

# Оглавление

---

Введение .....	3
<b>1. Система связи с несколькими передающими и несколькими приёмными антеннами (MIMO) .....</b>	<b>7</b>
1.1. Системы связи с несколькими антеннами .....	7
1.2. Математическая модель системы MIMO .....	9
1.3. Пропускная способность системы MIMO .....	11
1.4. Пропускная способность систем SIMO и MISO .....	18
1.5. Пропускная способность системы MIMO в условиях замираний .....	22
1.6. Многопользовательские системы MIMO .....	34
<b>2. Пространственно-временное кодирование .....</b>	<b>39</b>
2.1. Разнесённая передача по задержкам .....	39
2.2. Схема Аламоути .....	40
2.3. Общие сведения о пространственно-временном блочном кодировании .....	46
2.4. Ортогональные пространственно-временные блочные коды для случая действительного сигнального созвездия .....	49
2.5. Ортогональные пространственно-временные блочные коды для случая комплексного сигнального созвездия .....	53
2.6. Критерии синтеза пространственно-временных блочных кодов .....	58
2.7. Квазиортогональные пространственно-временные блочные коды. Вращение созвездия .....	59
2.8. Неортогональные пространственно-временные блочные коды. Пространственное мультиплексирование .....	69
2.9. Эквивалентная виртуальная матрица канала связи .....	73

2.10. Алгоритмы демодуляции неортогональных пространственно-временных блочных кодов .....	76
2.10.1. Метод максимального правдоподобия .....	76
2.10.2. Метод Zero Forcing (декоррелятор) .....	78
2.10.3. Алгоритм МСКО .....	80
2.10.4. Линейный итерационный демодулятор .....	82
2.10.5. Квазиоптимальный V-BLAST-демодулятор .....	85
2.10.6. Квазиоптимальный демодулятор типа K-Best ..	88
<b>3. Относительные пространственно-временные коды</b>	<b>93</b>
3.1. Относительная цифровая модуляция .....	94
3.2. Относительный пространственно-временной код для системы ММО с двумя передающими антеннами ...	96
<b>4. Системы ММО с обратной связью .....</b>	<b>103</b>
4.1. Прекодирование .....	103
4.1.1. Методы получения передатчиком информации о состоянии канала связи .....	104
4.1.2. Динамическая модель информации о состоянии канала связи .....	108
4.1.3. Оценки выигрыша в пропускной способности от использования на передающей стороне информации о канале связи .....	110
4.1.4. Линейное прекодирование .....	112
4.1.5. Критерии синтеза алгоритмов прекодирования .	115
4.2. Синтез линейных алгоритмов прекодирования .....	117
4.2.1. Оптимальная прекодирующая матрица .....	117
4.2.2. Синтез алгоритма прекодирования для случая, когда на передающей стороне имеется точная информация о текущем состоянии канала .....	119
4.2.3. Синтез алгоритма прекодирования для случая, когда на передающей стороне имеется только информация о корреляции замираний в канале ..	123
4.2.4. Синтез алгоритма прекодирования для случая, когда на передающей стороне имеется только информация о среднем значении матрицы канала	

4.2.5. Синтез алгоритма прекодирования для случая, когда на передающей стороне имеется информация о корреляции замираний в канале и о среднем значении матрицы канала .....	129
4.2.6. Общие свойства линейных алгоритмов прекодирования .....	130
4.3. Общие сведения о нелинейных алгоритмах прекодирования .....	131
4.3.1. Нелинейный алгоритм прекодирования Косты..	131
4.3.2. Принцип работы нелинейного алгоритма прекодирования Томлинсона–Харасимы .....	134
4.4. Алгоритмы прекодирования, предназначенные для работы в системе MU-MIMO .....	134
4.4.1. Линейный многопользовательский алгоритм прекодирования .....	135
4.4.2. Многопользовательская система с пространственным мультиплексированием.....	144
5. Реализация MIMO в современных и перспективных системах беспроводной связи .....	147
5.1. Система LTE .....	147
5.1.1. Схемы разнесённой передачи.....	148
5.1.2. Схемы SU-MIMO .....	151
5.1.3. Схемы MU-MIMO .....	157
5.1.4. Схемы адаптивного формирования луча диаграммы направленности .....	158
5.2. Система LTE-Advanced .....	160
5.2.1. Схемы разнесённой передачи.....	163
5.2.2. Схемы SU-MIMO .....	164
5.2.3. Схемы MU-MIMO .....	172
5.2.4. Схемы скоординированной многоточечной связи	173
5.3. Система UMTS .....	176
5.3.1. Схемы MIMO для базовых станций с двумя передающими антеннами .....	176
5.3.2. Схемы MIMO для базовых станций с четырьмя передающими антеннами .....	179
5.3.3. Схемы MIMO для абонентских станций с двумя передающими антеннами .....	181

5.3.4. Схемы многоточечной связи.....	184
5.4. Система WiMax IEEE 802.16e.....	184
5.5. Система WiMax IEEE 802.16m.....	187
5.5.1. Схемы MIMO на линии «вниз».....	187
5.5.2. Схемы MIMO на линии «вверх».....	191
5.5.3. Схемы многоточечной связи.....	193
5.6. Система Wi-Fi IEEE 802.11n.....	195
5.7. Система Wi-Fi IEEE 802.11ac.....	198
Заключение.....	202
Приложение 1. Некоторые сведения о матрицах.....	204
Приложение 2. Комплексные случайные величины, векторы и матрицы.....	211
Приложение 3. Сведения об ортогональных функ- циях.....	215
Приложение 4. Анализ сложности алгоритмов обра- ботки сигналов.....	217
Сокращения и обозначения.....	221
Литература.....	225