

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
на диссертацию Светлакова Михаила Олеговича
на тему «Метод и алгоритмы анализа данных электроэнцефалографии для
верификации субъекта»
по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы»
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность темы диссертации

Актуальной проблемой современного общества является обеспечение безопасности во всех сферах деятельности. Одним из технологических решений указанной проблемы могут быть биометрические системы, основанные на надежных и устойчивых признаках, характеризующих человека. Биометрическую верификацию субъекта можно выполнить с использованием электроэнцефалографии (ЭЭГ), которая в силу своей уникальности потенциально менее подвержена подделке. Кроме биометрии ЭЭГ стала стандартом де-факто в диагностике заболеваний, связанных с мозгом. Однако компьютерный анализ ЭЭГ представляет собой серьезную проблему. Кроме технических проблем, связанных с процедурой сбора данных и их публичным использованием, одна из основных проблем – интерпретируемость полученного результата и объяснимость работы системы верификации. Сигналы ЭЭГ можно обрабатывать во временной и частотной областях, а также в виде изображений, извлекая признаки с последующим использованием их для классификации и интерпретации.

В своем диссертационном исследовании диссертант предлагает метод и алгоритмы решения указанных выше проблем. Таким образом, можно заключить, что тема диссертации М. О. Светлакова и проведенные им исследования являются актуальными.

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

Основные научные положения и выводы, представленные в диссертационной работе, в достаточной степени обоснованы и интерпретированы. Автор корректно использует научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. В работе проанализированы современные подходы и методы, применяемые в исследованиях по верификации субъекта на основе данных электроэнцефалограммы. Список

использованной литературы содержит 199 наименований. Выводы логически вытекают из материалов исследований и в полном объеме отражают поставленные задачи.

Достоверность и новизна полученных результатов

Все полученные в работе результаты обоснованы и достоверны. Степень достоверности результатов обеспечивается использованием современных математических методов, методов математической статистики, а также подтверждается актами внедрения результатов диссертационной работы. Разработанные метод, алгоритмы и программы исследованы на общедоступных данных из известных хранилищ Physionet и KEEL, а также на наборах данных эпилептиформ.

Научной новизной работы обладают следующие результаты.

1. Метод верификации субъекта на основе данных электроэнцефалограммы и методов глубокого обучения; отличительной особенностью метода является применение спектрального анализа Холло-Гильберта и метрического обучения для извлечения признаков из сигнала ЭЭГ.

Реализация метода позволила на общедоступном наборе данных Physionet EEG Motor Movement/Imagery Dataset (PEEGMMID) уменьшить значение ошибки EER на 0,97% (p -value<0,01, критерий Уилкоксона) по сравнению с использованием признаков на основе преобразования Гильберта-Хуанга. По сравнению с дискретным вейвлет-преобразованием значение ошибки EER уменьшилось на 9,38% (p -value<0,01, критерий Уилкоксона).

2. Алгоритм формирования базы правил нечеткого классификатора; отличительной особенностью алгоритма является использование метода кластеризации k -средних и метаэвристики «стая птиц».

Использование предложенного алгоритма позволило повысить точность нечеткого классификатора на наборах данных из хранилища KEEL в среднем на 14,38% по сравнению с алгоритмом экстремумов признаков классов и на 6,00% по сравнению с алгоритмом только на основе кластеризации k -средних. Для проблемы верификации субъекта по ЭЭГ и набора данных PEEGMMID точность классификатора, построенного предложенным алгоритмом, выше точности классификатора на основе машины опорных векторов с линейным ядром на 6,46%, и на 9,37% выше точности нечеткого классификатора, построенного с помощью алгоритма экстремумов признаков классов.

3. Алгоритм отбора признаков для нечеткого классификатора; отличительной особенностью алгоритма является использование V-образной

функции трансформации для бинаризации непрерывной метаэвристики «стая птиц».

