ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО НОМЕРА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК В КОДАХ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КЛАССОВ ВЫЧЕТОВ

Калмыков И.А., Петлеваный С.В., Чипига А.А., Гахов В.Р.

Северо-Кавказский государственный технический университет, Ставрополь

Проблема исследований: Параллельная обработка данных в вычислительных трактах по модулям системы полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ) может служить базисом в реализации процедур коррекции ошибок. Разработанные алгоритмы поиска и исправления ошибок позволяют повысить эффективность функционирования спецпроцессоров (СП) ПСКВ.

Решение проблемы исследований: При решении многих практических задач цифровой обработки сигналов (ЦОС) необходимо осуществлять ортогональные преобразования. Известно, что использование математической модели ЦОС поля комплексных чисел характеризуется целым рядом недостатков, основные из которых приведены в работе [1]. В работах [2,3] предложена реализация ортогональных преобразований сигналов в полиномиальной системе классов вычетов (ПСКВ) расширенных полей Галуа $GF(2^v)$. Основным достоинством такой непозиционной арифметики является возможность организации параллельных вычислений и, следовательно, значительное повышение быстродействия вычислительного устройства ЦОС. Кроме того, применение ПСКВ позволяет сократить аппаратурные затраты необходимы на реализацию вычислительной системы [3].

Если выбрать k из n оснований ПСКВ ($k < n$), то это позволит осуществить разбиение полного диапазона $P_{полн}(z)$ расширенного поля Галуа $GF(p^n)$ на два непересекающихся подмножества. Первое подмножество называется рабочим диапазоном и определяется выражением

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

Многочлен $A(z)$ с коэффициентами из поля $GF(p)$ будет считаться разрешенным в том и только том случае, если он принадлежит $P_{раб}(z)$. Второе подмножество, определяемое произведением $r = n - k$ контрольных оснований,

$$P_{конт}(z) = \prod_{i=k+1}^{k+r} p_i(z), \tag{2}$$

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 комбинация $A(z) = (a_1(z), \ldots, a_n(z))$ разрешенной, или содержит ошибочные символы.

Особое место среди методов поиска и коррекции ошибок в процессе вычислений отводится интервальному номеру полинома согласно выражения:

$$l_{инт}(z) = \left\lfloor A(z) / P_{раб}(z) \right\rfloor. \tag{3}$$

В работе [4] представлено устройство, осуществляющее обнаружение и коррекцию ошибки в модулярном коде на основе вычисления интервального номера. В основу данного алгоритма положен алгоритм

$$l_{инт}(z) = \left| \sum_{i=1}^{k+r} a_i(z) R_i(z) + K^*(z) \right|^{+}_{P_{конт}(z)}, \tag{4}$$

где ранг определяется выражением

$$K^*(z) = \left[\sum_{j=1}^{k} a_j(z) B_j^*(z) \Big/ P_{раб}(z) \right]. \tag{5}$$

Если $l_{инт}(z) = 0$, то исходный полином $A(z)$ лежит внутри рабочего диапазона и не является запрещенным. В противном случае $A(z)$ – ошибочная комбинация.

Анализ выражения (4) показывает, что применение составного модуля $P_{коит}(z)$, с точки зрения аппаратурных затрат, является не самым оптимальным. Использование изоморфизма, порожденного КТО, позволяет перейти от одномерной обработки к многомерной. Приравнивая соответствующие значения $P_{конт}(z)$ и оснований $p_{k+1}(z), p_{k+2}(z), \ldots, p_{k+r}(z)$, получаем r преобразований

$$\begin{cases} l_{инт}^{k+1}(z) = \left| \sum_{i=1}^{k+r} a_i(z) R_i(z) + K^*(z) \right|^{+}_{p_{k+1}(z)}; \\ \vdots \\ l_{инт}^{k+r}(z) = \left| \sum_{i=1}^{k+r} a_i(z) R_i(z) + K^*(z) \right|^{+}_{p_{k+r}(z)}. \end{cases} \tag{6}$$

Основным недостатком предложенного алгоритма является вычисление ранга $K(z)$. Решить данную проблему можно за счёт модификации алгоритма (6). В основу данной модификации положено свойство – отсутствие переноса единицы из младшего разряда в старший при выполнении арифметической операции сложения двух операндов в расширенных полях Галуа $GF(2^v)$. Таким образом, величина ранга $K^*(z)$ безизбыточной системы ПСКВ $p_1(z), \ldots, p_k(z)$ определяется значением $a_i(z)$ и $B_i^*(z)$, и никоим образом не зависит от переполнения диапазона $P_{раб}(z)$. Тогда (6) примет вид:

$$\begin{cases} l_{инт}^{k+1}(z) = \left| \begin{matrix} \sum_{i=1}^{k} (a_i(z) B_i^*(z)) \bmod P_{раб}(z) + \\ + \sum_{i=k+1}^{k+r} a_i(z) R_i(z) \end{matrix} \right|^{+}_{P_{k+1}(z)} \\ \vdots \\ l_{инт}^{k+r}(z) = \left| \begin{matrix} \sum_{i=1}^{k} (a_i(z) B_i^*(z)) \bmod P_{раб}(z) + \\ + \sum_{i=k+1}^{k+r} a_i(z) R_i(z) \end{matrix} \right|^{+}_{P_{k+r}(z)} \end{cases} \tag{7}$$

Таким образом, применение выражения (7) позволяет осуществить вычисление интервального номера $l_{инт}(z)$ на основе только модульных процедур.

