



А. В. СЕРОВ

ЭФИРНОЕ ЦИФРОВОЕ телевидение **DVB-T/H**

Технические сведения из европейских стандартов ETSI
Сети цифрового телевидения наземного вещания DVB-T
Наземное эфирное вещание для портативных устройств DVB-H
Передача данных и условный доступ
Цифровое телевидение второго поколения DVB-T2
Справочники по декодерам транспортного потока MPEG
Практические советы и рекомендации



А. В. Серов

ЭФИРНОЕ ЦИФРОВОЕ телевидение DVB-T/H

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2010

УДК 681.3.06

ББК 32.973.26-018.2

C32

Серов А. В.

С32 Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 464 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-0538-3

Книга является одновременно практическим руководством и справочником по основам цифрового телевидения стандарта DVB, включая системы условного доступа, мобильное телевидение, планирование сетей. Рассмотрены основы технологии цифрового телевидения, компрессирования изображения и звука (MPEG2 и H.264), построения сетей связи, передачи данных по сетям цифрового телевидения, контроля качества и др. Приведены технические сведения из европейских стандартов ETSI и подробная информация о современном состоянии и перспективах технологий цифрового телевидения стандарта DVB.

Для инженеров, студентов и радиолюбителей

УДК 681.3.06

ББК 32.973.26-018.2

Группа подготовки издания:

Главный редактор *Екатерина Кондукова*

Зам. главного редактора *Игорь Шишигин*

Зав. редакцией *Григорий Добин*

Редактор *Юрий Рожко*

Компьютерная верстка *Ольги Сергиенко*

Корректор *Виктория Пиотровская*

Дизайн обложки *Елены Беляевой*

Зав. производством *Николай Тверских*

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 30.12.09.

Формат 70×100¹/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 37,41.

Тираж 1000 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию
№ 77.99.60.953.Д.005770.05.09 от 26.05.2009 г. выдано Федеральной службой
по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП "Типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 978-5-9775-0538-3

© Серов А. В., 2010

© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2010

Оглавление

От автора	9
Введение	13
Основные термины	13
Порядок взаимодействия субъектов рынка	15
Виды цифрового телевидения.....	17
"Цифра" против "аналога": особенности услуги.....	18
Наземное эфирное телевидение DVB-T/H/T2: технологии.....	21
Мобильное телевидение DVB-H.....	25
Упрощенная структура сети цифрового телевидения.....	26
Глава 1. Сигналы и интерфейсы.....	31
1.1. Схема соединений устройств цифрового телевидения	31
1.2. Аналоговый композитный телевизионный сигнал и композитный интерфейс	32
1.3. Сигнал и интерфейс S-Video	39
1.4. Компонентный сигнал и компонентный интерфейс	40
1.5. Форматы сигналов цифрового видео	43
1.6. SAR и DAR	47
1.7. Интерфейс SDI	48
1.8. Сигналы цифровых транспортных потоков и интерфейс ASI.....	49
1.9. Интерфейс HDMI	50
1.10. Звуковые интерфейсы.....	51
1.11. Потоки данных в цифровом телевидении (общие сведения)	53
1.12. Ethernet и мультикастовые потоки (MPEG over IP)	56
Глава 2. Стандарты цифрового телевидения	63
2.1. Обзор стандартов цифрового телевидения	63
2.2. Группа стандартов ISO 13818 (MPEG2)	64
2.3. Стандарт ITU-T H.264	66
2.4. Стандарты и рекомендации ETSI и DVB (перечень).....	66

