5], полученным по этим же данным.

Заключение.

В данной работе были изучены возможности рекуррентного анализа для сложных сигналов, рекуррентный анализ применен к данным для одного нейрофизиологического эксперимента и были выделены индивидуальные особенности в рассматриваемой группе испытуемых на основе рекуррентных показателей. Актуальность работы состояла в последующем использовании метода выделения индивидуальных особенностей для классификации испытуемых на группы для последующего исследования и в задачах реабилитации.

В ходе работы при помощи языка программирования python была написана программа для обработки ЭЭГ данных. При помощи этой программы были посчитаны значения рекуррентных показателей по четвертям эксперимента для 4-х испытуемых. В работе ставилась цель рассмотрения усталости при выполнении когнитивных задач, поэтому наибольшее внимание было уделено первой и последней четвертям выборки экспериментальных данных. Для того чтобы более наглядно продемонстрировать соотношение рекуррентных показателей в первой и последней четверти по зонам головы, был построен рисунок при помощи модуля fieldtrip. Данный рисунок показал то насколько отличается привыкание к стимулу от испытуемых к испытуемому по разным каналам ЭЭГ. Тем самым, в ходе обработки данных ЭЭГ с помощью рекуррентного анализа было показано, что в данном эксперименте удастся выделить две характерные реакции на стимулы в начале и конце эксперимента. Реакции были выделены по отношению рекуррентного показателя, построенного по последней четверти временного ряда, к

рекуррентному показателю, построенному по первой четверти временного ряда. Особый интерес представляло ярко выраженное возрастание рекуррентного показателя по ходу эксперимента в левой височной доле, что скорее всего связано с характером стимулов – звуковыми.

Список литературы

1. Eckmann J.-P., Kamphorst S.O., Ruelle D. Recurrence Plots of Dynamical Systems. // EurophysicsLetters. 1987.
2. Zbilut J. P., Webber Jr. C. L. Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots // Physics Letters A 171 (3–4). 1992. P. 199–203.
3. Webber Jr. C. L., Zbilut J. P. Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies // Journal of Applied Physiology. 1994. Vol. 76 (2). P. 965–973.
4. <https://cyberpedia.su/17x9046.html>
5. Runnova A, Selskii A, Emelyanova E, Zhuravlev M, Popova M, Kiselev A, Shamionov R. Modification of Joint Recurrence Quantification Analysis (JRQA) for assessing individual characteristics from short EEG time series. Chaos. 2021 Sep;31(9):093116.