

На правах рукописи



ГРИГОРЬЕВЫХ Елена Андреевна

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСНОЗНАЧНЫЕ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В РАДИОСИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ
ИНФОРМАЦИИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ**

Специальность 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владимир – 2014

Работа выполнена на кафедре радиотехнических и медико-биологических систем ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)

Научный руководитель: **Хафизов** Ринат Гафиятуллович доктор технических наук, профессор, (ПГТУ)

Официальные оппоненты: **Надеев** Адель Фирадович, доктор физико-математических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, директор Института радиозлектроники и телекоммуникаций.

Самойлов Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, доцент кафедры Радиотехники и радиосистем.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет», г. Курск.

Защита диссертации состоится «23» сентября 2014 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.025.04 при ФГБОУ ВПО Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, корп. 3, ФРЭМТ, ауд. 301-3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ).

Автореферат разослан «07» июля 2014 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, ФРЭМТ.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.025.04
доктор технических наук, профессор



А.Г. Самойлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время комплексы видеонаблюдения получили широкое применение. Современные цифровые системы видеонаблюдения позволяют получить значительный экономический эффект при обеспечении безопасности территориально распределенных объектов за счет передачи видеоизображений по радиоканалу. Основные критерии оценки качества распределенной системы видеонаблюдения – это величина временной задержки между событием, запечатленным видеокамерой, и моментом его отображения на экране получателя, а также количество кадров. Оба параметра в значительной степени зависят от пропускной способности сети. Исследование и разработка радиотехнических систем и устройств передачи информации с целью повышения их пропускной способности и помехозащищенности является актуальной задачей.

Широкое применение в радиосистемах передачи информации нашли шумоподобные сигналы. При этом актуальной является проблема устранения корреляционного шума. Если в процессе обработки сигналов обеспечить их согласование с фильтром, то требование равномерности энергетического спектра остается единственным для полного подавления корреляционных шумов при минимальном уровне флуктуационных шумов. В связи с этим возникает проблема формирования кодовых последовательностей с равномерным энергетическим спектром.

Применяемые в радиосистемах передачи информации сигналы и методы их обработки нацелены, как правило, на минимизацию взаимного влияния сигналов. Взаимное влияние сигналов приводит к ухудшению отношения сигнал/помеха и, тем самым, к снижению пропускной способности канала передачи информации. Таким образом, для обеспечения повышенной пропускной способности в радиосистемах передачи информации видеонаблюдения необходимо использовать сигналы с равномерным энергетическим спектром и дельтовидной АКФ. В работах Фурмана Я.А. предложены комплекснозначные кодирующие последовательности, обладающие указанными свойствами.

Цель диссертационной работы заключается в разработке методик кодирования информации и устранения межсимвольной интерференции на основе применения комплекснозначных последовательностей в радиотехнических системах передачи информации видеонаблюдения, обеспечивающих повышение их пропускной способности и помехозащищенности. Для достижения этой цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- 1) разработка методики кодирования информации с применением композиционных комплекснозначных последовательностей с равномер-

ным энергетическим спектром в радиотехнических системах передачи информации видеонаблюдения;

2) разработка методики физической реализации композиционных комплекснозначных последовательностей и исследовать помехоустойчивость физических носителей;

3) разработка алгоритма устранения межсимвольной интерференции на основе анализа композиционных комплекснозначных последовательностей;

4) исследование пропускной способности радиотехнической системы передачи информации видеонаблюдения с использованием композиционных комплекснозначных последовательностей с равномерным энергетическим спектром.

Методы исследования. Для решения поставленных в диссертационной работе задач были использованы: теория сигналов, теория информации, теория вероятности, теория статистических решений, аппарат вычислительной математики, моделирование процессов генерации и обработки сигналов на ЭВМ.

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной и выносимые на защиту.

1. Методика применения композиционных комплекснозначных последовательностей с равномерным энергетическим спектром в радиотехнических системах передачи информации видеонаблюдения, обеспечивающая возможность увеличения пропускной способности.

2. Методика формирования физических носителей композиционных комплекснозначных последовательностей с равномерным энергетическим спектром.

3. Алгоритм устранения межсимвольной интерференции на основе анализа композиционных комплекснозначных последовательностей.

Практическая значимость работы.

1. Разработанный алгоритм устранения межсимвольной интерференции при использовании для кодирования данных в радиотехнических системах передачи информации видеонаблюдения композиционных комплекснозначных последовательностей обеспечивает увеличение вероятности правильного распознавания символа по сравнению с применением M-последовательностей при отношении сигнал/шум $q = 1$ с 0,65 до 0,8.

2. Применение композиционных комплекснозначных последовательностей с равномерным энергетическим спектром в радиотехнических системах передачи информации видеонаблюдения

позволяет увеличить пропускную способность системы по сравнению с применением 11-позиционного кода Баркера при отношении сигнал/шум $q \geq 1$ не менее чем на 10% и по сравнению с применением M-последовательностей не менее чем на 35%.

