

УДК 004.032.26:004.94

**О.С. Мезенцева, Д.В. Мезенцев, Н.А. Лагунов, Н.С. Савченко****РЕАЛИЗАЦИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОНОВ  
НА ВЕКТОРНОМ ПРОЦЕССОРЕ NEUROMATRIX**

*Для исследования влияния выбранной модели нейрона на показатели качества функционирования нейронной сети в работе предложены алгоритмы и программные реализации нестандартных моделей нейронов на аппаратной платформе нейропроцессора NeuroMatrix с учетом особенностей его архитектуры. В разработанных программных модулях, реализующих вычисление Паде-нейрона, нейрона с квадратичным сумматором, нейрона со счетчиком совпадений, эффективно используются рабочая и теневая матрицы, векторное арифметико-логическое устройство, операции маскирования, аппаратно реализованные активационные функции, регистры-контейнеры нейропроцессора.*

*Моделирование; нейросетевые системы; NeuroMatrix; Паде-нейрон; нейрон с квадратичным сумматором; нейрон со счетчиком совпадений.*

**O.S. Mezentseva, D.V. Mezentsev, N.A. Lagunov, N.S. Savchenko****IMPLEMENTATIONS OF NON-STANDARD MODELS OF NEURON USING  
NEUROMATRIXM NEUROPROCESSOR**

*Algorithms and software implementations of non-standard neuron models on a hardware platform NeuroMatrix, taking into account the features of its architecture, for the influence researches of the neuron model to the quality of the neural network functioning are given in this paper. Operative and shady matrixes, vector arithmetic logic unit, mask operation, hardware implemented activation functions and neuroprocessor registers-containers effectively used in the developed software modules that implement Pade-neuron, neuron with quadratic adder and neuron with a counter coincidences computations.*

*Modeling; neural network system; NeuroMatrix; Pade-neuron; neuron with coincidence counter; neuron with quadratic adder.*

Нейронные сети являются мощным инструментом для решения сложных, плохо формализуемых задач: прогнозирования, управления, распознавания образов, аппроксимации функций и т.д. Высокопроизводительный специализированный микропроцессор NeuroMatrix разработан для реализации моделей различных нейронных сетей. Его ядро составляет операционное устройство – регулярная матричная структура 64x64 ячейки, которую можно произвольным образом разделять на столбцы и строки, а в образовавшиеся ячейки загружать весовые коэффициенты для использования в операции взвешенного суммирования. На аппаратной платформе (АП) NeuroMatrix известны реализации нейронных сетей различных топологий. Однако качество работы конкретной нейронной сети зависит не только от ее топологии, но и от типа самих нейронов, входящих в ее состав. Для исследования влияния выбранной модели нейрона на показатели качества функционирования нейронной сети разработаны модификации алгоритмов для реализации моделей Паде-нейрона, нейрона с квадратичным сумматором, нейрона со счетчиком совпадений, ориентированные на АП NeuroMatrix.

Паде-нейрон состоит из двух сумматоров, элемента, вычисляющего частное от взвешенных сумм, а также блока нелинейного преобразования. Свое название этот нейрон получил от аппроксимации Паде-метода рациональной аппроксимации функций [1, 2]. По сравнению с обычным нейроном, он имеет в два раза больше настраиваемых параметров:

$$y = f(g) = f\left(\frac{g_1}{g_2}\right) = f\left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i x_i + a_0}{\sum_{i=1}^n b_i x_i + b_0}\right), \quad (1)$$

где  $a_i, b_i$  – весовые коэффициенты первого и второго сумматоров, соответственно.

Процесс эмуляции Паде-нейрона на процессоре NeuroMatrix разбивается на три основные логические части: работу двух сумматоров, вычисление отношения, вычисление аппаратно реализованной функции активации и последующий анализ результата.

Работу сумматоров эмулирует операция взвешенного суммирования, при этом происходит «подгрузка» значений весовых коэффициентов и входов. Просуммированные величины сохраняются в переменных  $g_1$  и  $g_2$ , после чего производится вызов макроса деления. Частное от деления сохраняется в регистре-контейнере *ram* для последующей обработки активационной функцией.

