

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202490930** (13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2024.10.24**

(51) Int. Cl. **G06N 3/06** (2006.01)  
**G06F 7/72** (2006.01)  
**G06F 17/17** (2006.01)  
**G06F 7/38** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2024.05.08**

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ СИГМОИДЫ**

(96) **2024000088 (RU) 2024.05.08**

(72) Изобретатель:

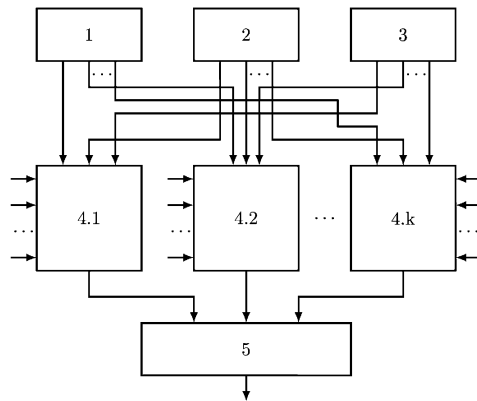
(71) Заявитель:  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "СЕВЕРО-  
КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

**Бабенко Михаил Григорьевич,  
Кучуков Виктор Андреевич, Валуева  
Мария Васильевна, Валуев Георгий  
Вячеславович (RU)**

(74) Представитель:

**Алиханов А.А. (RU)**

(57) Изобретение относится к вычислительной технике и предназначено для кусочно-линейной аппроксимации функции активации сигмоиды искусственных нейронных сетей (ИНС), работающих в системе остаточных классов. Техническим результатом заявляемого изобретения является расширение функциональных возможностей, а именно возможность работать с числами, представленными в системе остаточных классов, а также повышение быстродействия и сокращение оборудования за счет сокращения узлов аппроксимации и оптимальном выборе аргументов аппроксимации. Сущность изобретения основана на аппроксимации сигмоиды многочленами наилучшего равномерного приближения Чебышева первой степени с использованием функции Хевисайда, представленными в системе остаточных классов.



**A1**

**202490930**

**202490930**

**A1**

### **Устройство для кусочно-линейной аппроксимации сигмоиды**

Изобретение относится к вычислительной технике и предназначено для кусочно-линейной аппроксимации функции активации сигмоиды искусственных нейронных сетей (ИНС), работающих в системе остаточных классов.

Одним из подходов к увеличению быстродействия является разработка аппаратных ускорителей. Аппаратные реализации ИНС являются сложными и, как правило, процесс обучения производится до аппаратного проектирования. Одним из подходов к улучшению производительности ИНС является использование альтернативных непозиционных систем счисления, например системы остаточных классов, которая позволяет оптимизировать операции сложения и умножения чисел. Однако реализация нелинейного слоя в системе остаточных классов, к которому относятся функции активации, и, в частности, сигмоида, являются вычислительно сложными. Решению данной задачи посвящено данное изобретение.

Известно устройство для аппроксимации функций (патент RU2010324, опубл. 30.03.1994). Сущность изобретения состоит в создании простого и помехоустойчивого устройства для аппроксимации функций времяимпульсного аргумента с использованием итерационного метода реализации оператора усреднения путем функционального обобщения процесса преобразования кода в частоту как для цепи обратной связи местного контура, так и для цепи прямой связи главного контура при противофазном использовании четырех опорных частот и исключением благодаря этому двухтактного разделения процессов и коммутирования входного и выходного кодов в цепях прямой и обратной связи главного контура. Устройство для аппроксимации функций содержит два двоичных умножителя, блок сравнения, два реверсивных счетчика, два элемента И, два элемента 2И - ИЛИ, элемент НЕ, соединенные между собой функционально.

Недостатком данного устройства являются ограниченные функциональные возможности, а именно невозможность работы в системе остаточных классов и неоптимальность выбора точек аппроксимации.

Известна нелинейная адаптивная система автоматического управления (патент RU2267147, опубл. 27.12.2005), которая относится к адаптивным системам автоматического управления объектами с неизвестным математическим описанием и произвольными возмущающими воздействиями при наличии в задании системы управления нелинейных ограничений в форме равенств и неравенств на управляемые переменные, управляющие воздействия и траектории перехода объекта управления в требуемое состояние. В системе блок формирования задания, вычислитель выходных сигналов системы измерительных устройств и генератор управляющих воздействий оснащены нелинейными преобразователями с сигмоидальными статическими характеристиками, обеспечивающими выполнение системой управления ограничений в форме неравенств. Вычислитель системы измерительных устройств образован параллельным соединением пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего блоков, а генератор управляющих воздействий и наблюдатель переменных состояния выполнены в виде многомерных самонастраивающихся ПИД-регуляторов, реализующих алгоритмы модифицированных фильтров Калмана.

