

# Интегральная система для обработки биосигналов на основе алгоритмов ИИ и перспективы ее применения

Ю. С. Ковалев<sup>1</sup>, Д. С. Бережной<sup>2</sup>, С. В. Сахно<sup>3</sup>, Т. К. Бергалиев<sup>4</sup>,  
М. А. Киселева<sup>5</sup>

Рассматриваются возможности применения системы программного обеспечения и протоколов обмена данными, обеспечивающей взаимодействие систем сбора данных, (в частности биосенсоров), систем обработки данных на основе алгоритмов искусственного интеллекта и пользователя. Система предназначена для снижения “порога вхождения” в область обработки и распознавания данных на основе ИИ. Прототип системы успешно испытан на задаче распознавания жестов с использованием малого количества датчиков ЭМГ.

**Ключевые слова:** протокол, обучение с подкреплением, обработка данных, ЭМГ

## 1. Введение

Несмотря на широкое распространение в последнее время технологий интеллектуальной обработки данных, языков программирования, порог

---

<sup>1</sup> *Ковалев Юрий Сергеевич* — к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Объединенного института ядерных исследований, ведущий программист ООО BiTronics Lab, email: yurisk@phystech.edu

Kovalev Yury Sergeevich — Ph.D., senior researcher of Joint Institute for Nuclear Research, lead engineer of BiTronics Lab

<sup>2</sup> *Бережной Даниил Сергеевич* — н.с. каф. высшей нервной деятельности Биологического ф-та МГУ; ст.н.с. ФГБНУ Научный центр неврологии, e-mail: berezhnoy.daniil@gmail.com.

Berezhnoy Daniil Sergeevich — researcher at Department of Higher Nervous Activity, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University; senior researcher at Research Center of Neurology

<sup>3</sup> *Сахно Сергей Владимирович* — к.ф.-м.н., научный сотрудник Московского физико-технического института (НИУ), технический директор ООО BiTronics Lab тел.: +79167701865, email: s2001@list.ru

Sakhno Sergey Vladimirovich — Ph.D., researcher at MIPT, technical director of ООО BiTronics Lab

<sup>4</sup> *Бергалиев Тимур Кайратович* — н.с. НИУ МФТИ; генеральный директор ООО BiTronics Lab, e-mail: timurbergaliyev@gmail.com.

Bergaliev Timur Kairatovich — researcher at MIPT, head of BiTronics Lab

<sup>5</sup> *Киселева Мария Александровна* — инженер-исследователь ООО BiTronics Lab, email: m.kiseleva.173@gmail.com

Kiseleva Maria Alexandrovna — engineer-researcher BiTronics Lab Lab

вхождения в которые сравнительно невысок, и прикладных библиотек, спроектированных для легкого подключения и настройки различных алгоритмов ИИ, количество инженеров и исследователей, не имеющих специальных знаний для применения ИИ, но нуждающихся в нём, достаточно велик. В частности, достаточно велик запрос на применение технологий ИИ в физиологии и медицине - в задачах работы с биосигналами [1]-[2]. В эту область, например, попадают различные средства нейро-реабилитации, конструирование робототехнической и медицинской техники, средства расширения возможностей человека и протезирования, носимая электроника, средства мониторинга состояния человека и научные исследования в областях, более связанных с прикладными аспектами функционирования живых организмов, нежели с математическими методами обработки данных.

Соответственно, необходим инструмент, предоставляющий возможности для использования алгоритмов ИИ в научно-инженерных задачах, а также позволяющий понизить порог вхождения в эту область и начать изучение ИИ со стороны прикладных задач с возможностью последующего углубления научно-теоретического базиса.

## 2. Дизайн системы

Была разработана интегральная система, состоящая из протоколов взаимодействия с системами сбора данных от биосенсоров, исполнительными устройствами и вычислительным сервером, а также программы-интерфейса (Рис.1). Ключевым элементом системы, обеспечивающей ее доступность для неподготовленного пользователя, является программа-интерфейс, обеспечивающая визуальный доступ к данным и вычислительным функциям, а также в интуитивно-понятной форме отображающая нужную последовательность действий при обработке данных.

Программа-интерфейс объединяет подключенные устройства, пользователя и вычислительный сервер, а именно:

- осуществляет взаимодействие с системами сбора данных и вычислительным сервером
- представляет данные биосенсоров в доступном пользователю виде,
- предоставляет некоторые возможности анализа и предобработки данных,
- предоставляет интерфейс для выбора настроек алгоритмов ИИ и создания обучающих выборок

- осуществляет в реальном времени сбор данных от сенсоров, передачу их для обработки (распознавания) на вычислительный сервер, прием от сервера результатов обработки и передачу её исполнительным устройствам в виде команд.