Первый этап является наиболее эффективным для NeuroMatrix. Матрица разбивается на два столбца, каждый из которых предназначен для весов определенного сумматора. Каждый столбец содержит значения весовых коэффициентов разрядностью 32 бита. Работа двух сумматоров эмулируется одновременно, и выходное значение первого сумматора в итоге попадает в левую часть регистра-контейнера *afifo*, второго – в его правую часть.

Деление не входит в базовые библиотеки операций, но, поскольку в данном случае достаточно целочисленного деления, процесс выполнения этой операции можно свести к последовательному вычитанию делителя из делимого (рис. 1). Алгоритм вычисления Паде-нейрона на аппаратной платформе NeuroMatrix представлен на рис. 2.

Нейрон со счетчиком совпадений, получая на вход  $n$ -мерный вектор  $X$ , на выходе выдает целое число, равное числу совпадений  $X_i$  с  $a_i$ , т.е. число тех  $i$ , для которых  $x_i = a_i$  (рис. 3) [1]. Процесс эмуляции нейрона со счетчиком совпадений на процессоре NeuroMatrix разбивается на три этапа: вычитание вектора весовых коэффициентов ( $A$ ) из входного вектора ( $X$ ), активацию полученного вектора с целью установки значений 0 для совпадений и 1 для несовпадений, суммирование элементов и вычисление числа совпадений. Каждый этап выполняется за один такт процессора, независимо от числа входов.