Недостатком данной системы являются ограниченные функциональные возможности, а именно невозможность работы в системе остаточных классов и неоптимальность выбора точек аппроксимации.

Известен способ управления реакцией нейропроцессора на входные сигналы (патент RU2724784, опубл. 25.06.2020), в котором с учетом нелинейных свойств поверхности разделения классов объектов в  $N$ -мерном континуальном пространстве нейропроцессор (НП) выполняет линейную аппроксимацию функций в подобластях области  $\Omega$ , а параметры нейропроцессора настраиваются путем обучения на основе экспериментальных или теоретических данных о поведении нейропроцессора в заданных точках  $N$ -мерного континуального пространства. При обучении нейропроцессора на обучающий вход поочередно подаются эталонные сигналы  $d_1, d_2, \dots, d_s$ , а на сигнальные входы НП подаются соответствующие им стимулы  $x_1, x_2, \dots, x_N$ . Эталонные сигналы выбирают так, чтобы в каждой подобласти  $\Omega^* \in \Omega$  находилась хотя бы одна обучающая выборка. При повторении эпох выполняется минимизация погрешностей функции в вершинах  $N$ -мерного куба, ограничивающего каждую подобласть  $\Omega^*$ .

Недостатком данного способа являются ограниченные функциональные возможности, а именно невозможность работы в системе остаточных классов.

Известен способ формирования порога решающего устройства на основе нейрорегулятора (патент RU2731332, опубл. 01.09.2020). В способе в режиме обучения при регистрации изменения информативных параметров на выходе параметризатора, выделяющего из набора входных данных совокупности вторичных параметров, являющихся определяющими для решаемой задачи, а также из уставки в виде требуемых реакций бинарного вида формируют обучающую выборку и осуществляют обучение искусственной нейронной сети (ИНС) в виде нейрорегулятора, в котором формируется порог, на основе которого в решающем устройстве вычисляется реальная выходная реакция  $Z$ , а в вычитателе вычисляется сигнал ошибки управления, корректируются весовые коэффициенты нейронной сети с использованием алгоритма обратного распространения ошибки, при обучении ИНС используется якобиан решающего устройства, представляющий собой производную от функции Хевисайда, для расчета якобиана в качестве аппроксимации функции Хевисайда используется сигмоидальная функция; в режиме регулирования обученный нейрорегулятор формирует порог, а параметризатор формирует вторичные параметры, которые сравниваются с полученным порогом, после чего в бинарном виде формируется реальная выходная реакция  $Z$  решающего устройства.

Недостатком данного способа являются ограниченные функциональные возможности, а именно невозможность работы в системе остаточных классов.

Известен цифровой аппроксиматор на основе непрерывных кусочно-линейных функций без предварительного табулирования коэффициентов аппроксимации (патент RU83636, опубл. 10.06.2009), который содержит блок памяти для хранения значений координат  $Y$  и блок памяти для хранения значений координат  $X$ , эти блоки присоединены соответственно к первому и второму буферным регистрам, первый буферный регистр подключается к перемножителю с инвертором и сумматору, второй буферный регистр подсоединяется к вычитателю, вычитатель и сумматор подключены к делителю, делитель подключен выходом к перемножителю, к которому своим выходом подключен второй сумматор, к второму сумматору своими выходами подключены блок памяти для хранения значений координаты  $X$  и блок памяти для хранения значений аргумента функции, перемножитель подключен выходом к накопительному сумматору.

Недостатком данного способа являются ограниченные функциональные возможности, а именно невозможность работы в системе остаточных классов.

Техническим результатом заявляемого изобретения является расширение функциональных возможностей, а именно, возможность работать с числами, представленными в системе остаточных классов, а также повышение быстродействия и сокращение оборудования за счет сокращения узлов аппроксимации и оптимальном выборе аргументов аппроксимации.

