УДК 681.3

МЕТОД ПЕРЕСЧЕТА ОРТОГОНАЛЬНЫХ БАЗИСОВ ДЛЯ МОДУЛЯРНОГО СПЕЦПРОЦЕССОРА С ДЕГРАДИРУЕМОЙ СТРУКТУРОЙ

И.А. Калмыков
(Ставропольский военный институт связи Ракетных войск, Россия)

Предложен метод и организация нейронной сети для пересчета ортогональных базисов спецпроцессора с деградируемой структурой, функционирующего в полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ).

нейронная сеть, ортогональный базис, спецпроцессор с деградируемой структурой, полиномиальная система классов вычетов

Введение. Ортогональные преобразования сигналов, определяемые над расширенными полями Галуа $GF(p^v)$, в отличии от дискретного преобразования Фурье (ДПФ) характеризуются целым рядом достоинств:

– снижением объема вычислений при их реализации;

– отсутствием в силу специфики арифметики конечных полей шума округления;

– сохранением при вычислениях ассоциативного и коммутативного законов арифметических операций суммы и умножения по модулю, а также дистрибутивного закона операции умножения по отношению к сложению.

В работах [1 – 3, 5, 6] с целью обеспечения вычислений ортогональных преобразований сигналов в реальном масштабе времени предложено использовать полиномиальную систему классов вычетов (ПСКВ). Если положить, что взаимнопростые минимальные многочлены $p_i(z)$, $i = \overline{1, n}$, определяемые в расширенном поле Галуа $GF(p^v)$, являются основаниями ПСКВ, то любой полином $A(z)$, принадлежащий диапазону $P_{полн}(z)$, где

$$P_{полн}(z) = \prod_{i=1}^{n} p_i(z), \tag{1}$$

можно однозначно представить в виде n-мерного вектора

$$A(z) = (\alpha_1(z), \alpha_2(z), \ldots, \alpha_n(z)), \tag{2}$$

где $\alpha_i(z) \equiv A(z) \bmod p_i(z)$, $i = \overline{1, n}$.

Модульные операции являются важнейшими характеристиками ПСКВ и позволяют существенно повысить быстродействие таких операций как сложение, умножение и вычитание. Так как сравнения по одному и тому же модулю можно почленно складывать, вычитать и умножать [4, 7], то для суммы, разности и произведения двух полиномов $A(z)$ и $B(z)$, имеющих соответственно модулярные коды $(\alpha_1(z), \alpha_2(z), \dots, \alpha_n(z))$ и $(\beta_1(z), \beta_2(z), \dots, \beta_n(z))$ справедливы соотношения:

$$\left|A(z)+B(z)\right|^+_{p(z)} = \left(\left|\alpha_1(z)+\beta_1(z)\right|^+_{p_1(z)}, \left|\alpha_2(z)+\beta_2(z)\right|^+_{p_2(z)}, \dots, \left|\alpha_n(z)+\beta_n(z)\right|^+_{p_n(z)}\right); \quad (3)$$

$$\left|A(z)-B(z)\right|^+_{p(z)} = \left(\left|\alpha_1(z)-\beta_1(z)\right|^+_{p_1(z)}, \left|\alpha_2(z)-\beta_2(z)\right|^+_{p_2(z)}, \dots, \left|\alpha_n(z)-\beta_n(z)\right|^+_{p_n(z)}\right); \quad (4)$$

$$\left|A(z)\cdot B(z)\right|^+_{p(z)} = \left(\left|\alpha_1(z)\cdot\beta_1(z)\right|^+_{p_1(z)}, \left|\alpha_2(z)\cdot\beta_2(z)\right|^+_{p_2(z)}, \dots, \left|\alpha_n(z)\cdot\beta_n(z)\right|^+_{p_n(z)}\right). \quad (5)$$

Таким образом, выполнение операций над операндами в расширенном поле Галуа $GF(p^\nu)$ производятся независимо по каждому из модулей $p_i(z)$, что указывает на параллелизм данной алгебраической системы.

Параллельная и независимая обработка информации в вычислительных каналах, модульность представления данных служат идеальной основой для построения корректирующих кодов ПСКВ.

