

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Бабича Николая Александровича

«УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ»

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности «2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка
информации, статистика»

Актуальность темы диссертации. Интерфейс мозг-компьютер (ИМК) — физический интерфейс приёма или передачи сигналов между живыми нейронами биологического организма (например, мозгом животного) с одной стороны, и электронным устройством (например, компьютером) с другой стороны.

Одним из наиболее значимых направлений применения нейроинтерфейсов является управление техническими системами. Решение данной задачи способствует расширению возможностей реабилитации пациентов с нарушениями двигательных функций, повышению эффективности роботизированных протезов, а также открывает перспективы дистанционного управления объектами, находящимися в труднодоступных или опасных условиях. Современный подход к реализации подобных систем основан на создании программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих регистрацию и обработку сигналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в реальном времени.

Важным классом задач управления на основе интерфейсов является нейроинтерфейсное управление подвижными объектами и транспортными средствами, где разнообразие видов поведения и управляющих действий относительно невелико, что упрощает распознавание и классификацию сигналов.

Таким образом, актуальность разработки нейроинтерфейсных систем и технологий обуславливается тем, что они позволяют решать целый комплекс важных практических задач, связанных с применением систем управления с нейроинтерфейсами для облегчения условий жизни людям с ограниченными возможностями, для реабилитации после различных травм, инсультов, для бионического протезирования и других. Решение подобных задач осложняется тем, что в условиях задачи имеется значительная неопределённость, требующая разработки соответствующих методов обработки сигналов и управления.

Новизна полученных результатов и выводов. На защиту выносятся следующие результаты диссертационной работы:

- дано формальное математическое описание процесса сбора и обработки сигналов ЭЭГ для нейроинтерфейсных систем управления транспортным средством. Разработана структура системы управления, выбраны ее составные элементы;
- выбраны алгоритмы предобработки, анализа и классификации сигналов ЭЭГ, разработан алгоритм принятия решений и управления;
- разработана модификация классификатора k -ближайших соседей – метод почти ближайших соседей (FANN), что позволило снизить зависимость от значения числа k и повысить точность распознавания;
- разработан алгоритм классификации сигналов ЭЭГ с учётом дрейфа параметров, а также дообучения классификатора, который представляет собой метод адаптации системы управления, позволяющий повысить точность распознавания сигналов ЭЭГ;
- разработана программная платформа на языке Python, позволяющая реализовывать системы управления для нейроинтерфейсов. На её основе разработана система управления, описанная в работе.
- разработан план эксперимента для тестирования разработанной системы управления. Проведены эксперименты с реальными испытуемыми, выполнен расчёт точности работы системы.

Публикации и апробации результатов. Результаты диссертационного исследования опубликованы в шести научных работах. Из них 2 – в изданиях из перечня научных журналов, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации основных научных результатов диссертаций и журналов, входящих в «Белый список», 4 – в изданиях, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, 2 – в изданиях, входящих в РИНЦ.

Результаты диссертационных исследований были представлены на научных конференциях и форумах, в том числе международных.

Научная и практическая значимость результатов. В диссертационной работе получены новые методы, алгоритмы и программы, позволяющие выполнять обработку сигналов ЭЭГ для управления инвалидным креслом с помощью активности головного мозга человека. Разработанная система управления может служить основой для будущих исследований и разработок нейроинтерфейсов, а также послужить прототипом потребительского устройства. Часть результатов диссертации получена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2021-573 (мегагранта).

Также результаты исследований отражены в свидетельстве на программы для ЭВМ: Бабич Н.А., Фрадков А.Л. «Программа трехпозиционного управления роботизированными механизмами с помощью сигналов ЭЭГ». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025618163, 02.04.2025. Заявка № 2025615087 от 11.03.2025.

Достоверность результатов подтверждается результатами численного моделирования, а также результатами экспериментальных проверок работоспособности разработанных и реализованных алгоритмов, методов и программ.

Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации. Диссертационные исследования посвящены разработке методов и алгоритмов управления транспортными средствами с помощью сигналов головного мозга человека, а также их реализации в виде программ. Диссертация соответствует

паспорту специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Диссертация объёмом 114 страниц состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (61 источник) и приложения.

Замечания по диссертационной работе. К диссертационной работе и автореферату существенных замечаний нет. Однако, несмотря на общую положительную оценку, при изучении материалов возникли некоторые замечания:

1. Из текста диссертации не ясно, в чём разработанный автором классификатор FANN лучше классического алгоритма KNN.
2. Диссертация не содержит сравнения результатов тестирования с другими аналогичными разработками.
3. В некоторых рассматриваемых в работе экспериментах успешность распознавания не превышает около 60%, при этом в диссертации не описаны возможные способы повышения этого показателя.

Данные замечания не влияют на достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту.

Вывод

Диссертационная работа Бабица Николая Александровича на тему «Управление транспортным средством на основе нейроинтерфейса с применением машинного обучения», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, которая посвящена разработке новых методов, алгоритмов и программ для управления транспортными средствами с помощью сигналов головного мозга человека, которые имеют существенное значение для специальности «2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», что соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, утверждённого приказом директора от 19.03.2025 г. №01-042,

