

Чипига Александр Федорович – Северо-Кавказский федеральный университет; .e-mail: zik@ncstu.ru; 355000 г. Ставрополь, ул. Десантников 25, тел.: 88652956546; директор института информационных технологий и телекоммуникаций; к.т.н.; профессор.

Chipiga Alexander Fyodorovich – North Caucasus Federal University; e-mail: zik@ncstu.ru; 25, Desantnikov street, Stavropol, 355000, Russia; phone: +78652956546; director of the Institute of information technology and telecommunications; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 621.396.2

Е.И. Кротова

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИЕМА СИГНАЛА С КОДИРОВАНИЕМ В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ СВЯЗИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕГАУССОВСКИХ ПОМЕХ

Целью данного исследования является моделирование метода повышения качества приема манипулированных сигналов в системе связи с кодированием на основе идентификации видов законов распределения сигналов и помех. В статье представлены результаты имитационного и физического моделирования алгоритма, позволяющего определить помехоустойчивые коды для нескольких видов часто встречающихся помех и количественно оценить наличие помехи в принимаемом сигнале с различными видами модуляции в реальном времени. Результаты могут быть использованы при решении задач обнаружения и различения сигналов в цифровых системах связи при передаче для повышения эффективности работы демодулятора и декодера.

Цифровая система связи; кодирование; информация; сигнал; помехи; идентификация.

E.I. Krotova

MODELLING OF ALGORITHM OF QUALITY ASSURANCE OF RECEPTION OF THE SIGNAL WITH CODING IN DIGITAL SYSTEM OF COMMUNICATION AT INFLUENCE NON-GAUSSIAN OF HANDICAPES

The purpose of the given research is modelling a method of improvement of quality of reception modulated signals in system of communication with coding on the basis of identification of kinds of laws of distribution of signals and handicapes. In article results of imitating and physical modelling of the algorithm are submitted, allowing to determine noiseproof codes for several kinds frequently meeting handicapes and quantitatively to estimate presence of a handicap in an accepted signal with various kinds of modulation in real time. Results can be used at the decision of problems of detection and distinction of signals in digital systems of communication conection by transfer for increase of an overall performance of the demodulator and the decoder.

Digital system of communication; coding; the information; a signal; handicaps; identification.

При воздействии помехи на сигнал вид распределения плотности вероятности массива значений сигнала будет изменяться.

Если значения сигнала и помехи рассматривать как случайные величины, то их суммирование (рассматриваем только аддитивную смесь) сводится к суммированию случайных величин. Но при суммировании случайных величин законы их распределения резко изменяют свою форму. Закон распределения суммы независимых случайных величин $p(x)=p(x_1+x_2)$ имеющих распределения $p(x_1)$ и $p(x_2)$, называется *композицией* и выражается интегралом свертки

$$p(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p_1(z) p_2(x-z) dz \quad (1)$$

К сожалению, в реальных системах, главным фактором, который может затруднить идентификацию формы распределения экспериментальных данных является относительно малая выборка и её случайность (т.е. неповторимость от выборки к выборке появления различных значений случайной величины). Надежным путем преодоления этого фактора является увеличение объема экспериментальных данных. Однако, это сопряжено с резким ростом затрат на проведение измерений (быстродействие, стоимость системы и т.д.), а часто это невозможно по самой сути эксперимента. Поэтому все усилия должны быть направлены на то, чтобы определить форму распределения генеральной совокупности, имея из неё малую случайную выборку.

Предложенный в [1] алгоритм идентификации вида распределения случайного процесса по параметру Z применим к малой выборке, его легко можно реализовать на практике по выборочным значениям наблюдаемого процесса. Он состоит из нескольких этапов.

Определяется значение контрэксцесса для чего:

Находится математическое ожидание:

$$m_1^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

где n – число измерений; x_i – значение случайной величины.