Если на диапазон возможного изменения кодируемого множества полиномов наложить ограничения, т.е. выбрать k из n оснований ПСКВ ($k < n$), то это позволит осуществить разбиение полного диапазона $P_{полн}(z)$ расширенного поля Галуа $GF(p^\nu)$ на два непересекающихся подмножества.

Первое подмножество называется рабочим диапазоном и определяется выражением

$$P_{раб}(z) = \prod_{i=1}^{k} p_i(z). \quad (6)$$

Многочлен $A(z)$ с коэффициентами из поля $GF(p)$ будет считаться разрешенным в том и только том случае, если он является элементом нулевого интервала полного диапазона $P_{полн}(z)$, т.е. принадлежит рабочему диапазону $A(z) \in P_{раб}(z)$.

Второе подмножество $GF(p^\nu)$, определяемое произведением $r = n - k$ контрольных оснований

$$P_{конт}(z) = \prod_{i=k+1}^{k+r} p_i(z), \quad (7)$$

задает совокупность запрещенных комбинаций. Если $A(z)$ является элементом второго подмножества, то считается, что данная комбинация содержит ошибку. Таким образом, местоположение полинома A(z) относительно двух данных подмножеств позволяет однозначно определить, является ли кодовая комбинация $A(z) = (\alpha_1(z), \alpha_2(z), \ldots, \alpha_n(z))$ разрешенной, или она содержит ошибочные символы.

Интересной особенностью нейронного спецпроцессора цифровой обработки сигнала (СП ЦОС), с точки зрения надежности, является потенциальная возможность функционирования данного устройства при отказах некоторых его вычислительных трактов. Это позволяет сохранить работоспособность за счет снижения в допустимых пределах таких показателей как быстродействие и точность вычислений.

Известно [4 – 6], что время необходимое для выполнения немодульной операции пропорционально логарифму числа информационных оснований, т.е. числа оснований, определяющих точность вычислений. Переходя к вычислениям с меньшей точностью можно повысить быстродействие СП. Если некоторая упорядоченная система классов вычетов расширяется путем добавления l оснований, каждое из которых больше основания исходной, то минимальное кодовое расстояние d_{min} автоматически увеличивается на величину не менее чем l. Того же эффекта можно добиться, уменьшая число информационных оснований, т.е. переходя к вычислениям с меньшей точностью. Следовательно, между корректирующими возможностями кодов системы классов вычетов и точностью вычислений существует обратно пропорциональная зависимость. На одном и том же СП можно одни и те же вычисления выполнять с высокой точностью, но с меньшей информационной надежностью или с меньшей точностью, но с более высокими значениями надежности и скорости. Таким образом, вычислительная система классов вычетов обладает свойством, позволяющим ей гибко использовать резервы точности и надежности при наличии ограничений на увеличение веса, габаритов и стоимости цифрового устройства. Следовательно, хорошие реализационные свойства вышеуказанной особенности непозиционной системы классов вычетов, заключающейся в возможности варьирования точностью, производительностью и корректирующими способностями, представляют собой идеальную основу для разработки высокоэффективных методов реконфигурации вычислительных устройств ЦОС классов вычетов. В этом случае преимущества модулярной арифметики будут реализованы наиболее полно как в направлении обеспечения высокой отказоустойчивости, так и в направлении повышения производительности функционирования спецпроцессоров ЦОС, при условии существовании высокоэффективных методов пересчета ортогональных базисов.

В работе [5] представлен алгоритм пересчета оснований ортогональных базисов для системы остаточных классов (СОК). Рассмотрим реализацию данного алгоритма для полиномиальной системы классов вычетов. Известно, что каждый набор оснований модулярного кода характеризуется константами, основными из которых являются ортогональные базисы. При расширении системы оснований необходимо осуществить пересчет ортогональных базисов $B_i^*(z), i = 1, 2, \dots, k+1$, при заданных начальных значениях $B_i(z), i = 1, 2, \dots, k$ системы оснований $p_1, p_2, \dots, p_k$.