Реализация результатов работы. Теоретические и практические результаты диссертационной работы использованы при организации беспроводной системы передачи данных в составе программно-аппаратного комплекса видеонаблюдения на территории Транспортного центра технической эксплуатации телекоммуникаций Филиала в Республике Марий Эл ОАО «Ростелеком» (подтверждено актом о внедрении).

Результаты диссертационной работы внедрены и использованы в учебном процессе кафедры Радиотехнических и медико-биологических систем Поволжского государственного технологического университета по направлению подготовки 21040062 – «Радиотехника» при изучении дисциплины «Цифровая обработка радиотехнических сигналов», а также по направлению подготовки 210700 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» при изучении дисциплины «Общая теория связи» (подтверждено актом о внедрении).

Апробация работы. Результаты работы обсуждались на XII и XIII Международных научно-технических конференциях студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика" (Москва, 2006, 2007); на международной молодежной научной конференции «XV Туполевские чтения» (Казань, 2007); на Всероссийской научной студенческой конференции по естественно-научным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых» (Йошкар-Ола, 2007); на VIII международной конференции "Распознавание образов и анализ изображений: Новые информационные технологии" (Йошкар-Ола, 2007); на VIII Международной конференции "Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации" (Курск, 2008); на IX научно-практической конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instrument» (Москва, 2010); на Международном научно-техническом семинаре «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» (Йошкар-Ола, 2012); на ежегодных научных конференциях по итогам НИР ПГТУ и научных семинарах кафедры Радиотехнических и медико-биологических систем и др.

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 18 работ: из них 4 – в научных журналах из Перечня ВАК; 10 – материалы

конференций; 3 – в других научных изданиях и депонированные в ВИНТИ; 1 – свидетельств об официальной регистрации программ в Роспатент.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключение и содержит 43 рисунка, 9 таблиц. Список литературы включает 104 наименования. Основная часть работы изложена на 120 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель, направление исследований и основные научные положения, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе исследовано современное состояние и проблемы теории передачи информации. Проведен анализ кодовых последовательностей сложных сигналов и подходов к их синтезу. Показано, что корреляционные свойства сложных сигналов характеризуется коэффициентом, равным отношению амплитуд главного и максимального бокового лепестков автокорреляционной функции кодирующей последовательности. В пределе сигнал с «хорошими» корреляционными свойствами не должен иметь боковых лепестков, т.е. его автокорреляционная функция является дельтовидной, а энергетический спектр – равномерным. Рассмотрены комплекснозначные сигналы с равномерным энергетическим спектром. АКФ такого сигнала имеет только один значащий отсчет, равный энергии сигнала. Все остальные отсчеты образующие боковые лепестки АКФ равны нулю.

Показано, что при выборе способов кодирования и модуляции сигнала решаются следующие основные проблемы. Во-первых, скорость передачи в беспроводных радиосистемах передачи информации должна быть как можно более высокой, чтобы конкурировать с проводными системами и удовлетворять современным потребностям пользователей. Однако рост скорости передачи приводит к увеличению ширины спектра, что нежелательно, т.к. частотный диапазон передачи ограничен. Во-вторых, уровень полезного сигнала должен быть достаточно низким, чтобы не создавать помех другим устройствам, что требует разработки алгоритма безошибочного выделения сигнала на фоне шума. При этом уменьшение мощности передаваемого сигнала достигается за счет применения технологии расширения спектра. В-третьих, требуется обеспечить необходимый уровень помехоустойчивости. Одновременное выполнение всех указанных условий затруднительно, т.к. они могут противоречить друг другу. Таким образом, выбор конкретного метода кодирования и

модуляции сигнала заключается в поиске компромисса между требованиями высокой скорости, помехоустойчивости и ограничения по мощности сигнала.

По результатам анализа состояния вопроса по теме исследования конкретизированы задачи диссертационной работы.

Во второй главе рассмотрена методика формирования алфавита композиционных комплекснозначных последовательностей (ККП) с равномерным энергетическим спектром. Показано, что ККП формируется как композиция элементарных комплекснозначных последовательностей (ЭКП). Важнейшим свойством ЭКП разных порядков является свойство их глобальной несхожести. Оно заключается в том, что скалярное произведение (Γ_l, Γ_m) , $m \neq l$, $m, l = 0, 1, \dots, s-1$, равно нулю. На основании того, что спектры ЭКП разных порядков не пересекаются, выражение для спектра базового ККП, полученного конкатенацией ЭКП с последовательным возрастанием индексов, имеет вид:

$$\rho_{\Gamma_0, \Gamma_1, \dots, \Gamma_{s-1}}(m) = \rho_\delta(m) = s \exp\left\{-i \frac{2\pi}{s^2}(m)_s m\right\}, \quad m = 0, 1, \dots, s^2 - 1.$$

Величина $(m)_s$ равна значению r , $r = 0, 1, \dots, s-1$, при котором составляющая $\rho_m(m)$ ЭКП Γ_m отлична от нуля. Следовательно, при $m = 0, s, 2s, \dots, (s-1)s$ компонента спектра базовой ККП вещественна и равна s . Отсюда же следует, что базовая ККП характеризуется равномерным энергетическим спектром вида $\left\{|\rho_\delta(m)|^2\right\}_{0, s^2-1} = \{s^2\}_{0, s^2-1}$.

