Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

М.А. РАЙФЕЛЬД, А.А. СПЕКТОР

СИСТЕМЫ И СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2019

УДК 621.396.2.037.3(075.8)
Р 186

Рецензенты:
канд. техн. наук, доцент *А.В. Кривецкий*
канд. техн. наук, доцент *Ю.В. Морозов*

Работа подготовлена на кафедре теоретических основ радиотехники для студентов факультета радиотехники и электроники, обучающихся по направлениям: 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль «Системы мобильной связи»; 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, магистерская программа «Методы обработки информации в телекоммуникационных системах»; 11.03.01 – Радиотехника; 11.04.01 – Радиотехника, магистерская программа «Статистические методы обработки сигналов и изображений»

Райфельд М.А.

Р 186 Системы и сети мобильной связи: учебное пособие / М.А. Райфельд, А.А. Спектор. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 96 с.

ISBN 978-5-7782-3833-6

Материал учебного пособия направлен на изучение принципов передачи информации в современных системах мобильной связи. Рассматриваются вопросы кодирования и цифровой модуляции, применения широкополосных сигналов, основные разновидности каналов мобильной связи. Приводится описание системы IS-95.

Адресовано студентам РЭФ, обучающимся по направлениям бакалавриата и магистратуры «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

УДК 621.396.2.037.3(075.8)

ISBN 978-5-7782-3833-6

© Райфельд М.А., Спектор А.А., 2019
© Новосибирский государственный технический университет, 2019

Оглавление

Введение 7

Глава 1. Фазоманипулированные сигналы в системах связи 9

1.1. Некоторые теоретические положения 9

1.1.1. Общие сведения о многостанционных системах связи 9

1.1.2. Фазоманипулированные сигналы в системах связи 12

1.1.3. М-последовательности и коды Голда 16

1.2. Краткие сведения о моделирующей программе 27

1.3. Домашнее задание 29

1.3.1. Генерирование М-последовательностей 29

1.3.2. КФ М-последовательностей 30

1.3.3. Генерирование кодов Голда 30

1.3.4. КФ кодов Голда 30

1.4. Экспериментальное исследование 31

1.4.1. Изучение принципа генерирования М-последовательностей 31

1.4.2. Изучение КФ М-последовательностей 31

1.4.3. Изучение принципа генерирования кодов Голда 32

1.4.4. Изучение КФ кодов Голда 32

1.5. Сравнение кодов Голда и М-последовательностей 33

Контрольные вопросы 33

Глава 2. Каналы мобильной связи 35

2.1. Некоторые теоретические положения 35

2.2.1. Канал с аддитивным белым гауссовским шумом 35

2.1.2. Многолучевые каналы с замираниями 36

2.2. Краткое описание правил работы с системой MatLab 40

2.3. Экспериментальное исследование 46

Изучение каналов мобильной связи с помощью моделей MatLab/Simulink 46

Контрольные вопросы 50

Глава 3. Блочное и сверточное кодирование 51

3.1. Некоторые теоретические положения 52

3.1.1. Блочное систематическое кодирование 52

3.1.2. Сверточное кодирование 54

3.2. Указания по использованию пакета Simulink для создания модели кодера и декодера 58

3.2.1. Модель блочного кодирования 58

3.2.2. Модель сверточного кодирования 60

3.3. Экспериментальное исследование 61

3.3.1. Исследование блочного кодера 61

3.3.2. Исследование сверточного кодера 62

Контрольные вопросы 62

Глава 4. Помехоустойчивые спектрально-эффективные виды модуляции (BPSK, DBPSK, QPSK, OQPSK, MSK) 63

4.1. Некоторые теоретические положения 65

4.1.1. Общие сведения о видах модуляций, используемых в системах подвижной связи 65

4.1.2. Двоичная фазовая манипуляция (BPSK) 65
4.1.3. Дифференциальная фазовая манипуляция (DBPSK)....65
4.1.4. Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) и квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом (OQPSK) 66
4.1.5. Манипуляция с минимальным фазовым сдвигом (MSK) 67
4.2. Указания по использованию пакета Simulink для создания моделей модуляторов и демодуляторов 67
4.2.1. Источники данных....68
4.2.2. Модели модулятора и демодулятора BPSK 69
4.2.3. Модели модулятора и демодулятора DBPSK 70
4.2.4. Модели модулятора и демодулятора QPSK....70
4.2.5. Модели модулятора и демодулятора OQPSK 70
4.2.6. Модели модулятора и демодулятора MSK....71
4.3. Экспериментальное исследование....72
Контрольные вопросы 72

