

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Применение флуктуационного анализа для распознавания типов
движений человека по сигналам электроэнцефалограмм**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 2 курса 241 группы
направления 03.04.03 «Радиофизика»
физического факультета
Степаненко Елизаветы Олеговны

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

_____ О.Н. Павлова

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

_____ В.С. Анищенко

Саратов 2019 год

ВВЕДЕНИЕ

Нейродинамика представляет собой обширный раздел естествознания, где для получения базовых сведений о принципах и механизмах деятельности нервной системы важно объединять усилия специалистов в области физики, биологии, химии, математики, нелинейной динамики. На сегодняшний день, достигнут прогресс в изучении ионных и молекулярных механизмов, определяющих активность индивидуальных нейронов. Создана база для изучения вопросов принципа генерации информационного кода нейронами, представление сенсорной информации в головном мозге и обработка. Одной из основных функций головного мозга является обработка информации, поступающая из окружающей среды. Различные сигналы кодируются рецепторами и преобразуются в последовательности электрических импульсов. Когда эти импульсы попадут в кору головного мозга, они создают представление об окружающей среде, содержащаяся в электрических импульсах информация, распространяется через несколько промежуточных звеньев, которые участвуют в ее преобразовании и усложнении, в конечном результате создается интегральный информационный код. При прохождении новых звеньев значительно растет уровень сложности анализа соответствующих процессов, потому, что интегрируется информация от огромного числа нейронов. Знание о том, как с помощью электрических импульсов нейронов можно передать информацию об окружающей среде, что представляют собой алгоритмы запоминания и обучения, на сегодняшний день очень важны для естествознания в целом.

Целью данной выпускной квалификационной работы является сравнительный анализ возможностей распознавания типа движения по коротким участкам многоканальных электроэнцефалограмм на основе метода DFA.

Материалы исследования. Эксперименты включали в себя измерения фоновой электрической активности – участков в начале и в конце экспериментальных измерений, а также сигналов при выполнении движений. Обработка сигналов производилась методом флуктуационного анализа.

Выпускная квалификационная работа содержит введение, пять глав (1. Основы теории вейвлетов; 2. Общие сведения об электроэнцефалографии; 3. Применение методов на основе непрерывного вейвлет-преобразования для выделения временных паттернов в сигналах электроэнцефалограмм; 4. Мультифрактальный анализ структуры сигналов ЭЭГ при выполнении и воображении движения; 5. Результаты экспериментальных исследований), заключение, список публикаций, список использованных источников. Общий объем работы 60 стр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

На сегодняшний день достигнуты величайшие успехи в области изучения процессов преобразования и передачи сигналов на многочисленных уровнях центральной нервной системы – от рецепторов до коры мозга. Несмотря на все важные достижения, которые были достигнуты в нейрофизиологии, до сих пор не удается ликвидировать отставание в сфере анализа и цифровой обработки данных нейрофизиологических экспериментов. В этой области было проведено много исследований, основная масса этих исследований ограничивается небольшим числом методов обработки экспериментальных сигналов – корреляционным анализом, расчетом средней частоты генерации нейронных потенциалов действия, методами математической статистики применительно к последовательностям интервалов времени между импульсами и т.п. Все эти методы часто дают весьма малозначимую информацию и не позволяют объяснить сложную динамику нейронных ансамблей. Если рассмотреть нейронный отклик на периодическое воздействие, то можно пронаблюдать эту динамику. В том случае, когда однотипная реакция нейрона, имеет наличие периодического сигнала на входе ведет к сигналу с тем же периодом на выходе.

Часто можно наблюдать совсем другую реакцию, которая меняется во времени. По этой причине воздействие будет вызывать отклик, который отличается от того что был вначале. Аналогичные изменения сопровождаются выражением синаптической пластичности. Это механизм, ответствующий за формирование памяти и обучение нейронных сетей. Нейронные сети обладают свойством адаптации по этому изменения отклика связанны с этим. При анализе динамики живых систем необходимо изучать и отклик в этой динамике, рассмотрения статистических характеристик недостаточно. Чтобы добиться получения информативных показаний о процессах, которые проходят в нервной системе, нужно использовать методы исследования процессов с меняющимися характеристиками. Одним из таких методов является вейвлет-анализ.

В последние годы зачастую вейвлеты используются в разнообразных областях науки и техники. Вейвлет анализ успешно проявил себя при решении задач цифровой обработки (фильтрации), обработке изображений, сжатия данных, и т.д. Данный инструмент в связи с этим имеет значительный потенциал в решении задач анализа структуры процессов, отражающих динамику живых систем, так как стандартные методы математической статистики и спектрально-корреляционного анализа применимы только к стационарным процессам.

