

Сакалема Домингуш Жайме

# ПОДВИЖНАЯ РАДИОСВЯЗЬ

Москва  
Горячая линия – Телеком  
2012

УДК 621.396.218

ББК 32.884.1

C15

**Сакалема Домингуш Жайме**

**C15** Подвижная радиосвязь / Под ред. профессора О. И. Шелухина. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 512 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0250-3.

Рассмотрены принципы построения классификация и основные характеристики систем подвижной радиосвязи. Систематизированы обширные сведения об особенностях организации радиосвязи с подвижными объектами и передачи массовых сообщений, в том числе об особенностях построения, функционирования и проектирования сотовых сетей с кодовым разделением каналов. Изложены принципы построения профессиональных (транкинговых) систем подвижной радиосвязи. Рассмотрены принципы построения и технические характеристики систем беспроводного доступа. Анализируются различные варианты применения беспроводных сетей и обсуждаются получаемые в результате их использования преимущества. Рассмотрены системы радиодоступа на основе передачи сообщений с расширенным спектром. Приведены характеристики широко распространенных стандартов широкополосной беспроводной связи и систем беспроводной телефонии IEEE 802.11x, IEEE 802.16., LTE и др. Рассмотрены вопросы организации спутниковых сетей связи и навигации. Приведены основные показатели систем и сетей спутниковой связи и зоны видимости, покрытия, обслуживания. Анализируются виды много-станционного доступа. Даны основные технические показатели земных станций и космического сегмента систем спутниковой связи и навигации.

Для широкого круга специалистов и студентов высших учебных заведений радиотехнического и инфокоммуникационного профилей.

**ББК 32.811.7**

*Адрес издательства в Интернет [www.techbook.ru](http://www.techbook.ru)*

Научное издание

**Сакалема Домингуш Жайме**

**ПОДВИЖНАЯ РАДИОСВЯЗЬ**

Под редакцией профессора О. И. Шелухина

Редактор Ю. Н. Чернышов

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 05.06.2012. Формат 70×100/16. Уч.-изд. л. 42,5.

Тираж 1000 экз. (1-й завод 200 экз.) Изд. № 120250

ISBN 978-5-9912-0250-3

© Автор, 2012

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2012

## Введение

---

Понятие «радиосистемы» охватывает большое число различных систем связи. К радиосистемам относятся тропосферные, радиорелейные, космические системы связи, телевидение, системы ВЧ (коротковолновой) связи, радиолокации и радионавигации и др. Однако в последние годы наибольшее развитие получили радиосистемы подвижной связи и беспроводного доступа.

Системы наземной подвижной связи — одни из наиболее быстро развивающихся в сфере телекоммуникаций. Очень быстро развиваются системы беспроводного доступа различного назначения, в том числе обеспечивающие высокоскоростную передачу данных. Сфера подвижной связи весьма привлекательна для бизнеса: она характеризуется значительными инвестициями и их быстрой окупаемостью. Подвижная связь имеет ряд принципиальных отличий от других телекоммуникационных систем, которые явились ответом на два «отягчающих» обстоятельства.

Во-первых, современные системы подвижной связи вынуждены функционировать в условиях острейшего дефицита частотного ресурса. Во-вторых, радиоканалы систем подвижной связи имеют, как правило, очень плохое качество. Они характеризуются глубокими замираниями сигнала, высоким уровнем помех и многолучевостью, которая, в свою очередь, вызывает межсимвольную интерференцию сигналов.

Современная подвижная связь стала возможной благодаря широчайшему использованию новейших научных достижений и технологий, прежде всего в области цифровой обработки сигналов, микропроцессорной техники, адаптивных систем управления. Вместе с тем системы подвижной связи весьма сложны. Достаточно сказать, что каждая включенная абонентская станция находится в постоянном взаимодействии с сетью. Наряду с разветвленными алгоритмами управления в системах подвижной связи применяют сложные методы передачи и обработки сигналов с использованием самых современных быстродействующих процессоров.

Подвижная связь очень быстро развивается: помимо внедрения новых технологий, таких, как пакетная высокоскоростная передача данных, интеграция подвижной связи и Интернета, внедрение принципов кодового разделения каналов (CDMA), операторы расширяют список предоставляемых услуг и развивают технологии, позволяющие абоненту использовать эти услуги не только в домашней сети, но и при роуминге.