Данный технический результат достигается тем, что в устройство для кусочно-линейной аппроксимации сигмоиды, содержащее 3 блока памяти, умножитель, два сумматора, накапливающий сумматор, при этом в качестве первого блока памяти используют блок хранения аргумента  $\bar{z}$ , содержащего матрицу  $k \times n$ , где  $k$  – количество аргументов аппроксимации,  $n$  – количество модулей  $p_i$  системы остаточных классов (СОК), в качестве второго блока памяти используют блок хранения коэффициента  $u$ , содержащего матрицу  $k \times n$ , в качестве третьего блока памяти используют блок хранения коэффициента  $v$ , содержащего матрицу  $k \times n$ , в качестве накапливающего сумматора используется многовходовый блок суммирования по модулям СОК, дополнительно введено  $k$  блоков аппроксимации при этом  $i$ -е выходы блока хранения аргумента  $\bar{z}$ , блока хранения коэффициента  $u$  и блока хранения коэффициента  $v$  подсоединены соответственно к первому, второму и третьему входу  $i$ -го блока аппроксимации, на оставшиеся  $n$  входов остатка блоков аппроксимации подается значение  $X$ , представленное остатками от деления  $X$  на модули СОК  $p_i$ , т.е.  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , выходы блоков аппроксимации соединены с соответствующими входами многовходового блока суммирования по модулям СОК, выход которого является выходом устройства, при этом каждый  $i$ -й блок аппроксимации содержит два сумматора и умножитель по каждому модулю  $p_j$ , в качестве которых взяты сумматоры по модулю и умножитель по модулю, при этом  $n$  входов остатка соединены с первыми входами соответствующих  $n$  умножителей и первых сумматоров по модулю  $p_j$ , на вторые входы первых сумматоров по модулю  $p_j$  поступают с первого входа блока аппроксимации значения  $|\bar{z}_i|_{p_j}$ , выходы первых сумматоров по модулю  $p_j$  соединены с входами блока вычисления функции Хевисайда, выход которой соединен с управляющим входом многовходового мультиплексора, на вторые входы умножителей по модулю  $p_j$  поступают с второго входа блока аппроксимации значения  $|u_i|_{p_j}$ , выходы умножителей по модулю  $p_j$  соединены с первыми входами соответствующих  $n$  вторых сумматоров по модулю  $p_j$ , вторые входы которых соединены с третьим входом блока аппроксимации, на который поступают значения  $|v_i|_{p_j}$ , выходы вторых сумматоров по модулю  $p_j$  соединены с первым информационных входом многовходового мультиплексора, на вторые входы которого подаются нули, а выходы являются выходом блока аппроксимации.

Сущность изобретения основана на следующем математическом аппарате. В системе остаточных классов любое число  $X < P$  однозначно представляется набором остатков  $x_i$  от деления числа  $X$  на взаимно простые модули СОК  $p_i$ , где  $x_i \equiv X \pmod{p_i}$ ,  $P = \prod_{i=1}^n p_i$  рабочий диапазон СОК,  $i = \overline{1, n}$ . При этом операции сложения и умножения выполняются параллельно независимо по каждому модулю  $p_i$ .

Широко используемой функций активации является сигмоида, которая задается уравнением

$$s(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}. \quad (1)$$

Однако в системе остаточных классов операции деления и возведения экспоненты в отрицательную степень является вычислительно сложными и необходима аппроксимация функции (1) кусочно-линейными функциями. Рассмотрим аппроксимацию сигмоиды многочленами  $Q_n(x)$  наилучшего равномерного приближения Чебышева первой степени, для которых всех точках аппроксимации погрешность не превышает  $\varepsilon$ . Таким образом, исходная область определения функции разбивается  $k + 1$  точкой  $z_i$  между которыми строятся прямые  $A_i \cdot x + B_i \cdot y + C_i = 0$ , коэффициенты которых равны

$$\begin{aligned} A_i &= s(z_{i+1}) - s(z_i), \\ B_i &= z_{i+1} - z_i, \\ C_i &= z_i \cdot (s(z_i) - s(z_{i+1})) + s(z_i) \cdot (z_{i+1} - z_i). \end{aligned}$$

Функция Хевисайда  $H(x)$  имеет вид

$$H(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$$

и по сути является инвертированной функцией знака, реализация которой в системе остаточных классов возможна, например, с использованием устройств по патентам RU2747371, EA038389 и др.