Пример получения алфавита ККП с равномерным энергетическим спектром для случая размерности $s = 3$. Существует два числа, взаимно простых с числом 3. Для $s = 3$ получается две базовые ККП с равномерным энергетическим спектром. Записывая последовательность взаимно-простых с числом 3 чисел от 0 до 3, умножая эти числа на $n = 1, 2$ и переходя к значениям по модулю 3, получаются комбинации порядков ЭКП, образующих базовые ККП с равномерным энергетическим спектром: $\Gamma_{0,1,2}$, $\Gamma_{0,2,1}$. Базовые ККП при $s = 3$:

$$\Gamma_{012} = \{1, 1, 1, 1, -0.5 + 0.866i, -0.5 - 0.866i, 1, -0.5 - 0.866i, -0.5 + 0.866i\},$$

$$\Gamma_{021} = \{1, 1, 1, 1, -0.5 - 0.866i, -0.5 + 0.866i, 1, -0.5 + 0.866i, -0.5 - 0.866i\}.$$

Показано, что для каждого значения s имеется $\varphi(s)$ базовых композиционных комплекснозначных последовательностей с равномерным энергетическим спектром, где $\varphi(s)$ – функция Эйлера от

числа s . Из каждой базовой последовательности путем циклического сдвига составляющих ее элементов можно также сформировать $s-1$ композиционных комплекснозначных последовательностей, обладающих равномерным энергетическим спектром.

Предложена методика кодирования композиционными комплекснозначными последовательностями. При этом в каждый передаваемый информационный бит «встраивают» ККП, состоящий из последовательности чипов. Для передачи единичного и нулевого символов сообщения используются соответственно базовая ККП и ККП, полученная циклическим сдвигом одного чипа (рис. 1).

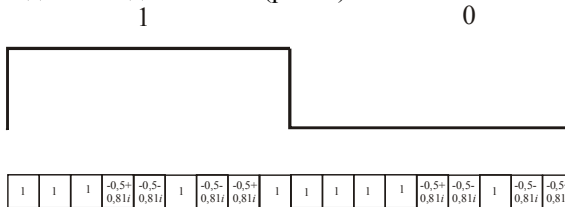


Рис. 1. Кодирование символов композиционной комплекснозначной последовательностью

Рассмотрены варианты, когда одна последовательность используется для кодирования дибита (рис. 2).

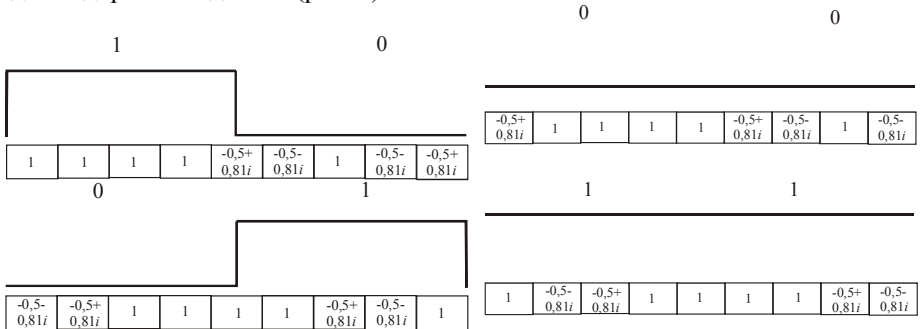


Рис. 2. Кодирование дибита композиционными комплекснозначными последовательностями

Основное отличие ККП от используемых, например, в наборе стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне IEEE 802.11, кодов Баркера и некоторое сходство с ССК-последовательностями заключается в том, что существует не строго заданная последовательность, посредством которой можно кодировать либо логический ноль, либо единицу, а целый набор последовательностей.

Можно получить достаточно большое количество разных ККП. Это обстоятельство позволяет кодировать в одном передаваемом символе несколько информационных бит и тем самым повышать информационную скорость передачи. Кроме того, ККП в отличие от ССК-последовательностей обладают строго дельтовидной АКФ и равномерным спектром.

Предложено два способа физической реализации ККП: фазовый и полигармонический. При формировании физического носителя заданного ККП с помощью фазового метода каждый его элемент $\gamma(n)$, $n = 0, 1, \dots, s-1$, ассоциирован с n -м кодовым интервалом сигнала. В его пределах сигнал представляет собой отрезок синусоиды с единичной амплитудой $|\gamma(n)|=1$, а начальная фаза определяется аргументом $\varphi(m)$ элемента ККП. На рис. 3 показан пример фазовой модуляции ККП $\Gamma_{0,1,2}$.

