

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие научного редактора	15
Сведения об авторах	17
Другие издания WILEY и IEEE PRESS по данной тематике	19
Предисловие	20
Благодарности	35
Глава 1. Системы CDMA третьего поколения	37
1.1. Введение	37
1.2. Основы систем CDMA	38
1.2.1. Основы широкополосного спектра	39
1.2.1.1. Скачки частоты	40
1.2.1.2. Прямая последовательность	40
1.2.2. Влияние многолучевых каналов	43
1.2.3. Приемник Rake	47
1.2.4. Коллективный, многостанционный доступ	50
1.2.4.1. Помехи входящей линии — DL	52
1.2.4.2. Помехи исходящей линии	53
1.2.4.3. Гауссова аппроксимация	56
1.2.5. Расширяющие коды	57
1.2.5.1. m -последовательности	58
1.2.5.2. Последовательности Голда	59
1.2.5.3. Расширенные m -последовательности [102]	59
1.2.6. Оценивание канала	60
1.2.6.1. Оценивание с использованием контрольного канала	61
1.2.6.2. Оценивание исходящей линии UL с использованием контрольных символов	62
1.2.6.3. Оценивание канала по контрольным символам с управлением по решению	63
1.2.7. Заключение	65
1.3. Системы мобильной связи третьего поколения	66
1.3.1. Введение	66
1.3.2. UTRA — система наземного радиодоступа UMTS [59, 115, 117–124]	69
1.3.2.1. Характеристики UTRA	70
1.3.2.2. Транспортные каналы	74
1.3.2.3. Физические каналы	75
1.3.2.3.1. Выделенные физические каналы	77
1.3.2.3.2. Общие физические каналы	80
1.3.2.3.2.1. Общие физические каналы режима FDD	80
1.3.2.3.2.2. Общие физические каналы в режиме временного дуплекса TDD	84

1.3.2.4. Мультиплексирование и кодирование каналов в UTRA	86
1.3.2.4.1. Использование CRC	87
1.3.2.4.2. Объединение последовательности транспортных блоков — упорядочивание	87
1.3.2.4.3. Канальное кодирование	87
1.3.2.4.4. Дополнение радиоцикла	88
1.3.2.4.5. Первое перемежение	88
1.3.2.4.6. Сегментация радиоцикла	88
1.3.2.4.7. Согласование скоростей	88
1.3.2.4.8. Индикация перерыва передачи	91
1.3.2.4.9. Мультиплексирование транспортного канала	91
1.3.2.4.10. Сегментация физического канала	91
1.3.2.4.11. Второе перемежение	91
1.3.2.4.12. Вставка в физический канал	92
1.3.2.4.13. Вставка нескольких услуг с различными скоростями в физические каналы UL в режиме FDD [115]	92
1.3.2.4.14. Вставка канала данных на скорости 4,1 кбит/с в DPDCH (направление DL) в режиме FDD	94
1.3.2.4.15. Вставка нескольких каналов с различными скоростями в физические каналы (направление UL) в режиме TDD [115]	96
1.3.2.5. Переменная скорость и мультикодовая передача в UTRA	98
1.3.2.6. Расширение и модуляция	98
1.3.2.6.1. Ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения	100
1.3.2.6.2. Скремблирующие последовательности исходящей линии UL	102
1.3.2.6.3. Скремблирующие последовательности входящей линии DL	103
1.3.2.6.4. Модуляция и расширение сигналов исходящей линии UL	103
1.3.2.6.5. Модуляция и расширение на входящей линии DL	105
1.3.2.7. Произвольный доступ	106
1.3.2.7.1. Порядок произвольного физического доступа, инициированный мобильной станцией	106
1.3.2.7.2. Порядок доступа общего пакетного канала	107
1.3.2.8. Управление мощностью	108
1.3.2.8.1. Управление мощностью в UTRA с обратной связью	108
1.3.2.8.2. Управление мощностью в UTRA без обратной связи	109
1.3.2.9. Идентификация сот	109
1.3.2.9.1. Идентификация сот в режиме FDD	109
1.3.2.9.2. Идентификация соты в режиме TDD	112
1.3.2.10. Передача обслуживания	113