Рис. 1. Архитектура предлагаемой системы

Пользовательский интерфейс программы автоматически модифицируется в зависимости от получаемой согласно протоколам информации о подключенных датчиках, наличии и настроек исполнительных устройств, настроек алгоритмов ИИ.

Таким образом конечному пользователю для объединения биосенсоров и ИИ в одном проекте достаточно иметь общее понимание параметров настройки алгоритмов ИИ, а в наиболее простом случае - только лишь иметь биосенсоры и вычислительный сервер, способные обмениваться данными согласно установленному протоколу. В то же время любой из основных компонентов системы может быть заменен другим, поддерживающим соответствующие протоколы, в т.ч. и программа-интерфейс.

### 3. Практическая часть

Был испытан прототип системы для задачи распознавания жестов оператора с использованием малого количества (1-4) электромиографических (ЭМГ) сенсоров. Прототип состоял из устройства сбора данных, интерфейса пользователя, позволяющего собирать обучающие выборки и настраивать параметры ИИ, отдельного вычислительного ядра, исполнительного устройства. Для практической проверки концепции была выбрана задача распознавания жестов на основе показаний датчиков ЭМГ,

вследствие её наглядности и применимости в ряде смежных областей, а именно: реабилитации, управлении внешними устройствами (в частности - протезами), распознавании речи, ЭМГ - артефактов в сигналах ЭЭГ и т.п [3].

В качестве источника данных использовались два одноканальных аналоговых сенсора компании ViTronics Lab, подключенные через виртуальный USB COM-порт. Вычислительный сервер представлял из себя отдельную программу, подключенную по протоколу TCP/IP, а взаимодействие с пользователем осуществлялось через программу-интерфейс, позволяющую в графическом виде набирать из сигнала ЭМГ обучающую выборку. В качестве исполнительного устройства использовалось программно эмулируемое устройство.

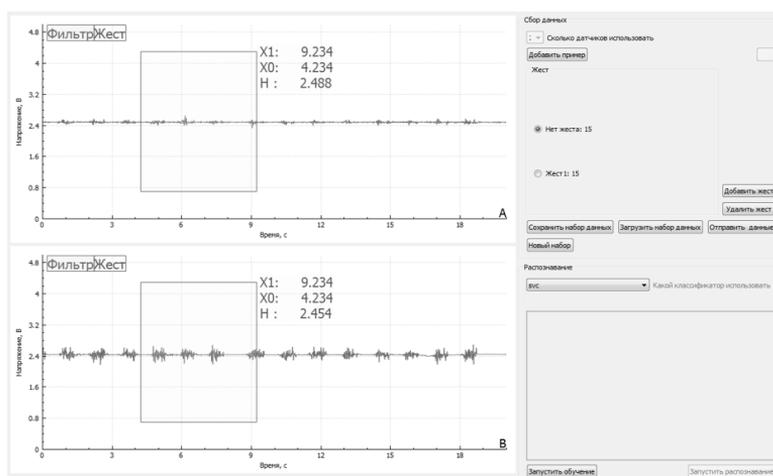


Рис. 2. Интерфейс программы при использовании двух сенсоров ЭМГ

Самая простая и широко применяемая схема управления с помощью ЭМГ основана на триггерном принципе, когда каждый сенсор по превышению пороговой величины сигнала может определить напряжена мышца или нет, что для двух датчиков позволяет сформировать до четырех управляющих команд [4]. Во многих случаях этого недостаточно, поэтому в нашем случае к данным были применены алгоритмы распознавания жестов на основе метода опорных векторов (SVM) и нейронных сетей (НС), которые позволили увеличить практическую эффективность системы [5]-[6]. В ходе тестирования системы пользователями с минимальной специальной подготовкой при использовании всего двух сенсоров ЭМГ была достигнута вероятность распознавания семи жестов с точностью более 80% и удалось управлять подключенным виртуальным

устройством с помощью жестов руки.