Результаты исследований. Эксперименты проводились на здоровых добровольцах (мужчины и женщины, $n=16$) в возрасте от 19 до 43 лет в специально оборудованной лаборатории в СГТУ имени Гагарина Ю.А. Протокол был утвержден локальной комиссией по этике СГТУ имени Гагарина Ю.А. Многоканальные ЭЭГ были записаны с помощью электроэнцефалографа «BE Plus LTM» (Италия), который имеет регистрационное свидетельство от Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения Российской Федерации № ФСЗ 011/10629 от 20.09.2011 г., а также соответствует международным сертификатам UNI EN ISO 9001/ISO 9001:2008, EN 46001 ISO 13485:2012. В дополнение к стандартной расстановке электродов 10-20,

использовались промежуточные электроды, обеспечивающие в общей сложности 32 канала записи ЭЭГ.

Эксперименты включали измерения фоновой электрической активности (BGR) – участков в начале и в конце экспериментальных измерений, каждый из которых длился 5 минут, в также сигналы ЭЭГ при решении следующих задач: медленный подъем левой руки (*LA*) в плечевом суставе, аналогичный подъем правой руки (*RA*), медленный подъем левой ноги (*LL*) и аналогичный подъем правой ноги (*RL*). Движение выполнялось после звукового сигнала, и электрическая активность мозга регистрировалась в течение 3 секунд. Каждый эксперимент включал не менее 40 записей каждого типа движения, которые были разделены на сеансы, состоящие из 20 повторяющихся движений каждого типа. Новый сеанс сопровождался короткой инструкцией на экране монитора.

Вначале были проведены тестовые исследования для подтверждения возможности распознать сигналы ЭЭГ, соответствующие движениям испытуемого, отделив их от фоновой активности. Такие исследования проводились ранее, и возможность распознавания была доказана. Тем не менее, было целесообразно повторить известные результаты на других данных (новых экспериментах), чтобы потом можно было переходить к рассмотрению задач, которые ранее детально не изучались на основе флуктуационного анализа.

Для тестирования было рассмотрено несколько примеров экспериментальных записей, для которых был установлен диапазон масштабов, подходящих для распознавания сигналов. На рисунке 1 показаны типичные зависимости среднеквадратичных отклонений от длины сегмента $F(n)$ в двойном логарифмическом масштабе. На этом рисунке показано, что зависимость $F(n)$ носит степенной характер, что соответствует предположениям о степенном характере зависимости, и ее наклон отличается для фрагмента ЭЭГ во время движения по сравнению с фоновой электрической активностью.

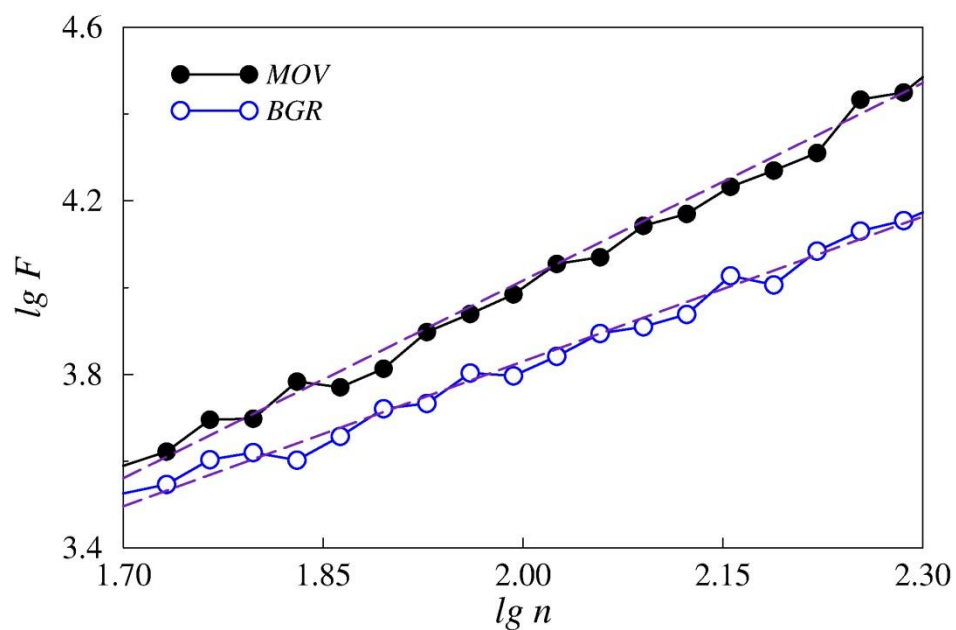


Рисунок 1 – Пример различного скейлинга зависимости $F(n)$ для фоновой электрической активности (BGR) и движения (MOV). В данном случае рассмотрено движение правой рукой