1.3.2.10.1. Плавная или внутрисистемная передача обслуживания	114
1.3.2.10.2. Жесткая или межсистемная передача обслуживания	114
1.3.2.11. Межсетевая временная синхронизация UTRA в режиме TDD	116
1.3.3. Система наземного радиодоступа CDMA2000 [151—153]	117
1.3.3.1. Характеристики CDMA2000	118
1.3.3.2. Физические каналы в CDMA2000	119
1.3.3.3. Канальное кодирование и мультиплексирование	123
1.3.3.4. Расширения и модуляции сигналов	123
1.3.3.4.1. Расширения и модуляции сигналов на DL	126
1.3.3.4.2. Расширение и модуляция на UL	127
1.3.3.5. Произвольный доступ	127
1.3.3.6. Передача эстафеты обслуживания	131
1.3.4. Особенности улучшения показателей работы	132
1.3.4.1. Методы разнесения передачи на входящих линиях	132
1.3.4.1.1. Пространственно-временное разнесение передаваемых закодированных блоков	132
1.3.4.1.2. Разнесение передачи за счет переключения во времени	132
1.3.4.1.3. Разнесение передачи с обратной связью	133
1.3.4.2. Адаптивные антенны	133
1.3.4.3. Многопользовательское детектирование и компенсация помех	134
1.3.5. Заключение по системам 3G	135
1.4. Итоги и выводы	135
Глава 2. Высокоскоростной пакетный доступ в исходящем и входящем направлениях	136
2.1. Введение	136
2.2. Высокоскоростной пакетный доступ во входящем направлении — DL	137
2.2.1. Физический уровень	144
2.2.1.1. Высокоскоростной входящий физический канал совместного использования (HS-PDSCH)	146
2.2.1.2. Высокоскоростной совместно используемый канал управления (HS-SCCH)	147
2.2.1.3. Высокоскоростной выделенный физический канал управления (HS-DPCCH)	149
2.2.2. Уровень управления доступом к среде передачи (MAC)	150
2.3. Высокоскоростной пакетный доступ в исходящем направлении	151
2.3.1. Физический слой	156
2.3.1.1. Расширенный выделенный физический канал данных (E-DPDCH)	158
2.3.1.2. Расширенный выделенный физический канал управления (E-DPCCH)	160
2.3.1.3. Расширенный выделенный канал индикации процедуры HARQ (E-HICH)	160

2.3.1.4. Расширенный выделенный канал с абсолютным грантом (E-AGSH)	161
2.3.1.5. Расширенный выделенный канал с относительным грантом (E-RGCH)	161
2.3.2. Уровень MAC	162
2.4. Аспекты технической реализации	167
2.4.1. Алгоритм детектирования каналов HS-SCCH	167
2.4.1.1. Алгоритм Витерби, основанный на разности метрик путей	168
2.4.1.2. Алгоритм Ямамото—Ито	168
2.4.1.3. Алгоритм минимальной разности метрик путей	169
2.4.1.4. Алгоритм средней разности метрик путей	169
2.4.1.5. Алгоритм частоты разностей метрик путей	170
2.4.1.6. Алгоритм последней разности метрик путей	170
2.4.1.7. Качественные показатели алгоритмов детектирования	170
2.4.2. Модуляция 16QAM	170
2.4.2.1. Оценка амплитуды и фазы	171
2.4.2.2. Эквалайзер (корректор)	171
2.4.3. Время обработки результатов процедуры HARQ	173
2.4.4. Пик-фактор	174
Глава 3.Packetные адаптивные беспроводные приемопередатчики HSDPA	175
3.1. Введение	175
3.2. Узкополосная пакетная адаптивная модуляция	176
3.3. Широкополосная пакетная адаптивная модуляция	180
3.3.1. Метрики качества канала	180
3.4. Широкополосные видеоприемопередатчики VbV-AQAM	183
3.5. Характеристики VbV-AQAM	188
3.6. Показатели видео широкополосной VbV-AQAM	190
3.6.1. Пороги переключения AQAM	192
3.6.2. Показатели видеотелефонов с турбокодированной AQAM	193
3.7. Адаптивные видеоприемопередатчики CDMA с совместным детектированием и последовательной передачей пакетов	195
3.7.1. Многопользовательское детектирование в CDMA	195
3.7.2. Режимы сигнализации и адаптации модема JD-ACDMA	197
3.7.3. Видеоприемопередатчик JD-ACDMA	199
3.7.4. Показатели видеоприемопередатчиков JD-ACDMA	202
3.8. Видеоприемопередатчики OFDM с адаптивными поддиапазонами	206
3.9. Итоги и заключение	211
Глава 4. Интеллектуальные антенные решетки и формирование луча	212
4.1. Введение	212
4.2. Формирование луча	213
4.2.1. Параметры антенной решетки	213
4.2.2. Потенциальные преимущества применения антенных решеток в мобильной связи	215