Кроме того, системы CDMA позволяют добиваться высокого качества обслуживания абонентов, которое обусловлено применением усовершенствованных алгоритмов обработки сигналов. Цифровые сотовые системы связи на основе CDMA способны обеспечить надежное функционирование в условиях замираний сигнала.

ла. При этом используются особенности многолучевого распространения сигнала для улучшения качества связи. Кодированная форма сигналов в системе CDMA служит гарантией высокой степени защиты от подслушивания и делает цифровую сотовую систему более защищенной от помех, сканирующих приемников и различного мошенничества.

В настоящее время мы находимся на этапе смены поколений подвижной связи: начинают активно использоваться технологии и стандарты 3-го, а в самом недалеком будущем — 4-го поколения. В книге излагаются вопросы построения широкого класса существующих систем подвижной радиосвязи.

Излагаются принципы построения таких систем, вопросы организации связи, вопросы безопасности организации связи в подобных системах, дается обзор современного состояния, а также тенденции развития современных систем связи с подвижными объектами.

Рассматриваются принципы построения, классификация и основные характеристики систем подвижной радиосвязи. Анализируются особенности построения радиосвязи с подвижными объектами и передачи массовых сообщений.

Излагаются принципы построения профессиональных (транкинговых) систем подвижной радиосвязи. Под термином транкинг понимается метод равного доступа абонентов к общему выделенному пучку (trunk — пучок) каналов, при котором конкретный канал закрепляется для каждого сеанса связи индивидуально в зависимости от распределения нагрузки в системе. Термин «транкинг» впервые стал употребляться для обозначения систем радиотелефонной связи, ориентированных на организацию ведомственной, внутрипроизводственной и технологической связи. Первоначально такие системы использовались при организации систем подвижной радиосвязи, не имеющих присоединения к телефонным сетям общего пользования. В основу этих систем подвижной радиосвязи закладывался принцип общности интересов (корпоративности) пользователей, поэтому в сетях, построенных на их основе, трафик должен замыкаться внутри этих сетей.

В последние годы появилась тенденция создания на базе транкинговых систем — систем радиосвязи общего пользования, которые являются продолжением телефонных сетей общего пользования (ТфОП).

В разделе, посвященном системам беспроводного доступа, даны основные определения, относящиеся к беспроводным сетям, и кратко описаны их основные типы. Анализируются многие варианты применения беспроводных сетей и обсуждаются получаемые в результате их использования преимущества. Рассматриваются системы радиодоступа на основе передачи сообщений с расширенным спектром. Излагаются принципы построения систем с расширенным спектром, а также характеристики системы с прямым расширением спектра.

Приводятся характеристики широко распространенных стандартов широкополосной беспроводной связи и системы беспроводной телефонии IEEE 802.11x, IEEE 802.16., LTE и др.

Значительное место в книге занимают вопросы спутниковой связи с подвижными объектами. В последнее время спутниковые системы связи получили своё дальнейшее развитие за счёт совместного использования спутникового и наземного каналов связи. Среди основных направлений развития как существующих, так и разрабатываемых спутниковых систем передачи информации можно выделить:

- предоставление пользователям нового спектра услуг в области цифровой передачи речи, звука, видеоизображений, мультимедиа и Интернет;
- интеграция услуг, возможность передавать данные, речь, видео в общем цифровом потоке, поддержка разнообразных коммуникационных интерфейсов и протоколов;
- разработку новых возможностей мультиплексоров сетей спутниковой связи (ССС), их интеграцию с компьютерными сетями.

Выбор того или иного метода коммутации при распределении ресурсов пропускной способности спутниковых линий требует всестороннего анализа особенностей передаваемой нагрузки, в том числе времени задержки для того или иного вида информации; объема передаваемой информации и процентного соотношения в нем различных видов нагрузки; экономических показателей; специфических особенностей того или иного вида информации и т. д. Известные методы коммутации и уплотнения позволяют создавать СССР, обеспечивающие эффективное использование ресурса пропускной способности сетей связи.

В книге анализируются основные технические показатели земных станций и космического сегмента. Приводятся основные показатели систем и сетей спутниковой связи и зоны видимости, покрытия, обслуживания. Анализируются виды многостанционного доступа. Рассматривается организация спутниковых сетей связи.

Спутниковые радионавигационные системы представляют собой всепогодные системы космического базирования и позволяют в глобальных масштабах определять текущие местоположения подвижных объектов и их скорость, а также осуществлять точную координацию времени.