Тогда аппроксимация функции сигмоиды  $s(x)$  возможна по формуле

$$y = \sum_{i=0}^{k-1} H(x - z_i) \cdot (u_i \cdot x + v_i), \quad (2)$$

где коэффициенты вычисляются следующим образом

$$\begin{aligned} u_0 &= -\frac{A_0}{B_0}, \\ v_0 &= -\frac{C_0}{B_0}, \\ u_i &= \frac{A_{i-1}}{B_{i-1}} - \frac{A_i}{B_i}, \\ v_i &= \frac{C_{i-1}}{B_{i-1}} - \frac{C_i}{B_i}. \end{aligned}$$

Реализуем функцию (2) в СОК, но поскольку дробные значения в СОК реализуются сложно, умножим все значения на коэффициент масштабирования. Тогда в СОК с модулями  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  функция (2) примет вид

$$\begin{aligned} |g_i|_{p_j} &= |x_j - |z_i|_{p_j}|_{p_j} \\ |t_i|_{p_j} &= H(g_i) \cdot (|u_i|_{p_j} x_j + |v_i|_{p_j}), \\ y_j &= \left| \sum_{i=0}^{k-1} t_i \right|_{p_j}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $i = \overline{0, k-1}$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

Устройство поясняется фигурами 1 и 2. На фигуре 1 представлена структурная схема устройства, которая содержит блок хранения аргумента  $\bar{z}$  1, блок хранения коэффициента  $u$  2, блок хранения коэффициента  $v$  3,  $k$  блоков аппроксимации 4.1-4.k, многовходовый блок суммирования по модулям СОК 5. На фигуре 2 представлена

структурная схема блока аппроксимации, которая содержит  $n$  первых сумматоров по модулю  $p_j$  6.1-6.n,  $n$  вторых сумматоров по модулю  $p_j$  9.1-9.n,  $n$  умножителей по модулю  $p_j$  7.1-7.n, блок вычисления функции Хевисайда 8, многоходовый мультиплексор 10.

Поясним связи между блоками и работу устройства на примере.

Рассмотрим пример вычисления аппроксимации сигмоиды с областью определения  $[-10; 10]$  и допустимой погрешностью  $\varepsilon = 10^{-2}$  для  $x = -4$ . Значение сигмоиды в этой точке равно 0.0179. Для получения многочленов наилучшего равномерного приближения Чебышева первой степени значения аргументов не являются равноудаленными, таким образом, для данной погрешности достаточно  $k+1=10$  точек  $z_i$  аппроксимации  $[-10; -3.96; -2.46; -1.47; -0.53; 1.03; 1.95; 3.11; 5.42; 10]$ .

Поскольку сигмоида имеет высокую кривизну около 0, основные точки аппроксимации сгруппированы там. Для реализации в СОК масштабируем данные значения на  $10^3$ . Получим  $[-10000; -3964; -2464; -1472; -525; 1026; 1946; 3110; 5418; 10000]$ .

Возьмем систему остаточных классов  $\{127, 255, 511, 512\}$ . Для введения знака в СОК диапазон  $P$  может быть разделен чтобы число  $X$  удовлетворяло выражению

$$-\frac{P-1}{2} \leq X \leq \frac{P-1}{2}, \text{ если } P \text{ нечетное,}$$

$$-\frac{P}{2} \leq X \leq \frac{P}{2} - 1, \text{ если } P \text{ четное.}$$

Также, чтобы избежать вычитания в первом выражении (3) будем брать  $|\bar{z}_i|_{p_j} = |p_j - z_i|_{p_j}$ .

Тогда в блок хранения аргумента  $\bar{z}$  1 будет храниться  $k = 9$  чисел, представленных в СОК  $\{127, 255, 511, 512\}$ , т.е. будет содержаться матрица

$$\bar{z} = \begin{pmatrix} 94 & 55 & 291 & 272 \\ 27 & 139 & 387 & 380 \\ 51 & 169 & 420 & 416 \\ 75 & 197 & 450 & 448 \\ 17 & 15 & 14 & 13 \\ 117 & 249 & 507 & 510 \\ 86 & 94 & 98 & 102 \\ 65 & 205 & 467 & 474 \\ 43 & 192 & 203 & 214 \end{pmatrix}.$$

В блоке хранения коэффициента  $u$  2 будут находиться представленные в СОК коэффициенты  $u$  прямых  $ix + v$ , т.е.