4.2.2.1. Многолучевая передача [6]	215
4.2.2.2. Адаптивные лучи [6]	216
4.2.2.3 Управление положением нулей диаграммы направленности [6, 295]	216
4.2.2.4 Схемы разнесения [6, 296]	217
4.2.2.5. Снижение разброса задержек и замираний при многолучевом распространении	221
4.2.2.6. Подавление внутриканальных помех	222
4.2.2.7. Повышение пропускной способности и спектральная эффективность	223
4.2.2.8. Повышение эффективности передачи	224
4.2.2.9. Сокращение эстафетной передачи обслуживания	224
4.2.3. Модель сигнала	224
4.2.4. Пример формирования луча	227
4.2.5. Аналоговое формирование луча	229
4.2.6. Цифровое формирование луча	230
4.2.7. Формирование диаграммы направленности с разнесением элементов	230
4.2.8. Формирователь диаграммы направленности с разнесением лучей	231
4.3. Адаптивное формирование луча	233
4.3.1. Фиксированные лучи	234
4.3.2. Методы с использованием временных опорных сигналов	236
4.3.2.1. Метод наименьших средних квадратов	239
4.3.2.2. Алгоритм нормированных наименьших средних квадратов	241
4.3.2.3. Обращение матрицы отсчетов	242
4.3.2.4. Рекурсивный алгоритм наименьших квадратов	250
4.3.3. Методы с использованием пространственных опорных сигналов	251
4.3.3.1. Калибровка антенны	252
4.3.4. Слепая адаптация	255
4.3.4.1. Алгоритм постоянных модулей	255
4.3.5. Применение адаптивных решеток во входящем направлении	257
4.3.6. Оценка качественных показателей адаптивного формирования луча	259
4.3.6.1. Двухэлементная адаптивная антенна, использующая обращение матрицы отсчетов	260
4.3.6.2. Двухэлементная адаптивная антенна с использованием метода обычных наименьших средних квадратов	262
4.3.6.3. Двухэлементная адаптивная антенна с использованием алгоритма нормированных наименьших средних квадратов	265
4.3.6.4. Качественные показатели трехэлементной адаптивной антенной решетки	268
4.3.6.5. Анализ сложности	282
4.4. Итоги и выводы	283

Глава 5. Адаптивные антенные решетки в сетях сотовой связи FDMA/TDMA	285
5.1. Введение	285
5.2. Моделирование адаптивных антенных решеток	286
5.2.1. Алгебраическая манипуляция с оптимальным формированием луча	287
5.2.2. Использование функций плотности вероятности	288
5.2.3. Формирование луча методом обращения матрицы отсчетов	290
5.3. Методы распределения каналов	291
5.3.1. Обзор методов распределения каналов	292
5.3.1.1. Фиксированное распределение каналов	294
5.3.1.1.1. Заимствование каналов	296
5.3.1.1.2. Гибкое распределение каналов	298
5.3.1.2. Динамическое распределение каналов	298
5.3.1.2.1. Алгоритмы DCA с централизованным управлением	301
5.3.1.2.2. Распределенные алгоритмы DCA	302
5.3.1.2.3. Локально распределенные алгоритмы DCA	303
5.3.1.3. Гибридное распределение каналов	305
5.3.1.4. Влияние процедур передачи обслуживания	306
5.3.1.5. Влияние управления мощностью передачи	307
5.3.2. Моделирование алгоритмов распределения каналов	307
5.3.2.1. Имитатор мобильной радиосети Netsim	308
5.3.2.1.1. Модель физического слоя	310
5.3.2.1.2. Модель теневого замирания	311
5.3.3. Обзор алгоритмов распределения каналов	312
5.3.3.1. Алгоритм фиксированного распределения каналов	313
5.3.3.2. Распределенные алгоритмы динамического распределения каналов	313
5.3.3.3. Локально распределенные алгоритмы динамического распределения каналов	314
5.3.3.4. Параметры качества работы алгоритмов	315
5.3.3.5. Модель неоднородного трафика	317
5.3.4. Качественные показатели DCA без адаптивных антенных решеток	318
5.4. Использование адаптивных антенных решеток	319
5.5. Среды с многолучевым распространением	322
5.6. Результаты моделирования качественных показателей сети	329
5.6.1. Параметры, используемые при моделировании системы	332
5.6.2. Результаты исследования работы неперекрывающейся сети	343
5.6.2.1. Результаты исследования работы по каналу прямой видимости	343
5.6.2.2. Результаты исследования работы по многолучевому каналу	350
5.6.2.3. Работа по каналу с многолучевым распространением с использованием управления мощностью	356
5.6.2.4. Передача по многолучевому каналу, в котором используются управление мощностью и адаптивная модуляция	363
5.6.2.5. Алгоритм управления мощностью и адаптивной модуляции	365