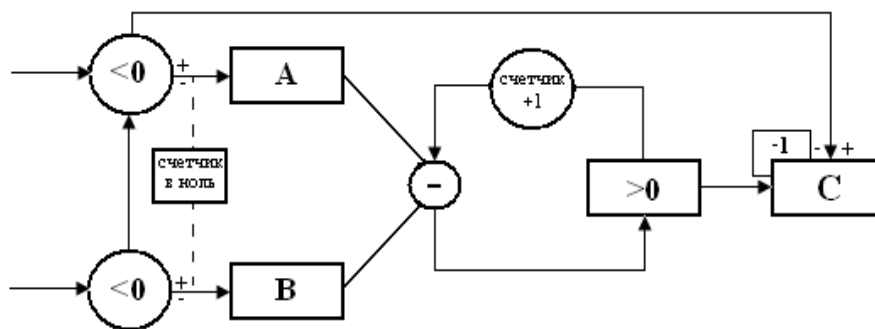


Рис. 1. Общая схема работы функции деления

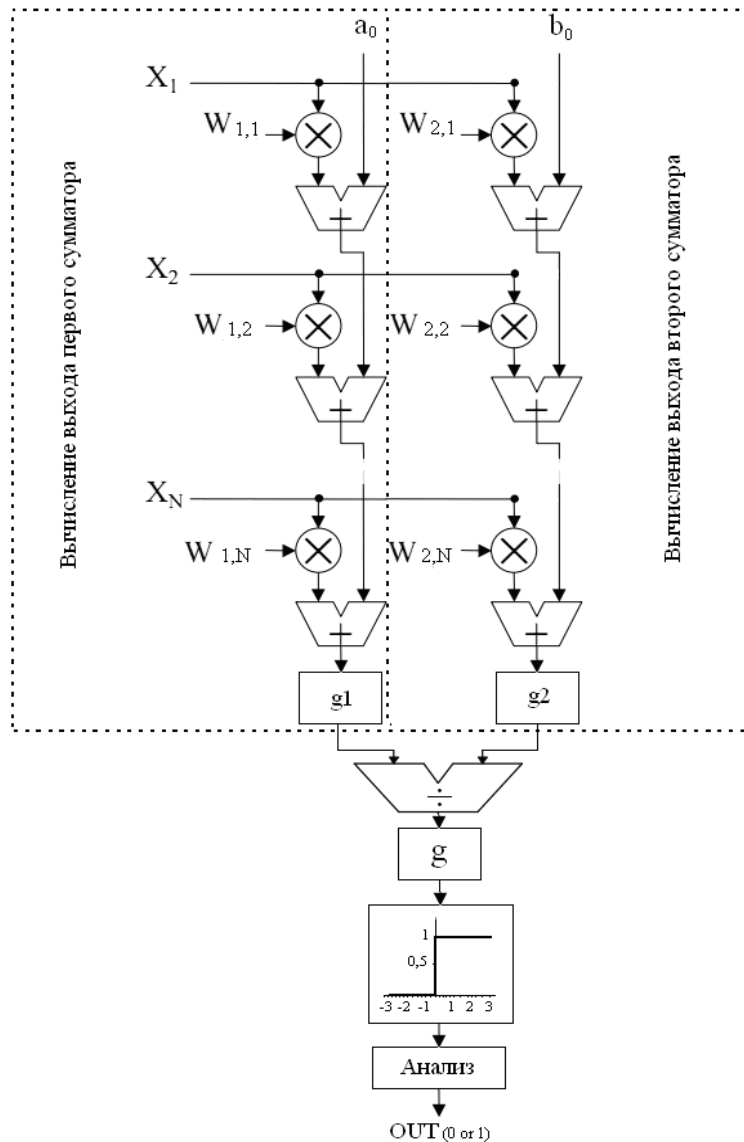


Рис. 2. Обобщенный алгоритм вычисления Паде-нейрона на аппаратной платформе NeuroMatrix

На первом этапе векторы  $X$  и  $A$  подаются на входы  $X$  и  $Y$  векторного АЛУ (рис. 4, этап 1). Выполняется операция вычитания с разбиением на  $n$  элементов, в результате которой получается вектор  $(X-A)$ .

Для расчета числа совпадений необходимо в векторе  $(X-A)$  преобразовать все неравные нулю значения в единицы. Для этого используется арифметическая функция активации с предварительным маскированием для избавления от отрицательных значений. В результате активации вектора  $(X-A)$  получается вектор  $M$ , содержащий единицы в позициях, где  $x_i \neq a_i$  и нули в позициях, где  $x_i = a_i$ . Вектор  $M$  попадает на вход  $X$  рабочей матрицы, в которой происходит суммирование всех его элементов (рис. 4, этап 2).