Глава 3. Обзор способов компрессии видео и звука.....	75
3.1. Общие сведения	75
3.2. Избыточность	75
3.3. Степень сжатия, качество изображения и скорость цифрового потока	76
3.4. Потери при компрессии.....	78
3.5. Сравнение качества аналогового и цифрового изображения.....	80
3.6. Особенности восприятия изображения и звука.....	81
3.7. Кодирование видео: основные идеи	84
3.8. Кодирование аудио: основные идеи	94
3.9. Стандарты кодирования видео в DVB-T.....	96
3.10. MPEG2	97
3.11. MPEG2 part 10, он же AVC, он же H.264.....	100
3.12. Углубленное сравнение алгоритмов стандартов кодирования	103
Глава 4. Элементарные потоки и NAL	105
4.1. Общие сведения	105
4.2. Иерархия элементарного потока MPEG2.....	106
4.3. Системные часы кодера.....	111
4.4. Синтаксис элементарного потока MPEG2	112
4.5. Основные элементы синтаксиса элементарного видеопотока MPEG2	116
4.6. H.264 NAL	121
4.7. Программный поток MPEG2	127
4.8. Пакетизированный элементарный поток — PES	128
Глава 5. Транспортный поток MPEG2	133
5.1. Общие сведения	133
5.2. PCR — временной штамп программных часов	140
5.3. Пример: использование поля адаптации для передачи PCR	144
5.4. Модель декодера транспортного потока (T-STD).....	146
5.5. Состав служебной информации PSI/SI.....	150
5.6. Таблица размещения программ (PAT)	156
5.7. Таблица сборки программ (PMT)	159
5.8. Таблица условного доступа (CAT)	162
5.9. Таблица описания транспортного потока (TSDT)	164
5.10. Таблица сетевой информации (NIT).....	165
5.11. Таблица описания сервиса (SDT)	168
5.12. Таблица событий (EIT)	172
5.13. Таблица времени и даты — TDT	176
5.14. Таблица временного пояса — TOT	177
5.15. Таблица статуса — RST.....	178
5.16. Таблица набивки — ST	180
5.17. Таблица букета — BAT	180
5.18. Дополнительные сведения о PSI/SI	182
5.19. Способы кодирования текстовой информации в PSI/SI	183

5.20. Дата и время в таблицах PSI/SI.....	184
5.21. Контрольные суммы в таблицах PSI/SI.....	185
5.22. Набивка (stuffing)	186
5.23. Мультиплексирование	186
Глава 6. Дескрипторы транспортного потока MPEG и PSI/SI DVB.....	189
6.1. Общие сведения	189
6.2. Conditional access descriptor — дескриптор системы условного доступа (0x09)....	190
6.3. ISO 639 language descriptor — дескриптор кодирования языка по ISO 639 (0x10).....	190
6.4. STD descriptor — STD-дескриптор (0x17)	191
6.5. Network Name Descriptor — дескриптор сетевого имени (0x40)	191
6.6. Service List Descriptor — дескриптор списка сервисов (0x41)	191
6.7. Stuffing descriptor — дескриптор набивки (0x42).....	192
6.8. VBI data descriptor — дескриптор данных VBI (0x45).....	192
6.9. VBI teletext descriptor — дескриптор телетекста VBI (0x46)	193
6.10. Bouquet name descriptor — дескриптор названия букета (0x47)	193
6.11. Service descriptor — дескриптор сервиса (0x48).....	193
6.12. Linkage descriptor — дескриптор присоединения (0x4A)	194
6.13. Nvod reference descriptor — дескриптор ссылки на сервис Nvod (0x4B)....	195
6.14. Time shifted service descriptor — дескриптор сервиса с временным сдвигом (0x4C).....	196
6.15. Short event descriptor — краткий дескриптор события (0x4D).....	196
6.16. Extended event descriptor — расширенный дескриптор события (0x4E)	196
6.17. Component descriptor — дескриптор компонентов (0x50)	197
6.18. Mosaic descriptor — дескриптор мозаики (0x51).....	198
6.19. Stream identifier descriptor — дескриптор идентификатора потока (0x52).....	198
6.20. CA identifier descriptor — идентификатор условного доступа (0x53).....	199
6.21. Content descriptor — дескриптор содержания (0x54)	199
6.22. Parental rating descriptor — дескриптор возрастного рейтинга (0x55).....	200
6.23. Teletext descriptor — дескриптор телетекста (0x56).....	201
6.24. Local time offset descriptor — дескриптор местного времени (0x58).....	201
6.25. Subtitling descriptor — дескриптор субтитров (0x59).....	202
6.26. Terrestrial delivery system descriptor — дескриптор описания наземной сети распространения (0x5A)	203
6.27. Multilingual network name descriptor — многоязычный дескриптор имени сети (0x5B)	203
6.28. Multilingual bouquet name descriptor — многоязычный дескриптор букета (0x5C).....	204
6.29. Multilingual service name descriptor — многоязычный дескриптор имени сервиса (0x5D).....	204
6.30. Multilingual component descriptor — многоязычный дескриптор компонентов (0x5E)	205
6.31. Service move descriptor — дескриптор перемещения сервиса (0x60)	205

6.32. Short smoothing buffer descriptor — краткий дескриптор буфера (0x61)	205
6.33. Frequency list descriptor — дескриптор списка частот (0x62).....	207
6.34. Data broadcast descriptor — дескриптор данных (0x64)	207
6.35. Scrambling descriptor — дескриптор скремблирования (0x65).....	208
6.36. Data broadcast id descriptor — дескриптор идентификатора данных (0x66).....	209
6.37. Cell list descriptor — дескриптор ячеек сети связи (0x6C).....	209
6.38. Cell frequency link descriptor — дескриптор частот ячеек сети (0x6D).....	210
6.39. Announcement support descriptor — дескриптор поддержки объявлений (0x6E)	210
6.40. Adaptation field data descriptor — дескриптор данных поля адаптации (0x70).....	212
6.41. Service availability descriptor — дескриптор доступности сервиса (0x72).....	212
6.42. User defined descriptor — дескриптор, определенный пользователем (0x80—0xFE)	213