$$u = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 3 & 3 \\ 36 & 36 & 36 & 36 \\ 69 & 69 & 69 & 69 \\ 86 & 86 & 86 & 86 \\ 39 & 39 & 39 & 39 \\ 43 & 171 & 427 & 428 \\ 47 & 175 & 431 & 432 \\ 73 & 201 & 457 & 458 \\ 112 & 240 & 496 & 497 \end{pmatrix}$$

В блоке хранения коэффициента  $v$  3 будут находиться представленные в СОК коэффициенты  $v$  прямых  $ix + v$ , т.е.

$$v = \begin{pmatrix} 85 & 219 & 159 & 99 \\ 52 & 116 & 86 & 313 \\ 10 & 231 & 408 & 75 \\ 85 & 95 & 357 & 109 \\ 20 & 193 & 408 & 368 \\ 29 & 72 & 414 & 246 \\ 98 & 121 & 326 & 21 \\ 107 & 210 & 136 & 319 \\ 88 & 10 & 355 & 190 \end{pmatrix}$$

Значение  $X = -4$ , масштабированное и представленное в СОК будет иметь вид  $(64, 80, 88, 96)$ , данные значения подаются на 4 входа остатка каждого из 9 блоков аппроксимации.

На первый вход  $i$ -го блока аппроксимации  $4.i$  поступает  $i$ -я строка матрицы  $g$  с блока хранения аргумента  $\bar{z}$  1, на второй вход  $i$ -го блока аппроксимации поступает  $i$ -я строка матрицы  $u$  с блока хранения коэффициента  $u$  2, на третий вход  $i$ -го блока аппроксимации поступает  $i$ -я строка матрицы  $v$  с блока хранения коэффициента  $v$  3.

Таким образом, на входы первого блока аппроксимации 4.1 поступают  $x = (64, 80, 88, 96)$ ,  $z_1 = (94, 55, 291, 272)$ ,  $u_1 = (3, 3, 3, 3)$  и  $v_1 = (85, 219, 159, 99)$ . Рассмотрим работу первого блока аппроксимации 4.1, в остальных блоках вычисления происходят аналогичным образом. В первом сумматоре по модулю  $p_1$  6.1 происходит вычисление  $|64 + 94|_{127} = 31$ , в первом сумматоре по модулю  $p_2$  6.2 происходит вычисление  $|80 + 55|_{255} = 135$ , в первом сумматоре по модулю  $p_3$  6.3 происходит вычисление  $|88 + 291|_{511} = 379$ , в первом сумматоре по модулю  $p_4$  6.4 происходит вычисление  $|96 + 272|_{512} = 368$ . Таким образом, на вход блока вычисления функции Хевисайда 8 поступают значения  $g_1 = (31, 135, 379, 368)$ , что соответствует числу 6000, которое меньше  $\frac{P}{2} - 1$ , значит число положительное и на выходе будет значение 1.

В умножителе по модулю  $p_1$  7.1 происходит вычисление  $|64 \cdot 3|_{127} = 65$ , в умножителе по модулю  $p_2$  7.2 происходит вычисление  $|80 \cdot 3|_{255} = 240$ , в умножителе по модулю  $p_3$  7.3 происходит вычисление  $|88 \cdot 3|_{511} = 264$ , в умножителе по модулю  $p_4$  7.4 происходит вычисление  $|96 \cdot 3|_{512} = 288$ .

Во втором сумматоре по модулю  $p_1$  9.1 происходит вычисление  $|65 + 85|_{127} = 23$ , во втором сумматоре по модулю  $p_2$  9.2 происходит вычисление  $|240 + 219|_{255} = 204$ , во втором сумматоре по модулю  $p_3$  9.3 происходит вычисление  $|264 + 159|_{511} = 423$ , во втором сумматоре по модулю  $p_4$  9.4 происходит вычисление  $|288 + 99|_{512} = 387$ . И поскольку значение функции Хевисайда, поступающее на управляющий вход многовходового мультиплексора 10 равно 1, то на выход поступает значение с первого входа, а именно  $(23, 204, 423, 387)$  с выходов вторых сумматоров по модулю  $p_j$  9.j.

