

А. М. Сомов
С. Ф. Корнев

СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

*Допущено УМО по образованию
в области информационной безопасности
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности 090106
– «Информационная безопасность
телекоммуникационных систем»*

Москва
Горячая линия - Телеком
2012

УДК 621.396.946
ББК 32.884.1
С61

Сомов А. М., Корнев С. Ф.

С61 Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов / Под ред. А. М. Сомова. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 244 с.: ил.
ISBN 978-5-9912-0225-1.

Рассмотрены принципы построения спутниковых систем связи и их составных частей. Приведены основные понятия, термины и параметры, виды служб. Освещены вопросы электромагнитной доступности и надёжности, виды помех. Анализируются методы и виды многостанционного доступа, виды модуляции и помехоустойчивого кодирования, а так же принципы действия современных спутниковых модемов. Описаны способы сжатия сигналов для сокращения информационной избыточности, приведены особенности и перспективы развития спутниковых сетей VSAT. Рассмотрены особенности мобильных спутниковых систем связи и общие технологии формирования цифровых потоков информации, особенности цифрового спутникового телевидения. Приведены основные энергетические соотношения на линии связи для спутников с использованием геостационарной орбиты.

Для студентов, обучающихся по специальности 090106 – «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», будет полезна студентам телекоммуникационных и радиотехнических специальностей, аспирантам и специалистам в области инфокоммуникаций и защиты информации.

ББК 32.884.1

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Сомов Анатолий Михайлович
Корнев Сергей Филиппович

СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Учебное пособие

Книга подготовлена при поддержке гранта Президента Российской Федерации НШ-24.2010.10

Редактор Ю. Н. Чернышов
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова
Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 25.10.2011. Печать офсетная. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 15,25. Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-9912-0225-1

© А. М. Сомов, С. Ф. Корнев, 2011

© Издательство Горячая линия–Телеком, 2011

Введение

Тенденция развития мировой сети электросвязи обусловлена переходом человеческого общества от индустриальной фазы развития к информационной и характеризуется интеграцией и конвергенцией телекоммуникационных сетей. Эта тенденция стала проявляться еще в конце прошлого столетия, когда системы связи стали переходить на цифровые формы передачи информации. Произошло слияние связанных и информационных технологий, которое послужило толчком к объединению и взаимному проникновению структур сетей и систем связи с универсализацией предоставляемых абонентам услуг. Развитие технологий связи привело к созданию глобальных сетей для передачи больших объемов информации с высокой скоростью и надежностью. Следствием этого стало перераспределение международного телекоммуникационного трафика между системами связи.

Основным способом реализации глобальной и региональных сетей связи стало применение оптоволоконных кабелей и спутниковых систем связи. Несмотря на внедрение оптоволоконных линий, спутниковые системы связи продолжают играть важную роль в качестве важного дополнения к наземным первичным сетям связи на основе волоконно-оптических линий связи.

В настоящее время на объем трафика спутниковых линий связи приходится около четверти общего мирового трафика.

В ближайшие годы предполагается постоянный рост числа действующих ретрансляторов спутниковой связи примерно на 3...6 % в год, причем более быстро будет возрастать доля ретрансляторов, используемых для передачи Интернет-трафика.

Активно продолжается внедрение сетей спутниковых терминалов с малыми размерами антенн (VSAT), что приводит к общему увеличению числа терминалов в мире. Одновременно происходит постоянное наращивание числа ИСЗ, использующих ретрансляторы Каддиапазона частот (20/30 ГГц), кроме того, в ближайшие годы следует ожидать появление ИСЗ диапaзона частот 40/50 ГГц.

В настоящее время широко используется спутниковый телевизионный стандарт DVB-S, однако более перспективен и уже находит применение новый стандарт DVB-S2, который является преемником и дальнейшим развитием стандарта DVB-S. Стандарт DVB-S2 используется для трансляции услуг, которые не могут быть реализованы традиционными методами, например ТВ сигналов, компрессированных в новых форматах или передаваемых с высоким разрешением HD

или 3D. В спутниковые системы связи активно внедряются интегрированные современные телекоммуникационные технологии на основе транспортных протоколов MPEG-2 и IP/DVB, обеспечивающие не только цифровое вещание, но и передачу данных, телефонию и доступ в Интернет.