Глава 7. Распространение радиоволн, модуляция и канальное кодирование 215

7.1. Колебания и волны.....	215
7.2. Модуляция, несущая, спектр.....	217
7.3. Преобразование Фурье	222
7.4. Что такое децибелы.....	224
7.5. Характеристики антенн	225
7.6. Пиковая, средняя и эффективно излучаемая мощности	228
7.7. Спектр сигнала цифрового телевидения	230
7.8. Полезный сигнал и помехи	232
7.9. Пропускная способность и формула Шеннона	232
7.10. Чувствительность приемника.....	233
7.11. Расчет уровней сигналов в канале связи (пример).....	234
7.12. Распространение радиоволн в свободном пространстве	235
7.13. Статистические модели распространения радиоволн	240
7.14. Распространение радиоволн внутри помещений	242
7.15. COFDM, QPSK, QAM	243
7.16. Символ COFDM	249
7.17. Распространение радиоволн и затухание	250
7.18. Эффект Доплера.....	256
7.19. Символ COFDM и защитный интервал.....	257
7.20. Иерархическая модуляция.....	261
7.21. Общие сведения о канальном кодировании в DVB	266
7.22. Фрейм, суперфрейм, формирование сигнала, скорость передачи	275
7.23. Пилот-сигналы (pilots)	280
7.24. Сообщения о параметрах передачи (TPS)	282
7.25. Оценка качества цифрового канала связи и COFDM.....	285

Глава 8. Сети цифрового телевидения..... 287

8.1. Сеть связи и частотно-территориальный план	287
8.2. Сравнение аналогового и цифрового приема	288

8.3. Рассуждения о надежности приема	290
8.4. Виды абонентского приема (обзор).....	291
8.5. Фиксированный прием	292
8.6. Портативный прием	292
8.7. Мобильный прием.....	293
8.8. Параметры сигнала для разных видов приема	293
8.9. Сравнение размеров зон приема аналогового и цифрового телевидения	295
8.10. Измерение зоны приема цифрового телевидения	299
8.11. Защитные отношения.....	304
8.12. Испытания совместимости сетей.....	308
8.13. Одночастотные (SFN) и многочастотные (MFN) сети цифрового телевидения	311
8.14. Дескрипторы описания сети цифрового телевидения	314
8.15. Использование гэпфиллеров (gap-filler) для построения одночастотной сети	318
8.16. Мегафрейм и его использование для синхронизации одночастотной сети	320
8.17. Использование RTP/UDP/IP для доставки MPEG TS до передатчиков	324
8.18. Средства выделения программ из MPEG TS	329
8.19. Общая структура сети цифрового телевидения.....	329
8.20. Особенности планирования сетей цифрового телевидения	331
Глава 9. Передача данных в сетях DVB.....	335
9.1. Стандарт DVB-DATA	335
9.2. Дескрипторы передачи данных.....	337
9.3. Конвейерная передача данных (data piping)	340
9.4. Передача асинхронных данных	340
9.5. Передача синхронных и синхронизированных данных.....	341
9.6. Мультипротокольная инкапсуляция — MPE	343
9.7. Адресация абонентских устройств при помощи IP/MAC	346
9.8. Дополнительная защита MPE от помех (MPE-FEC).....	357
9.9. MPE и таймслайсинг (time-slice).....	361
9.10. Что такое DSM-CC?.....	366
9.11. Карусели данных	367
9.12. Карусели объектов	374
9.13. Сервисы на базе каруселей (middleware)	376
9.14. Мультимедийная платформа для дома или MHP (Multimedia Home Platform).....	377
Глава 10. Системы условного доступа.....	381
10.1. Общие сведения	381
10.2. Общая структура системы условного доступа	383
10.3. Стандарты ETSI, касающиеся систем условного доступа.....	388
10.4. Размещение ECM и EMM в элементарном потоке	388
10.5. Стандартная структура головной станции Simulcrypt.....	389
10.6. PSI/SI для систем условного доступа	391