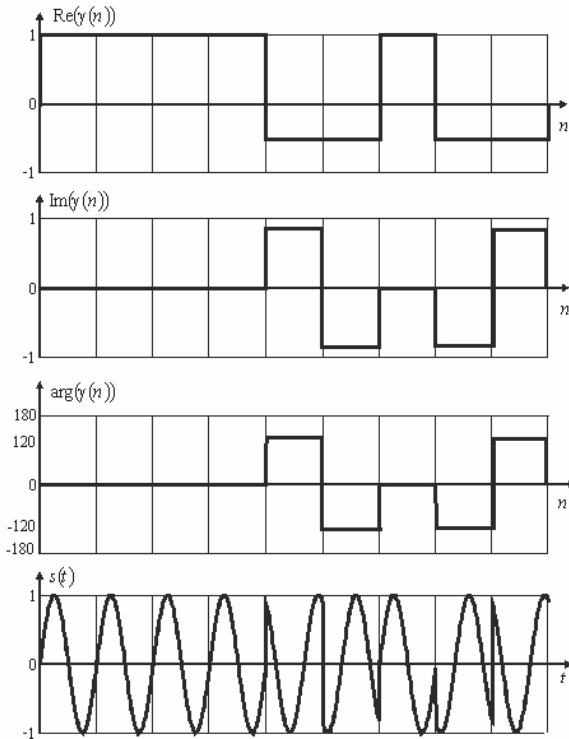


Рис. 3. Композиционная комплекснозначная последовательность размерности $s^2 = 9$ и результат фазовой модуляции

Особенность фазовой модуляции композиционными комплекснозначными последовательностями является то, что количество дискретных состояний сигнала, отвечающих различным фазам, определяется размерностью s . Так, для $s = 2$ получаем два состояния, когда фаза принимается два значения 0 и π , а для $s = 6$ – шесть состояний.

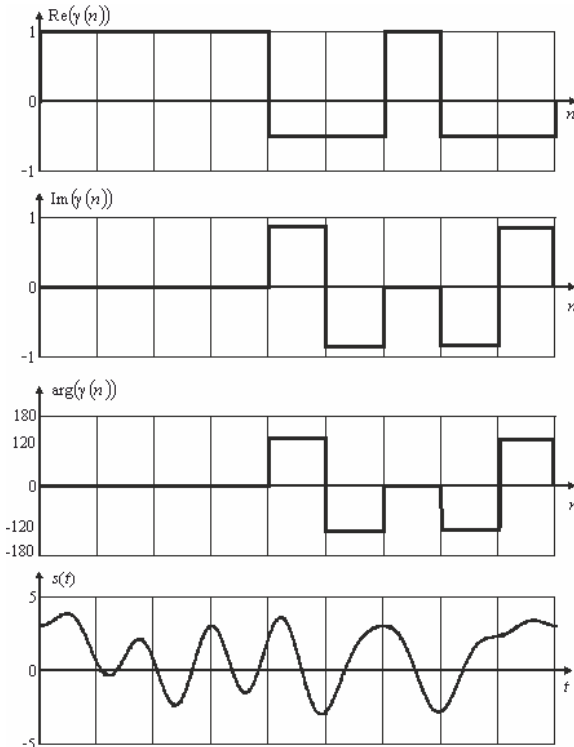


Рис. 4. Полигармоническое представление композиционной комплекснозначной последовательности размерности $s^2 = 9$

При полигармоническом представлении для формирования физического носителя ККП $\Gamma = \{\gamma(n)\}_{0, s^2-1}$ задаем как спектр некоторого сигнала $s(t)$. При этом совокупность модулей элементов ККП Γ образует амплитудный спектр $A_n = |\gamma(n)|$, а совокупность аргументов – фазовый спектр $\varphi_n = \text{arg}\gamma(n)$. На основании представления сигнала $s(t)$ в виде ряда Фурье, получаем:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{s^2-1} A_n \cos(n\omega_1 t - \varphi_n) = \sum_{n=0}^{s^2-1} |\gamma(n)| \cos\left(n \frac{2\pi}{T} t + \arg \gamma(n)\right).$$

На рис. 4 показан пример полигармонического сигнала, образованного на основе ККП $\Gamma_{0,1,2}$. Использование полигармонического представления комплекснозначной последовательности выгодно тем, что имеется возможность получения физического носителя с заданными спектрально-корреляционными свойствами. Так сигнал, образованный на базе композиционной комплекснозначной последовательности, будет также обладать равномерным энергетическим спектром.

В третьей главе рассмотрены вопросы обработки композиционных комплекснозначных последовательностей в условиях межсимвольной интерференции. Показано, ситуация с межсимвольной интерференции сходна с задачей разрешения сигналов, при которой из группы перекрывающихся или близко расположенных сигналов необходимо выделяется каждый из них.

Рассмотрены основные требования к процессу формирования выходного сигнала фильтра, достаточные для получения разрешенного образа суммарного сигнала. Первым условием является формирование выходного сигнала только в момент временного согласования фильтра с сигналом. Второе условие обеспечения на выходе фильтра разрешенного образа состоит в применении свободной от краевых эффектов циклической процедуры, основанной на периодичности входных сигналов фильтра и сигнала определяющего его импульсную характеристику. В соответствии с третьим условием обеспечения разрешенного образа на выходе фильтра должен формировать в качестве реакции на каждый входной сигнал единичный импульс.