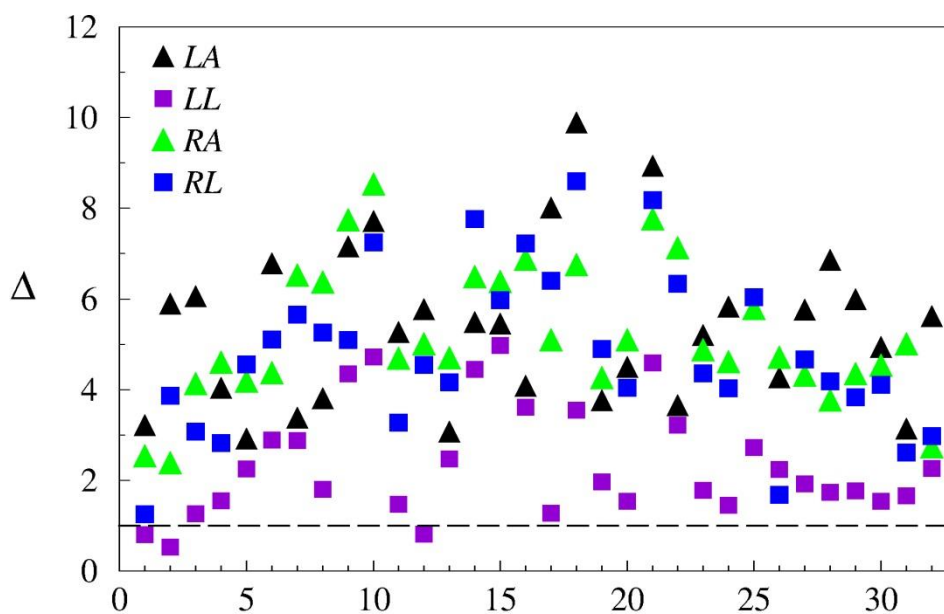


Рисунок 2 – Расчет количественной меры различий в структуре сигналов ЭЭГ во время движений и при фоновой активности (Δ). Средние значения величины

Δ приведены по каждому каналу для разных вариантов движений (LA – левая рука, LL – левая нога, RA – правая рука, RL – правая нога)

Далее было проанализировано, как разделение между сигналами, записанными во время движений испытуемого и во время фоновой активности, зависит от типа движения. Для этой цели была проведена оценка меры различий в структуре сигналов ЭЭГ во время движений и при фоновой активности (Δ) для каждого канала записи и для каждого добровольца.

Рисунок 2 иллюстрирует пример результатов, полученных для одной из записей ЭЭГ. Здесь мы наблюдаем надежное разделение ($\Delta > 1$) сигналов при двигательной активности и фоновой ЭЭГ – оно наблюдается и для движений рук (как левой, так и правой), и для движений ног (также как левой, так и правой). Соответствующее разделение происходит во всех каналах (32 из 32) для LA , RA и RL и для большинства каналов (29 из 32) для LL .

Сравнительный анализ результатов для всех испытуемых показал, что распознавание зависит от индивидуальных особенностей добровольцев. Например, для отдельных испытуемых было достигнуто более высокое качество распознавания для движений левой руки, для других – для левой ноги и т.п. Независимо от испытуемого, все эксперименты показали, что двигательную активность можно четко отделить от фоновой ЭЭГ, а рассмотрение большого числа каналов позволяет повысить надежность распознавания. Статистический анализ показал, что число каналов с достоверным разделением сигналов обычно варьируется в диапазоне от 28 до 31, и результаты для движений ног получились немного лучше, чем для движений рук (рисунок 3).

Рисунок 4 подтверждает этот вывод для меры Δ , которая показывает корреляцию со значением K , приведенным на рисунке 3. Несмотря на некоторую вариабельность величины Δ для разных испытуемых и повторяющихся экспериментов, значение Δ обычно намного превышает уровень $\Delta=1$, который соответствует незначительному разделению сигналов.

Согласно проведенным расчетам, рассмотрение движений ног может быть более предпочтительным из-за увеличения значений K и Δ .