Используя свойство сравнимости ортогональных базисов по модулю каждого из основания $p_i(z)$, имеем

$$m_i^* P_i^* \equiv m_i P_i (\mathrm{mod}\, p_i), \tag{8}$$

где m_i и m_i^* – вес ортогонального базиса в безизбыточной и расширенной системе оснований соответственно.

Так как ортогональные базисы расширенной системы оснований $B_i^*(z)$ и значения $P_i^*(z) = P(z)/p_i(z)$ являются взаимно простыми с основанием $p_i(z)$, то выражение (8) можно переписать в виде

$$m_i^* = m_i \left| \frac{P_i}{P_i^*} \right|_{p_i}^+. \tag{9}$$

С учетом того, что $P_i^* = P_i \cdot p_{к+1}$, получаем

$$m_i^* = \left| \frac{m_i}{p_{к+1}} \right|_{p_i}^+. \tag{10}$$

Тогда, используя равенство (10) можно определить величину ортогонального базиса расширенной системы оснований

$$B_i^* = \frac{p^*}{p_i} \left| \frac{m_i}{p_{к+1}} \right|_{p_i}^+. \tag{11}$$

Поскольку значения $\left| \frac{1}{p_{к+1}} \right|^+$ и $P_i^* = \frac{P^*}{p_i}$ можно вычислить заранее, то для реализации равенства (11) достаточно двухслойной НС, структура которой приведена на рис. 1. Нейронная сеть работает следующим образом. На вход сети поступают веса ортогональных базисов $m_1(z), \dots, m_k(z)$ расширенной системы оснований, которые затем умножаются на значения $\left| p_{к+1}^{-1} \right|_{p_I}^+$, $i = \overline{1, k}$, и преобразуются по модулю

$p_i(z)$. Базисы расширенной системы оснований $B_i^*(z)$ вычисляются путем умножения полученных значений на $P_i^*(z)$.

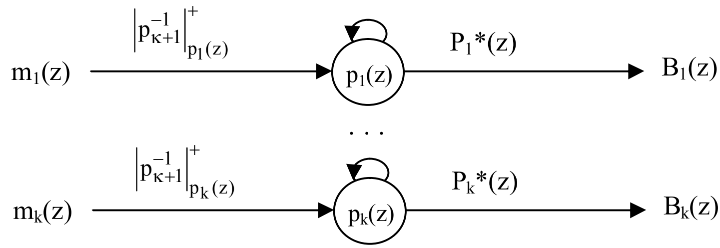

Рис. 1. Нейронная сеть, осуществляющая пересчет ортогональных базисов при изменении ПСКВ

Пример 1. Произвести пересчет ортогональных базисов кода ПСКВ поля $GF(2^4)$, заданного $p_1(z) = z+1$; $p_2(z) = z^2+z+1$; $p_3(z) = z^4+z^3+z^2+z+1$. Дополнительный модуль для выбранной системы $p_4(z) = z^4+z^3+1$.

Для исходной нерасширенной ПСКВ определяем значения ортогональных базисов и их веса:

$$B_1(z) = z^6+z^4+z^3+z^2+z+1; \quad m_1(z)=1; \; B_2(z) = z^6+z^5+z+1; \quad m_2(z) = z+1;$$

$$B_3(z) = z^5+z^4+z^3+z^2+z+1; \quad m_1(z) = z^2+z+1.$$

Полный диапазон расширенной ПСКВ составит

$$P^*(z) = \prod_{i=1}^{4} p_i(z) = (z+1)\cdot(z^2+z+1)\cdot(z^4+z^3+z^2+z+1)\cdot(z^4+z^3+1) =$$

$$= z^{11}+z^8+z^7+z^5+z^3+z^2+z+1.$$

Вычислим значения $\left|p_4^{-1}(z)\right| \bmod p_i(z)$ где i = 1, 2, 3. Имеем

$$\left|p_4^{-1}(z)\right|_{z+1}^{+} = 1; \; \left|p_4^{-1}(Z)\right|_{z^2+z+1}^{+} = z+1; \; \left|p_4^{-1}(z)\right|_{z^4+z^3+z^2+z+1}^{+} = z^2+1.$$

Определим значения $P_i^*(z)$ для i = 1, 2, 3.