В остальных блоках аппроксимации  $4.i$  вычисления происходят аналогично. Таким образом, на входы соответствующих блоков вычисления функции Хевисайда 8  $i$ -го блока аппроксимации  $4.i$  поступает  $i$ -я строка матрицы

$$g = \begin{pmatrix} 31 & 135 & 379 & 368 \\ 91 & 219 & 475 & 476 \\ 115 & 249 & 508 & 0 \\ 12 & 22 & 27 & 32 \\ 81 & 95 & 102 & 109 \\ 54 & 74 & 84 & 94 \\ 23 & 174 & 186 & 198 \\ 2 & 30 & 44 & 58 \\ 107 & 17 & 291 & 310 \end{pmatrix}.$$

Соответствующие значения функции Хевисайда равны (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0). Таким образом, только с выхода первого блока аппроксимации 4.1 будет подаваться ненулевое значение (23, 204, 423, 387), на выходах остальных блоков аппроксимации будет значение (0, 0, 0, 0).

Значения с выходов блоков аппроксимации поступают на входы многовходового блока суммирования по модулям СОК 5, в котором параллельно по каждому модулю происходит вычисление  $|23 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0|_{127} = 23$  и т.д. На выходе многовходового блока суммирования по модулям СОК 5 будет значение (23, 204, 423, 387), которое является аппроксимированным значением сигмоиды, представленным в СОК. При переводе данного значения в дробное, получим 0.018819 что соответствует с заданной погрешностью исходному значению.

Поскольку все вычисления выполняются над целочисленными значениями малой размерности, увеличивается скорость вычисления, а неравномерное задание узлов аппроксимации позволяет сократить используемое оборудование.

Реализация всего устройства возможна с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и может использоваться как отдельное устройство, так и вычислительной блок аппаратной реализации нейронной сети.

