



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

«УТВЕРЖДАЮ»



Директора по науке и
стратегическим проектам
Национального исследовательского
Томского политехнического
университета

И. В. Степанов

71

2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на диссертационную работу Светлакова Михаила Олеговича на тему «Метод и алгоритмы анализа данных электроэнцефалографии для верификации субъекта», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы»

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Светлакова Михаила Олеговича посвящена применению нейро-сетевых и нечетких технологий для решения задачи верификации субъекта на основе данных электроэнцефалографии (ЭЭГ). Классификация шаблонов мозговой активности является важным инструментом для понимания работы головного мозга, нейродиагностики, проектирования нейронных интерфейсов мозг-компьютер и верификации субъекта. Одной из проблем существующих систем верификации субъекта на основе ЭЭГ является то, что построенные модели обучаются, в основном, только на predetermined group of subjects. Альтернатива – подход на основе машинного обучения и метрического обучения – преобразования входных данных в пространство меньшей размерности, где дистанция соответствует мере схожести представленных шаблонов верификации, что позволяет более точно верифицировать субъекта и расширять список субъектов без перестроения системы. Также выявлено несовершенство используемых протоколов обучения и оценки эффективности моделей верификации на основе ЭЭГ, что потенциально приводит к более низкой реальной точности классификации. Предобработка и преобразование данных является

важнейшим этапом обработки сигналов ЭЭГ для повышения точности итоговой модели. Одним из перспективных методов выделения признаков ЭЭГ является спектральный анализ Холо-Гильберта, который ранее не применялся для задачи верификации субъекта на основе ЭЭГ. Использование методов машинного обучения для систем верификации на основе ЭЭГ также задает актуальную проблему в плане интерпретируемости и объяснимости. Среди существующих подходов к решению проблемы выделяются нечеткие классификаторы, которые, благодаря использованию ЕСЛИ-ТО-правила, имеют в основе принципы человеческого мышления и логики, успешно применяются для широкого круга задач машинного обучения. При обработке сигнала ЭЭГ пространство признаков имеет особенно высокую размерность, что затрудняет процесс обучения и снижает точность. В нечетких классификаторах для отбора признаков зачастую применяются бинаризованные метаэвристические алгоритмы, которые могут учитывать взаимодействие между признаками и их влияние на целевую переменную. Использование таких алгоритмов приводит к повышению точности и интерпретируемости нечетких классификаторов, за счет редукции признаков.

Решению указанных выше актуальных проблем посвящено диссертационное исследование М.О. Светлакова.

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 научных результатов, выводов и рекомендаций. В работе проанализированы современные научные подходы и методы, применяемые в системах верификации субъекта на основе ЭЭГ. Список 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. Идея работы базируется на анализе практики и обобщении передового опыта решения задачи верификации субъекта на основе данных ЭЭГ. Степень достоверности результатов обеспечивается корректным выбором исходных данных, компьютерными экспериментальными исследованиями, корректным использованием современных

математических методов и статистических критериев, а также подтверждаются практикой и актами внедрения результатов диссертационной работы.

Научную новизну диссертационной работы определяют следующие результаты исследования, полученные лично соискателем:

1. Предложен оригинальный метод верификации субъекта на основе данных электроэнцефалограммы и методов глубокого обучения, отличительной особенностью которого является извлечение признаков с помощью спектрального анализа Холодильберта и метрического обучения.

Разработанный оригинальный метод верификации субъекта на основе данных ЭЭГ на общедоступном наборе данных Physionet EEG Motor Movement/Imagery Dataset (PEEGMMID) позволяет значимо понизить значение метрики ошибки Equal Error Rate по сравнению со значением ошибки в случае использования признаков на основе преобразования Гильберта-Хуанга и использования признаков на основе дискретного вейвлет-преобразования.

2. Разработан гибридный алгоритм построения базы правил нечеткого классификатора, особенностью которого является совместное использование алгоритма кластеризации k-средних и метаэвристического алгоритма “стая птиц”.

Разработанный гибридный алгоритм построения базы правил нечеткого классификатора позволяет повысить точность нечеткого классификатора на рассмотренных наборах данных из различных предметных областей по сравнению с аналогами. Точность классификатора, построенного гибридным алгоритмом на наборе данных PEEGMMID, выше точности классификатора на основе машины опорных векторов с линейным ядром и нечеткого классификатора, построенного с помощью алгоритма экстремумов признаков классов.

3. Разработан алгоритм отбора признаков, особенностью которого является использование V-образной функции трансформации и метаэвристического алгоритма “стая птиц”.

Предложенный алгоритм отбора признаков позволил существенно сократить число признаков для набора данных ЭЭГ PEEGMMID.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость работы заключается в разработке нового метода обработки данных электроэнцефалограммы и развитии технологий извлечения признаков из сигнала ЭЭГ, построения нечетких систем, интеллектуального анализа данных. Предложенный метод может быть использован для решения иных задач классификации данных ЭЭГ. Предложенные оригинальные методы отбора признаков

и построения базы правил нечеткого классификатора также могут быть использованы для построения нечетких классификаторов при решении иных задачах.

Практическая значимость работы подтверждается применением предложенных метода и алгоритмов для решения практической задачи классификации – обнаружения эпилептиформ на сегментах ЭЭГ у пациентов Томского НИИ Курортологии и физиотерапии ФМБА России. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс ТУСУР. Разработанные метод и алгоритмы использованы при выполнении следующих проектов: научный проект при поддержке РНФ проект № 22–21–00021 «Интерпретируемый нечеткий классификатор рукописных данных для диагностики нейродегенеративных заболеваний» 2022–2023 гг.; научный проект при поддержке РФФИ № 16–07–00034 «Методы и инструментальные средства построения самообучающихся систем, основанных на нечетких правилах» 2016–2018 гг.

