

$$C_{k+1} = C_k - \Delta Q i S \left(\left(\left| \arg(y_k) - \frac{\pi}{4} \right| \bmod \left(\frac{\pi}{2} \right) - \frac{\pi}{4} \right)^{Q-1} \frac{1}{|y_k|^2} y_k X_k^* - 2\Delta p \left(|y_k|^p - R_p \right) |y_k|^{p-2} y_k X_k^* \right), \quad (5)$$

где $S = 1$ при $\arg(y_k) - \frac{\pi}{4} \geq 0$; $S = -1$ при $\arg(y_k) - \frac{\pi}{4} < 0$; i – комплексное число: $\text{Re}(i)=0$; $\text{Im}(i)=1$.

На основании функции стоимости (4) подстройка вектора ВК осуществляется по формуле:

$$C_{k+1} = C_k - \Delta Q i S \left(\left(\left| \arg(y_k) - \frac{\pi}{2} \right| \bmod \left(\frac{\pi}{2} \right) - \frac{\pi}{4} \right)^{Q-1} \frac{1}{|y_k|^2} y_k X_k^* - 2\Delta p \left(|y_k|^p - R_p \right) |y_k|^{p-2} y_k X_k^* \right). \quad (6)$$

Для предлагаемого алгоритма определен следующий порядок обработки отсчетов входного ММС-сигнала:

1. На границах соседних информационных символов применяется формула (5).
2. В середине информационных символов применяется формула (6).

3. Для остальных отсчетов применяется формула (2).

Оценивать качество восстановления адаптивным выравнителем переданного сигнала, искаженного каналом распространения, предлагается по следующему алгоритму:

$$Q_{AB} = \left\langle \arg \left(\frac{s_{k-d}}{y_k e^{-j\varphi_{AB}}} \right)^2 \right\rangle, \quad (7)$$

где Q_{AB} – показатель качества восстановления; s_{k-d} – отсчет исходного сигнала, задержанный на d тактов для совмещения исходной и восстановленной последовательности; y_k – отсчет на выходе АВ; φ_{AB} – фазовый сдвиг, вносимый АВ.

В данном алгоритме идеальное восстановление сигнала достигается при $Q_{AB} = 0$.

Результаты исследования алгоритма (7) при компьютерном моделировании представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка качества восстановления сигнала адаптивным выравнителем

E/N ₀ , dB	Алгоритм выравнивания Годара (p = 4)	Предложенный алгоритм выравнивания (Q = 4; p = 4)
20	0.0676	0.0553
19	0.0741	0.0597
18	0.0827	0.0694

Из таблицы 1 видно, что предложенный алгоритм выравнивания, показал более высокое качество восстановления сигнала АВ согласно предложенному критерию (7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Dominique N. Godard Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems // IEEE Transactions on communications, Vol. COM-28, №11, Nov. 1980. – PP. 1867-1875.

**НЕЙРОСЕТЕВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
ВЫЧИСЛЕНИЙ В ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ
СИСТЕМЕ КЛАССОВ ВЫЧЕТОВ**

Тимошенко Л.И.
Ставропольский военный институт связи
Ракетных войск
Ставрополь, Россия

Использование методов цифровой обработки сигналов позволяет относительно легко обеспечить высокую помехоустойчивость систем обработки данных, необходимую точность и разрешающую способность, стабильность параметров тракта обработки информации и ряд других преимуществ [1,2,3]. Достоинства цифровых методов представления, обработки, передачи и хранения информации, бурное развитие элементной базы – все это способствует тому, что цифровые методы обработки и передачи информации стали

основным направлением развития систем связи и других инфокоммуникационных систем. Применение новых математических моделей реализации ортогональных преобразований в алгебраических модульных системах позволит не только повысить скорость и точность обработки сигналов, но и обеспечить отказоустойчивость вычислительного устройства цифровой обработки сигналов (ЦОС).

Для повышения реализации задач ЦОС целесообразно обработку одномерных сигналов свести к обработке многомерных сигналов. Отправной точкой при решении данной проблемы является изоморфизм, порожденный теоремой теории чисел – китайской теоремой об остатках. Данный изоморфизм позволяет представить любой элемент кольца Z_M в виде совокупности элементов конечных полей $GF(p_i)$.

Дальнейшим обобщением ортогональных преобразований над прямой суммой полей $GF(p_i)$ являются преобразования, определенные над расширенным полем Галуа $GF(p^v)$.

Выполнение операций над операндами в расширенном поле Галуа $GF(p_i)$ производится независимо по каждому из модулей $p_i(z)$, что указывает на параллелизм данной алгебраической систем. Удачный выбор математической модели системы ЦОС, введение определенных архитектурных особенностей алгебраической системы позволяет добиться одинаковых технико-экономических показателей при использовании дешевой менее быстродействующей элементной базы по сравнению с простым переходом на более быстродействующую элементную базу без оптимизации математической модели и структуры системы ЦОС.

Согласно [1, 2, 3] ортогональные преобразования базируются на операциях по модулям полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ) в расширенных полях Галуа $GF(2^v)$. Поэтому эффективная реализация модульных операций во многом определяет эффективность реализации системы ЦОС в целом. Анализ показывает, что модулярный сумматор и модулярный умножитель, реализованные в нейросетевом базисе состоят из двух слоев, содержащих не более V нейронов в каждом слое. Входной слой в вычислениях участия не принимает, а предназначается для приема значений операндов и распределения входных данных на рецепторные поля нейронов второго слоя согласно матрице синаптических весов. Характерной чертой рассмотренных устройств, реализующих операции конечных алгебраических систем является наличие многовходовых сумматоров по модулю два. Исходя из

данной структурной особенности, можно сформулировать основные требования к нейронной сети (НС), выполняющей эту базовую операцию. Учет этих особенностей окончательно определяет структуру аппаратных средств, реализующих модульные операции в ПСКВ:

- использование параллелизма, причем распараллеливание должно производиться на уровне побитовой обработки входного вектора;
- применение конвейерной организации вычисления;
- отказ от принципа рекуррентной редукции, от обратных связей в структуре нейронной сети конечного кольца;
- количество итераций в процессе выполнения операции должно быть минимальным;
- количество нейронов в слоях нейронной сети должно быть минимальным, обеспечивая требуемую скорость обработки входного вектора.

