

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623429>

Применение мемристивных устройств в системах машинного зрения

С.А. Щаников*

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Муром, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Результаты сравнения вычислителей на базе мемристивных устройств с современными аппаратными ускорителями искусственных нейронных сетей (ИНС) на традиционной элементарной базе, приведённые, например, в обзоре [1], показывают их преимущества по всем ключевым показателям — производительности, энергоэффективности, точности и др. В данном докладе представлен анализ современного состояния применения мемристивных устройств для решения задач машинного зрения. Особое внимание уделяется концепции [2] нейроморфных систем машинного зрения (СМЗ) на базе мемристивных устройств. Отличительная особенность данной концепции заключается в том, что это полностью аналоговая система — начиная от ввода информации и заканчивая её выводом. Она состоит из сенсорной и нейронной частей. Задача сенсорной части — фиксация визуальной информации и её передача на нейронную часть для обработки в соответствии с алгоритмом работы модели ИНС.

В качестве частного случая реализации входного канала сенсорной части можно рассматривать соединение мемристора и фотодиода в одну цепь. Когда такая цепь включена в обратном смещении и свет падает на фотодиод, то через него от катода к аноду течёт фототок. Этот фототок изменяет сопротивление мемристора в зависимости от интенсивности света и времени экспонирования, таким образом выполняя преобразование освещённости в сопротивление. В случае, если визуальную информацию не нужно кодировать сопротивлениями мемристоров, их можно заменить на нагрузочное сопротивление одинакового номинала для всех каналов. Независимо от варианта входного канала, сигнал, кодирующий визуальную информацию, без оцифровки подаётся в нейронную часть. В составе нейронной части мемристоры выполняют роль синапсов. При этом с их помощью можно аппаратно реализовать как синапсы традиционных формальных архитектур ИНС, в которых входная информация умножается на заранее запрограммированный вес, так и синапсы для спайковых нейронных сетей, в которых мемристор проявляет механизмы синаптической пластичности подобно живым биологическим нейронным сетям [3].

Тогда, если выход предложенных вариантов входного канала СМЗ соединить с устройством, работающим по принципу integrate and fire, то такое устройство можно рассматривать уже не просто как вход для формальной ИНС, а как пресинаптический нейрон спайковой ИНС. Данный нейрон будет генерировать спайки в зависимости от интенсивности света — чем ярче свет, тем выше частота спайков и наоборот (накопление заряда в каналах с низким сопротивлением происходит быстрее). Вся система аналогового машинного зрения будет представлять собой спайковую нейронную сеть без аналогово-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей. По сравнению с цифровыми системами машинного зрения такой подход позволит значительно снизить потребление энергии и создать носимую и бортовую электронику с уникальными тактико-техническими характеристиками. Данную архитектуру можно масштабировать до размера современных матриц устройств фото- и видеофиксации и использовать как аппаратный ускоритель моделей ИНС, применяемых в настоящее время для работы с изображениями, а также как платформу для дальнейшего развития данного направления.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети; мемристивные устройства; машинное зрение; нейроморфные системы.

Как цитировать:

Щаников С.А. Применение мемристивных устройств в системах машинного зрения // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 831–834. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623429>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-71-00136 «Разработка научно-технологических принципов создания и функционирования нейроморфных систем аналогового машинного зрения на основе мемристивных устройств».

Рукопись получена: 26.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amirsoleimani A., Alibart F., Yon V., et al. In memory vector matrix multiplication in monolithic complementary metal–oxide–semiconductor memristor integrated circuits: design choices, challenges, and perspectives // *Advanced Intelligent Systems*. 2020. 2020. Vol. 2, N 11. P. 2000115. doi: 10.1002/aisy.202000115
2. Shchanikov S., Bordanov I. The concept of neuromorphic vision systems based on memristive devices // *2022 6th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA)*; Sept 14–16 2022; IEEE. P. 256–259. doi: 10.1109/DCNA56428.2022.9923295
3. Koryazhkina M., Okulich E., Ryabova M. Effect of pulse amplitude on depression and potentiation of ZrO₂ (Y)-based memristive synaptic device // *6th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA)*; Sept 14–16 2022; IEEE. 2022. P. 147–150. doi: 10.1109/DCNA56428.2022.9923189