Глава 5. Исследование прямого канала трафика системы IS-95....73
Общие сведения о системе IS-95....73
Структура прямого канала IS-95 74
5.1. Структура схемы макета....77
5.2. Экспериментальное исследование....80
Контрольные вопросы 84

Глава 6. Исследование обратного канала трафика системы IS-95....85
Общие сведения о системе IS-95....85
Структура обратного канала IS-95 86

6.1. Структура экспериментального макета.....88
6.2. Экспериментальное исследование.....91
Контрольные вопросы 94
Библиографический список 95

Глава 1

ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Содержанием первой главы является изложение принципов генерирования и применения в современной связи фазоманипулированных (ФМ) сигналов, получение которых основано на использовании рекуррентных двоичных последовательностей. Рассматриваются методы получения и корреляционные свойства М-последовательностей и кодов Голда, применяемых для формирования ФМ-сигналов.

1.1. Некоторые теоретические положения

1.1.1. Общие сведения о многостанционных системах связи

Одной из основных проблем систем подвижной связи является беспрепятственная работа любых двух абонентов в условиях одновременной работы в общем канале многих других абонентов. Суть проблемы состоит в обеспечении правильной адресации сигнала, который должен оказаться на выходе приемного устройства адресата-получателя сообщения. Вместе с тем должно быть сведено к минимуму влияние чужих сигналов на приемное устройство принимающего абонента. Существуют различные способы разделения каналов, одним из современных способов является разделение *по форме сигналов*. Суть его заключается в том, что в роли переносчика информации для данного абонента используется определенный индивидуальный адресный сигнал.

Общий принцип связи на основе адресного разделения каналов иллюстрирует рис. 1.1. Источник сообщения ИС_i, желающий передать информацию l-му получателю сообщения ПС_l, осуществляет модуля-

цию *l-го адресного сигнала* передаваемым сообщением. Как и во всех радиотехнических системах, сигнал далее в высокочастотном модуляторе переносится на высокую (несущую) частоту. Сформированный высокочастотный сигнал поступает затем в общий радиоканал, в котором одновременно присутствуют сигналы других абонентов, участвующих в связи в это же время. Нередко в таких системах связи всеми абонентами используется одна и та же несущая частота, так что разделение абонентов путем частотно-избирательной фильтрации невозможно. Единственным признаком, по которому обеспечивается селективное восприятие получателем сообщения адресованной ему информации, является форма адресного сигнала. Имеющийся в его приемном устройстве селектор каналов выполняет *согласованную обработку* этого адресного сигнала, например, путем согласованной фильтрации либо корреляционной обработки.



Рис. 1.1. Многостанционная система связи, основанная на разделении информации по форме сигналов

При таком принципе действия большое значение имеют свойства сигналов, используемых в качестве *адресов*. Идеальными были бы такие свойства, при которых поступление *чужой* информации, передаваемой при помощи *чужих* адресных сигналов, приводило к нулевому выходному эффекту приемного устройства l-го абонента при обеспечении *нормальной* чувствительности к информации, передаваемой с использованием l-го адресного сигнала. Такие или близкие к ним качества систем связи достигаются в системах, работающих в синхронных режимах, если адресные сигналы составляют ортогональный ансамбль.

В настоящее время наряду с синхронными системами связи широкое применение находят асинхронно-адресные системы связи (ААСС), в которых синхронизация отсутствует. В этих системах любой абонент направляет свое сообщение другому абоненту в *произвольный момент времени*, используя для этого определенный (индивидуальный) сигнал-переносчик информации, играющий роль *адреса получателя сообщения*. Техническим признаком, объединяющим абонентов в общую систему, служит, во-первых, использование общей несущей частоты и, во-вторых, использование общей базисной системы адресных сигналов, применяемых для разделения абонентов.

Общей чертой систем связи, конфигурация которых представлена на рис. 1.1, является практически автономный набор аппаратуры приема и передачи у каждого абонента. Вместе с тем всех абонентов объединяют указанные общие признаки. Технически каждый абонент представляет собой *почти* независимую *станцию* связи. Поэтому системы связи с такой конфигурацией получили название *многостанционных* систем. Подчеркнем отличие таких систем связи от классических многоканальных систем, чьей определяющей особенностью является наличие общего (единственного) передатчика для всех источников сообщений и общего приемника для всех получателей. Применение принципа *многоканальной* передачи информации возможно и оправдано тогда, когда имеется значительное количество абонентов с фиксированным местоположением в двух разнесенных пунктах. В отличие от этого *многостанционный* принцип используется для обеспечения связи между абонентами, которые произвольно распределены в пространстве, что не позволяет их сгруппировать для привязки к общей приемно-передающей аппаратуре. Более того, многостанционный доступ является эффективным средством, позволяющим решить проблему обеспечения связью *подвижных* объектов.