5.6.2.6. Качественные показатели динамического распределения каналов с использованием управления мощностью и AQAM	369
5.6.2.7. Обобщение исследования работы неперекрывающейся сети	377
5.6.3. Результаты исследования качества работы перекрывающейся сети	378
5.6.3.1. Результаты исследования качества работы по каналу прямой видимости	379
5.6.3.2. Результаты исследования качества работы по многолучевому каналу	384
5.6.3.3. Качество работы по многолучевому каналу при использовании управления мощностью	390
5.6.3.4. Качество работы сети на основе AQAM при использовании управления мощностью	396
5.7. Обобщение и выводы	406

Глава 6. Адаптивная модуляция, адаптивные антенные решетки и сетевые принципы высокоскоростного доступа HSDPA с частотным дуплексом FDD	407
6.1. Введение	407
6.2. Доступ с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра	409
6.3. Наземный радиодоступ UMTS	411
6.3.1. Расширение спектра и модуляция	412
6.3.2. Общий контрольный канал	417
6.3.3. Управление мощностью	418
6.3.3.1. Управление мощностью в исходящем направлении UL	419
6.3.3.2. Управление мощностью во входящем направлении DL	421
6.3.4. Мягкая передача обслуживания	421
6.3.5. Расчет отношения сигнала к помехе плюс шум	422
6.3.5.1. Передача от базовой станции	422
6.3.5.2. Исходящая линия UL	424
6.3.6. Многопользовательское детектирование	424
6.4. Результаты моделирования	426
6.4.1. Параметры моделирования	426
6.4.2. Влияние управления мощностью на проведение мягкой передачи	431
6.4.2.1. Фиксированные пороги уровня мощности без замираний	432
6.4.2.2. Фиксированные пороги уровня мощности при замираниях 0,5 Гц	436
6.4.2.3. Фиксированные пороги принимаемой мощности контрольного сигнала при замираниях с частотой 1 Гц	438
6.4.2.4. Основные итоги и выводы	439
6.4.2.5. Относительные уровни порогов контрольных сигналов без замираний	440
6.4.2.6. Относительные уровни порогов контрольных сигналов с замираниями частотой 0,5 Гц	442
6.4.2.7. Относительные уровни порогов контрольных сигналов с замираниями частотой 1 Гц	445
6.4.2.8. Заключение	447

6.4.3. Результаты моделирования мягкой передачи обслуживания, основанного на отношении E_o/I_o	447
6.4.3.1. Фиксированные пороги E_o/I_o без замираний	448
6.4.3.2. Фиксированные пороги E_o/I_o при замираниях с частотой 0,5 Гц	452
6.4.3.3. Фиксированные пороги E_o/I_o при замираниях с частотой 1,0 Гц	453
6.4.3.4. Итоги	455
6.4.3.5. Относительные пороги E_o/I_o без замираний	455
6.4.3.6. Относительные пороги E_o/I_o при замираниях с частотой 0,5 Гц	457
6.4.3.7. Относительные пороги E_o/I_o при замираниях с частотой 1,0 Гц	460
6.4.3.8. Итоги	460
6.4.4. Обзор результатов	461
6.4.5. Показатели адаптивных антенных решеток в обстановке с высокой скоростью передачи данных пешеходом	463
6.4.6. Показатели работы в условиях высокоскоростной передачи данных пешеходом с использованием адаптивных антенных решеток и адаптивной модуляции	472
6.5. Итоги и выводы	481
Глава 7. Характеристики систем FDD/CDMA с hsdpa при использовании слабосинхронизированных расширяющих кодов	482
7.1. Влияние слабосинхронизированных расширяющих кодов на качественные показатели систем CDMA	482
7.1.1. Введение	482
7.1.2. Слабосинхронизированные коды [427]	484
7.1.3. Параметры системы	486
7.1.4. Результаты моделирования	491
7.1.5. Выводы	502
7.2. Влияние размера соты на качественные показатели системы UTRA	503
7.2.1. Введение	503
7.2.2. Модель и параметры системы	504
7.2.3. Результаты моделирования и их сравнение	507
7.2.3.1. Качественные показатели сети при использовании адаптивных антенных решеток	510
7.2.3.2. Качественные показатели сети при использовании адаптивных антенных решеток и адаптивной модуляции	513
7.2.4. Заключение и выводы	514
7.3. Влияние порога SINR на качественные показатели систем CDMA	515
7.3.1. Введение	515
7.3.2. Результаты моделирования	515
7.3.3. Заключение и выводы	518
7.4. Характеристики сетевого уровня системы CDMA с несколькими несущими	518
7.4.1. Введение [440]	518
7.4.2. Результаты моделирования	520
7.4.3. Заключение и выводы	523