Показано, что циклическая фильтрация ККП позволяет получить сжатую последовательность без боковых лепестков, но при этом обладает высокой трудоемкостью, т.к. при каждом положении окна фильтра необходимо вычислять s^2 отсчетов и приводит к неопределенности выбора полезного отсчета.

Исследована возможность вычисления отсчетов циклической корреляционной функции по результатам гораздо менее трудоемкой ациклической согласованной фильтрации. Получено, что для определения реакции циклического фильтра при точном совпадении окна с последовательностью достаточно найти сумму реакций этого фильтра при двух произвольных положениях окна и учесть сдвиг максимального отсчета. Таким образом, достигается возможность получения результатов

второй фазы циклической согласованной фильтрации при произвольных взаимных положениях перекрывающихся окна и последовательности.

Структура устройства обработки композиционных комплекснозначных последовательностей, реализующего алгоритм устранения эффекта межсимвольной интерференции, показана на рис. 5.

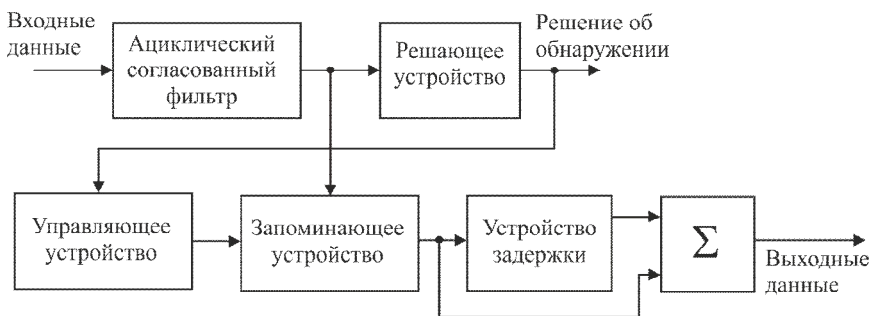


Рис. 5. Структура устройства обработки композиционных комплекснозначных последовательностей, реализующего алгоритм устранения эффекта межсимвольной интерференции

Сигнал с выхода ациклического согласованного фильтра сохраняется в запоминающем устройстве, а также подается на решающее устройство для принятия решения об обнаружении. В случае положительного решения управляющее устройство разрешает прохождение запомненных выходных данных ациклического согласованного фильтра на сумматор и устройство задержки на время $s^2/\Delta t$. С устройства задержки данные поступают на второй вход сумматора.

Решение об обнаружении принимается в момент получения пикового отсчета сигнала. Этот отсчет отстоит на s^2 кодовых интервалов от первого отсчета ациклического фильтра, с которого начинает работать предложенный алгоритм устранения эффекта межсимвольной интерференции. Поэтому устройство управления по сигналу обнаружителя выдает на вход линии задержки и сумматора из запоминающего устройства массив выходных данных ациклического согласованного фильтра.

Условием применения предложенного алгоритма устранения межсимвольной интерференции является необходимость паузы между передаваемыми символами. При этом длительность паузы должна быть не менее длительности символа. Данное условие приводит к увеличению

времени передачи данных. Однако появляется возможность полного устранения эффекта межсимвольной интерференции.

Рассмотрены случаи, когда при перекрытии двух символов процедура сжатия сигналов ациклическим согласованным фильтром приводит даже при отсутствии шума к полной маскировке пикового отсчета одного сигнала боковыми лепестками другого. Пусть, например, две копии ККП $\Gamma_{0,1,2}$ с масштабами 1 и 5 расположены таким образом, что два последних элемента первой последовательности перекрываются с двумя первыми элементами второй последовательности (рис. 6,а).

На рис. 6,б показана суммарная последовательность, а на рис. 6,в – результат ациклической согласованной фильтрации. Пиковый отсчет ациклического фильтра, соответствующий первой последовательности, является по номеру десятым и равен 4. Пиковый отсчет для второй последовательности имеет номер 17 и равен 44. Энергия первой последовательности равна 9, но из-за маскировки его боковыми лепестками второй, величина пикового отсчета уменьшается почти в два раза. В результате этот пиковый отсчет превышает боковыми лепестками второй последовательности. Обнаружить первую последовательность по данной выборке отсчетов ациклического фильтра затруднительно.

