

ОТЗЫВ

официального оппонента Сырямкина Владимира Ивановича
на диссертацию Светлакова Михаила Олеговича

«Метод и алгоритмы анализа данных электроэнцефалографии для верификации субъекта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы»

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Михаила Олеговича Светлакова посвящена решению научно-технической задачи повышения точности и интерпретируемости моделей машинного обучения, предназначенных для верификации субъекта на основе данных, полученных методом электроэнцефалографии (ЭЭГ). ЭЭГ является широко используемым методом регистрации электрической активности мозга человека, применяемым в нейроинженерных исследованиях и неврологии благодаря своей невысокой стоимости, портативности, неинвазивности и способности улавливать сигналы мозга с высоким временным разрешением. ЭЭГ успешно используется в интерфейсах мозг-компьютер, биометрических системах безопасности, распознавании эмоций, диагностике и прогнозировании психических расстройств. Автоматизированные системы верификации субъекта, использующие данные, извлеченные из сигналов ЭЭГ, обеспечивают более удобное решение для потребителя, поскольку не требуют запоминания сложных паролей. Для систем, взаимодействующих с человеком, актуальна проблема интерпретируемости используемых моделей и объяснимости получаемых результатов. Решение указанной проблемы невозможно без сокращения пространства объясняемых признаков, извлеченных из сигналов ЭЭГ.

Таким образом, тема диссертации Светлакова М.О., посвященная разработке метода и алгоритмов анализа данных электроэнцефалографии для верификации субъекта, является актуальной.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Светлакова М. О. содержит введение, четыре главы, заключение, пять приложений и список источников из 199 наименований. Объем диссертационной работы составляет 157 страниц, включая 41 таблицу и 32 рисунка.

Оформление и структура диссертации соответствует ГОСТ Р 7.0.11-2011. Содержание автореферата соответствует основным идеям, результатам, выводам и положениям диссертации.

Во **введении** автор обосновывает актуальность темы диссертации, обозначает цель и задачи исследования, приводит научную новизну, практическую и теоретическую значимость полученных результатов, положения, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов диссертационного исследования, определен личный вклад автора.

Первая глава посвящена обзору проблем построения систем верификации субъекта на основе данных, извлеченных из сигнала ЭЭГ, исследованию сфер применения сигнала ЭЭГ и способов обработки в задачах машинного обучения. Автором рассмотрены модели и методы, которые используются для решения задачи верификации субъекта на основе данных ЭЭГ, рассмотрены недостатки существующих подходов к верификации субъекта. По результатам анализа было выявлено, что существующие методы и алгоритмы верификации субъекта на основе данных ЭЭГ нуждаются в усовершенствовании в аспектах точности, протокола валидации и интерпретируемости.

Во **второй главе** представлены следующие алгоритмы и методы:

1) метод верификации субъекта на основе данных ЭЭГ, который использует извлечение признаков с помощью преобразования Холо-Гильберта и метрического обучения;

2) архитектуры нейронных сетей, описанные в контексте метода верификации субъекта на основе данных ЭЭГ;

3) алгоритм формирования базы правил нечеткого классификатора, который использует кластеризацию на основе метаэвристического алгоритма «стая птиц»;

4) алгоритм отбора признаков, использующий V-образную функцию трансформации и метаэвристический алгоритм «стая птиц»;

5) описание алгоритмов-аналогов, применяемых при построении нечетких классификаторов;

6) описание аналогов архитектур, используемых при применении нейросетевых методов.

Одной из особенностей исследования является использование не только информации о частотной модуляции сигнала ЭЭГ, но и информации об амплитудной модуляции при применении нейросетевых методов и преобразования Холо-Гильберта.

Каждый из алгоритмов представлен описанием на естественном языке и в формате псевдокода, для предложенного метода приведена блок-схема и описаны использованные нейросетевые архитектуры.

В **третьей главе** диссертант описывает использованные два общедоступных набора данных ЭЭГ, проведено сравнение с аналогами, для чего были использованы непараметрические критерии Уилкоксона и Фридмана. В случае нечетких классификаторов, соискателем дополнительно использовано 18 наборов данных из различных предметных областей и проведено сравнение полученных результатов с результатами работы аналогичных алгоритмов построения нечетких классификаторов. По результатам эксперимента предложенные метод и алгоритмы верификации субъекта на основе данных ЭЭГ показали статистически значимое снижение ошибки и числа признаков. Для нейросетевых моделей выявлено превосходство архитектур на основе одномерных сверток и преобразования Холо-Гильберта, а также обоснована необходимость использования протокола валидации с исключением групп.

В **четвертой главе** описаны результаты практического применения разработанных метода и алгоритмов для решения задачи обнаружения наличия эпилептиформ на сегментах ЭЭГ. Сильной стороной исследования является использование как лично собранного диссертантом набора данных, так и использование набора данных ЭЭГ с более 10000 образцов эпилептиформ и иных классов сегментов ЭЭГ.