$$P_1^*(z) = z^{10}+z^9+z^8+z^6+z^5+z^4+z^2+1;$$

$$P_2^*(z) = z^9+z^8+z^5+z^4+z^3+1; \; P_3^*(z) = z^7+z^6+z^4+1.$$

Подставим полученные значения в (11). Получаем

$$B_1(z) = (z^{10}+z^9+z^8+z^6+z^5+z^4+z^2+1)\cdot\left|1\cdot 1\right|_{Z+1}^{+} =$$

$$= z^{10}+z^9+z^8+z^6+z^5+z^4+z^2+1;$$

$$B_2(z) = (z^9 + z^8 + z^5 + z^4 + z^3 + 1) \cdot \left|(z+1)\cdot(z+1)\right|^{+}_{Z^2+Z+1} =$$
$$= z^{10} + z^9 + z^6 + z^5 + z^4 + z;$$
$$B_3(z) = (z^7 + z^6 + z^4 + 1) \cdot \left|(z^2+z+1)\cdot(z^2+1)\right|^{+}_{Z^4+Z^3+Z^2+Z+1} = z^9 + z^8 + z^6 + z^2.$$

Проведенный анализ показал, что представленный алгоритм обладает меньшей вычислительной способностью по сравнению с прямым методом вычисления ортогональных базисов за счет использования значений ортогональных базисов расширяемой системы оснований. Однако, его реализация при разработке живучих вычислительных устройств вызывает ряд трудностей, вызванных необходимостью введения и использования дополнительного основания. Устойчивость структуры вычислительного устройства к дефектам аппаратуры и программ обеспечивает возможность работы процессора в режиме постепенной деградации. Указанное свойство обеспечивает высокую живучесть СП и является одним из основных факторов, на которых базируются разработки способов построения систем, способных деградировать постепенно.

Необходимым элементом, обеспечивающим функционирование такого процессора, обладающего свойством живучести, является наличие эффективного алгоритма пересчета ортогональных базисов. Задача пересчета сводится к преобразованию ортогональных векторов $B_i(z)$, где $i = \overline{1,k}$ из пространства $P_k(z) = \prod_{i=1}^{k} p_i(z)$, в ортогональные базисы $B_j^*(z)$, $j = \overline{1,k-1}$, определяемые диапазоном $P_{k-1}(z) = \prod_{j=1}^{k-1} p_j(z)$.

Для осуществления перевода из непозиционного кода ПСКВ в двоичный позиционный код необходимо выполнение следующего условия:

$$B_1 = (1,\ 0,\ \ldots,\ 0);\ \ B_2 = (0,\ 1,\ \ldots,\ 0);\ B_k = (0,\ 0,\ \ldots,\ 1). \qquad (12)$$

Известно, что для получения значения ортогонального базиса $B_i(z)$, $i = \overline{1,k}$, необходимо определить значение $P_i(z)$, которое задается следующим выражением:

$$P_i(z) = \frac{P_{\text{полн}}(z)}{p_i(z)} = \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{k} p_l(z). \qquad (13)$$

Затем для выполнения условия (12) осуществляется определение веса ортогонального базиса $m_i(z)$, такого, что

$$B_i(z) = m_i(z) P_i(z) \equiv 1 \bmod p_i(z). \qquad (14)$$

Исходя из условия (13) выражение (14) можно представить в виде

$$B_i(z) = \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{k} m_l(z) p_l(z), \tag{15}$$

где $m_l(z)$ – вес l-го основания ПСКВ, определяемый соотношением

$$m_l(z) = \frac{1}{p_l(z)} \mod p_i(z).$$

Таким образом, очевидно, что для выполнения условия (14) необходимо соблюдение следующего равенства

$$m_i(z) = \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{k} m_l(z) \mod p_l(z). \tag{16}$$

В табл. 1 представлены значения $m_l(z)$, т.е. обратных величин оснований $p_l(z)$ по модулю $p_i(z)$ для поля $GF(2^4)$.