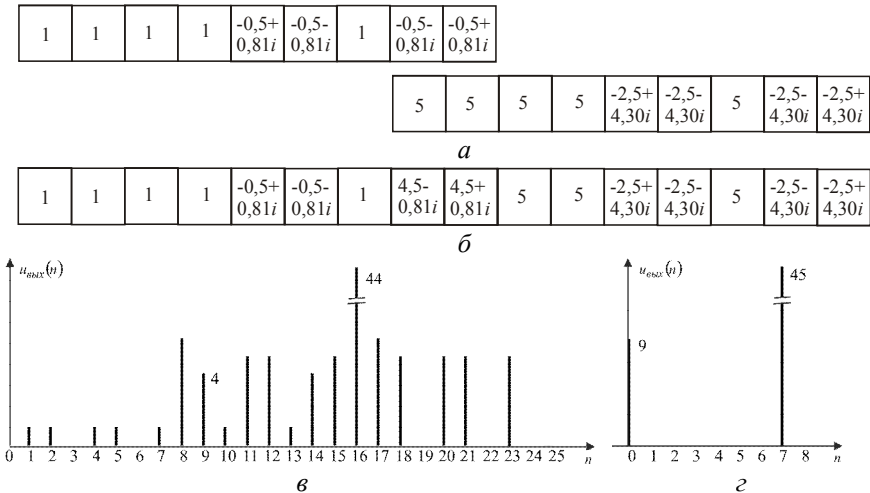


Рис. 6. Обработка двух перекрывающихся разномасштабных композиционных комплекснозначных последовательностей

Показано, что при использовании разработанного алгоритма обработки ККП получаем однозначно интерпретируемый результат (рис. 6,з).

В четвертой главе исследована эффективность радиосистемы передачи информации видеонаблюдения с использованием ККП. Создана программная модель системы передачи информации видеонаблюдения, на которую получено свидетельство о регистрации в РОСПАТЕНТ. В программе предусмотрено два режима работы: режим с непрерывным зашумлением, позволяющий сформировать статистику для оценки вероятностных характеристик (вероятность правильного приема сообщения при текущем значении величины шума) и режим с пошаговым зашумлением, что позволяет исследовать работу системы передачи данных при различных помеховых обстановках. На рис. 7 приведен интерфейс программы с изображением сигнала в канале передачи информации при заданном уровне помех.

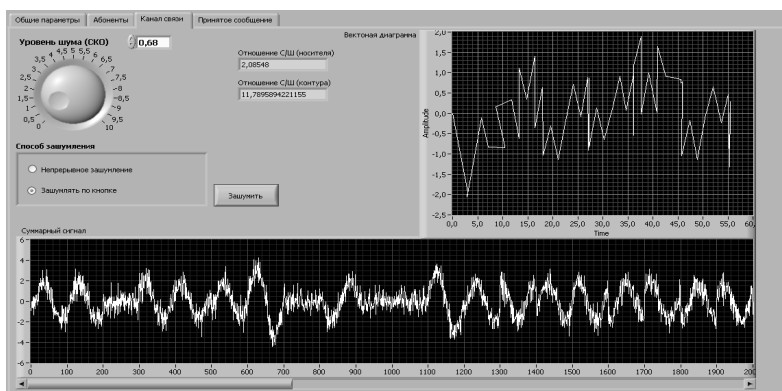


Рис. 7. Вид окна с суммарным сигналом при воздействии помех в канале передачи информации

Исследованы помехоустойчивость физических носителей ККП и влияние уровня шума в носителе на уровень шума в восстановленной последовательности. На рис. 8 представлены зависимости скалярного произведения $|\eta_n|$ эталонной Γ и зашумленной N последовательностей от отношения сигнал/шум q в носителе. Получено, что более устойчивым к воздействию нормально распределенного шума является фазомодулированное представление сигнала, чем полигармоническое представление. Показано, что увеличение частоты дискретизации сигнала приводит к уменьшению уровня шума в композиционной комплекснозначной последовательности.

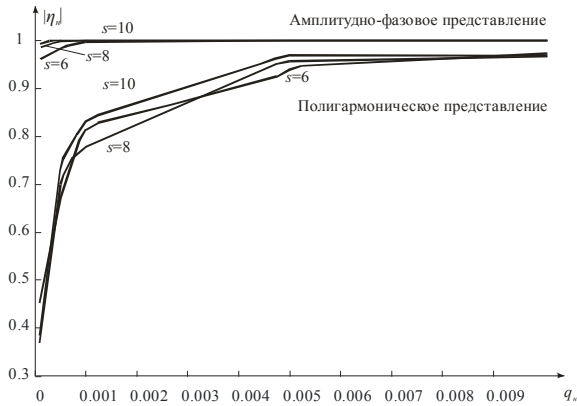


Рис. 8. Зависимость скалярного произведения эталонной Γ и зашумленной N последовательностей от отношения сигнал/шум в носителе

Исследован процесс прохождения физического носителя ККП через избирательные цепи приемника. Получено, что изменение СКО полигармонического сигнала в меньшей степени зависит от добротности исследуемого контура, чем СКО фазомодулированного сигнала.

Проведен сравнительный анализ пропускной способности систем передачи данных при использовании ККП, M -последовательностей и кода Баркера. На рис. 9 представлены рассчитанные зависимости пропускной способности $C/\Delta F$ на уровне кодов без учета влияния метода модуляции от отношения сигнал/шум в канале.