Глава 8. Показатели сети типа HSDPA с TDD/CDMA	524
8.1. Введение	524
8.2. Сравнение режимов дуплекса FDD и TDD в системе наземного радиодоступа UMTS	524
8.2.1. Распределение спектров UTRA в режимах FDD и TDD	525
8.2.2. Физические каналы	526
8.3. Система UTRA с TDD/CDMA	527
8.3.1. Физический слой режима TDD	528
8.3.2. Общий физический канал в режиме TDD	529
8.3.3. Управление мощностью	530
8.3.4. Опережение во времени	530
8.4. Сценарии помех в CDMA с TDD	532
8.4.1. Взаимные влияния между мобильными станциями МС	533
8.4.2. Взаимные влияния между базовыми станциями БС	533
8.5. Результаты моделирования	534
8.5.1. Параметры моделирования [416]	535
8.5.2. Показатели системы CDMA с TDD, оснащенной адаптивными антенными решетками	538
8.5.3. Показатели использования в системе типа HSDPA с TDD адаптивных антенных решеток и адаптивной модуляции	545
8.6. Показатели использования в системе типа UTRA TDD/CDMA слабосинхронизированных расширяющих кодов	549
8.6.1. Введение	549
8.6.2. Коды LS Codes в системе UTRA с TDD/CDMA	550
8.6.3. Системные параметры	552
8.6.4. Результаты моделирования	553
8.6.5. Итоги и выводы	557
Глава 9. Влияния управления мощностью и жесткой передачи обслуживания на показатели системы UTRA с TDD/CDMA	558
9.1. Историческая ретроспектива систем передачи обслуживания	558
9.2. Жесткая ЭПО в UTRA-подобных системах TDD/CDMA	560
9.2.1. Жесткая процедура ЭПО, использующая относительный уровень контрольного сигнала	561
9.2.2. Результаты моделирования	563
9.2.2.1. Почти симметричные транспортные нагрузки UL/DL	563
9.2.2.2. Асимметричный трафик	566
9.3. Управление мощностью в системах типа UTRA с TDD/CDMA	573
9.3.1. Управление мощностью с обратной связью в направлении DL в системе UTRA с TDD	574
9.3.2. Управление мощностью с обратной связью в исходящем направлении системы UTRA с TDD	577
9.3.3. Результаты моделирования управления мощностью с обратной связью ..	577
9.3.3.1. Симметричные нагрузки трафика в направлениях UL/DL	578

9.3.3.2. Асимметричный трафик с преобладанием в исходящем направлении UL	581
9.3.3.3. Асимметричные нагрузки с преобладанием трафика в нисходящем направлении DL	584
9.3.4. Управление мощностью без обратной связи в восходящем тракте UL системы UTRA TDD	587
9.3.5. Модель регулирования мощности при задержке на цикл	588
9.3.5.1. Симметричный трафик в направлениях UL/DL	594
9.3.5.2. Асимметричные нагрузки трафика	597
9.4. Итоги и выводы	600
Глава 10. Генетически модифицированные показатели сети UTRA/TDD	602
10.1. Введение	602
10.2. Генетически модифицированная система типа UTRA с TDD/CDMA	603
10.3. Результаты моделирования	609
10.4. Заключение и выводы	614
Глава 11. Выводы и дальнейшие исследования	615
11.1. Краткие выводы относительно построения сети FDD	615
11.2. Итоги сравнения сетей с частотным FDD и временным TDD дуплексом	622
11.3. Дальнейшие исследования	629
11.3.1. Модифицированные целевые функции	630
11.3.2. Другие типы генетических алгоритмов	631
Глоссарий	633
Список литературы	638
Предметный указатель	666