Таблица 1

Значения весов $m_l(z)$ для поля $GF(2^4)$

	$p_1(z)$	$p_2(z)$	$p_3(z)$	$p_4(z)$	$p_5(z)$
$m_1(z)$	–	1	1	1	1
$m_2(z)$	z	–	z	$z+1$	1
$m_3(z)$	z^3+z	z^3+1	–	z^2+1	z^3+z^2+1
$m_4(z)$	z^3	z^3+z+1	z^2	–	z^3+z^2+z+1
$m_5(z)$	z^3+z^2+z	z^2+z	z^3+z	z^3+z^2	–

Пример 2. Необходимо вычислить значения ортогональных базисов полиномиальной системы классов вычетов, задаваемой в поле $GF(2^4)$.

Согласно (13) определяем значения $P_i(z)$:

$P_1(z) = z^{14} + z^{13} + z^{12} + z^{11} + z^{10} + z^9 + z^8 + z^7 + z^6 + z^5 + z^4 + z^3 + z^2 + z + 1;$

$P_2(z) = z^{13} + z^{12} + z^{10} + z^9 + z^7 + z^6 + z^4 + z^3 + z + 1;$

$P_3(z) = z^{11} + z^{10} + z^6 + z^5 + z + 1;$

$P_4(z) = z^{11} + z^{10} + z^9 + z^8 + z^6 + z^4 + z^3 + 1;$

$P_5(z) = z^{11} + z^8 + z^7 + z^5 + z^3 + z^2 + z + 1.$

Для выполнения условия (12) вычислим значения весов ортогональных базисов. Получаем:

$$m_1(z) = 1;$$
$$m_2(z) = z;$$
$$m_3(z) = z^3 + z;$$
$$m_4(z) = z^3;$$
$$m_5(z) = z.$$

Определим значения $m_i(z)$, воспользовавшись равенством (14). Тогда:

$m_1(z) = 1;$

$m_2(z) = z^2(z + 1)\mathrm{mod}(z^2 + z + 1) = z;$

$m_3(z) = [(z^3 + z)(z^3 + 1)(z^2 + 1)(z^3 + z^2 + 1)]\mathrm{mod}(z^4 + z^3 + z^2 + z + 1) = z^3 + z;$

$m_4(z) = [z^5(z^3 + z + 1)(z^3 + z^2 + z + 1)]\mathrm{mod}(z^4 + z^3 + 1) = z^3;$

$m_5(z) = [(z^3 + z^2 + z)(z^3 + z)(z^2 + z)(z^3 + z^2)]\mathrm{mod}(z^4 + z + 1) = z.$

Полученные данные совпадают с контрольным просчетом.

Рассмотрим процедуру постепенной деградации структуры непозиционного процессора ПСКВ. Допустим, что в процессе функционирования отказало последнее основание $p_5(z) = z^4 + z + 1$. Тогда диапазон представления входных данных составит

$$P^{1234}(z) = z^{11} + z^8 + z^7 + z^5 + z^3 + z^2 + z + 1.$$

При этом ортогональные базисы и соответствующие им веса составят:

$B_1^{1234}(z) = z^{10} + z^9 + z^8 + z^6 + z^5 + z^2 + 1;\quad m_1^{1234}(z) = 1;$

$B_2^{1234}(z) = z^{10} + z^9 + z^6 + z^5 + z^4 + z;\quad m_2^{1234}(z) = z;$

$B_3^{1234}(z) = z^9 + z^8 + z^6 + z^2;\quad m_3^{1234}(z) = z^2;$

$B_4^{1234}(z) = z^9 + z^6 + z^4 + z;\quad m_4^{1234}(z) = z^2 + z.$

Воспользуемся выражением (14) и данными представленными в табл. 1. Получаем:

$P_1^{1234}(z) = z^{10} + z^9 + z^8 + z^6 + z^5 + z^2 + 1;\quad m_1^{1234}(z) = 1;$

$P_2^{1234}(z) = z^9 + z^8 + z^5 + z^4 + z^3 + 1;$

$m_2^{1234}(z) = [z^2(z + 1)]\mathrm{mod}\ z^2 + z + 1 = z;$

$P_3^{1234}(z) = z^7 + z^6 + z^4 + 1;$

$m_3^{1234}(z) = [(z^3 + z)(z^3 + 1)(z^2 + 1)]\mathrm{mod}(z^4 + z^3 + z^2 + z + 1) = z^2;$

$P_4^{1234}(z) = z^7 + z^6 + z^5 + z^2 + z + 1;$

$m_1^{1234}(z) = [z^5(z^3 + z + 1)]\mathrm{mod}(z^4 + z^3 + 1) = z^2 + z.$

Осуществив произведение $P_i^{1234}(z)$ на $m_i^{1234}(z)$ получаем пересчет ортогональных базисов в новой системе оснований, которые совпадают с представленными ранее.

