

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Кириленко Николая Евгеньевича «Метод частотно-временной локализации априорно неопределенных паттернов в составе зашумленных сигналов нейрокомпьютерного интерфейса», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность избранной темы

Рост количества пациентов с двигательными и коммуникативными нарушениями, вызванными нейродегенеративными заболеваниями, последствиями инсультов и травм спинного мозга, создает критическую потребность в технологиях, обеспечивающих альтернативные или дополнительные каналы взаимодействия с внешним миром. Нейрокомпьютерные интерфейсы становятся ключевым инструментом реабилитации, позволяя пациентам управлять протезами, экзоскелетами и коммуникационными устройствами напрямую через сигналы биоэлектрической активности мозга. Однако существующие методы анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ) зачастую не обеспечивают достаточной точности в условиях нестационарности сигналов и вариативности функциональных состояний пользователей, что ограничивает их применение в клинической практике.

Развитие интернета вещей, носимых устройств и умных медицинских систем актуализируют проблему создания энергоэффективных алгоритмов обработки сигналов в реальном времени. Современные интерфейсы мозг-компьютер (ИМК) интегрируются в экосистемы «умного дома», нейропротезирования и телемедицины, где точность и надежность определения паттернов ЭЭГ напрямую влияют на безопасность пользователей.

Основным препятствием для широкого распространения ИМК является низкая точность классификации и идентификации специфических паттернов команд нейроуправления. Среди причин низкой точности классификации команд нейроуправления выделяют не только зашумленность и нестационарность сигнала ЭЭГ, но и вариабельность как временных, так частотных границ паттернов команд нейроуправления.

Большинство существующих методов анализа ЭЭГ (например, спектральный анализ Фурье, методы машинного обучения) ориентированы на стационарные сигналы, что противоречит природе биоэлектрической активности мозга, которая

динамически меняется в зависимости от когнитивной нагрузки, усталости и внешних факторов.

Целью диссертационной работы Кириленко Н.Е. является повышение точности классификации команд нейроуправления нейрокомпьютерного интерфейса на основе решения задачи определения частотных и временных границ паттернов в составе многомерных сигналов ЭЭГ. В связи с этим диссертация, выполненная на тему «Метод частотно-временной локализации априорно неопределенных паттернов в составе зашумленных сигналов нейрокомпьютерного интерфейса», является **актуальной** и представляет значительный теоретический и практический интерес.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные результаты, положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, обоснованы в ходе, как теоретических исследований, так и при проведении вычислительных экспериментов и создании алгоритмов обработки информации. Это подтверждается их апробацией на шести международных научно-практических конференциях, которые достаточно полно излагают ключевые результаты исследования, а также внедрением результатов работы в ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» для разработки нейроинтерфейсов и специального программного обеспечения, что подтверждается актами реализации.

Научная новизна научных результатов, научных положений выводов и рекомендаций и их значимость

В диссертации получен ряд новых результатов, к основным из которых можно отнести следующие:

1. Разработан метод частотно-временной локализации априорно неопределенных паттернов в составе зашумленных сигналов нейрокомпьютерного интерфейса, отличающийся от известных методов тем, что обладает свойством робастности к неизвестной вариативности текущего функционального состояния человека и к типу подготавливаемого человеком движения – реальному или мысленному, произвольному или баллистическому, позволяющий повысить точность классификации команд нейроуправления в составе нейрокомпьютерного интерфейса.

2. Разработаны критерии оптимальности для поиска границ локального частотного диапазона, максимально соответствующего частотному диапазону искомого паттерна биоэлектрической активности мозга человека, которые отличаются тем, что применимы в условиях маскирования паттерна шумами с близкими или частично совпадающими энергетическими спектрами, позволяющие

позволяющий определять временные и частотные границы паттернов команд нейроуправления.

3. Разработан алгоритм, отличающийся тем, что реализует разработанный метод и позволяет повысить точность классификации команд нейроуправления в нейрокомпьютерном интерфейсе.

Новизна результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается: отсутствием работ с аналогичными научными и техническими решениями в доступной литературе; положительными отзывами специалистов на опубликованные статьи, доклады, представленные на конференциях; наличием 6 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Теоретическая и практическая ценность результатов исследования.

Теоретическая ценность исследования заключается в развитии теории цифровой обработки сигналов в присутствии шумов, разработке нового метода частотно-временной локализации паттернов в составе многомерных зашумленных сигналов, синтезе новых критериев оптимального поиска границ локального частотного диапазона структурных особенностей в составе зашумленных сигналов, разработке новых алгоритмов.

Практическая ценность работы заключается в разработке программно-алгоритмического обеспечения, реализующего новый метод частотно-временной локализации ЭЭГ-паттернов биоэлектрической активности мозга человека, повышении точности классификации команд нейроуправления в ИМК.