Представляется, что результаты, полученные автором диссертации, послужат хорошей основой для анализа и сравнения результатов последующих исследователей систем верификации пользователя на основе данных ЭЭГ.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов к каждой главе, заключения, списка использованной литературы, состоящего из 199 источников и четырех приложений.

Первая глава посвящена обзору сигнала ЭЭГ. Соискатель анализирует случаи его использования в задачах машинного обучения (с. 16–23, 27–32), применяемые при этом методы обработки сигнала (с. 23–27). В этой же главе рассмотрены применяемые и планируемые к применению для решения задачи верификации субъекта на основе данных ЭЭГ модели и методы (с. 23–27, 32–42). По результатам проведенного анализа выявлена необходимость совершенствования имеющихся методов и алгоритмов верификации субъекта на основе данных ЭЭГ.

Во второй главе приведено описание оригинального метода верификации субъекта на основе данных ЭЭГ (с. 62–70), отличительной особенностью которого является использование извлечения признаков с помощью преобразования Холо-Гильберта и метрического обучения, описаны соответствующие архитектуры нейронных сетей и моделей-аналогов, а также описан предложенный гибридный алгоритм построения базы правил нечеткого классификатора (с. 57–59), особенностью которого является совместное использование кластеризации на основе метаэвристического алгоритма “стая птиц”, и алгоритма отбора признаков (с. 59–62), особенностью которого

является использование V-образной функции трансформации и метаэвристического алгоритма «стая птиц». Подробно описаны алгоритмы-аналоги в случае применения нечетких классификаторов и архитектуры-аналоги в случае применения нейросетевых методов. Сильной стороной исследования является использование не только информации о частотной модуляции сигнала ЭЭГ, но и амплитудной, в случае применения нейросетевых методов и преобразования Холо-Гильберта.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию проверки эффективности разработанных метода и алгоритмов. Для этих целей соискатель использовал общедоступные наборы данных из репозитория KEEL и на наборе данных ЭЭГ Physionet – PEEGMMID и сравнил предложенные метод и алгоритмы с аналогами (с. 72–96). Несомненным достоинством исследования является применение непараметрических критериев Уилкоксона и Фридмана для подтверждения наличия статистически значимых различий между алгоритмами и методами.

В четвертой главе описано применение разработанных метода и алгоритмов для решения задачи обнаружения наличия эпилептиформ на сегментах ЭЭГ.

Список литературы содержит достаточную библиографию по тематике диссертации.

Защищаемые положения соответствуют полученным выводам.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации.

Замечания и недостатки диссертационной работы

1. Из названия диссертационной работы следует, что автор рассматривает электроэнцефалографию в одном ряду с другими известными подходами к идентификации личности, такими как анализ отпечатков пальцев, радужной оболочки глаз и т.п. Однако в диссертации и автореферате отсутствует сравнительный анализ полученных автором результатов и характеристик этих известных подходов.

2. В работе для алгоритма кластеризации для каждого кластера формируется по одному нечеткому правилу с термами Гауссова типа. Однако, помимо термов гауссова типа существуют треугольный и трапециевидный типы. В работе, к сожалению, никаких результатов, на основе которых был выбран именно этот тип, не приводится.

3. В 4 главе приведено описание применения разработанных алгоритмов для решения задачи обнаружения наличия эпилептиформ на сегментах ЭЭГ. Хотелось бы увидеть оценки сложности алгоритма, как с точки зрения скорости выполнения данной задачи, так и с точки зрения потреблённой памяти.

4. При снижении признакового пространства за счет применения метаэвристического алгоритма «стая птиц» не ясно, как изменилась вычислительная сложность алгоритма.

5. В работе хотелось бы увидеть сравнение полученных результатов при обнаружении наличия эпилептиформ на сегментах ЭЭГ на основе разработанных автором алгоритмов с результатами работы на тех же данных нейронной сети Yolo8.

Указанные недостатки не снижают научную и практическую ценность работы, и могут рассматриваться, скорее, как направления дальнейшего развития работ по данной тематике. По результатам обсуждения диссертации принято следующее заключение.

Заключение

В целом диссертация представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Основные положения диссертации являются новыми и изложены в 25 научных работах, в том числе в пяти работах, опубликованных в журналах, входящих в список ВАК РФ. Среди этих 25 научных работ 15 проиндексированы в международной базе SCOPUS, 12 работ – в международной базе Web of Science. Результаты работы доложены на 9 международных и всероссийских конференциях. Получены три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Представленная работа является завершенным научным исследованием, в котором содержится решение задачи верификации субъекта на основе данных электроэнцефалографии, имеющей значение для развития теории и практики нейросетевых и нечетких технологий, распознавания образов и интеллектуального анализа данных, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Таким образом диссертация Светлакова М. О. на тему «Метод и алгоритмы анализа данных электроэнцефалографии для верификации субъекта» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 – Информатика и информационные процессы, а её автор Светлаков Михаил Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Заключение принято на заседании научно-технического совета Инженерной школы информационных технологий и робототехники (ИШИТР) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет».
Присутствовало на заседании 8 членов совета, из них 3 доктора наук и 5 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» - 8 чел., «против» - нет., «воздержались» - нет, протокол № 8 от «16» ноября 2023 г.

Председатель НТС ИШИТР
кандидат технических наук, доцент,
доцент Отделения информационных технологий



А.И. Кочегуров

Секретарь заседания
кандидат технических наук,
доцент Отделения информационных технологий



С.Г. Небаба

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Телефон: [+7 \(3822\) 606333](tel:+73822606333)
E-mail: tpu@tpu.ru