

Оглавление

Введение.....	3
1. Математические модели канала связи в системах подвижной радиосвязи.....	8
1.1. Модели каналов связи с замираниями.....	8
1.2. Характеристики в частотной области.....	12
1.3. Характеристики во временной области.....	16
1.4. Неселективные замирания.....	18
1.5. Частотно-селективные замирания.....	19
1.6. Модель канала связи на примере системы с кодовым разделением каналов.....	20
1.7. Необходимость применения математических моделей для задачи оценивания параметров канала.....	22
1.8. Явление доплеровского расширения спектра сигналов.....	23
1.9. Модель Джейкса.....	27
2. Системы беспроводной связи с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами (MIMO).....	30
2.1. Основы технологии MIMO.....	30
2.2. Система MIMO с пространственным мультиплексированием.....	32
2.3. Пропускная способность системы MIMO.....	34
2.4. Пространственно-временное кодирование.....	36
2.5. MIMO в режиме пространственно-временного кодирования (MIMO-STC) и в режиме пространственно-го мультиплексирования (MIMO-SM).....	43
2.6. Концепция технологии Beamforming.....	46
3. Алгоритмы демодуляции в системах радиосвязи MIMO.....	50
3.1. Алгоритм демодуляции, оптимальный по критерию максимального правдоподобия.....	50
3.2. Алгоритм Zero Forcing (декоррелятор).....	51

3.3. Алгоритм демодуляции, оптимальный по критерию минимума среднеквадратической ошибки	51
3.4. Линейный итерационный алгоритм демодуляции ..	52
3.5. Алгоритм демодуляции типа V-BLAST	54
3.6. Алгоритм «мягкого» оценивания дискретного сигнала	55
4. Демодуляция радиосигналов	68
4.1. Модуляция и демодуляция цифровых сигналов. Общие принципы	68
4.2. Двоичное представление цифровых сигналов	72
4.3. Демодуляция сигналов QAM с «жесткими» решениями	79
4.4. Демодуляция сигналов QAM с «мягкими» решениями	83
5. Технология OFDM	93
5.1. Основные принципы технологии OFDM	95
5.2. Идеализированная модель системы OFDM	102
6. Кодовое разделение каналов (CDMA)	106
6.1. Преимущества технологии CDMA	106
6.2. Шумоподобные сигналы на основе псевдослучайных последовательностей и их корреляционные свойства	107
6.3. Структурная схема системы CDMA	109
6.4. Принцип передачи и приема сообщений в системе CDMA	110
6.5. Разделение сигналов пользователей при CDMA ...	112
7. Алгоритмы демодуляции в системах связи с кодовым разделением каналов. Многопользовательский прием сигналов	114
7.1. Внутриканальная помеха в системе с кодовым разделением каналов. Проблема «близкий-далекий» ..	114
7.2. Традиционный многопользовательский демодулятор	119
7.3. Оптимальный многопользовательский демодулятор	121
7.4. Квазиоптимальные линейные многопользовательские демодуляторы	127
7.5. Квазиоптимальные нелинейные многопользовательские демодуляторы	141

7.6. Обобщение на случай асинхронной модели канала связи	147
7.7. Обобщение на случай многолучевой модели канала связи	153
7.8. Совместное использование алгоритмов многопользовательской демодуляции и декодирования	162
8. Перспективные технологии радиосвязи физического уровня для систем связи 5G	171
8.1. Общие сведения о системах связи 5G	171
8.2. Особенности построения систем связи 5G	172
8.3. Основные направления научных исследований в области 5G	174
8.4. Радиотехнологии, которые предполагается использовать в системах связи 5G	177
8.5. Новые радиоинтерфейсы, которые предполагается использовать в системах связи 5G	180
9. Математическое моделирование алгоритмов цифровой обработки сигналов. Система MATLAB .	188
9.1. Цель и задачи математического моделирования ...	188
9.2. Сущность моделирования на ЭВМ	189
9.3. Процесс моделирования	191
9.4. Вычислительный эксперимент	195
9.5. Общая схема моделирования	199
9.6. Особенности систем радиосвязи как объектов исследования с помощью моделирования на ЭВМ	201
9.7. Принципы формального описания систем радиосвязи	203
9.8. Схема статистического моделирования с помощью формального описания системы связи	207
9.9. Эффективность и показатели качества работы системы	208
9.10. Примеры математических моделей алгоритмов, реализованных средствами MATLAB	212
10. Вычислительная сложность алгоритмов обработки сигналов	225
10.1. Алгоритмы	225
10.2. Понятие о вычислительной сложности	226
10.3. Функция сложности алгоритма	229

10.4. Подсчет вычислительной сложности	233
10.5. Методы снижения вычислительной сложности	235
10.6. Быстрые алгоритмы умножения матриц	239
Заключение	242
Приложения	243
Приложение 1. Сведения о матрицах и операциях над ними	243
Приложение 2. Некоторые сведения из теории вероятностей и математической статистики	249
Приложение 3. Двоичное представление табличной функции	254
Приложение 4. Моделирование некоторых случайных величин с помощью системы MATLAB	256
Приложение 5. Вычислительная сложность основных скалярных и векторно-матричных операций, используемых в алгоритмах обработки сигналов ...	259
Приложение 6. Расчет числа операций при обращении корреляционной матрицы по формуле Фробениуса	261
Приложение 7. Расчет числа операций, необходимых для реализации алгоритма демодуляции, оптимального по критерию минимума среднеквадратической ошибки (MMSE)	263
Список сокращений	264
Литература	266