Использование предложенного алгоритма позволило сократить число признаков с 1152, извлеченных с помощью дискретного вейвлет-преобразования признаков, до 98 для набора данных PEEGMMID.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость научной работы заключается в развитии нейросетевых и нечетких технологий цифровой обработки информации, методов интеллектуального анализа данных. Проведен анализ концепции применения ЭЭГ в биометрических и медицинских системах. Применительно к проблематике диссертации эффективно использованы методы частотно-временного анализа, классического машинного обучения, глубокого обучения, теория нечетких множеств и нечеткой логики.

Практическая значимость подтверждается результатами использования предложенных метода и алгоритмов в деятельности Томского НИИ курортологии и физиотерапии ФФГБУ ФНКЦ МРиК ФМБА России. Результаты диссертационной работы нашли применение при выполнении проекта РФФИ № 16-07-00034 «Методы и инструментальные средства построения самообучающихся систем, основанных на нечетких правилах» 2016–2018 гг., и проекта, поддержанного грантом РФФИ, № 22-21-00021 «Интерпретируемый нечеткий классификатор рукописных данных для диагностики нейродегенеративных заболеваний» 2022–2023 гг.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в научных и проектных организациях, занимающихся созданием медицинских диагностических систем, биометрических систем безопасности, интерфейсов компьютер-мозг.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертация М. О. Светлакова состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и пяти приложений.

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования; формулируется цель и основные задачи работы; указаны научная новизна, методы исследования, теоретическая и практическая значимость работы; дано общее представление о диссертации.

Первая глава посвящена рассмотрению предметной области и проблемной ситуации. Приведены многочисленные методы оценки активности мозга, указано место в координатах пространственного и временного разрешения, которое обеспечивают эти методы. Рассмотрены основные протоколы записи ЭЭГ. Проанализированы области применения ЭЭГ совместно с методами машинного обучения. Определены два перспективных метода извлечения признаков из данных ЭЭГ для решения задачи верификации субъекта: преобразование Гильберта-Хуанга и преобразование Холо-Гильберта. Обосновано применение интерпретируемых моделей машинного обучения, лучшими среди них, по мнению автора, являются нечеткие классификаторы. Для повышения точности классификации данных, извлеченных из ЭЭГ, предлагается использовать нейронные сети и метрическое обучение. В конце главы приведена подробная формальная постановка задачи верификации субъекта с использованием ЭЭГ. Несомненным достоинством главы является анализ достоинств и недостатков использования электроэнцефалографии с одновременным рассмотрением возможных подходов к устранению указанных недостатков.

Во второй главе приведено описание разработанных метода и алгоритмов для решения задачи верификации на основе данных ЭЭГ. Рассмотрены три алгоритма, используемые при генерации базы нечетких правил, подробно рассмотрен метаэвристический алгоритм оптимизации «стая птиц». Подробно представлен оригинальный алгоритм генерации базы нечетких правил, основанный на совместном использовании метода k -средних и метаэвристики «стая птиц» для оптимизации в непрерывной области. Бинаризация непрерывной метаэвристики «стая птиц» с использованием V-образной функции трансформации позволила диссертанту создать авторский алгоритм отбора признаков. Разработан оригинальный метод верификации субъекта на основе данных ЭЭГ, в котором извлечение признаков выполнено с помощью преобразования Холо-Гильберта и метрического обучения. Описаны архитектуры нейронных сетей основе дискретного вейвлет-преобразования и преобразования Гильберта-Хуанга. В целом содержание главы оставляет благоприятное впечатление, есть замечание по Рисунку 2.1, на котором нет пояснений к некоторым изображенным сигналам.

В третьей главе выполнена проверка эффективности предложенных метода и алгоритмов на наборах данных из хранилища KEEL и на наборе данных PEEGMMID. Рассмотрены методы предобработки и извлечения признаков из сигнала ЭЭГ для верификации на основе метода Холо-Гильберта. Извлечение признаков для нечеткой классификации выполнено с использованием дискретного вейвлет-преобразования. Оценка результатов верификации

нейросетевыми методами выполнена с использованием метрики EER и классической точности правильной классификации. Для оценки нечетких классификаторов используется только точность правильной классификации. При этом диссертант не обосновывает выбор именно этих метрик оценки. Определение числа правил при генерации базы нечетких правил выполнено с помощью алгоритма кластеризации Autonomous Data Partitioning, который автоматически формирует кластеры без предварительного задания их числа. Бинаризация метаэвристики «стая птиц» выполнена с использованием нескольких функций трансформации. Результаты сравнения, выполненные с помощью критерия Фридмана, позволили диссертанту выбрать V-образную функцию.