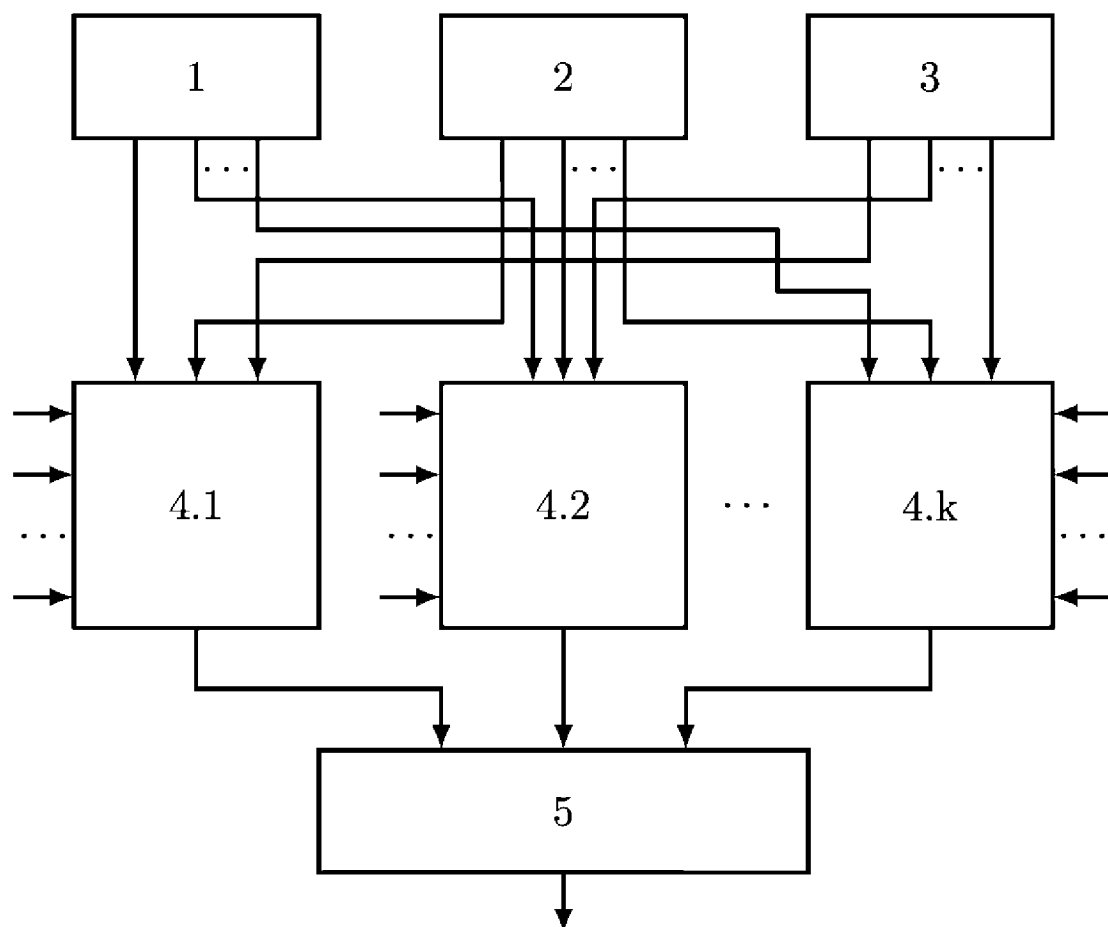


## Устройство для кусочно-линейной аппроксимации сигмоиды

### Формула

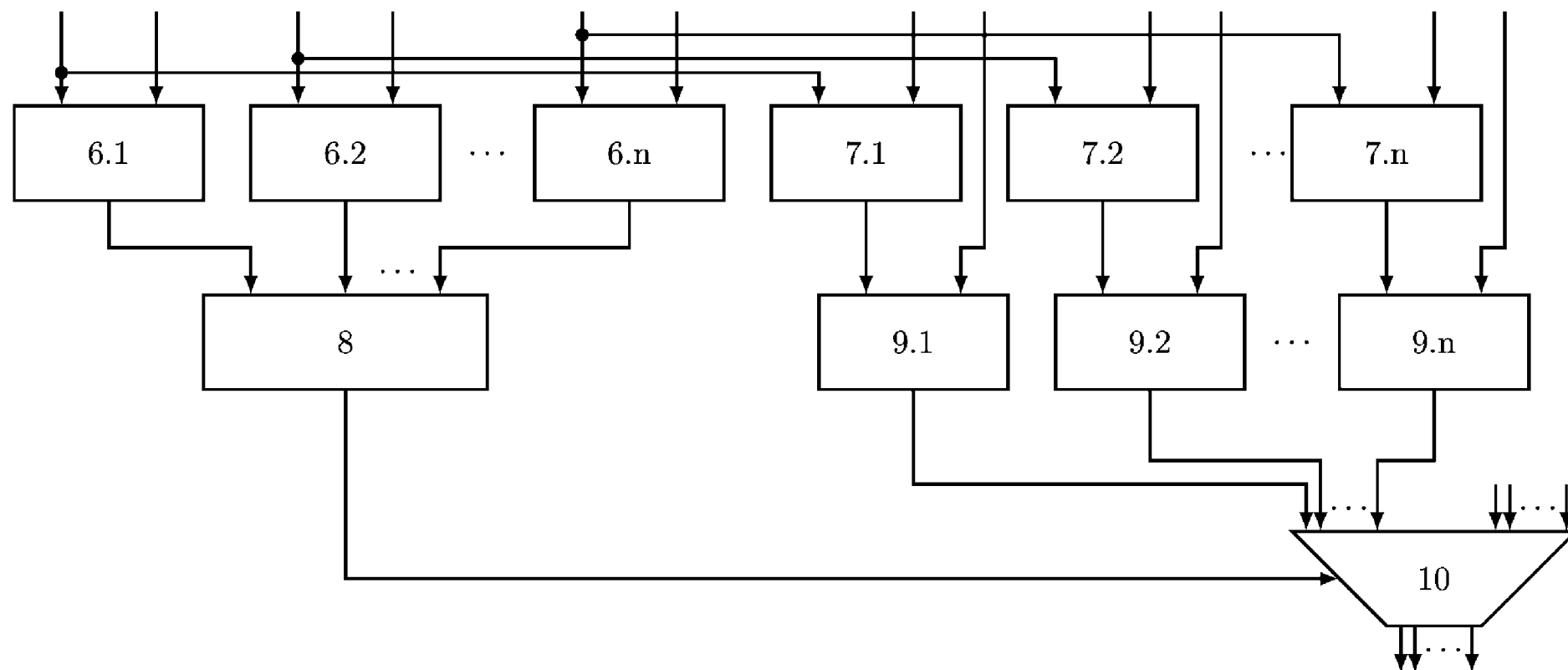
Устройство для кусочно-линейной аппроксимации сигмоиды, содержащее три блока памяти, умножитель, два сумматора, накапливающий сумматор, отличающееся тем, что в качестве первого блока памяти используют блок хранения аргумента  $\bar{z}$ , содержащего матрицу  $k \times n$ , где  $k$  – количество аргументов аппроксимации,  $n$  – количество модулей  $p_i$  системы остаточных классов (СОК), в качестве второго блока памяти используют блок хранения коэффициента  $u$ , содержащего матрицу  $k \times n$ , в качестве третьего блока памяти используют блок хранения коэффициента  $v$ , содержащего матрицу  $k \times n$ , в качестве накапливающего сумматора используется многовходовый блок суммирования по модулям СОК, дополнительно введено  $k$  блоков аппроксимации, при этом  $i$ -е выходы блока хранения аргумента  $\bar{z}$ , блока хранения коэффициента  $u$  и блока хранения коэффициента  $v$  соединены соответственно с первым, вторым и третьим входами  $i$ -го блока аппроксимации, на оставшиеся  $n$  входов остатка блоков аппроксимации подается значение  $X$ , представленное остатками от деления  $X$  на модули СОК  $p_i$ , т.е.  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , выходы блоков аппроксимации соединены с соответствующими входами многовходового блока суммирования по модулям СОК, выход которого является выходом устройства, при этом каждый  $i$ -й блок аппроксимации содержит два сумматора и умножитель по каждому модулю  $p_j$ , в качестве которых взяты сумматоры по модулю и умножитель по модулю, при этом  $n$  входов остатка соединены с первыми входами соответствующих  $n$  умножителей и первых сумматоров по модулю  $p_j$ , на вторые входы первых сумматоров по модулю  $p_j$  поступают с первого входа блока аппроксимации значения  $|\bar{z}_i|_{p_j}$ , выходы первых сумматоров по модулю  $p_j$  соединены с входами блока вычисления функции Хевисайда, выход которой соединен с управляющим входом многовходового мультиплексора, на вторые входы умножителей по модулю  $p_j$  поступают с второго входа блока аппроксимации значения  $|u_i|_{p_j}$ , выходы умножителей по модулю  $p_j$  соединены с первыми входами соответствующих  $n$  вторых сумматоров по модулю  $p_j$ , вторые входы которых соединены с третьим входом блока аппроксимации, на который поступают значения  $|v_i|_{p_j}$ , выходы вторых сумматоров по модулю  $p_j$  соединены с первым информационных входом многовходового мультиплексора, на вторые входы которого подаются нули, а выходы являются выходом блока аппроксимации.