Проведем дальнейшую деградацию структуры непозиционного процессора ПСКВ. Допустим, что в процессе дальнейшего функционирования отказало четвертое основание $p_4(z) = z^4 + z^3 + 1$. Тогда диапазон представления входных данных составит

$$P^{1234}(z) = z^7 + z^6 + z^5 + z^2 + z + 1.$$

При этом ортогональные базисы и соответствующие им веса составят:

$B_1^{123}(z) = z^6 + z^4 + z^3 + z^2 + 1;\quad m_1^{123}(z) = 1;$

$B_2^{123}(z) = z^6 + z^5 + z + 1;\quad m_2^{123}(z) = z + 1;$

$B_3^{123}(z) = z^5 + z^4 + z^3 + z^2 + z + 1;\quad m_3^{123}(z) = z^2 + z + 1.$

Воспользуемся выражением (14) и данными, представленными в табл. 1. Получаем:

$P_1^{123}(z) = z^6 + z^4 + z^3 + z^2 + 1;\ \ m_1^{123}(z) = 1;$
$P_2^{123}(z) = z^5 + 1;\ \ m_2^{123}(z) = z^2 \bmod z^2 + z + 1 = z + 1;$
$P_3^{123}(z) = z^3 + 1;$

$$m_3^{123}(z) = [(z^3 + z)(z^3 + 1)]\bmod(z^4 + z^3 + z^2 + z + 1) = z^2 + z + 1.$$

Осуществив произведение $P_i^{123}(z)$ на соответствующее значение $m_i^{123}(z)$ получаем пересчет ортогональных базисов в новой системе оснований, которые совпадают с представленными ранее.

Таким образом, очевидна эффективность представленного метода пересчета ортогональных базисов для непозиционных процессоров полиномиальной системы классов вычетов с деградируемой структурой.

Техническая реализация процедуры пересчета ортогональных базисов довольно успешно осуществляется на основе нейросетевого базиса. Общий метод построения устройства вычисления веса ортогонального базиса $m_i^k(z)$ заключается в следующем. Если положить, что в представлении структуры СП ПСКВ значение $g_i = 1$ интерпретируется как работоспособное состояние вычислительного канала $p_i(z)$, где $i = 1, 2, \dots, k$, а $g_i = 0$ – как неработоспособное состояние, то двоичное представление входного вектора $G = \{g_1, g_2, \dots ,g_k\}$, где $g_i = \{0, 1\}$, соответствует текущему состоянию деградируемого вычислительного устройства.

Анализ выражения (16) показывает, что данная математическая модель определения позиционной характеристики может быть реализована на основе двухслойной нейронной сети прямого распространения.

Первый слой нейронной сети содержит H_1 нейронов предназначенных для приема исходной комбинации ПСКВ и определяется числом минимальных многочленов, определяемых в данном поле $GF(p^v)$. Нейроны входного слоя не выполняют вычислительных функций, а служат лишь для разветвления входов.

Выходы первого слоя нейронов подаются на соответствующие входы нейронов второго слоя, количество которых определяется как

$$H_2 = \sum_{i=1}^{k} \operatorname{ord} p_i(z), \qquad (17)$$

где $\operatorname{ord} p_i(z)$ – степень i-го полинома.

Каждый нейрон данного слоя реализует базовую операцию суммирование по модулю два «взвешенных» выходных сигналов поступающих от первого слоя НС. Синоптические веса ω_{ij} в этом случае равны единице.