Испытания системы показали, что предложенная архитектура дает возможность практически использовать алгоритмы ИИ людям без глубокого опыта в данной области и позволяет сосредоточиться на достижении практического результата. Использование предложенной архитектуры может быть распространена на более широкий класс задач:

- 1) образовательных программ по ИИ для неспециалистов
  - а) курсы по обработке биосигналов для студентов-биологов
  - б) анализ временных рядов для студентов-физиков
- 2) медицинских технологий
  - а) создании персонализированных систем тренировки пациентов при реабилитации, в т.ч. нейрореабилитации
  - б) создания диагностических инструментов (поиск характерных признаков заболеваний в биоданных, в т.ч. - биосигналах)
- 3) технических систем
  - а) быстрого прототипирования и создания алгоритмов для человеко-машинных интерфейсов, в частности протезирования
  - б) создание и обучение интерфейсов безмолвного доступа на основе ЭМГ
  - в) ускорение тестирования математических методов и алгоритмов в прикладных задачах обработки временных рядов

## Список литературы

- [1] Y. Roy, H. Banville, I. Albuquerque, A. Gramfort, T.H. Falk and J. Faubert, "Deep learning-base electroencephalography analysis: a systematic review", *Journal of neural engineering*, **16**:5 (2019).
- [2] M. Schwaibold, T. Penzel, J. Schochlin and A. Bolz, "Combination of AI components for biosignal processing application to sleep stage recognition.", 2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual International, Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, **2** (2001), 1692-1694.
- [3] C.Fang, B.He, Y.Wang, J.Cao, S.Gao, "EMG-Centered Multisensory Based Technologies for Pattern Recognition in Rehabilitation: State of the Art and Challenges", 2001 Conference Proceedings of the 23rd

Annual International, Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, *Biosensors 2020*, **10(8)** (2001), 85.

- [4] A.Fleming, N.Stafford, S.Huang, X.Hu, D.P.Ferris, H.Huang, “Myoelectric control of robotic lower limb prostheses: a review of electromyography interfaces, control paradigms, challenges and future directions”, *Journal of Neural Engineering*, **18(4)** (2021).
- [5] S. Halder, M. Bensch, J. Mellinger, M. Bogdan, A. Kubler, N. Birbaumer, and W. Rosenstiel, “Online artifact removal for brain-computer interfaces using support vector machines and blind source separation”, *Computational Intelligence and Neuroscience, Biosensors 2020*, 2007.
- [6] B. Karlik, “Differentiating type of muscle movement via ar modeling and neural network classification.”, 2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual International, Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, *Turk J Elec Engin*, **7(1-3)** (1999).

**The development of an integral system for the AI-based biosignal data processing and further perspectives of its use**  
**Kovalev Yu.S., Berezchnoy D.S., Sakhno S.V., Bergaliev T.K., Kiseleva M.A.**

The purpose of this study is to examine the utility of using a software system and data exchange protocols that support interaction of data collection systems (in particular biosensors), data processing systems based on AI and user algorithms. The system is designed to reduce the “entry barrier” into the field of data processing based on AI. The prototype of the system has been successfully tested by means of an example of a problem of gesture recognition using a small number of EMG sensors.

*Keywords:* protocols, electromyography, machine learning, data processing

## References

- [1] Y. Roy, H. Banville, I. Albuquerque, A. Gramfort, T.H. Falk and J. Faubert, “Deep learning-base electroencephalography analysis: a systematic review”, *Journal of neural engineering*, **16:5** (2019).
- [2] M. Schwaibold, T. Penzel, J. Schochlin and A. Bolz, “Combination of AI components for biosignal processing application to sleep stage recognition.”, 2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual

International, Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, **2** (2001), 1692-1694.

- [3] C.Fang, B.He, Y.Wang, J.Cao, S.Gao, “EMG-Centered Multisensory Based Technologies for Pattern Recognition in Rehabilitation: State of the Art and Challenges”, 2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual International, Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, *Biosensors 2020*, **10(8)** (2001), 85.
- [4] A.Fleming, N.Stafford, S.Huang, X.Hu, D.P.Ferris, H.Huang, “Myoelectric control of robotic lower limb prostheses: a review of electromyography interfaces, control paradigms, challenges and future directions”, *Journal of Neural Engineering*, **18(4)** (2021).
- [5] S. Halder, M. Bensch, J. Mellinger, M. Bogdan, A. Kubler, N. Birbaumer, and W. Rosenstiel, “Online artifact removal for brain-computer interfaces using support vector machines and blind source separation”, *Computational Intelligence and Neuroscience*, *Biosensors 2020*, 2007.
- [6] B. Karlik, “Differentiating type of muscle movement via ar modeling and neural network classification.”, 2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual International, Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, *Turk J Elec Engin*, **7(1-3)** (1999).