Создание систем подвижной и персональной спутниковой связи (СПСС), интегрированных с наземными сетями связи, стало определяющей тенденцией развития технологий связи в начале XXI века. Развитие технологий СПСС осуществляется совместно с технологий наземной подвижной связи третьего (3G) и в перспективе четвертого (4G) поколения. Абонентам предоставляется широкий спектр телекоммуникационных услуг: речевая и пейджинговая связь, передача данных, определение местоположения, возможность доступа в Интернет и, в перспективе, услуги мультимедиа. Предоставляемые услуги ориентированы на конечного пользователя, независимо от времени суток и места, где он расположен.

Спутниковые системы связи имеют определенное преимущество при обеспечении универсального широкополосного доступа в Интернет, а также при теле- и радиовещании в малонаселенных районах. Системы на основе низкоорбитальных и геостационарных спутников обеспечивают альтернативное средство подвижной связи для абонентов из любой точки Земли.

Предлагаемое учебное пособие знакомит с основами построения и функционирования таких сложных систем наукоемкой и динамично развивающейся области, как системы спутниковой связи, являющихся важным элементом мировой связи.

Оглавление

Введение	3
1. Принципы построения спутниковых систем связи	5
1.1. Основные понятия	5
1.2. Виды орбит. Основные определения. Состав и назначение систем спутниковой связи	10
1.3. Общие вопросы структурно-функционального построения систем спутниковой связи и её составных частей ..	16
1.3.1. Состав системы	16
1.3.2. Требования к космическому сегменту	16
1.3.3. Требования к земному сегменту	17
1.4. Основные параметры систем спутниковой связи	18
1.4.1. Параметры земных станций	18
1.4.2. Основные показатели космических станций	19
1.4.3. Основные показатели систем спутниковой связи	21
1.5. Состав земных и космических станций	22
1.6. Диапазоны частот, выделенные для спутниковой связи и вещания, и регулирование их использования	24
1.6.1. Распределение полос частот между службами	27
1.6.2. Международная координация использования частот спутниковыми системами	27
1.6.3. Особенности выбора рабочих частот для радиолиний спутниковой связи	30
1.6.4. Литерные обозначения диапазонов частот спутниковой связи и сложившееся распределение частот между системами различного назначения	33
1.6.5. Тенденции использования диапазонов частот	34
2. Службы спутниковой связи	36
2.1. Фиксированная служба связи	36
2.2. Подвижная спутниковая связь	37
2.3. Радиовещательная спутниковая связь	40
2.4. Персональная широкополосная спутниковая связь	41
3. Виды спутниковых ретрансляторов	43
3.1. Схемы ретрансляторов	43
3.2. Применение многолучевых бортовых антенн	46
3.3. Межлучевая коммутация	47
3.4. Нелинейное усиление ретрансляторов	49
3.5. Поляризация излучений КА	50
3.6. Зоны обслуживания	52

4. Электромагнитная доступность к спутниковым линиям связи	57
4.1. Возможность электромагнитного доступа	57
4.2. Помехи в приемном тракте станции космической связи	60
4.3. Шумы приемного устройства	65
4.4. Геометрические характеристики, определяющие взаимное положение спутника и земной станции	70
4.5. Особенности энергетики спутниковых линий связи	72
5. Методы многостанционного доступа и предоставления каналов	75
5.1. Виды многостанционного доступа	75
5.2. Многостанционный доступ с частотным разделением	75
5.3. Многостанционный доступ с временным разделением сигналов	76
5.4. Многостанционный доступ с кодовым разделением сигналов	78
5.5. Метод двоянной несущей	81
5.6. Методы предоставления каналов в сетях спутниковой связи	83
5.6.1. Многостанционный доступ с фиксированным закреплением каналов	84
5.6.2. Произвольный доступ	84
5.6.3. Многостанционный доступ с предоставлением каналов по требованию	89
6. Виды модуляции и помехоустойчивого кодирования в спутниковых системах связи	94
6.1. Особенности сигналов дискретной модуляции	94
6.1.1. Квадратурный метод формирования сигналов амплитудно-фазовой модуляции	94
6.1.2. Модуляционное кодирование	96
6.1.3. Код Грея	96
6.1.4. Дифференциальное кодирование	97
6.1.5. Офсетная модуляция	99
6.1.6. Формирование сигналов частотной модуляции квадратурным способом. Модуляция с минимальным сдвигом	100
6.1.7. Решетчатое кодирование	101
6.1.8. Фильтрация модулированных сигналов	103
6.2. Помехоустойчивое кодирование в системах спутниковой связи	105
6.2.1. Классификация помехоустойчивых кодов	105
6.2.2. Основные характеристики методов коррекции ошибок	108