Находится оценка момента 3-го порядка:

$$\mu_3^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_1^*)^3. \quad (3)$$

Находится оценка момента 4-го порядка:

$$\mu_4^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_1^*)^4. \quad (4)$$

Вычисляется оценка дисперсии:

$$\sigma^{2*} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_1^*)^2 \quad (5)$$

Находится эксцесс:

$$\varepsilon = \frac{\mu_4^*}{\sigma^{*4}}. \quad (6)$$

Находится контрэксцесс:

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}. \quad (7)$$

Определяется асимметрия:

$$S = \frac{\mu_3^*}{\sigma^{*3}}. \quad (8)$$

Определяется энтропийный коэффициент, как числовая характеристика формы распределения по той же выборке, для чего сначала рассматривается массив исследуемого процесса и рассматривается гистограмма, используется оценка среднеквадратического значения и определяется энтропийный коэффициент по формуле:

$$k_9 = \frac{d \cdot n}{2 \cdot \sigma^*} 10^{-\frac{1}{n} \sum_{j=1}^m n_j \lg n_j}, \quad (9)$$

где d – ширина столбца гистограммы, n – объем выборки, σ – среднее квадратическое отклонение, n_j – число наблюдений в столбце, m – число столбцов гистограммы, которое вычисляется по формуле

$$m = 4 \ln(n), \quad (10)$$

3. Определяется параметр отношения по формуле (10). Используются вычисленные значения χ , k_s , s :

$$Z = \frac{k_s}{\chi} + 4s. \quad (11)$$

Отличие исследуемого распределения от теоретического для данного закона распределения и заданного объема выборки характеризуется величиной абсолютного значения отклонения отношений $|d_i(Z)|$. Оно вычисляется как модуль разности:

$$|Z_{эм} - Z| = d_i(Z), \quad (12)$$

где $Z_{эм}$ – параметр отношения для теоретического закона распределения, Z – параметр исследуемого распределения.

5. Величина $d_i(Z)$ сравнивается с допустимым значением отклонения $d_{zi}(Z)$, результат сравнения является определяющим параметром, характеризующим тип распределения.

Имитационная модель цифровой системы связи реализует следующие основные блоки:

1. Кодер, генерирует коды Адамара, Баркера, Касами, Уолша;
2. Цифровой модулятор сигналов (ASK, FSK, PSK, DPSK) [2];
3. В канале связи сигнал подвергался воздействию нескольких видов аддитивных помех: лапласовской, релейской, арксинусной;
4. Блок определения статистических характеристик и идентификации вида распределения смеси сигналов и помех, по предложенному алгоритму;
5. Блок демодуляторов цифровых сигналов (ASK, FSK, PSK, DPSK).

В модели предусмотрен блок подсчета ошибок при воздействии помех с различными законами распределения. По результатам моделирования выбирается наиболее помехоустойчивый код. Модель разрабатывалась в программном пакете SimuLink (MatLab). На рис. 1 представлен вариант модели для частотной манипуляции.

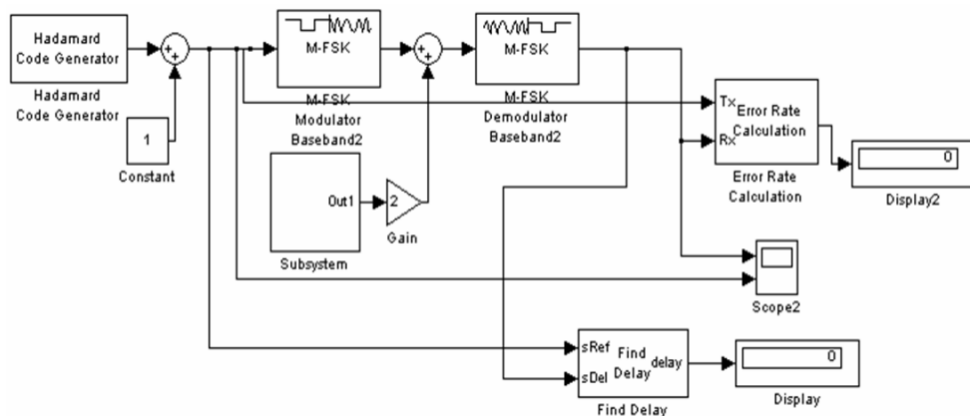


Рис. 1. Имитационная модель системы связи с кодированием и частотной манипуляцией