Выводы: В ходе выполнения работы был разработан алгоритм вычисления $l_{инт}(z)$, характеризующийся минимальными схемными затратами. Кроме того, проведенные исследования показали, что с увеличением разрядности вычислительного устройства эффективность алгоритма (24) возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вариченко Л.В. Абстрактные алгебраические системы и цифровая обработка сигналов. - Киев: Наука думка, 1986. -.247 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.61-68.

3. 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.

4. Калмыков И.А. Устройство для вычисления сумм парных произведений/Патент № 2012041 /Открытия. Изобретения. - 1994. Бюл. № 8.

ADAPTIVE ALGORITHM OF ROBUST CONTROL FOR NONLINEAR NONSTATIONARY SYSTEMS

Krasnov I.Y.
Tomsk polytechnic university;
Tomsk

Essentially important desirable property of adaptive methods of synthesis of control algorithms is robustness, which, in this case, is understand as tolerance of results to changes of conditions of measuring. Robustness of algorithms is achieved by means of indemnification of disturbances to which influence the object of control is exposed. In the present paper the synthesis algorithm of robust control for nonlinear non-stationary systems with compensation of influence of disturbances and noises is offered by parametrical adaptation of a regulator and restoration of the current condition on previous.

Assume, that the mathematical model of functioning system is described by the system of nonlinear non-stationary difference equations of a kind [1]:

$$x(k+1) = \tilde{A}(k, x(k)) \cdot x(k) + \tilde{b}(k, x(k)) \cdot u(k), \quad x(0) = x_0, \quad (1)$$

where $x(k)$ – the m-dimensional vector, which components define a state of the system in a step k; $u(k)$ – m-dimensional vector of control influences; $\tilde{A}(k)$ – the matrix of parameters of object of control with $(n \times n)$ dimension, $\tilde{b}(k)$ – the matrix of influence of control with $(n \times m)$ dimension; x_0 – the initial condition of the system at the moment of time t_0; (t_0, N) – the period of simulation; the step k corresponds to the moment of time $t_k = t_0 + k \cdot \Delta t,$ Δt – the period of quantization of a signal on time.

The cost function is [2]:

$$J = \int_{t_k}^{t_k + lp \cdot \Delta t} \Big[\left(x(t) - x_{\text{des.}}(t) \right)^T \cdot Q_{\text{cr.}} \cdot \left(x(t) - x_{\text{des.}}(t) \right) +$$

$$+ u^T(t) \cdot R^{-1}_{\text{cr.}} \cdot u(t) + u_{\text{opt.}}{}^T(t) \cdot R^{-1}_{\text{cr.}} \cdot u_{\text{opt.}}(t) \Big] dt, \quad (2)$$

where $[t_k, t_k + lp \cdot \Delta t]$ – sliding interval of optimization of predicting model of a kind:

$$x^m(j+1) = \tilde{A}(k, x(k)) \cdot x^m(j) + \tilde{b}(k, x(k)) \cdot u(k), \quad x^m(j = k) = x(k),$$
$$j = k, k+1, ..., k + lp - 1.$$

In (2) $Q_{\text{cr.}}$ – nonnegative matrix $(n \times n)$, a $R_{\text{cr.}}$ – positive matrix $(m \times m)$; $x_{\text{des.}}$ – desired state of the system; $u_{opt.}$ – optimum control, minimizing (2).

The length of the interval of optimization is calculated as follows [3]:

$$lp = 1 + ceil\left[norme(\hat{A}(k) - \tilde{A}(k)) + norme(\hat{B}(k) - \tilde{B}(k)) \right],$$

where *ceil* – the function of a rounding off of value up to an integer, *norme* – Euclid's norm of a matrix; matrixes $\hat{A}(k, \hat{x}(k)), \hat{B}(k, \hat{x}(k))$ are calculated on a condition $\hat{x}(k)$, found in result of "run" of predicting model for one step.

$$\hat{x}(k) = \hat{A}(k-1, \hat{x}(k-1)) \cdot \hat{x}(k-1) + \hat{B}(k-1, \hat{x}(k-1)) \cdot \hat{u}(k-1),$$
$$\hat{x}(0) = x(0), \ \hat{A}(0, \hat{x}(0)) = \tilde{A}(0, x(0)), \ \hat{B}(0, \hat{x}(0)) = \tilde{B}(0, x(0)).$$
$$k = 1, 2, ...$$

We synthesize the controller providing tracking property of the system to the set condition and a minimum of cost function (2). Control $K(k)$ is defined as:

$$K(k) = R^{-1}_{\text{cr.}} \cdot u_2(k),$$

where $u_2(k)$ – the solution of system of difference equations in back time:

$$x^m(j-1) = 2 \cdot x^m(j) - A(k, x(k)) \cdot x^m(j) - B(k, x(k)) \cdot u(k), \quad x^m(k + lp) = x(k + lp),$$
$$u_1(j-1) = A^T(k, x(k)) \cdot u_1(j) + \Delta t \cdot Q_{\text{cr.}} \cdot \left(x^m(j) - x_{\text{des.}}(k) \right), \quad u_1(k + lp) = x_{\text{des.}}(k + lp),$$
$$u_2(j-1) = u_2(j) + B^T(k, x(k)) \cdot u_1(j) + \Delta t \cdot R_{\text{cr.}} \cdot u(k), \quad u_2(k + lp) = 0,$$
$$j = k + lp, k + lp - 1, ..., k + 1.$$