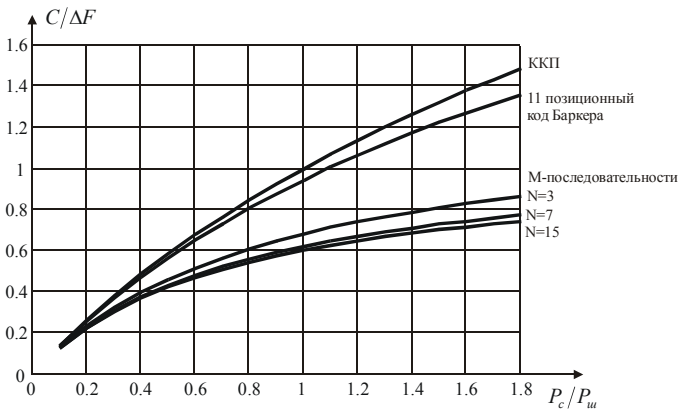


Рис. 9. Зависимость пропускной способности от отношения сигнал/шум

Получены результаты сравнительного анализа помехоустойчивости радиосистем передачи информации с использованием ККП и М-последовательностей. На рис. 10 приведены характеристики распознавания полностью известных символов при наличии межсимвольной интерференции.

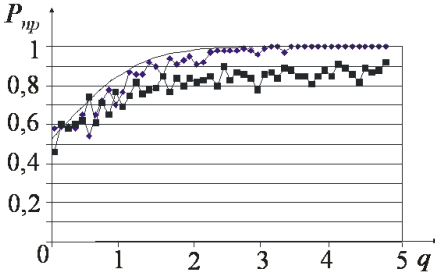


Рис. 10. Характеристики распознавания полностью известных символов в системе передачи информации при наличии межсимвольной интерференции (♦♦♦ - экспериментальная характеристика для ККП, ■■■ - экспериментальная характеристика для усеченной М-последовательности, — теоретическая характеристика)

Для ККП экспериментальные характеристики распознавания не зависят от числа каналов, размерности кодирующей последовательности и близки к теоретическим характеристикам, отражающим потенциальную помехоустойчивость. В случае М-последовательностей вид характеристик распознавания существенно зависит от количества перекрывающихся символов и размерности кодирующей последовательности. Для рассмотренного случая при количестве перекрывающихся символов равном 4 и длине усеченной М-последовательности $s = 9$ помехоустойчивость системы существенно ниже потенциальной и практически не улучшается при увеличении отношения сигнал/шум.

На рис. 11 приведены характеристики распознавания символов с неизвестной начальной фазой. Как и в случае характеристик распознавания при известной начальной фазе, ККП обладают значительным преимуществом в помехоустойчивости.

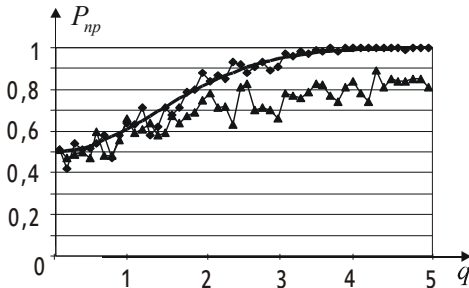


Рис. 11. Характеристики распознавания сигналов с неизвестной начальной фазой при наличии межсимвольной интерференции (♦♦♦ - экспериментальная характеристика для ККП, ■■■ - экспериментальная характеристика для усеченной М-последовательности, — теоретическая характеристика)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана методика кодирования информации композиционными комплекснозначными последовательностями, обладающие равномерным энергетическим спектром, в радиосистемах передачи данных.

2. Разработана методика физической реализации композиционных комплекснозначных последовательностей. Рассмотрено два способа формирования физических носителей комплекснозначных сигналов: фазомодулированное и полигармоническое представление. Показано, что наиболее устойчиво к воздействию нормально распределенного шума является фазомодулированное представление. Однако изменение СКО полигармонического сигнала в меньшей степени зависит от добротности исследуемого контура, чем СКО АФМ сигнала.

3. Разработан алгоритм устранения межсимвольной интерференции на основе анализа композиционных комплекснозначных последовательностей.

Показано, что при отношении сигнал/шум $q=1$ вероятность правильного распознавания символа при использовании ККП составляет $P_{np} = 0,8$, а при использовании М-последовательностей $P_{np} = 0,65$.

4. Исследована пропускная способность радиосистемы передачи информации с использованием композиционных комплекснозначных последовательностей с равномерным энергетическим спектром на уровне кодов без учета влияния метода модуляции. Показано, что при отношении сигнал/шум $q=1$ величина $C/\Delta F$ радиосистемы передачи данных с использованием композиционных комплекснозначных последовательностей составляет $C/\Delta F = 1$, в то время как при использовании М-последовательностей – $C/\Delta F \approx 0,5 \div 0,65$, а при использовании 11-позиционного кода Баркера – $C/\Delta F \approx 0,9$.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в периодических изданиях из Перечня ВАК

1. Григорьевых, Е.А. Применение комплекснозначных сигналов в системах асинхронной передачи данных / Р. Г. Хафизов, Е.А. Григорьевых // Телекоммуникации. – 2007. – № 10. – С. 14-18.

2. Григорьевых, Е.А. Физические носители комплекснозначных кодовых последовательностей / Е.А. Григорьевых, Р. Г. Хафизов // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – № 1. – С. 18-21.

