УДК 004.3:004.9

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОМОРФНОЙ СЕТИ НА МЕМРИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С 1T1R КРОССБАР АРХИТЕКТУРОЙ

*Морозов Александр Юрьевич, к.ф.-м.н., научный сотрудник1, 2,* [*morozov@infway.ru*](mailto:morozov@infway.ru)

*Абгарян Каринэ Карленовна, д.ф.-м.н., доцент, заведующая отделом1, 2,* [*kristal83@mail.ru*](mailto:kristal83@mail.ru)

*Ревизников Дмитрий Леонидович, д.ф.-м.н., профессор1, 2,* [*reviznikov@mai.ru*](mailto:reviznikov@mai.ru)

*1ФИЦ ИУ РАН, г.Москва*

*2МАИ, г. Москва*

Аннотация: В работе выполняется имитационное моделирование аналоговой импульсной нейронной сети с мемристивными элементами в качестве синаптических весов и механизмом обучения на основе правила STDP.

Ключевые слова: мемристор, 1T1R, нейроморфная сеть, импульсная нейронная сеть, STDP, распознавание.

Введение

Мемристор является относительно новым электрическим элементом и представляет собой резистор, проводимость которого меняется в зависимости от суммарного протекшего через него электрического заряда. Из-за определенного сходства между мемристивными элементами и биологическими синапсами, перспективным представляется их использование для аналоговой реализации самообучающихся импульсных нейронных сетей. За счет некоторых схемотехнических решений, о которых пойдет речь в работе, есть возможность изменять проводимость мемристора (синаптический вес) непосредственно в процессе работы системы, тем самым выполняя обучение сети на аппаратном («железном») уровне.

Моделирование нейроморфной сети

Обучение сети организуется с использованием правила Хебба и синаптической пластичности (метод STDP [1], Spike-Timing Dependent Plasticity, согласно которому изменение весов синапсов нейрона зависит от разницы во времени между входным и выходным импульсом). Данный механизм реализуется за счет обратной связи. В момент активации нейрона по каналу обратной связи с задержками поступают два противоположных по знаку импульса. Если на синапсе есть активность и пришел положительный импульс обратной связи, то значение сопротивления соответствующего мемристора уменьшается, а если пришел отрицательный импульс обратной связи, то сопротивление мемристора увеличивается.

Схемотехническая модель нейрона представляет собой параллельную RC цепь и абстрактный генератор импульсов. Как только значение потенциала на конденсаторе превышает некоторый порог, его потенциал сбрасывается, и генератор импульсов выдает выходной сигнал и сигнал обратной связи.

В качестве модели мемристора в работе используется модель с нелинейной зависимостью от напряжения [2], которая описывает мемристор на основе оксида гафния HfO2.

Обучение сети происходит следующим образом: в начальный момент времени синаптические веса инициализируются случайным образом, а далее многократно на вход в сеть с равной вероятностью подается или произвольный шум, или заранее определенные шаблоны. В конце процесса обучения каждый нейрон срабатывает только на свой определенный входной сигнал, игнорируя шум.

Выводы

В работе выполнено имитационное моделирование нейроморфной сети на мемристивных элементах. Построенная импульсная нейронная сеть в процессе работы успешно научилась распознавать определенные шаблоны.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-29-03051 мк.

Список использованных источников

1. Ambrogio S. et al. Neuromorphic Learning and Recognition With One-Transistor-One-Resistor Synapses and Bistable Metal Oxide RRAM // IEEE Transactions on Electron Devices, 2016. Vol. 63, no. 4, pp. 1508–1515.

2. Mladenov V. Analysis of Memory Matrices with HfO2 Memristors in a PSpice Envi-ronment // Electronics, 8(4), 383, March 2019, p. 16. DOI: 10.3390/electronics8040383.

SIMULATION OF A NEUROMORPHIC NETWORK ON MEMRISTIVE ELEMENTS WITH 1T1R KROSSBAR ARCHITECTURE

A.Y.Morozov, K.K.Abgaryan, D.L. Reviznikov

Abstract: In this work, simulation modeling of an analog impulse neural network with memristive elements as synaptic weights and a learning mechanism based on the STDP rule is performed.

Key words: memristor, 1T1R, neuromorphic network, impulse neural network, STDP, recognition.