где μ - степень приспособленности особи в популяции; W^1, W^2 - матрицы весовых коэффициентов нейтронов скрытого и выходного слоев соответственно; B^1, B^2 - вектор–столбец смещений нейронов скрытого и выходного слоя НС. Очевидно, что глобальным максимумом функции приспособленности является значение μ=0, когда для всех двоичных векторов $\overrightarrow{x^k}$ выполняется равенство $\left| y\left(\overrightarrow{x^k}\right) - S\left(\overrightarrow{x^k}\right) \right| = 0$.

При обучении нейросетевого сумматора по модулю 2 удалось изменить его архитектуру таким образом, что весовые коэффициенты и смещения нейронов стали принадлежать трехэлементному множеству {-1;0;1}. На рисунке 1 представлена структура обученного четырехвходного сумматора по модулю 2.

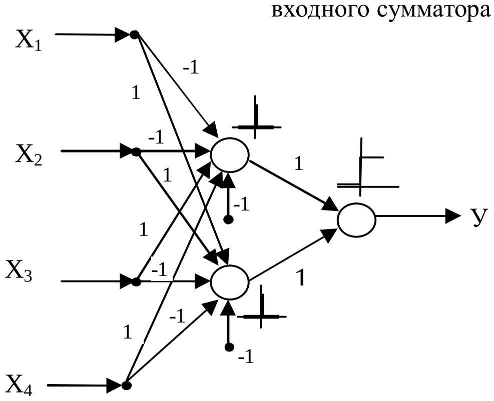

Рис. 1. Сумматор по модулю 2

В результате обучения получены следующие параметры нейронной сети

$$\begin{cases} W^1 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}; & B^1 = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix} \\ W^2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \end{pmatrix}; & B^2 = (0) \end{cases}.$$

Таким образом, очевидно, что применение генетических алгоритмов позволило улучшить структуру нейросетевого сумматора по модулю 2 за счет уменьшения динамического диапазона значений параметров НС. Кроме того, за счет анализа аргументов функции активации удалось упростить активационную функцию нейронов скрытого слоя НС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

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

2. Элементы компьютерной математики и нейроноинфроматики /Червяков Н.И., Калмыков И.А. и др.; Под ред. Н.И. Червякова. – М.: Физматлит, 2003. – 216 с.

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., Резеньков Д.Н., Тимошенко Л.И. Непозиционное кодирование для отказоустойчивых СП ЦОС //Инфокоммуникационные технологии, 2007, № 3 – С.36-38.

5. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей.: Пер. с англ.: Изд. дом «Вильямс», 2001.

6. Чипига А.Ф., Воронкин Р.А. Реализация элитного отбора в математической модели мажоритарного генетического алгоритма //Системы управления и информационные технологии №2(19). – Москва-Воронеж, Научная книга, 2005.

АЛГОРИТМЫ РЕЖЕКЦИИ УЗКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ АДАПТИВНЫМ ВЫРАВНИВАТЕЛЕМ

Пак А.А.
Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)
Москва, Россия

Одним из наиболее распространенных видов структурных помех являются узкополосные помехи, воздействие которых приводит к существенному снижению помехоустойчивости приема.

Эффективным методом борьбы со структурными помехами является применение адаптивных выравнивателей (АВ) частотной характеристики канала связи. АВ представляет собой цифровой фильтр с изменяемыми весовыми коэффициентами (ВК), перестройка которых осуществляется в соответствии с алгоритмом выравнивания.

В процессе выравнивания характеристика АВ подстраивается таким образом, чтобы подавить узкополосную помеху (рис. 1).

Представленные результаты (рис. 1.) получены с помощью алгоритма выравнивания Годара, являющегося одним из наиболее известных и эффективных критериев выравнивания без привлечения обучающей последовательности.

Алгоритм Годара подстройки вектора ВК выглядит следующим образом [1]:

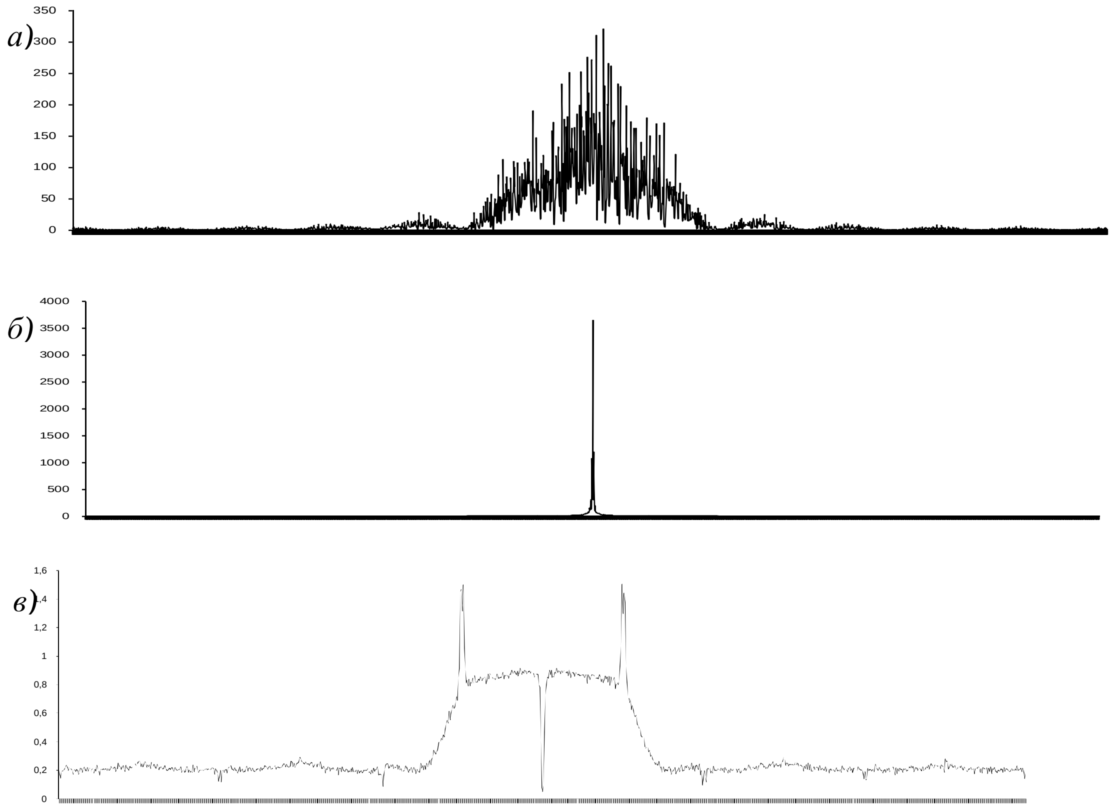

Рис. 1. Подавление узкополосной помехи АВ: *а)* амплитудный спектр полезного сигнала; *б)* амплитудный спектр узкополосной помехи; *в)* амплитудно-частотная характеристика АВ.

$$C_{k+1} = C_k - \Delta\left(\left|y_k\right|^p - R_p\right)\left|y_k\right|^{p-2} y_k X_k^*, \qquad (1)$$

где C_k – текущий вектор ВК АВ; C_{k+1} – вычисляемый вектор ВК АВ; Δ – шаг подстройки; X_k^* – вектор входных комплексно-сопряженных отсчетов; y_k – k-ый отсчет сигнала на выходе АВ; $p>0$ – целое число; R_p – положительная константа.

Алгоритм Годара (1) показывает хорошие результаты при обработке сигналов с постоянной огибающей.

На основе алгоритма Годара (1) разработан новый алгоритм выравнивания, ориентированный на структуру ММС-сигнала (манипуляция минимальным сдвигом), являющегося одним из видов семейства модулированных сигналов с непрерывной фазой (МНФ) и широко применяющегося в современных системах связи:

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

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: Re(i)=0; Im(i)=1; Q = 2,4,…; R_p – константа (R_p > 0); p = 2,4,…; y_k – k-ый отсчет сигнала на выходе АВ; X_k^* – вектор входных комплексно-сопряженных отсчетов.

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

1. На границах соседних информационных символов применяется формула (2).
2. Для остальных отсчетов применяется формула (1).

Применение предложенного алгоритма показало при компьютерном моделировании повышение помехоустойчивости приема ММС-сигнала в условиях воздействия узкополосной помехи на 1,4 дБ при вероятности ошибочной демодуляции информационного символа $1*10^{-5}$ по сравнению с известным алгоритмом Годара.

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.

КОРРЕКТИРУЮЩИЕ МОДУЛЯРНЫЕ КОДЫ С ДВУМЯ КОНТРОЛЬНЫМИ ОСНОВАНИЯМИ

Резеньков Д.Н.
Ставропольский военный институт связи Ракетных войск
Ставрополь, Россия

Известно, что применение одного контрольного основания, удовлетворяющего условию $ord\ p_{n+1}(z)\geq ord\ p_n(z)\ p_{n-1}(z)$ позволяет однозначно определить местоположение и глубину ошибки по любому рабочему основанию [1,2,3].

Введение второго контрольно основания расширяет корректирующие возможности кодов полиномиальной системы классов вычетов (ПСКВ). Существует предельная теорема, которая накладывает условия на выбор избыточных оснований. В соответствии с которой, применение двух контрольных оснований, удовлетворяющих условию $ord\ p_{n+1}(z)+ ord\ p_{n+2}(z)\geq ord\ p_n(z)\ p_{n-1}(z)$ позволяет однозначно определять местоположение и глубину однократной ошибки по любому основанию системы, при этом считается, что ошибка может исказить значение только одного разряда остатка $a_1(z)$ [1].

Но существует возможность появления и многократной ошибки по одному основанию. То есть ошибки могут появиться одновременно в разных разрядах одного модуля $p_i(z)$, где $i=1,2,3\dots$ На основании этого появляется необходимость определить возможность локализации и исправления ошибки, возникающей одновременно в разных разрядах одного основания.

На языке высокого уровня С++ разработана программа, которая позволила рассчитать интервалы распределения ошибок внутри одного основания при наличии многократной ошибки.

Проведенный анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что, используя два контрольных основания, можно исправлять многократные ошибки, возникающие в одном основании.

Рассмотрим корректирующие возможности кодов ПСКВ с очки зрения исправления ошибок, которые возникают в разных основаниях.

Пусть в системе ПСКВ с основаниями $p_1(z),p_2(z), \dots,p_{n+1}(z), p_{n+2}(z)$ существует l оснований, таких, что

$$ord(\prod_{j=1}^{l} p_j(z)) \leq ordp_{n+1}(z) + ordp_{n+2}(z), \quad (1)$$

то любой полином $A^*(z)$, в котором ошибочны значения разрядов по всем данным основаниям или по части из них, то такой полином является неправильным, т.е. $A^*(z) \notin P_{раб}(z)$.

Заменим произведение l оснований ПСКВ, удовлетворяющих условию (1), одним смешанным основанием $p_1(z)$, а произведение контрольных оснований $p_{n+1}(z)$ и $p_{n+2}(z)$ - соответственно $P_{конт}(z)$. Тогда, если полином $A(z)$ является правильным, то справедливо