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

* С.А. Щаников; адрес: Российская Федерация, 602264, Муром, ул. Орловская, д. 23; e-mail: seach@inbox.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623429>

The use of memristive devices in machine vision systems

S.A. Shchanikov*

Murom Institute of Vladimir State University, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Murom, Russian Federation

ABSTRACT

The comparison results of processing units with memristive devices versus modern hardware accelerators of artificial neural networks (ANNs) based on traditional electronic components, as presented in the review [1], demonstrate numerous advantages across all major indicators such as throughput, energy efficiency, accuracy, and others. This report analyzes the current state of memristive devices in addressing machine vision issues. Special attention is paid to the concept of [2] neuromorphic machine vision systems (MVS) based on memristive devices. This concept's distinct feature lies in its fully analog system, commencing from information input to its output. It encompasses sensory and neural components. The sensory part is responsible for gathering visual information and transferring it to the neural segment for processing through the ANN model algorithm.

A specific instance for implementing the input channel of the sensor component involves connecting a photodiode (PD) and a memristor in a single circuit. When the circuit is flipped in reverse bias and light falls on the PD, a photocurrent flows through it from the cathode to the anode. Depending on the light intensity and exposure time, this photocurrent alters the resistance of the memristor, thereby converting illumination into resistance. If visual information doesn't require encoding with memristor resistances, they can be replaced with a load resistance of the same nominal value for all channels. Irrespective of the input channel variant, the signal encoding visual information is fed into the neural part without digitization. Memristors act as synapses as part of the neural part. They can be used to implement synapses in both traditional formal ANN architectures, where input information is multiplied by a pre-programmed weight, and synapses for spiking neural networks, where a memristor exhibits synaptic plasticity mechanisms similar to those in biological neural networks [3]. If the output from the suggested MVS input channel variants is connected to a device that operates on the "integrate and fire" principle, the device can be deemed as not only an input for a structured ANN, but also a presynaptic neuron for a spiking ANN. The neuron's frequency of spikes will depend on the light intensity; the brighter the light, the higher the frequency of spikes and vice versa. Faster charge accumulation occurs in channels with low resistance. The complete analog machine vision system will function as a spike neural network, without incorporating any analog-to-digital or digital-to-analog converters. Compared to digital machine vision systems, this approach will significantly decrease energy consumption while producing wearable and on-board electronics with distinct tactical and technical features. This design can be tailored to the size of modern matrices of photo and video fixation devices and employed as a hardware accelerator for the ANN models currently used to process images, and it can serve as a foundation for advancing this area.

Keywords: artificial neural networks; memristive devices; machine vision; neuromorphic systems.

To cite this article:

Shchanikov SA. The use of memristive devices in machine vision systems. *Genes & cells*. 2023;18(4):831–834. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623429>

ADDITIONAL INFORMATION

Funding sources. The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 21-71-00136 "Development of Scientific and Technological Principles for the Creation and Functioning of Neuromorphic Analog Machine Vision Systems based on Memristive Devices".

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

REFERENCES

1. Amirsoleimani A, Alibart F, Yon V, et al. In memory vector matrix multiplication in monolithic complementary metal–oxide–semiconductor memristor integrated circuits: design choices, challenges, and perspectives. *Advanced Intelligent Systems*. 2020;2(11):2000115. doi: 10.1002/aisy.202000115

Received: 26.05.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 20.01.2024

2. Shchanikov S, Bordanov I. The concept of neuromorphic vision systems based on memristive devices. *6th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA)*; 2022 Sept 14–16; IEEE. P. 256–259. doi: 10.1109/DCNA56428.2022.9923295
3. Koryazhkina M, Okulich E, Ryabova M. Effect of pulse amplitude on depression and potentiation of ZrO₂ (Y)-based memristive synaptic device. *6th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA)*; 2022 Sept 14–16; IEEE. P. 147–150. doi: 10.1109/DCNA56428.2022.9923189

AUTHOR'S CONTACT INFO

* S.A. Shchanikov; address: 23 Orlovskaya street, 602252 Murom, Russian Federation; e-mail: seach@inbox.ru