3. Григорьевых, Е.А. Формирование и обработка комплекснозначных последовательностей в многоканальных системах передачи информации / Е.А. Григорьевых, Р. Г. Хафизов // Информационно-управляющие системы. – 2013. – № 3. – С. 74-77.

4. Григорьевых, Е.А. Асинхронная передача данных с использованием комплекснозначных сигналов с равномерным энергетическим спектром / Р. Г. Хафизов, Д.Г. Хафизов, Е.А. Григорьевых // Вестник Поволжского государственного технологического университета. – 2012. – № 1. – С. 41-49.

Свидетельство об официальной регистрации программы

5. Григорьевых, Е.А. Модель системы передачи данных с использованием комплекснозначных сигналов / Д. Г. Хафизов, Е.А. Григорьевых, Р. Г. Хафизов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2013612886, РОСПАТЕНТ, 18.03.2013.

Публикации в других изданиях

6. Григорьевых, Е. А. Исследование помехоустойчивости физических носителей комплекснозначных кодовых последовательностей с равномерным энергетическим спектром / Е.А. Григорьевых // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2008.- №2. С.13-21.

7. Григорьевых, Е.А. Пропускная способность асинхронной адресной системы связи на базе комплекснозначных сигналов / Е.А. Григорьевых // Тезисы докладов тринадцатой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». – М.: МЭИ, 2007. Т. 1 – С. 39-40.

8. Grigorjevykh, E.A. Application of the complexvalued signals associated with composite contours in the data transmission system / E.A. Grigorjevykh //8th International Conference “Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies” (PRIA-8-2007): Conference Proceedings. Yoshkar-Ola, 2007- Vol. 1. – P.94-97.

9. Григорьевых, Е.А. Исследование помехоустойчивости физических носителей комплекснозначных сигналов / Р.Г. Хафизов, А.В. Смирнов, Е.А. Григорьевых// МарГТУ, Йошкар-Ола, 2005. – 13 с. - Деп. в ВИНТИ 22.07.05, №1070В2005.

10. Григорьевых, Е.А. Учет сферичности Земли на больших расстояниях при распространении волн УКВ диапазона/ Е.А. Григорьевых, О.В. Бурашова// Материалы Международной молодежной научной конференции "XIV Туполевские чтения"/ КГТУ им. А.Н. Туполева. Казань, 2006.- С. 86-87.

11. Григорьевых, Е.А. Аппаратно-программный комплекс обработки видеoinформации и управления подвижными объектами/ Е.А. Григорьевых, Р.Р. Галимзянов, М.А. Егошин// Материалы Международной молодежной научной конференции "XIV Туполевские чтения"/ КГТУ им. А.Н. Туполева. Казань, 2006.- С. 87-88.

12. Григорьевых, Е.А. Организация асинхронной передачи данных с применением комплекснозначных сигналов / Е.А. Григорьевых // Материалы Международной молодежной научной конференции "XV Туполевские чтения"/ КГТУ им. А.Н. Туполева. Казань, 2007.- С.120.

13. Григорьевых Е.А. Асинхронная адресная передача данных с применением комплекснозначных сигналов / Е.А. Григорьевых // Материалы Всероссийской научной студенческой конференции по естественно-научным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых»/Йошкар-Ола, 2007- С. 195.

14. Grigorjevykh E.A. The use of complexvalued signals with equienergy spectrum for the organization of asynchronous data transmission / E.A. Grigorjevykh // Тезисы докладов двенадцатой Международной научно-технической конференции

студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». – М.: МЭИ, 2006. Т. 1 – С. 48-49.

15. Григорьевых, Е.А. Синтез кватернионных кодовых последовательностей с равномерным энергетическим спектром для организации системы многоканальной передачи данных / Р.Г. Хафизов, Е.А. Григорьевых // Материалы VIII Международной конференции "Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации" / Курск, 2008.- С. 117-119.

16. Григорьевых, Е.А. Стенд для исследования характеристик многоканальной системы передачи данных с повышенной пропускной способностью / Д.Г. Хафизов, Р. Г. Хафизов, Е.А. Григорьевых // Сборник трудов IX научно-практической конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instrument». Москва, 2010. С. 204-206.

17. Григорьевых, Е.А. Применение комплекснозначных сигналов с равномерным энергетическим спектром в сетях синхронной передачи данных / Е.А. Григорьевых, Р. Г. Хафизов // Сборник докладов международного научно-технического семинара «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях». Йошкар-Ола, 2012. С. 139-140.

18. Григорьевых, Е.А. Организация многоканальной системы передачи данных с использованием комплекснозначных сигналов / Р.Г. Хафизов, Е.А. Григорьевых// ПГТУ, Йошкар-Ола, 2013. – 84 с. - Деп. в ВИНТИ 28.06.13, №185-В2013.

Подписано в печать 30.06.2014. Формат 60x84 1/16.

Печатных листов 1,0. Тираж 110 экз. Заказ 5397

Поволжский государственный технологический университет,
424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Редакционно-издательский центр
Поволжского государственного технологического университета,
424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