6.2.3. Свёрточные коды	110
6.2.4. Блочные коды	111
6.2.5. Каскадные схемы кодирования	112
6.2.6. Турбокоды	113
6.2.7. Коды LDPC	114
6.2.8. Перемежители	115
6.3. Сравнение эффективности различных видов модуляции и помехоустойчивого кодирования	117
6.4. Современные спутниковые модемы	117
6.4.1. Основные параметры модемов	118
6.4.2. Сравнительный анализ современных образцов оборудования	122
7. Сокращение информационной избыточности	126
7.1. Классификация методов сжатия информационных сигналов	126
7.2. Классификация и описание принципов действия современных речевых кодеков	128
7.2.1. Кодеры формы	130
7.2.2. Параметрическое кодирование	133
7.2.3. Параметры цифровых потоков современных систем кодирования речи	135
7.3. Основные стандарты компрессии цифрового видео	138
7.3.1. Краткое описание алгоритма сжатия видеосигнала в стандарте MPEG-2	140
7.3.2. Требования к стандарту видеокompрессии нового поколения	142
7.4. Сокращение избыточности при передаче многоканальных цифровых телефонных потоков	143
7.4.1. Оборудование динамического мультиплексирования .	143
7.4.2. Статистическое мультиплексирование	145
7.5. Сжатие заголовков TCP/IP	146
8. Особенности и перспектива развития VSAT сетей	150
8.1. Общие сведения о спутниковых сетях связи VSAT	150
8.1.1. Отличие VSAT-сетей от локальных или наземных региональных компьютерных сетей	150
8.1.2. Типы сетей VSAT	152
8.2. Технологии, используемые в сетях VSAT для создания корпоративных сетей	154
8.2.1. Топология сетей связи	156
8.2.2. Особенности организации ведомственной телефонной связи с помощью сетей VSAT	159

8.3. Мультисервисная DVB-RCS платформа для сетей VSAT	161
9. Особенности мобильных спутниковых систем	170
9.1. СПСС Inmarsat	170
9.2. СПСС Thuraya	172
9.3. СПСС Iridium	176
9.4. СПСС GlobalStar	177
9.5. Узкополосные системы мобильной спутниковой связи	178
9.6. Региональные системы мобильной спутниковой связи	180
9.7. Перспективы развития мобильной спутниковой связи	180
10. Технологии формирования цифровых потоков	183
10.1. Плезиохронная цифровая иерархия	183
10.2. Проблемы использования технологии АТМ в спутниковых системах связи	190
11. Цифровое спутниковое телевизионное вещание	197
11.1. Основные системы цифровой передачи многопользовательского телевидения	197
11.2. Особенности обработки сигналов DVB-S на физическом и канальном уровне	199
11.3. Стандарт DVB-S2. Система цифрового ТВ вещания второго поколения	205
12. Энергетические соотношения на линии ССС с применением ГСО	212
12.1. Особенности энергетики спутниковых линий	212
12.2. Уравнения связи для спутниковых линий	213
12.3. Поглощение энергии сигнала в атмосфере	216
12.4. Влияние рефракции и неточности наведения антенн	220
12.5. Фазовые эффекты в атмосфере	222
12.6. Потери из-за несогласованности поляризаций антенн	223
12.7. Деполяризация радиоволн в атмосфере	224
12.8. Шумы атмосферы, земной поверхности, планет и приемных систем	225
12.9. Расчет шумов в каналах спутниковых радиолиний	231
Список сокращений	234
Литература	238