Цель книги, предназначенной для широкого круга специалистов, — дать основные сведения о беспроводных сетях, их компонентах и технологиях.

Автор будет признателен за любые замечания по содержанию книги.

# Оглавление

---

Введение.....	3
<b>Часть I. Принципы построения, классификация и характеристики систем подвижной радиосвязи</b>	
<b>Глава 1. Классификация и основные функции систем подвижной радиосвязи.....</b>	<b>6</b>
1.1. Системы передачи информации. Основные понятия.....	6
1.2. Структура системы передачи информации.....	11
1.3. Сети и службы передачи данных.....	17
1.4. Характеристики канала связи.....	22
1.5. Качество обслуживания при передаче данных.....	27
<b>Глава 2. Принципы разделения информации и множественного доступа.....</b>	<b>28</b>
2.1. Методы разделения режимов передачи и приема.....	28
2.2. Методы разделения каналов и множественного доступа.....	33
2.3. Протоколы многостанционного доступа.....	39
2.4. Разделение дуплексных каналов.....	42
<b>Глава 3.. Особенности кодового разделения сигналов.....</b>	<b>44</b>
3.1. Шумоподобные сигналы и их характеристики.....	44
3.2. Принцип работы систем с кодовым разделением.....	50
<b>Глава 4.. Особенности распространения радиоволн на трассах подвижной связи.....</b>	<b>55</b>
4.1. Характеристики канала связи.....	55
4.2. Медленные и быстрые замирания сигнала.....	58
<b>Часть II. Системы сотовой связи</b>	
<b>Глава 5. Принципы построения, классификация и основные характеристики систем подвижной радиосвязи.....</b>	<b>64</b>
5.1. Назначение сетей радиосвязи с подвижными объектами и их классификация.....	64
5.2. Принципы построения сотовых сетей радиосвязи с подвижными объектами. Основные качественные показатели.....	68

<b>Глава 6. Сотовые системы подвижной связи</b> .....	77
6.1. Эволюция развития сотовых сетей связи.....	77
6.2. Особенности построения системы сотовой связи стандарта GSM.....	82
6.3. Характеристики стандарта GSM.....	87
6.4. Идентификаторы в сетях GSM.....	91
6.5. Физические и логические каналы.....	92
6.6. Обработка информационных сигналов в системах подвижной связи.....	97
<b>Глава 7. Технологии передачи данных в стандарте GSM</b> .....	100
7.1. Высокоскоростная передача данных по коммутируемым каналам. Технология HSCSD.....	100
7.2. Пакетная передача данных. Технология GPRS. Структура GPRS.....	101
7.3. Адресация в GPRS.....	104
7.4. Радиоканалы в GPRS. Организация пользовательских каналов.....	107
7.5. Интерфейсы в GPRS.....	109
7.6. Основные процедуры в GPRS.....	113
7.7. Качество услуг в GPRS.....	115
7.8. Технология EDGE — переход к IMT2000-SC.....	116
7.9. Структура передаваемого трафика.....	118
<b>Глава 8. Сотовые сети стандарта CDMA</b> .....	119
8.1. Общие представления о стандартах с кодовым разделением каналов.....	119
8.2. Стандарт CDMA IS-95 (cdmaOne).....	125
8.3. Стандарт UMTS (UTRAN). Основные характеристики.....	142
8.4. Стандарт CDMA2000 — IMT2000-MC.....	168
8.5. Задачи обеспечения качества услуг в сетях 3-го поколения.....	170
<b>Глава 9. Основы проектирования систем сотовой связи с CDMA</b> ...	174
9.1. Общий подход к проектированию сетей сотовой связи.....	174
9.2. Принципы планирования сотовых структур. Кластеры.....	176
9.3. Определение радиуса соты.....	179
9.4. Определение емкости соты.....	181
9.5. Определение спектральной эффективности сотовой системы.....	189
9.6. Алгоритм проектирования сотовой сети с кодовым разделением каналов.....	190
<b>Глава 10. Обеспечение безопасности мобильной связи</b> .....	192
10.1. Угрозы СПС.....	192
10.2. Методы и средства противодействия угрозам СПС.....	203
10.3. Аспекты безопасности в стандарте GSM.....	205
10.4. Техническая безопасность в стандарте сотовой связи GSM.....	212
10.5. Использование передачи данных по каналам сотовой связи стандарта GSM в системах обеспечения безопасности.....	217

