

Математическое моделирование систем беспроводной связи



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

Монография

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 621.391.6.001.5

ББК 32.88

М34

Авторы

А.С. Вершинин, Д.Н. Ушарова, Д.Ю. Майков,
А.В. Пуговкин, А.Ю. Демин, Е.В. Рогожников

М34

Математическое моделирование систем беспроводной связи: монография / А.С. Вершинин, Д.Н. Ушарова, Д.Ю. Майков и др.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 164 с.

ISBN 978-5-4387-0496-6

Монография посвящена алгоритмам обработки и преобразования сигнала в беспроводных системах связи. Рассмотрены вопросы анализа, формирования и обработки сложных широкополосных сигналов.

Предназначена для студентов и выпускников радиотехнических специальностей, изучающих методы математического моделирования сигналов и помех в современных телекоммуникационных системах.

УДК 621.391.6.001.5

ББК 32.88

Рецензенты

Доктор технических наук,
профессор кафедры телекоммуникаций
и основ радиотехники ТУСУРа
А.В. Филатов

Кандидат физико-математических наук
заведующий кафедрой телекоммуникаций
и основ радиотехники ТУСУРа
А.Я. Демидов

ISBN 978-5-4387-0496-6

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2014

© Авторы, 2014

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЦИФРОВОЙ КАНАЛ СВЯЗИ	6
1.1. Цифровой канал связи.....	6
1.2. Модели физических каналов.....	10
1.2.1. Линейный фильтрующий канал.....	11
1.2.2. Линейный фильтрующий канал с переменными параметрами.....	11
1.3. Многолучевой канал распространения радиоволн.....	12
1.3.1. Замирания в каналах связи.....	13
1.3.2. Многолучевой канал, импульсная характеристика канала.....	15
1.3.3. Числовые характеристики многолучевого канала и классификация искажений.....	17
1.3.4. Имитационное моделирование многолучевого канала с рассеянием по частоте и во времени.....	21
2. СИГНАЛЫ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ	28
2.1. Представление полосовых сигналов.....	28
2.2. Комплексная огибающая. Векторное представление сигнала.....	29
2.3. Квадратурный модулятор.....	31
2.4. Межсимвольная интерференция. Фильтр Найквиста.....	32
2.4.1. Формирующий фильтр Найквиста для устранения МСИ.....	35
2.4.2. Физически-реализуемый формирующий фильтр «приподнятого косинуса».....	37
2.4.3. Формирующий фильтр для согласованного приема сигналов. Фильтр «корень из приподнятого косинуса».....	40
2.4.4. Квадратурная фазовая модуляция (QPSK).....	41
2.4.5. Структурная схема QPSK модулятора.....	43
2.5. Моделирование спектра QPSK сигнала с помощью фильтров Найквиста.....	46
2.6. Модуляция $\pi/4$ DQPSK.....	49
2.7. Ортогональная модуляция.....	51
2.7.1. Биортогональные сигналы.....	52
2.7.2. Демодуляция (корреляционный прием) ортогональных сигналов.....	53
2.7.3. Оценки помехоустойчивости при когерентном приеме.....	54
2.8. Ортогональное частотное мультиплексирование данных (OFDM).....	55
3. ОРГАНИЗАЦИЯ КАНАЛОВ СО МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ	59
3.1. Множественный доступ с частотным разделением.....	60

3.2. Множественный доступ с временным разделением.....	64
3.3. Множественный доступ с кодовым разделением.....	67
4. СИГНАЛЫ С РАСШИРЕНИЕМ СПЕКТРА	71
4.1. Псевдослучайные последовательности и их свойства	73
4.2. Линейные последовательности максимальной длины (m-последовательности)	76
4.3. Последовательности Голда (g-последовательности).....	80
4.4. Последовательности Касами (k-последовательности)	82
5. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ КОДИРОВАНИЕ	90
5.1. Канал передачи данных для систем MIMO 2×2	92
5.2. Методы оценки сообщения по принимаемому сигналу	93
5.3. Пространственно-временное кодирование Аламоути.....	96
5.4. Пространственное мультиплексирование сигналов MIMO	100
5.4.1. Линейные методы обработки сигналов.....	100
5.4.2. Нелинейные методы обработки сигналов.....	102
5.5. Сравнение методов оценки переданных сообщений.....	104
5.6. Моделирование методов пространственной обработки сигналов	106
5.6.1. Моделирование пространственно-временного кодирования ...	106
5.6.2. Результаты моделирования алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов	110
5.6.3. Моделирование алгоритмов пространственного мультиплексирования	113
5.7. Модели каналов распространения радиоволн для систем связи с пространственным кодированием сигналов	118
5.8. Обзор характеристик каналов передачи сигналов в системах связи MIMO	122
5.8.1. Импульсная характеристика широкополосного и узкополосного каналов SISO	123
5.8.2. Характеристики канала передачи системы MISO	126
5.8.3. Характеристики канала передачи системы SIMO	128
5.8.4. Характеристики канала передачи системы MIMO (общий случай).....	130
6. РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ	133
6.1. Общие принципы построения РРЛ.....	133
6.2. Построение пролетов ЦРЛ.....	134
6.3. Расчет уровней сигналов	142
7. СИНХРОНИЗАЦИЯ В OFDM-СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ.....	146
7.1. Алгоритм символьной синхронизации.....	146
7.2. Частотная синхронизация	151
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	159