

## МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО НЕЙРОНА, ОРИЕНТАРОВАННАЯ НА АППАРАТНУЮ РЕАЛИЗАЦИЮ

Коденко Н.И., Гаврилов А.В., Канглер В.М.

*Рассматривается модель импульсного нейрона, разработанная с учетом его будущей реализации на цифровой чипе: учитывались требования по минимизации энергопотребления и увеличения быстродействия.*

*The article describes spiking neuron model designed with purpose of future implementation on the digital scheme. The following requirements considered during design process: maximum speed and minimum energy consumption.*

В последнее десятилетие в мире интенсивно ведутся исследования в области нейроморфных технологий, которые базируются на разработке аппаратных импульсных нейронных сетей [1]. Существуют два подхода к реализации нейронных сетей на основе чипов: аналоговый и цифровой. Хотя аналоговый подход имеет некоторые преимущества (большая плотность упаковки и т.п.), предлагается модель нейрона, ориентированная на цифровой подход, т.к. он более технологически проработан на сегодняшний день. К тому же использование цифровых схем значительно упрощает процесс разработки нейронной сети, т.к. её можно полностью симулировать программными средствами.

При цифровом подходе следует учитывать следующие факторы:

1. Решение серьезных задач требует большого количества нейронов; при сложной аппаратной реализации каждого нейрона, конечная стоимость схемы может быть неоправданно высокой. По этой причине аппаратная реализация каждого нейрона должна быть максимально простой.
2. Применение операции умножения должно быть сведено к минимуму для упрощения схемы. По этой же причине следует использовать целочисленную арифметику

Таким образом, на модель нейрона накладываются следующие ограничения:

1. Модель должна использовать дискретное время.
2. Выполняемые операции должны быть целочисленными
3. Количество операций умножения должно быть минимизировано.
4. Несмотря на внесенные упрощения в своем поведении не должна значительно отличаться от поведения импульсного нейрона.

Предлагается следующая модель импульсного нейрона.

Сигнал на выходе нейрона в дискретные моменты времени  $t = 0, 1, 2$  ... описывается как:

$$S(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } U(t) \geq H \\ 0 & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

где  $H$  – пороговое значение нейрона,

$U(t)$  – уровень возбуждения нейрона.

$S(t)$  – значение потенциала на выходе рассматриваемого нейрона.

Уровень возбуждения нейрона  $U(t)$  складывается из приращений уровня от взвешенных импульсов, приходящих на синапсы в предыдущие моменты времени. В каждый такт времени уровень возбуждения уменьшается на величину утечки  $\Delta U$ .

Таким образом, уровень возбуждения нейрона можно выразить так:

$$U(t) = U(t-1) + \sum_{i \in I} W_i * S_i(t) - \Delta U$$

Для обеспечения на выходе нейрона частотно-импульсной модуляции сигнала вводится переменное значение  $H$ , которое увеличивается до максимума при каждом срабатывании нейрона и убывает на каждом такте на величину  $\Delta H$ :

$$H(t) = \begin{cases} H_{\max}, & \text{при } S(t) = 1 \\ H_{\min} + H(t-1) - \Delta H, & H(t-1) - \Delta H \\ H_{\min} & \text{во всех остальных случаях} \end{cases}$$

Предложенная модель импульсного нейрона предполагает использование только целых чисел и операции сложения, обеспечивает частотно-импульсную модуляцию сигнала и пространственно-временное суммирование входных сигналов с постепенным забыванием.

Обучение такого нейрона в сети можно производить с использованием модифицированного для импульсных нейронных сетей правила Хебба – алгоритма STDP [2].

В настоящее время авторами ведется разработка программной реализации данной модели нейрона и сетей из таких нейронов.

### *Литература*

1. Benderskaya E.N., Zhukova S.V. Multidisciplinary "Trends in Modern Artificial Intelligence: Turing's Way" / AIECM – Turing 2013; Book Chapters: Artificial Intelligence, Evolutionary Computation and Metaheuristics. – Springer, 2013, P. 320–343.
2. Senn, W., Tsodyks, M., Markram, H. (1997). An algorithm for synaptic modification based on exact timing of pre- and post-synaptic action potentials. // Artificial Neural Networks – ICANN '97. Lausanne, Switzerland, 1997. – P. 121-126.