Относительная вероятность ошибочного приёма вычисляется по формуле:

$$P_{ош} = N_{ош}/N_{общ} \cdot 100 \%. \quad (13)$$

Помехоустойчивость связана с вероятностью ошибки, сигнал с наименьшей вероятностью ошибки наиболее помехоустойчив.

В качестве параметра, характеризующего помеху используется дисперсия данной помехи, нормированная на 1 Вт.

На рис. 2, 3, 4 представлены результаты моделирования влияния помех на закодированный различными кодами информационный сигнал.

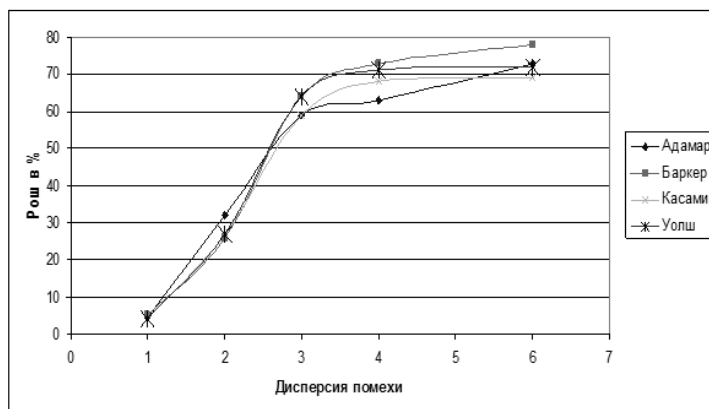


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки для различных кодов от дисперсии лапласовской помехи

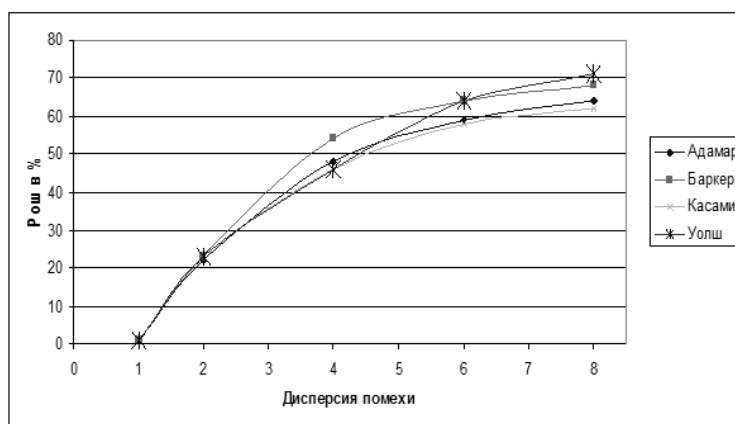


Рис. 3. Зависимость вероятности ошибки для различных кодов от дисперсии релейской помехи

Для лапласовской помехи со значением дисперсии равной 1, 2, 3, 4, 6 по оценке вероятности ошибочного приёма самым оптимальным является код, основанный на последовательности Касами. На уровне дисперсии больше 3 код Адамара обеспечивает наименьшую вероятность ошибки. При помехе распределённой по закону Релея с дисперсией равной 1, 2, 4, 6, 8 наименьшей вероятностью ошибки обладает кодовая последовательность Касами. Арксинусная помеха при мощности 2, 5, 7, 10, 15, 20 оказывает наименьшее влияние на вероятность ошибочного приёма у кодовых последовательностей Адамара и Баркера.