Несомненным достоинством главы является обоснование и использование для оценки для данных ЭЭГ протокола LeavePGroupsOut, который в полной мере соответствует реальным условиям работы системы верификации.

В четвертой главе приведено описание применения разработанных метода и алгоритмов для решения конкретной задачи классификации данных ЭЭГ - выявление эпилептиформной активности в ЭЭГ-сигналах. Работа выполнялась совместно с сотрудниками неврологического отделения Томского НИИ курортологии и физиотерапии. Данные для классификации были получены из врачебных заключений, в которых описана эпилептиформная и нормальная активность мозга. На собранных данных решалась задача бинарной классификации: присутствует/отсутствует эпилептиформа, без определения конкретного класса, к которому может принадлежать эпилептиформа. Для решения поставленной задачи были использованы семь классификаторов разных типов. Наилучшую точность показал нечеткий классификатор, построенный с помощью алгоритмов, представленных в диссертационном исследовании. Рассмотрено решение поставленной в главе задачи с помощью нейронных сетей на основе преобразований Гильберт-Хуанга и Холо-Гильберта. Приведены информативные признаки, отобранные для нечеткой классификации. В целом глава оставляет благоприятное впечатление, однако здесь есть и недоработки: отсутствуют отобранные для этих целей нечеткие правила и вид функций принадлежности; трудно понимаемыми являются примеры классов на Рисунке 4.5 с множеством необъясненных кривых.

В заключении представлены основные результаты работы.

Приложения содержат три копии свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, а также копии актов внедрения результатов диссертационной работы в Томском НИИ курортологии и физиотерапии ФФГБУ ФНКЦ МРиК ФМБА России и в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники.

Таким образом, изложение материалов исследования выполнено в полном объеме, последовательно, на достаточном научном уровне, не содержит противоречий. По каждой главе представлены выводы. В целом диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Тема и содержание соответствуют паспорту специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы».

Основные замечания по диссертационной работе в целом

1) Во введении была показана важность объяснительного компонента в создаваемых системах, однако ни в одной главе диссертации не приведены примеры объяснения полученного результата.

2) Отсутствуют примеры полученных нечетких правил в текстовом виде и визуализации соответствующих функций принадлежности.

3) Отсутствует подробное обоснование выбора наборов данных репозитория KEEL и набора данных PEEGMMID.

4) В четвертой главе для обнаружения эпилептиформ используется кросс-валидация, в третьей главе – валидация с исключением групп. Причина различия не пояснена.

5) В диссертации приведено достаточно много иллюстративного материала, но не на всех рисунках указаны пояснения к кривым, представленным на рисунке. Замечание относится к следующим иллюстрациям: Рисунок 1.3, Рисунок 2.1, Рисунок 4.5.

Заключение

Отмеченные недостатки несколько снижают общее впечатление о работе, но не являются принципиальными и не влияют на основные теоретические и практические результаты проведенного исследования.

Диссертация Светлакова Михаила Олеговича является самостоятельно выполненной законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научные результаты, позволяющие их квалифицировать как имеющие существенное значение для решения проблем распознавания образов, цифровой обработки сигналов и мягких вычислений. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Диссертация написана логично, грамотно и аккуратно. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 25 печатных работах.

Диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор Светлаков Михаил Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы».

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой прикладной математики,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»



Болодурина Ирина Павловна

14.11.2023

Докторская диссертация защищена
по специальности 05.13.10 – «Управление
в социальных и экономических системах»

Даю согласие на обработку персональных данных

Адрес места основной работы:

460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13, каб. 20-608

Рабочий телефон: +7 (35-32) 37-25-36

Адрес эл. почты: ipbolodurina@yandex.ru

Подпись Болодуриной И.П. заверяю:

Главный ученый секретарь – начальник отдела диссертационных советов,

Доктор технических наук, профессор



Фот Андрей Петрович