

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623426>

Нейроэлектроника — нейроморфные и нейрогибридные системы на основе мемристивной технологии

А.Н. Михайлов*

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Благодаря уникальной способности имитировать важные функции синапсов и нейронов, мемристивные устройства и массивы позволяют не только аппаратно реализовать нейронные сети, но и совершить качественный прорыв в интеграции искусственных электронных и биологических систем для решения актуальных задач искусственного интеллекта (ИИ), робототехники и медицины. Эта область исследований находится на ранней стадии своего развития и имеет прямое отношение к более общей области нейроэлектроники. Последнюю можно определить как синтез аналоговых и цифровых решений для широкого круга вычислительных задач, мотивированных биологией. Аналоговые нейроморфные системы на основе мемристивных компонентов занимают особое место в этой области и могут значительно улучшить производительность и энергоэффективность по сравнению с существующими ускорителями ИИ. Реализация нейроморфных систем на основе новой элементной базы требует скоординированных и междисциплинарных исследований. В основе соответствующего научно-технического направления лежит сквозная технология мемристивных устройств и схем, обеспечивающая создание элементной базы новых мозгоподобных информационно-вычислительных систем с широким спектром применений. Продемонстрированные на данный момент перспективы связаны с монолитной интеграцией мемристивных устройств со схемами КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник), а также совместной оптимизацией материалов, устройств и архитектур, необходимых для создания демонстрационных прототипов информационно-вычислительных систем. Такие системы имитируют вычислительные функции биологических нейронных сетей, способных решать когнитивные задачи, которые, как известно, либо не поддаются решению с помощью традиционного ИИ, либо требуют очень много временных ресурсов. Кроме того, нейроэлектронные решения могут быть интегрированы с мозгом или живыми культурами нейронов для формирования нейрогибридных систем. В настоящем докладе обсуждаются два различных подхода к взаимодействию мемристивных систем и биологических нейронных сетей *in vitro* и *in vivo*, основанных на перцептроне с матрицей программируемых мемристивных весов, которые представлены устройствами с резистивным переключением на основе оксидов металлов или на основе мемристивной стохастической пластичности и нейронной синхронии в составе мозгоподобной спайковой архитектуры. Наконец, представлена концепция мемристивного нейрогибридного чипа для создания компактного многофункционального двунаправленного интерфейса биологических нейронных сетей и мемристивной электроники в сочетании с микроэлектродными и микрофлюидными решениями на одном чипе. Технологическое освоение новой элементной базы и создание мемристивных нейроэлектронных систем не только обеспечит своевременную диверсификацию аппаратного обеспечения для непрерывного развития и массового внедрения технологий искусственного интеллекта, но и позволит поставить задачи совершенно нового уровня по созданию гибридного интеллекта на основе симбиоза искусственных и биологических нейронных сетей.

Ключевые слова: мемристор; нейроморфная система; нейрогибридная система; резистивное переключение; память.

Как цитировать:

Михайлов А.Н. Нейроэлектроника — нейроморфные и нейрогибридные системы на основе мемристивной технологии // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 825–826. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623426>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики, направление № 9 «Искусственный интеллект и большие данные в технических, промышленных, природных и социальных системах».

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

* А.Н. Михайлов; адрес: Российская Федерация, 603022, Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23; e-mail: mian@nifti.unn.ru

Рукопись получена: 18.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623426>

Neuroelectronics as neuromorphic and neurohybrid systems enabled by memristive technology

A.N. Mikhaylov*

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation

ABSTRACT

Due to its distinctive capability to replicate vital functions of synapses and neurons, memristive devices and arrays enable both the hardware implementation of neural networks and a significant advancement towards integrating artificial electronic and biological systems to address pressing issues in artificial intelligence (AI), robotics, and medicine. This research area is still nascent and can be viewed as part of the broader field of neuroelectronics. The aforementioned is a fusion of analog and digital solutions used for diverse computational tasks inspired by biology. Notably, analog neuromorphic systems that employ memristive components are distinctive features of this arena and they can significantly enhance throughput and energy efficiency in contrast to existing AI accelerators. Designing neuromorphic systems grounded on this fresh component base mandates coordinated and interdisciplinary research and development. The foundation of this scientific and technological field lies in the cross-cutting technology of memristive devices and circuits. This technology enables the development of a novel brain-like information and computing system infrastructure that can be applied in a diverse range of fields. Current perspectives include the seamless integration of memristive devices and arrays with CMOS circuits, and the co-optimization of materials, devices, and architectures to create prototypes for computing and information systems. These systems replicate computational features present in biological neural networks capable of solving cognitive tasks that are typically either intractable by traditional AI or highly time-consuming. Neuroelectronic solutions can integrate with the brain or living neuronal cultures to form neurohybrid systems. In this presentation, we discuss two distinct strategies for connecting memristive systems with biological neural networks both *in vitro* and *in vivo*. These include a perceptron using an array of programmable memristive weights represented by metal-oxide resistive-switching devices and a methodology leveraging memristive stochastic plasticity and neural synchrony, which is part of the brain's spiking architecture. Finally, the concept of a memristive neurohybrid chip is presented to create a compact, multifunctional, bidirectional interface between biological neural networks and memristive electronics, combined with microelectrode and microfluidic systems on a single chip. The technological advancements in component base and the development of memristor-based neuroelectronic systems will diversify hardware for the continuous evolution and mass application of artificial intelligence technologies. This will enable the creation of hybrid intelligence based on the symbiosis of artificial and biological neural networks and allow for the establishment of novel tasks at an unprecedented level.

Keywords: memristor; neuromorphic system; neurohybrid system; resistive switching; memory.

To cite this article:

Mikhaylov AN. Neuroelectronics as neuromorphic and neurohybrid systems enabled by memristive technology. *Genes & cells*. 2023;18(4):825–826. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623426>

ADDITIONAL INFORMATION

Funding sources. This study was conducted within the framework of the scientific program of the National Center for Physics and Mathematics, section 9 “Artificial Intelligence and Big Data in Technical, Industrial, Natural and Social Systems”.

Competing interests. The author declares that he have no competing interests.

AUTHOR'S CONTACT INFO

* A.N. Mikhaylov; address: 23 Gagarina avenue, 603022 Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: mian@nifti.unn.ru

Received: 18.05.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 20.01.2024