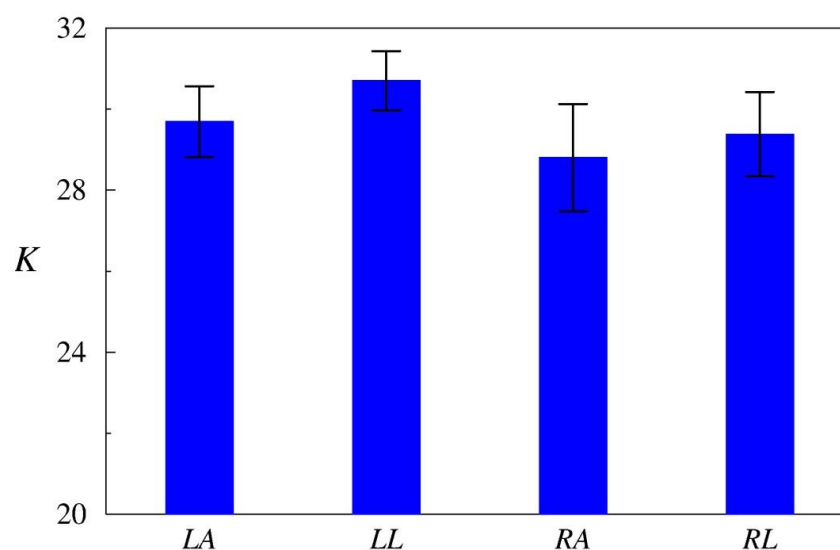


Рисунок 3 – Результаты статистического анализа числа каналов K с достоверным распознаванием сигналов для каждого типа движений (усреднение по всем записям для всех испытуемых)

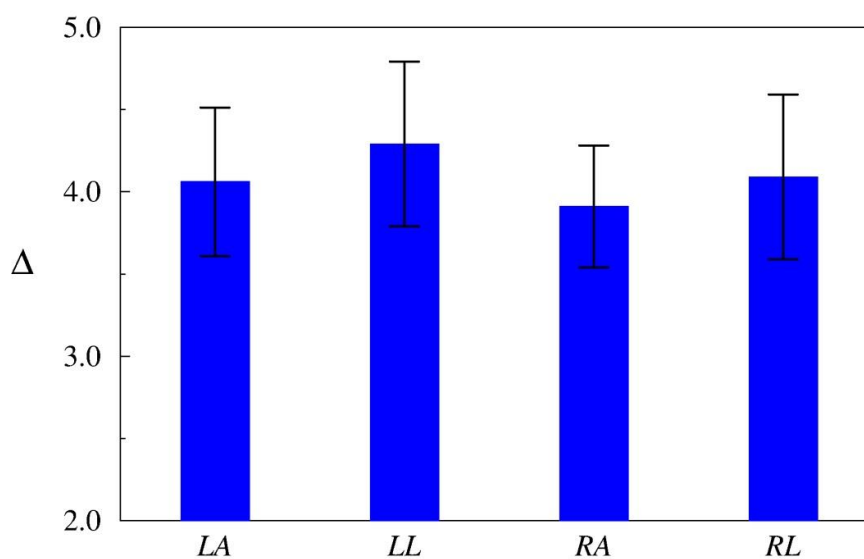


Рисунок 4 – Результаты статистического анализа меры Δ для каждого типа движений (усреднение по всем записям для всех испытуемых)

Это может быть связано со спецификой экспериментов, в частности, с большой амплитудой движений руками, способной повлиять на

регистрирующую аппаратуру. Однако даже в этом случае распознавание движений является достоверным (если мы говорим о движении в целом, не конкретизируя, осуществлялось ли оно правой или левой рукой или ногой).

Обратимся теперь к более сложной задаче – определению, какое именно движение совершалось. Отличить движения правой руки от движения левой руки и т.п. намного сложнее, чем производить сопоставление с фоновой активностью. В частности, согласно рисунку 4, различить движение руки и ноги можно, используя 9-11 каналов. Распознать движения правой и левой руки (или правой и левой ноги) можно также примерно для такого же числа каналов (рисунки 5, 6).

Таким образом, применяемый подход позволяет решать задачи не только идентификации участков ЭЭГ, соответствующих движениям, но и распознавания, какое именно движение было совершено. Для этого важно не ограничиваться малым числом каналов, а проводить параллельную обработку данных по разным местам расположения электродов, чтобы повысить надежность распознавания типа движения.