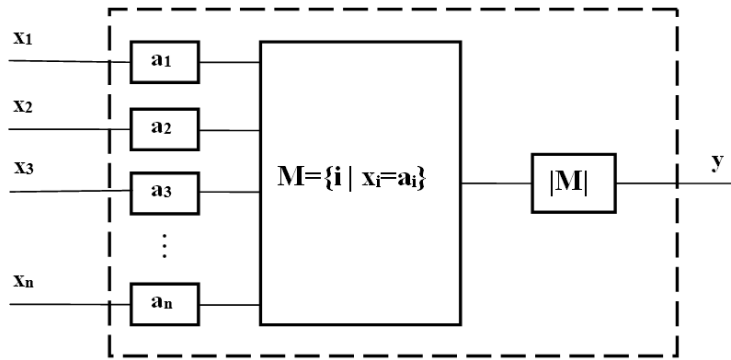


Рис. 3. Схема работы нейрона со счетчиком совпадений

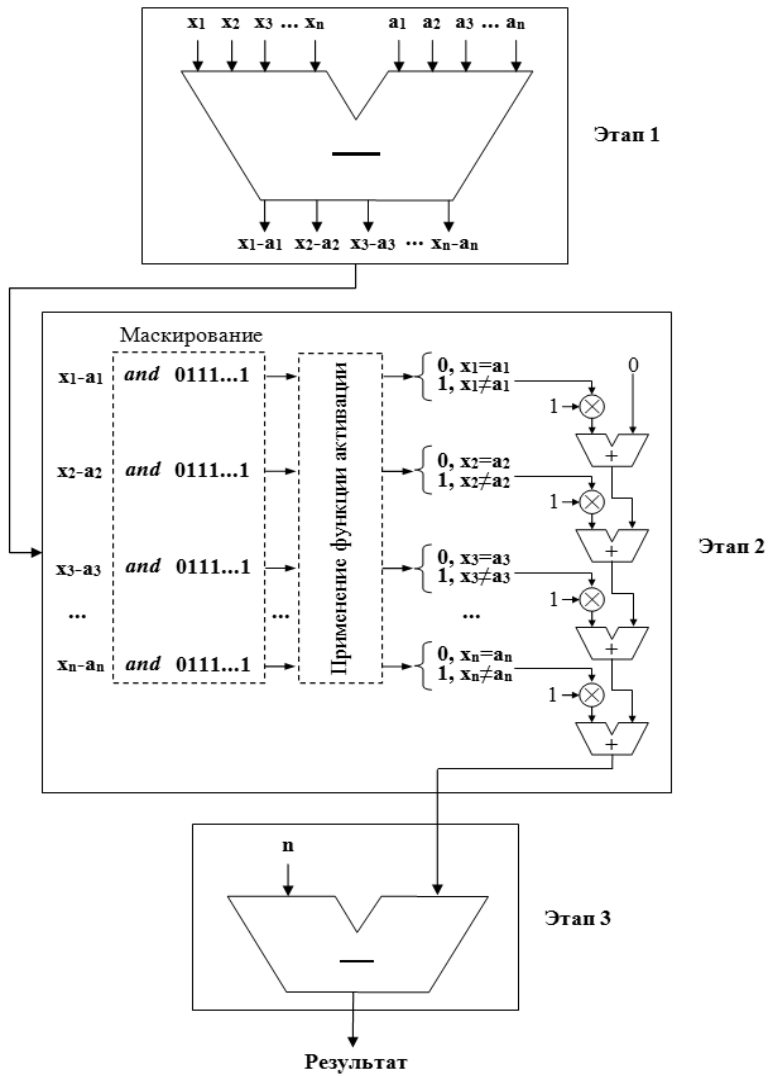


Рис. 4. Схема вычисления количества совпадений

В результате получается количество несовпадений элементов векторов  $X$  и  $A$ , которое на последнем этапе вычитается из общего числа элементов, чтобы получить количество совпадений  $x_i$  с  $a_i$  (рис. 4, этап 3).

Для многомерных нормальных распределений нейрон с квадратичным сумматором является наилучшим вариантом классификатора. Это следует из минимальной вероятности ошибки, ввиду наличия разделяющей квадратической поверхности: при  $y(x) > 0$  данный объект принадлежит I классу; при  $y(x) \leq 0$ , данный объект принадлежит II классу (при условии правильного выбора коэффициентов  $y(x)$ ) (2).

$$y(x) = \sum_{i,y=0}^n a_{ij} x_i x_j + w_0, \quad (2)$$

где  $a_{ij}$  – весовые коэффициенты,  $x_i, x_j$  – элементы входного вектора [1].

Недостаток такого классификатора – большое число настраиваемых параметров, вычисляемое как  $\frac{n(n+1)}{2}$ , где  $n$  – число входов нейрона.

Для реализации модели нейрона с квадратичным сумматором на аппаратной платформе NeuroMatrix необходимо: с помощью регистров разделить рабочую и теневую матрицы на четыре столбца и четыре строки; используя блок маскирования, разделить входной вектор  $X$  на 4 вектора, каждый из которых будет содержать по одному элементу входного вектора; каждый получившийся вектор умножить на входной вектор  $X$ ; загрузить веса в теневую, а затем и в рабочую матрицу; произвести взвешенное суммирование между векторами произведения входных данных и матрицей произведения весов; получившиеся суммы векторов сложить между собой.

Разработанные программные модули могут использоваться при реализации на аппаратной платформе NeuroMatrix нейронных сетей различной топологии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комарцова Л. Г. Нейрокомпьютеры. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 41 с.
2. Миркес Е. М. Нейроинформатика: Учебное пособие. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 347 с.

Статью рекомендовала к опубликованию д.ф.-м.н. В.И. Дроздова.

**Мезенцева Оксана Станиславовна** – Северо-Кавказский государственный технический университет; e-mail: mos@ncstu.ru; 355028, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2; тел.: 88652956801; кафедра информационных систем и технологий; к.ф.-м.н.; доцент.

**Мезенцев Дмитрий Викторович** – e-mail: rakotforever@mail.ru; студент.

**Лагунов Никита Алексеевич** – e-mail: n.a.lagunov@yandex.ru; студент.

**Савченко Николай Сергеевич** – e-mail: 3mg@bk.ru; студент.

**Mezentseva Oksana Stanislavovna** – North Caucasus State Technical University; e-mail: mos@ncstu.ru; 2, Kulakova avenue, Stavropol, 355028, Russia; phone: +78652956801; the department of information systems and technologies; cand. of phis.-math. sc.; associate professor.

**Mezentsev Dmitri Viktorovich** – e-mail: rakotforever@mail.ru; student.

**Lagunov Nikita Alekseevich** – e-mail: n.a.lagunov@yandex.ru; student.

**Savchenko Nikolai Sergeevich** – e-mail: 3mg@bk.ru; student.