10.7. Дескремблирование в абонентском устройстве	392
10.8. Оценки объема EMM-потока	394
10.9. DVB-CI — интерфейс общего назначения для CAS	395
10.10. CAM-модули и смарт-карты	397
10.11. CI Plus — развитие интерфейса общего назначения.....	399
Глава 11. Мобильное телевидение.....	401
11.1. Общие сведения	401
11.2. Что такое мобильное телевидение?	402
11.3. Стек протоколов, используемых в IPDC	403
11.4. Использование транспортных потоков	405
11.5. Архитектура IPDC.....	406
11.6. Порядок конфигурации сервисов	409
11.7. Доступ к сервисам при помощи SDP, CDP и ESG	411
11.8. Модуляция и канальное кодирование в мобильном телевидении (DVB-H)	412
11.9. Использование иерархической модуляции	414
11.10. Дескрипторы MPEG TS для DVB-H.....	415
11.11. Обеспечение мобильности	415
Глава 12. DVB-T2 — цифровое телевидение второго поколения (обзор)	419
Приложение 1. Краткий толковый словарь английских аббревиатур, используемых в цифровом телевидении	429
Приложение 2. Таблица частот телевизионных каналов	451
Предметный указатель	453

От автора

Цифровое телевидение постепенно приходит на смену привычному аналоговому, и тому есть очень важные причины: во-первых, это экономия радиочастотного ресурса. Для передачи одного телевизионного канала аналогового телевидения требуется полоса частот 8 МГц. Если используются технологии цифрового телевидения, то в этой же полосе частот может быть передано несколько телевизионных программ.

Во-вторых, цифровое телевидение обеспечивает в среднем более высокое качество телевизионной "картинки". Если качественный прием аналогового телевидения возможен только вблизи телецентров при наличии прямой видимости, то сигнал цифрового телевидения может быть качественно принят на более обширной территории. При этом не важно, будет ли прямая видимость от точки приема до передающей антенны. Цифровой телевизионный сигнал выдерживает несколько переотражений без потери качества.

В России в 2005 году было принято решение о внедрении европейского стандарта цифрового телевидения DVB. *DVB* — Digital Video Broadcasting (буквально: "цифровое видеовещание") это обширный корпус стандартов, разработанных в Европе с 1991 года. Технологии, предлагаемые этими стандартами, тесно интегрированы с иными телекоммуникационными технологиями, получившими распространение в Европе.

В этом состоит простота внедрения цифрового телевидения в России — ведь стандарты уже разработаны. Но в этом же состоит и сложность — объем стандартов обширен и далеко не все требуется практическому инженеру, занимающемуся внедрением цифрового телевидения. Кроме того, стандарты (как, наверное, любые стандарты во всем мире) страдают излишними перекрестными ссылками. Иногда для того, чтобы разобраться в вопросе (даже не очень сложном), приходится "перелопачивать" не один стандарт, и даже не два или три... Не говоря уже о том, что терминология, использующаяся в этих стандартах, непривычна и требует отдельного изучения.

Есть и еще один крайне важный аспект: специализация инженеров. Дело в том, что цифровое телевидение — технология, объединяющая в себе много других технологий. Для того чтобы разобраться в ней, необходимо быть специалистом не только в области радиотехники, но и в области информационных технологий. На мой взгляд, последнее даже важнее, поскольку в стандартах DVB речь идет основным образом об организации информации: создании и мультиплексировании транспортных потоков, компрессировании изображения и т. п. По сути дела, цифровое телевидение не предлагает ничего нового в области радиотехники, основные инновации содержатся в области организации информации.

Если, допустим, радиоинженеру знание модели взаимодействия открытых систем (*OSI* — Open Systems Interconnection, взаимодействие открытых систем) могло никогда не пригодиться в работе, то для понимания цифрового телевидения знание этой модели становится принципиальным. Но модель *OSI* уже из области компьютерных наук, информационных технологий.

Данная книга рассчитана в первую очередь как раз на "компьютерщиков", которые работают или которым предстоит работать в сфере цифрового телевидения. Поэтому от читателя предполагаются некоторые базовые знания в информационной сфере — основы *Ethernet*, знания *OSI* и т. п. В книге даются элементарные сведения из радиоинженерной области, особенно в части построения сетей связи цифрового телевидения. Эти сведения излагаются упрощенно и ориентированы на использование на практике.

Радиоинженерам книга также будет полезна, поскольку современные технологии практически полностью ушли в "цифровую" сферу и в процессе эксплуатации цифрового оборудования все меньше требуется знаний об аналоговых цепях и т. п. Эксплуатация передатчика в 1970—1980 гг. требовала этих знаний. Теперь они не являются жизненно необходимыми вследствие развития цифровых дистанционных систем управления и контроля.