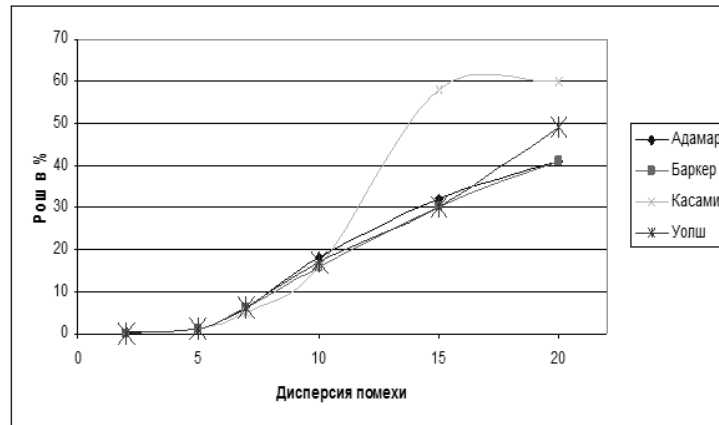


Рис. 4. Зависимость вероятности ошибки для различных кодов от дисперсии арксинусной помехи

При построении физической модели (рис. 2) в качестве источника сообщений использовался генератор прямоугольных импульсов и кодер, сигнал несущей частоты был получен с выхода генератора синусоидальной формы, в модуляторе использовались несколько видов манипуляции (АМ, ЧМ, ФМ) с параметрами, которые использовались в имитационной модели SimuLink (MatLab), в канале связи сигнал складывался с сигналом генератора помех, в демодуляторе, содержащем декодер, извлекалась переданная информация. Идентификация и определение статистических характеристик смеси сигнала и помех проводилось в блоке "идентификатор", который включал АЦП и компьютерную программу, обрабатывающую оцифрованный файл по алгоритму идентификации [2], [5]. В качестве параметра идентификации использовался параметр Z , вычисленных по формуле (12).

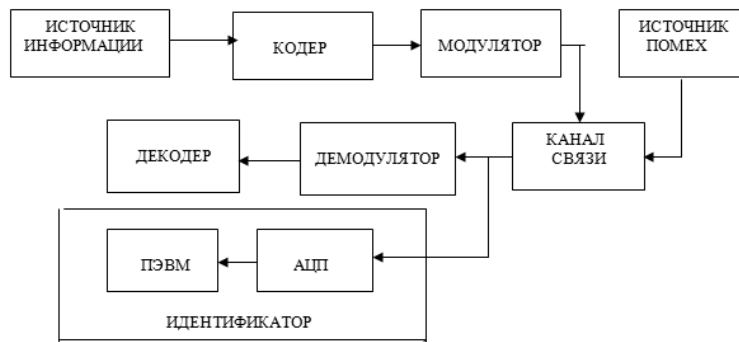


Рис. 5. Физическая модель системы связи с кодированием и частотной манипуляцией

При анализе результатов моделирования рассматривались виды распределений значений аддитивной смеси сигналов и помех при разных отношениях сигнал-помеха на входе демодуляторов сигналов.

Численная оценка сравнения результатов идентификации законов распределения выборочных значений смеси сигнала и помех при имитационном и физическом моделировании проводилась по параметру $d(Z)$ [3], [4] для помех Релея, Лапласа, Арксинусной

$$d(Z) = (|Z_{эм} - Z| / Z_{эм}) \cdot 100\%, \quad (14)$$

где Z – значение параметра физической модели, $Z_{эм}$ – значение параметра имитационной модели.

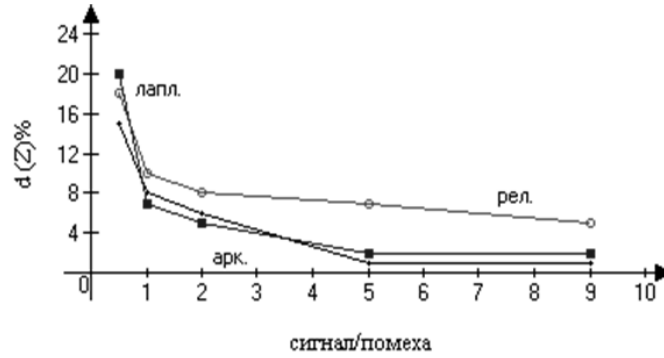


Рис. 6. Отклонение результатов физического моделирования от имитационного для АМ сигналов