Для удобства построения нейронной сети, реализующей вычисление нормированного следа, воспользуемся системой пространственных координат нейронов [8]. Данная система считается заданной, если определены порядки на множестве значений рецепторного поля и множестве значений аксонов в слоях нейронной сети. В этом случае в m-м слое НС каждому рецептору присваивается порядковый номер u, где $u \in (1, 2, \ldots, N)$, а каждому аксону – порядковый номер q, такой что $q \in (1, 2, \ldots, M)$, где N – полное число рецепторов в слое, а M – число нейронов. Тогда топологию сети удобно представить в виде матрицы, у которой номер строки соответствует глобальному номеру нейрона входного слоя, а столбец – глобальному номеру нейрона второго слоя. На пересечении i-ой строки и j-го столбца указаны синаптические веса ω_{ij} данной связи. Для расширенного поля Галуа $GF(2^4)$ топологические матрицы нейронов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Топологические матрицы нейронов второго слоя для устройства вычисления веса базиса в СП ПСКВ

$p_2(z) = z^2 + z + 1$	$p_3(z) = z^4 + z^3 + z^2 + z + 1$	$p_4(z) = z^4 + z^3 + 1$	$p_5(z) = z^4 + z + 1$
$T_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$T_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$T_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$T_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Единицами отмечены ненулевые значения синаптических весов. На основании топологических матриц разработаны структуры НС, реализующих определение веса ортогонального базиса по основаниям ПСКВ при деградации структуры непозиционного процессора из-за возникновения отказов вычислительных модулей.

Для исследования процесса пересчета ортогональных базисов в деградируемом спецпроцессоре ПСКВ поля $GF(2^4)$ была разработана математическая модель нейронной сети. Проведенные исследования показали, что применение представленного метода позволяет синтезировать живучие непозиционные вычислительные структуры, сохраняющие работоспособное состояние за счет снижения в допустимых пределах основных показателей качества функционирования при возникновении отказов вычислительных трактов.

Выводы. На основании проведенного анализа показано, что коды полиномиальной системы классов вычетов обладают потенциальными возможностями для организации живучих вычислительных систем, способных путем реконфигурации структуры сохранять работоспособное состояние при возникновении отказов вычислительных трактов. Разработана математическая модель пересчета ортогональных базисов при деградации структуры СП полиномиальной системы классов вычетов. Представлена нейронная реализация данной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Калмыков И.А., Червяков Н.И., Щелкунова Ю.О., Бережной В.В. Математическая модель нейронных сетей для исследования ортогональных преобразований сигналов в расширенных полях Галуа // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2003. – № 6. – С. 61 – 68.*
2. *Калмыков И.А., Червяков Н.И., Щелкунова Ю.О., Бережной В.В. Математическая модель нейронной сети для коррекции ошибок в непозиционном коде расширенного поля Галуа // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2003. – № 8 – 9. – С. 10 – 16.*
3. *Калмыков И.А., Щелкунова Ю.О., Гахов В.Р., Шилов А.А. Математическая модель коррекции ошибок в полиномиальной системы классов вычетов на основе определения корней интервального полинома // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2003. – Т. 6, № 5. – С. 30 – 34.*
4. *Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.*
5. *Элементы применения компьютерной математики и нейроинформатики / Н.И. Червяков,И.А. Калмыков И.А., В.А. Галкина, Ю.О. Щелкунова, А.А. Шилов; Под ред. Н.И. Червякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 216 с.*
6. *Калмыков И.А., Щелкунова Ю.О., Гахов В.Р. Применение ПСКВ для повышения отказоустойчивости биометрических систем аутентификации // Известия ТРТУ. Тематический выпуск. Материалы V Межд. НПК «Информационная безопасность». – Таганрог: ТРТУ. – 2003. – № 4. – С. 151 – 155.*
7. *Калмыков И.А., Щелкунова Ю.О. Математическая модель вычисления коэффициентов обобщенной полиадической системы $GF(p^v)$ на основе нейронной сети // Тез. докл. и сообщ. II Межд. НТК «Физика и технические приложения волновых процессов». – Самара. – 2003. – С. 146.*
8. *Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2001. – 288 с.*

Поступила 25.05.2005

Рецензент: доктор технических наук, профессор Н.И. Червяков,
Ставропольский военный институт связи Ракетных войск, Россия.