В работе [2] показана процедура создания двухвходового элемента сумматора по модулю два. Основным недостатком построения сумматора по модулю 2 на основе персептрона является сложность наращивания входной мощности устройства, т.е. увеличения числа разрядов входного вектора. Решением данной проблемы служит каскадная организация вычислительного устройства. Но обладая хорошими реализационными параметрами, каскадная схема характеризуется и рядом недостатков. Основной недостаток рассмотренного сумматора – низкая скорость обработки входных данных.

Повысить производительность НС можно за счет перехода к двухслойной структуре нейронной сети. Обладая хорошими скоростными показателями, данная модель НС характеризуется значительными аппаратными затратами, что негативно сказывается на надежности работы всего арифметического устройства.

Качественным скачком в решении данной проблемы может служить изменение функции активации нейронной сети. В работе [1] представлена двухслойная нейронная сеть, в которой в качестве функции активации используется треугольная функция активации. Выполнив все расчеты можно сделать вывод, что представленная нейросетевая модель сумматора по модулю два с использованием треугольной функции активации для вектора входа состоящего из n разрядов является наиболее привлекательной. При этом обеспечивается выполнение процедуры всего за две итерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Червяков Н.И., Калмыков И.А., Галкина В.А., Щелкунова Ю.О., Шилов А.А.; Элементы компьютерной математики и нейронной информатики /Под ред. Н.И. Червякова. – М.: Физматлит, 2003. – 216 с.
2. Калмыков И.А. Математические модели нейросетевых отказоустойчивых вычисли-

тельных средств, функционирующих в полиномиальной системе классов вычетов /Под ред. Н.И. Червякова – М: Физматлит, 2005.-276 с.

3. Калмыков И.А., Тимошенко Л.И., Резеньков Д.Н. Непозиционное кодирование ин-

формации в конечных полях для отказоустойчивых спецпроцессоров цифровой обработки сигналов /«Инфокоммуникационные технологии» № 3, 2007.- С 17-19.

Физико-математические науки

**НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ
МНОГОВХОДОВЫХ СУММАТОРОВ ПО
МОДУЛЮ ДВА**

Калмыков И.А., Тимошенко Л.И.
Ставропольский военный институт связи
Ракетных войск
Ставрополь, Россия

В настоящее время цифровая обработка сигналов (ЦОС) занимает основное положение в системах передачи и обработки информации. Эффективность ЦОС полностью зависит от объема вычислений, который определяется математической моделью цифровой обработки сигналов. Большое научное и практическое значение имеют вопросы выбора элементной базы для создания

современных систем ЦОС. Обеспечить высокие требования к производительности можно только за счет совместного применения нетрадиционных алгебраических систем и параллельных методов обработки информации, реализуемых на основе нейросетевых технологий. Это позволит обеспечить обработку большого массива данных в реальном масштабе времени[1,2,4].

Новым направлением в разработке сумматоров по модулю два может служить изменение функции активации нейронной сети. Предлагается использовать двухслойную нейронную сеть, в которой в качестве функции активации используется треугольная функция активации – *tribas*, согласно условия (1)

$$f(net) = \begin{cases} 0, & net < -1; \\ 1 - |net|, & -1 \leq net \leq 1; \\ 0, & net > 1. \end{cases} \tag{1}$$

Для реализации нейросетевой модели сумматора по модулю два с использованием треугольной функции активации для двухвходового вектора требуется один нейрон. Математическая модель нейронподобного сумматора по модулю два показана на рисунке 1.

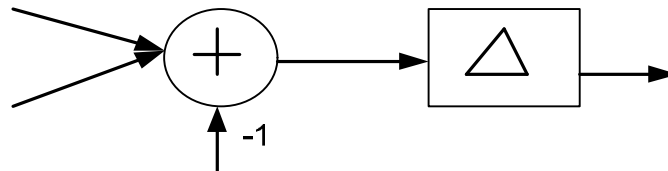


Рис. 1. Нейросетевая модель двухвходового сумматора по модулю два с использованием треугольной функции активации

В работе [3] представлен алгоритм разработки нейросетевой модели сумматора по модулю два с использованием треугольной функции активации для вектора входа состоящего из *n* элементов. Число слоев в построенной по данному алгоритму модели будет равно $N = n - 1$, число нейронов в слое рассчитывается из условия

$T_i = (n - i)$, где $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Так как для нечетного *n* число слоев будет четно, то, просуммировав попарно число нейронов первого и последнего слоя $((n - 1) + 1)$, второго и предпоследнего слоя $((n - 2) + 2)$ и т.д., получаем общее число нейронов равное

$$T = \frac{N}{2} n = \frac{1}{2} (n^2 - n) \tag{2}$$

Для четного *n* число слоев нейронной сети нечетно, следовательно, нейронная сеть содержит нейронов

$$T = \frac{N - 1}{2} n + \frac{n}{2} = \frac{1}{2} (n^2 + n). \tag{3}$$