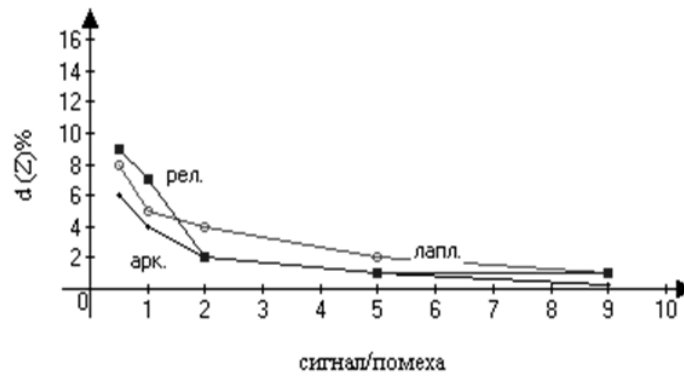


Рис. 7. Отклонение результатов физического моделирования от имитационного для ЧМ сигналов

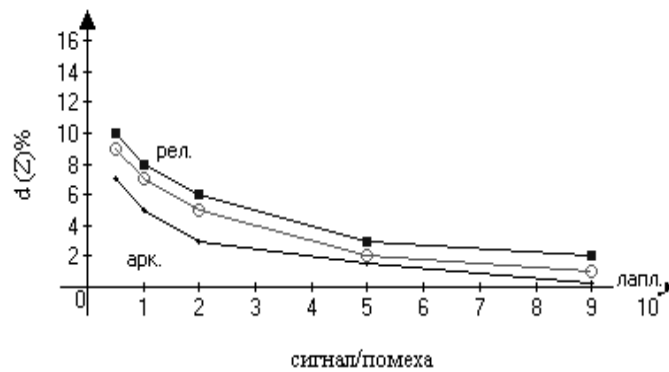


Рис. 8. Отклонение результатов физического моделирования от имитационного для ФМ сигналов

Для характеристики деформации законов распределения сигналов при воздействии помех удобно пользоваться нормированным параметром Z_0

$$Z_0 = Z_{c+n} / Z_c, \quad (15)$$

где Z_{c+n} – параметр идентификации (11) для смеси сигнала и помехи, Z_c – параметр идентификации (11) для манипулированного сигнала.

Таблица 1

Значение нормированного параметра Z_0

№ п/п	С/П	Z_0								
		Лапласовская			Рэлеевская			Арксинусная		
		АМ	ЧМ	ФМ	АМ	ЧМ	ФМ	АМ	ЧМ	ФМ
1	0,5	0,475	0,466	0,207	0,580	0,583	0,496	0,807	0,925	0,966
2	1	0,758	0,545	0,465	0,632	0,682	0,639	0,814	0,935	0,975
3	2	0,928	0,826	0,755	0,788	0,817	0,811	0,963	0,949	0,984
4	5	0,949	0,938	0,919	0,928	0,920	0,960	0,993	0,959	0,994
5	10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Из проведенных исследований следует, что вид распределения сигналов с частотной и фазовой манипуляциями менее всех подвержен деформации при аддитивном влиянии помех Лапласа, рэлеевской и арксинусной при отношении сигнал/шум более 2. Арксинусная помеха оказывает наименьшее влияние на все виды сигналов.

Блок "Идентификатор" и компьютерная программа идентификации по параметру идентификации Z позволяют отследить наличие помехи в принимаемом сигнале при незначительной деформации закона распределения, что может быть использовано при решении задач обнаружения и различения сигналов в цифровых системах связи при передаче закодированной информации, это может быть использовано для повышения эффективности работы демодулятора и декодера.