## Устройство для кусочно-линейной аппроксимации сигмoиды



Фиг. 1. Структурная схема устройства

### Устройство для кусочно-линейной аппроксимации сигмоиды



Фиг. 2. Структурная схема блока аппроксимации

**ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ**

(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

**202490930****А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:**

МПК:

**G06N 3/06** (2006.01)  
**G06F 7/72** (2006.01)  
**G06F 17/17** (2006.01)  
**G06F 7/38** (2006.01)

СПК:

**G06F 7/38**  
**G06F 17/17**  
**G06F 7/72**  
**G06N 3/06**

**Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:**Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если возможно, используемые поисковые термины)  
Google Patents, Espacenet, (ИС «Поисковая платформа» Роспатент), ЕАПАТИС**В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ**

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	CN 104484703 A (HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 2015-04-01	1
A,D	RU 2724784 C2 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)" (RU)) 2020-06-25	1
A	CN 110659015 A (INTEL CORP) 2020-01-07	1
A	RU 2731332 C1 (АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "КОНЦЕРН "СОЗВЕЗДИЕ" (RU)) 2020-09-01	1
A	RU 2747371 C1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)) 2021-05-04	1

 последующие документы указаны в продолжении графы

\* Особые категории ссылочных документов:

«А» - документ, определяющий общий уровень техники

«D» - документ, приведенный в евразийской заявке

«E» - более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее

«O» - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

"P" - документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета"

«Т» - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения

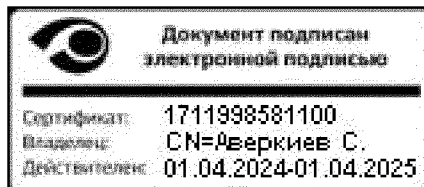
«X» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности

«Y» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории

«&amp;» - документ, являющийся патентом-аналогом

«L» - документ, приведенный в других целях

Дата проведения патентного поиска: 08 августа 2024 (08.08.2024)

Уполномоченное лицо:  
Начальник Управления экспертизы

С.Е. Аверкиев