

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И КОРРЕКЦИЯ  
ОШИБОК В КОДЕ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
КЛАССОВ ВЫЧЕТОВ, БАЗИРУЮЩИХСЯ НА  
ВЫЧИСЛЕНИИ СИНДРОМА ОШИБКИ**

*Калмыков И.А., Хайватов А.Б., Сагдеев А.К.*

Северо-Кавказский государственный технический университет

г. Ставрополь, Россия, kia762@yandex.ru

**Проблема исследований:** Одним из наиболее перспективных направлений обеспечения устойчивости к отказам является применение корректирующих кодов, обладающих свойством арифметичности. Использование полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ) позволяет обнаруживать и корректировать ошибки в процессе функционирования непозиционного спецпроцессора (СП). Разработка новых методов обнаружения и исправления ошибок в кодах ПСКВ, базирующихся на вычислении синдрома ошибки, позволит повысить эффективность функционирования СП класса вычетов.

**Решение проблемы:** Повышенные требования к качеству решения задач, например цифровой обработки сигналов, предопределили новый этап в развитии математических моделей, обеспечивающих параллельную обработку. Среди таких систем особое место занимает полиномиальная система классов вычетов (ПСКВ), которая относится к параллельным вычислительным системам. В данной алгебраической системе, входные отсчеты  $A(z)$ , представленные в полиномиальной форме, приводятся к виду

$$A(z) = (a_1(z), a_2(z), \mathbf{K}, a_n(z)), \quad (1)$$

где  $a_i(z) \equiv A(z) \bmod p_i(z)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Наряду с высоким быстродействием, обусловленным малоразрядностью остатков и модульностью вычислений, полиномиальная система классов вычетов обладает способностью обеспечивать устойчивость к отказам вычислительным системам, функционирующим в ПСКВ [1].

Среди методов обнаружения и коррекции ошибок в модулярных кодах особое место занимает метод, базирующийся на вычислении синдрома ошибок

по контрольным основаниям [1,2]. В основу данного метода положено определение разности между значениями остатков  $a_{k+1}(z), a_{k+2}(z), \dots, a_{k+r}(z)$  по контрольным основаниям полинома  $A(z) = (a_1(z), \dots, a_k(z), a_{k+1}(z), \dots, a_{k+r}(z))$  и результатом вычисления остатков  $a'_{k+1}(z), a'_{k+2}(z), \dots, a'_{k+r}(z)$  с использованием рабочих оснований. Математически данный метод можно представить

$$\begin{cases} d_{k+1}(z) = |a_{k+1}(z) - a'_{k+1}(z)|_{p_{k+1}(z)}^+ \\ \mathbf{M} \\ d_{k+r}(z) = |a_{k+r}(z) - a'_{k+r}(z)|_{p_{k+r}(z)}^+ \end{cases} \quad (2)$$

где  $a'_j(z) = f(a_1(z), \dots, a_k(z))$ ;  $j = k+1, \dots, k+r$ ;  $f$  – алгоритм вычисления остатков по рабочим основаниям.

В работе [1] представлен метод расширения системы оснований ПСКВ, а так же структура устройства, реализующего (2) в расширенном поле Галуа  $GF(2^4)$ . Основным достоинством данного метода является возможность организации параллельных вычислений с использованием нейронной сети (НС) прямого распространения.

В работе [3] представлено устройство, реализованное в нейросетевом базисе, осуществляющее процедуру поиска и исправления ошибок на основе расширения системы оснований.

Устройство функционирует следующим образом. На вход устройства для обнаружения и исправления ошибок в ПСКВ подается контролируемое число, представленное в полиномиальной форме

$$A(z) = (\alpha_1(z), \alpha_2(z), \dots, \alpha_k(z), \alpha_{k+1}(z), \alpha_{k+2}(z)). \quad (3)$$

Данный вектор  $A(z) = (\alpha_1(z), \alpha_2(z), \dots, \alpha_k(z), \alpha_{k+1}(z), \alpha_{k+2}(z))$  записывается в регистр хранения. На вход первого блока вычисления синдрома подается

$$A^1(z) = (\alpha_1(z), \alpha_2(z), \dots, \alpha_k(z), \alpha_{k+1}(z)) \quad (4)$$

с образованием на его выходе сигнала

$$\delta_1(z) = (\alpha_{k+1}(z) + \alpha_{k+1}^*(z)) \bmod p_{k+1}(z). \quad (5)$$

При этом

$$\alpha_{k+1}^*(z) = \lambda^{(1)}_1 \alpha_1(z) + \lambda^{(1)}_2 \alpha_2(z) + \dots + \lambda^{(1)}_k \alpha_k(z), \quad (6)$$

где  $\lambda^{(1)}_i$  - константы системы ПСКВ.

Одновременно с этим на входы второго блока вычисления синдрома с выходов регистра подается

$$A^2(z) = (\alpha_1(z), \alpha_2(z), \dots, \alpha_k(z), \alpha_{k+2}(z)), \quad (7)$$

С образованием на выходе сигнала

$$\delta_2(z) = (\alpha_{k+2}(z) + \alpha^*_{k+2}(z)) \bmod p_{k+2}(z). \quad (8)$$

При этом

$$\alpha^*_{k+2}(z) = \lambda^{(2)}_1 \alpha_1(z) + \lambda^{(2)}_2 \alpha_2(z) + \dots + \lambda^{(2)}_k \alpha_k(z), \quad (9)$$

где  $\lambda^{(2)}_i$  - константы системы.

Величины  $\delta_1(z)$  и  $\delta_2(z)$  в двоичном виде поступают на входы блока памяти и выбирают оттуда соответствующую константу ошибки. Эта константа ошибки поступает в сумматор, где суммируется с искаженным  $A(z)$ , представленном в непозиционном виде. Исправленное представление  $A(z)$  с выхода сумматора подается на выход устройства.

**Выводы:** Применение методов вычисления синдрома ошибки, базирующихся на расширении системы оснований ПСКВ, позволяет обеспечивать надежную работу высокоскоростных параллельных вычислительных устройств в реальном масштабе времени.

### Литература

1. Калмыков И.А. Математические модели нейросетевых отказоустойчивых вычислительных средств, функционирующих в полиномиальной системе классов вычетов/ Под ред. Н.И. Червякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 276 с.
2. Калмыков И.А., Червяков Н.И., Щелкунова Ю.О., Бережной В.В. Математическая модель нейронных сетей для исследования ортогональных преобразований в расширенных полях Галуа/Нейрокомпьютеры: разработка, применение. №6, 2003. с.61-68с.
3. Калмыков И.А., Хайватов А.Б., Никульников А.С. Устройство для обнаружения и исправления ошибок в полиномиальной системе класса выче-

тов. Решение о выдаче патента (№ 2004102274/09(002159). Приоритет от  
26.01.2004. Бюл. №19 (II). с.568-569