Максимальное отклонение результатов физического моделирования от результатов имитационного моделирования составляет 18 % для АМ-сигнала и помехе Лапласа при отношении сигнал/помеха 0,5, минимальное – 0,5 % для ФМ-сигнала и арксинусной помехе при отношении сигнал/помеха 9.

Значительное различие результатов физического от имитационного моделирования при высоком уровне помех обусловлено наводками от помех в цепях питания лабораторного макета и отсутствием должного экранирования кабелей, соединяющих макет с компьютером.

Проведенные исследования позволяют:

- ◆ выбрать наиболее помехоустойчивый код для цифровой системы связи;
- ◆ определить вид манипуляции, с наименьшей чувствительностью к конкретной помехе, присутствующей в канале.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кротова Е.И. Идентификация типа распределений результатов экспериментальных исследований // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 1998. – № 1. – С. 57-59.
2. Кротова Е.И. Исследование влияния негауссовских помех на систему передачи с кодированием. Материалы XI международной научно-практической конференции "Информационная безопасность-2010". Ч. 1. – Таганрог, 2010.
3. Кротова Е.И. Метод оценки влияния аддитивных помех на входе приемника сигналов с помощью идентификации видов законов распределения // Вестник СибГАУ. – 2010. – Вып. 5 (31).

4. *Феер К.* Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
5. *Кротова Е.И.* Разработка метода контроля качества спутниковой радионавигационной системы // Сб. тр. 2011 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings.- Krasnoyarsk, September 15-10000000006, 2011. – P. 446-448.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Мурашов.

Кротова Елена Ивановна – Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова; e-mail: ken@uniyar.ac.ru; 150032 г. Ярославль, пос. Прибрежный, 8 кв. 7; тел.: 84852469897; кафедра динамики электронных систем; к.т.н., доцент.

Krotova Elena Ivanovna – The Yaroslavl State University him. P.G. Demidova; e-mail: ken@uniyar.ac.ru; 8, Pribregniy, fl. 7, Yaroslavl, 150032, Russia; phone: +74852469897; the department of dynamics of electronic systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК621.391.6

В.И. Петренко, Ю.В. Кузьминов, А.П. Жук, Я.С. Зданевич

ПРАВИЛО ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЗНАЧНЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрен процесс разработки правила формирования ансамблей многозначных ортогональных дискретных последовательностей при использовании производящих последовательностей линейной структуры, формируемых на основе сегментных систем. Преимуществом данного правила является простота технической реализации генераторов производных последовательностей при использовании для генерации производящих последовательностей типовых формирователей последовательностей максимальной длительности. Полученные с помощью сформированного правила ансамбли последовательностей могут найти применение как в системах связи в качестве адресных и расширяющих спектр последовательностей, так и в системах засекречивания информации.

Цифровые системы радиосвязи; помехоустойчивость; дискретные последовательности; автокорреляционные свойства.

V.I. Petrenko, Yu.V. Kuzminov, A.P. Zhuk, Ya.S. Zdanevich

RULE OF FORMATION OF MULTIPLE-VALUED ORTHOGONAL SEQUENCES ON THE BASIS OF SEGMENTS OF SEQUENCES OF THE MAXIMUM DURATION

This article describes the process of developing rules for ensembles valued orthogonal discrete sequences by using the generating sequences of linear structure formed on the basis of segmented systems. The advantage of this rule is the ease of technical implementation generators derived sequences when used to generate sequences of typical formers produce sequences of maximum length. Obtained using the generated rules ensembles sequences can be used in communication systems as address and spread-spectrum sequences, and in the encryption systems.

Digital radio system; noise immunity; discrete sequence; autocorrelation properties.

Известно [1], что одним из методов повышения помехоустойчивости систем радиосвязи с кодовым разделением абонентов является применение в них в качестве адресных и расширяющих спектр последовательностей многозначных ортогональных дискретных последовательностей (МОДП). Одним из способов получения данных типов последовательностей является формирование производных последовательностей на основе ансамблей ортогональных дискретных последова-