В **заключении** соискателем изложены основные полученные результаты диссертационного исследования.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Научной новизной обладают следующие результаты исследования:

1) метод верификации субъекта на основе данных электроэнцефалограммы и методов глубокого обучения, отличительной особенностью которого является извлечение признаков с помощью спектрального анализа Холо-Гильберта и метрического обучения;

2) гибридный алгоритм построения базы правил нечеткого классификатора, особенностью которого является совместное использование алгоритма кластеризации k -средних и метаэвристического алгоритма «стая птиц»;

3) алгоритм отбора признаков, особенностью которого является использование V-образной функции трансформации и метаэвристического алгоритма «стая птиц».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выводы и основные положения, выносимые соискателем на защиту, логично вытекают из содержания диссертационной работы. Достоверность и обоснованность исследований и полученных в диссертации результатов не вызывают сомнений и в достаточной мере подтверждаются корректным применением методов исследований, обоснованными доказательствами основных положений, практическим использованием в Томского НИИ курортологии и физиотерапии ФМБА России и в учебном процессе, к работе приложены соответствующие акты о внедрении. Разработанные алгоритмы были использованы при выполнении проекта № 22–21–00021 «Интерпретируемый нечеткий классификатор рукописных данных для диагностики нейродегенеративных заболеваний», поддержанного грантом РФФИ, и проекта № 16–07–00034 «Методы и инструментальные средства построения самообучающихся систем, основанных на нечетких правилах», поддержанного грантом РФФИ.

Необходимо отметить, что соискателем подготовлены и опубликованы результаты исследования в 25 научных работах, 5 из которых в изданиях из списка ВАК РФ, получены три свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ, результаты представлены на конференциях различного уровня, в том числе всероссийского и международного.

Значимость результатов, полученных в диссертационной работе

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования Светлакова М. О. заключается в развитии методов извлечения признаков из сигнала ЭЭГ, методов построения нечетких систем и интеллектуального анализа данных.

Практическая значимость полученных диссертантом результатов подтверждается успешным применением предложенных метода и алгоритмов для решения как задачи верификации личности субъекта на основе данных ЭЭГ, так и практической задачи обнаружения эпилептиформ на сегментах ЭЭГ у пациентов Томского НИИ курортологии и физиотерапии ФМБА России.

Замечания по диссертационной работе

1. При оценке эффективности нейронных сетей используется метрика EER, а для нечетких классификаторов используется процент

правильной классификации. Причина использования различных метрик точности не пояснена.

2. Отсутствует объяснение, почему используются именно метаэвристические алгоритмы оптимизации и почему из всего многообразия метаэвристических алгоритмов выбран именно метаэвристический алгоритм «стая птиц». Отсутствуют сравнения представленных алгоритмов по времени выполнения и вычислительной сложности.

3. В работе не приведено, во-первых, обоснование выбора использованной функции активации, во-вторых, обоснование выбора архитектур и значений гиперпараметров слоев и число слоев для нейронных сетей, в-третьих, использование классических моделей машинного обучения (деревьев решений и др.); также не пояснен выбор конкретного значения кратности валидации.

4. В диссертации на с. 39 автором указано, что «Наиболее часто для нечетких систем используются треугольная, трапециевидная и гауссова функции принадлежности. В данной работе используется гауссова функция принадлежности...», но не приведено обоснование выбора этой функции принадлежности, не показано влияние на точность и интерпретируемость формы функции принадлежности нечетких классификаторов.

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и не ставят под сомнение значимость полученных результатов.

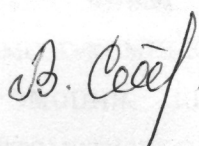
Заключение о соответствии темы диссертации критериям, установленным Положением о присуждении научных степеней

Диссертационная работа Светлакова М. О. является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, написана на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью, имеет законченный характер, выполнена на высоком научно-техническом уровне. Автор диссертации самостоятельно получено решение научно-технической задачи верификации субъекта на основе данных электроэнцефалографии, имеющей существенное значение для развития теории и практики цифровой обработки информации, интеллектуального анализа, нейро-сетевых и нечетких технологий. Содержание диссертации соответствует пунктам 4, 7 и 13 паспорта специальности 2.3.8 - Информатика и информационные процессы. Автореферат соответствует содержанию диссертации, а её основные положения опубликованы в научных работах.

Считаю, что диссертационная работа Светлакова М. О. «Метод и алгоритмы анализа данных электроэнцефалографии для верификации

субъекта» удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям по актуальности, научной новизне, значимости, опубликованности и апробированности, а её автор, Светлаков Михаил Олегович, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 - Информатика и информационные процессы.

Официальный оппонент,
Профессор, доктор технических наук,
заведующий Международной лабораторией систем
технического зрения Национального
исследовательского Томского государственного
университета (НИ ТГУ), профессор кафедры
управления качеством факультета инновационных
технологий НИ ТГУ, Заслуженный изобретатель
Российской Федерации, Заслуженный работник
Высшей Школы РФ,
Лауреат премии Правительства РФ в области
образования.

 - Сырямкин Владимир Иванович

« 27 » ноября 2023г.

Адрес: 634050, Россия, Томская область, г. Томск, пр. Ленина, 36
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
государственный университет»
Тел.: +7 (3822) 52-95-85
E-mail: rector@tsu.ru

Подпись доктора технических наук, профессора
Сырямкина Владимира Ивановича заверяю:
Ученый секретарь
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
государственный университет».



Н.А.Сазонтова