## Часть III. Профессиональные системы подвижной радиосвязи

<b>Глава 11. Системы тракинговой связи</b>	222
11.1. Принцип тракинговой связи	223
11.2. Транкинговые системы со сканирующим поиском свободного канала	228
11.3. Транкинговые системы с выделенным каналом управления	230
11.4. Сравнительный анализ стандартов цифровой тракинговой радиосвязи	234
<b>Глава 12. Цифровые транкинговые системы</b>	241
12.1. Возможности и преимущества стандарта TETRA	241
12.2. Радиоинтерфейс стандарта TETRA	243
12.3. Функциональный набор стандарта TETRA	246
12.4. Идентификация и адресация в рамках стандарта TETRA	247
12.5. Общая структура канального кодирования	248
12.6. Структура временных кадров	253
12.7. Структура кодера TETRA	256
12.8. Некоторые аспекты проектирования транкинговых систем	258
12.9. Безопасность в сетях TETRA	263
12.10. Перспективы развития транкинга	264

## Часть IV. Системы радиодоступа

<b>Глава 13. Основы построения систем и сетей доступа к информационным ресурсам</b>	266
13.1. Основные понятия и определения	268
13.2. История развития систем радиодоступа	273
13.3. Классификация широкополосных беспроводных систем радиосвязи	279
13.4. Методы модуляции в системах радиодоступа	286
<b>Глава 14. Беспроводные системы радиодоступа типа WLAN</b>	298
14.1. Стандарт IEEE 802.11 и 802.11b	298
14.2. Базовый стандарт IEEE 802.11	301
14.3. Стандарт IEEE 802.11a	317
14.4. Физический уровень и OFDM технология	319
14.5. Стандарт IEEE 802.11g	324
14.6. Стандарт IEEE 802.11n. Перспективы развития	330
<b>Глава 15. Альтернативные стандарты WLAN</b>	334
15.1. Сети стандарта HiperLAN Type1	334
15.2. Стандарт HiperLAN Type 2	341
15.4. Стандарт беспроводных сетей HomeRF (SWAP)	349

<b>Глава 16. Стандарт широкополосного доступа IEEE 802.16 типа WMAN</b>	356
16.1. Работа MAC-уровня стандарта IEEE 802.16	356
16.2. Основные положения стандарта	359
16.3. Физический уровень стандарта IEEE 802.16	366
16.4. Профили поддерживаемые стандартом	384
16.5. Перспективы развития широкополосного беспроводного доступа по стандартам IEEE 802.16	384
<b>Глава 17. Технология LTE</b>	386
17.1. Направления развития широкополосной беспроводной связи	386
17.2. Развитие технологии LTE	387
17.3. Принципы построения радиоинтерфейса по технологии LTE	388
17.4. Нисходящий канал	392
17.5. Восходящий канал	394
17.6. Информационные потоки	397
17.7. Многоантенные системы	398
17.8. Механизм диспетчеризации и повторные передачи	398
17.9. Сетевая архитектура SAE	399
17.10. Дальнейшие пути развития LTE	401
<b>Глава 18. Типовые решения по созданию и эксплуатации систем беспроводного абонентского доступа к информационным ресурсам</b>	402
<b>Часть V. Системы спутниковой связи и навигации</b>	
<b>Глава 19. Принципы построения и организации систем спутниковой связи</b>	405
19.1. Назначение и классификация систем спутниковой связи и требования к ним	405
19.2. Основные показатели систем спутниковой связи	407
19.3. Орбиты ИСЗ. Зоны обслуживания	411
19.4. Корпоративная спутниковая связь	416
<b>Глава 20. Спутниковая связь с подвижными объектами</b>	427
20.1. Состав и основные характеристики систем спутниковой связи с подвижными объектами	427
20.2. Классификация систем персональной спутниковой связи	430
20.3. Энергетический расчет систем спутниковой связи с подвижными объектами	433
20.4. Распределение ресурсов спутниковых ретрансляторов	438
20.5. Система спутниковой связи «Инмарсат»	440
20.6. Низкоорбитальные системы спутниковой связи	453
<b>Глава 21. Спутниковые радионавигационные системы</b>	471

21.1. Принципы навигационных определений .....	472
21.2. Назначение, состав и общая характеристика системы GPS .....	473
21.3. Режимы работы навигационных приемников .....	475
21.4. Программное обеспечение в системе GPS .....	483
21.5. Режимы работы GPS приемников .....	487
21.6. Автомобильные навигационные системы .....	493
Литература .....	497
Список сокращений .....	501