Достоверность научных результатов, научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается корректным использованием и непротиворечивостью фундаментальным положениям теории моделирования, теории оптимального оценивания, математического аппарата теории информации, непротиворечивостью полученных результатов к общепринятым подходам анализа сигналов, подтверждением теоретических выводов и предположений, полученными результатами имитационного моделирования.

Оценка содержания диссертации и автореферата.

Диссертационная работа выполнена автором с достаточно полным анализом известного математического аппарата, используемого для решения задач данного класса, корректной постановкой и декомпозицией задач, их обоснованным и последовательным решением.

Полученные научные результаты соответствуют п. 3. «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.», п. 4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.», п. 5. «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.».

Замечания по диссертации и автореферату

1. В разделе 2.1 диссертации вводится параметр сдвига окна, но не обсуждаются его параметры и их влияние на эффективность решения задачи. Например, слишком большой сдвиг может пропустить короткие паттерны, а малый – увеличить вычислительную нагрузку. Необходимо математическое обоснование выбора сдвига временного окна.
2. В разделе 3.1 диссертации используется вейвлет Добеши 14, однако не приведено сравнение его свойств с другими базисными функциями (например, Морле, Габор). Не ясно из текста, как выбор вейвлета влияет на разрешающую способность метода в частотно-временной области.
3. В разделе 3.1 алгоритм непрерывного вейвлет-преобразования реализован в LabVIEW, но не указано, используется ли быстрое вейвлет-преобразование (FWT) или прямое вычисление свертки.
4. Отсутствуют такие метрики, как precision, recall, F1-score, ROC-AUC, что критично для задач бинарной классификации, особенно при дисбалансе классов.
5. Отсутствует описание используемых библиотек в программной реализации, что важно для воспроизводимости и внедрения.
6. Недостаточно подробно описан выбор параметров алгоритмов для многомерных данных (например, согласование временных задержек между сенсорами).
7. Отсутствует сравнение с методами глубокого обучения, которые могут конкурировать по точности при решении задач классификации.
8. В разделе 4.2 отсутствует описание выбора параметров для алгоритмов машинного обучения.
9. Наличие шкал и размерностей на осях ординат графиков, приведенных на рисунках 11-14, 18-22, 25, 29, 30 диссертации, позволило бы быстрее прийти к правильному пониманию их содержания.

10. Корректная нумерация рисунков в автореферате, нарушенная, очевидно, по техническим причинам, повысила бы эффективность анализа его содержания.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным ВАК при Минобрнауки России, для кандидатских диссертаций

В соответствии с п. 9 Диссертация «Метод частотно-временной локализации априорно неопределенных паттернов в составе зашумленных сигналов нейрокомпьютерного интерфейса» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, направленные на повышение точности классификации команд нейроуправления нейрокомпьютерного интерфейса на основе решения задачи определения частотных и временных границ паттернов в составе многомерных сигналов ЭЭГ.

В соответствии с п. 10 диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, структурирована и обладает внутренним единством. Работа содержит научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в научные исследования.

Анализ опубликованных работ показал, что все научные результаты принадлежат диссертанту.

В работе имеются сведения о внедрении результатов в практическое использование в ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» при разработке нейроинтерфейсов, а также специализированного программного обеспечения.

В соответствии с п. 11, 13 основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в 2 научных работах, в том числе 4 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статье в научном издании, индексируемом в международных базах данных Scopus и Web of Science, 1 монографии, а также 6 свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В соответствии с п. 14 диссертационная работа содержит ссылки на источники использованных материалов и на работы других авторов.

Диссертация соответствует специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Содержание автореферата отражает основные положения диссертации.

ВЫВОД. Диссертационная работа Кириленко Николая Евгеньевича «Метод частотно-временной локализации априорно неопределенных паттернов в составе зашумленных сигналов нейрокомпьютерного интерфейса» является самостоятельно выполненной и законченной научно-квалификационной работой, имеющей научную и практическую ценность. Работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент

Начальник 31 кафедры (защиты информации от несанкционированного доступа)

Краснодарского высшего военного училища

кандидат технических наук, доцент

03.06.2025 г.

В.А. Головской

Головской Василий Андреевич, кандидат технических наук, доцент.

Кандидатская диссертация защищена по специальности 20.02.25 Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения.

Наименование организации: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училище имени генерала армии С.М. Штеменко» Министерства обороны Российской Федерации.

Должность: начальник 31 кафедры (защиты информации от несанкционированного доступа).

Почтовый адрес (рабочий): Российская Федерация, 350063, г. Краснодар, ул. Красина, 4.

Телефон рабочий: +7 (861) 258-10-30, e-mail: kvvu@mail.ru, веб-сайт: <https://kvvu.mil.ru/>

Эл. почта: golovskoy_va@mail.ru

Подпись Головской Василия Андреевича «ЗАВЕРЯЮ».

Врио помощника начальника училища по СВ и БВС – начальника строевого отдела



П.Захаров