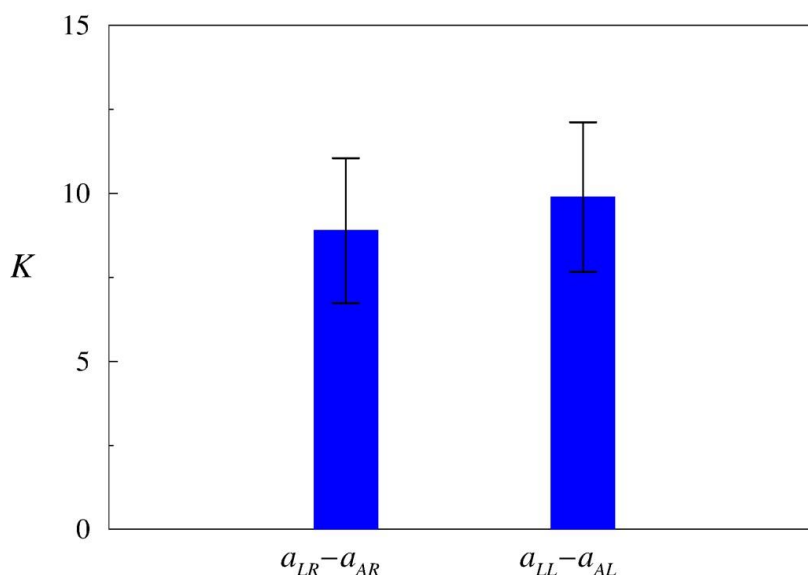


Рисунок 5 – Число каналов с достоверным распознаванием движений правой руки и правой ноги (слева), и левой руки и левой ноги (справа).

Результаты приведены в виде средних значений со стандартной ошибкой среднего (усреднение по всем испытуемым).

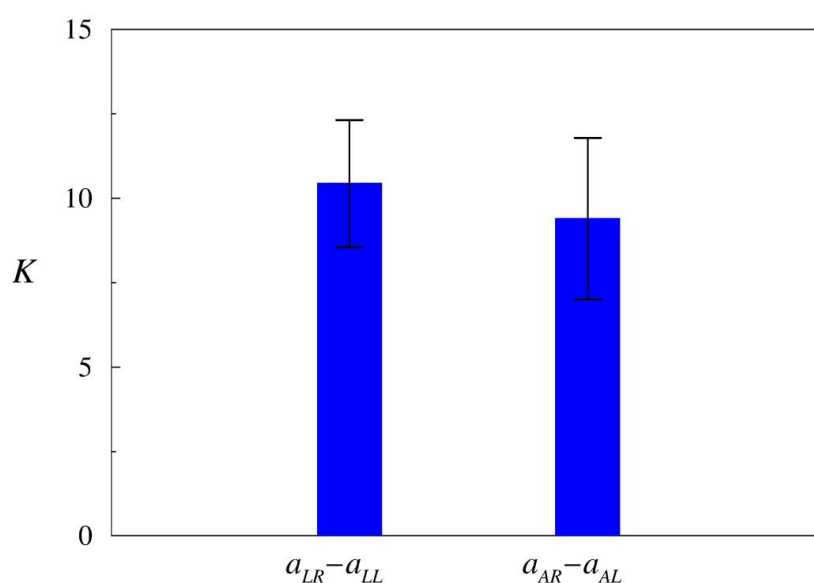


Рисунок 6 – Число каналов с достоверным распознаванием движений левой и правой ноги (слева), и левой и правой руки (справа).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведено обсуждение проблемы разделения ЭЭГ-паттернов, соответствующих движениям рук или ног испытуемых, как между собой, так и от фоновой ЭЭГ. Чтобы продемонстрировать возможность применения для этой цели флуктуационного анализа, была выбрана группа из 16 добровольцев разного возраста и четыре типа движения (подъем левой / правой руки и левой / правой ноги). Было продемонстрировано, что распознавание двигательной активности от фоновой ЭЭГ является достоверным для всех испытуемых. Несмотря на то, что результаты распознавания зависят от добровольца, разделение происходит по большинству каналов (обычно не менее чем по 90% каналов). Анализ движений ног привел при этом к несколько более высокому качеству распознавания движений.

Отличить движения правой руки от движения левой руки и т.п. является более сложной задачей. Тем не менее, она также решается, используя 9-11 каналов ЭЭГ. Таким образом, применяемый подход позволяет решать задачи не только идентификации участков ЭЭГ, соответствующих движениям, но и распознавания, какое именно движение было совершено.