В книге дается сокращенное и упрощенное изложение технологий цифрового телевидения, компрессирования изображения и звука, построения сетей связи, передачи данных по сетям цифрового телевидения, контроля качества и т. п. Этот объем достаточен для практических инженеров, работающих на цифровых телевизионных станциях, но будет недостаточен для разработчиков оборудования — в этом случае необходимо обращаться к первоисточникам, т. е. к текстам европейских стандартов и специализированной технической литературе. Как правило, в тексте книги указаны документы, из которых можно получить максимально полную информацию по той или иной тематике.

Технические сведения, составляющие данную книгу, являются реферативным изложением европейских стандартов *ETSI* (European Telecommunications

Standards Institute, Европейский институт стандартизации электросвязи), а также разнообразной англоязычной технической литературы для инженеров и научных статей цифровой библиотеки *IEEE* (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике). Все, что не имеет прямого отношения к цифровому телевидению, отброшено. Не рассматриваются вопросы совместимости с другими технологиями (например, с ATM) ввиду незначительной практической значимости.

Книга содержит множество рекомендаций и выводов, полученных автором при строительстве и эксплуатации сети цифрового телевидения "ТРИ-ТВ" на Уральских горах, которая на момент написания этой книги составляла 50 радиотелевизионных передающих станций, центр формирования программ, а также центр контроля и управления сетью связи. Таким образом, книга также построена на богатом практическом материале.

Данную книгу можно рассматривать как хорошую стартовую площадку для изучения основ цифрового телевидения и как практическое руководство для инженеров, эксплуатирующих сети цифровых передатчиков, кодирующее и мультиплексирующее оборудование.

Автор благодарит Мих Александра Даниловича, чей талант и неисчерпаемая энергия послужили залогом успешного развития цифрового телевидения на Урале.

A. B. Серов

Введение

Основные термины

Дадим основные определения, которые будем часто использовать в дальнейшем. Данные определения соответствуют общепринятым на момент подготовки книги к изданию. Для получения дополнительной информации по определениям можно воспользоваться, например, ГОСТ Р 52210-2004.

Абонент — зритель, имеющий договор с оператором связи на получение услуг связи (в том числе и услуг цифрового телевидения). В этой книге мы будем употреблять слово "абонент" в значении "зритель" и наоборот. Определение в законе о связи звучит следующим образом: "*Абонент — пользователь услугами связи, с которым заключен договор об оказании таких услуг при выделении для этих целей абонентского номера или уникального кода идентификации*". В нашей ситуации таким номером служит номер договора.

Контент — содержание сервиса (см. *Сервис*). Например, телевизионная программа.

Мультиплекс — телевизионные программы и иные сервисы, передаваемые на одном радиочастотном канале.

Телевизионная программа — сигнал электронного средства массовой информации (на выходном интерфейсе телевизионной студии, аппаратно-студийного комплекса или аппаратной эфира), представляющий собой сигнал изображения в сопровождении звука.

Телевизионное вещание — деятельность по распространению телевизионных программ в сети связи общего пользования с использованием электромагнитных колебаний радиочастотного диапазона (в эфире или в кабеле). Целью телевизионного вещания является предоставление услуги телевидения насе-

лению. Для осуществления телевизионного вещания у операторов связи приобретаются услуги связи с целью телевизионного вещания.

Телевизионный канал (телеканал) — то же самое, что телевизионная программа. Вообще, не рекомендую использовать этот термин, чтобы не было путаницы с радиочастотным каналом.

Радиочастотный канал (радиоканал, часто говорят просто — "канал" или "частота") — структурная единица участка полосы радиочастот, предназначенного для осуществления деятельности в области связи с использованием радиочастотного спектра. Для деятельности в области связи с целью осуществления телевизионного вещания выделены каналы (участки спектра) с шириной 8 МГц в метровом и дециметровом диапазоне длин волн.

Радиочастотный спектр — совокупность радиочастот в установленных Международным союзом электросвязи пределах, которые могут быть использованы для функционирования радиоэлектронных средств или высокочастотных устройств, т. е. это совокупность электромагнитных колебаний радиочастотного диапазона. Использование радиочастотного спектра регулируется и контролируется государством.

Сервис — услуга, т. е. то, что предлагается абоненту: телевизионная программа, радиопрограмма, Интернет, телетекст и т. п.

Сеть связи общего пользования — сеть связи, предназначенная для возмездного оказания услуг электросвязи любому пользователю услугами связи на территории Российской Федерации и включает в себя сети электросвязи, определяемые географически в пределах обслуживаемой территории и ресурса нумерации и не определяемые географически в пределах территории Российской Федерации и ресурса нумерации, а также сети связи, определяемые по технологии реализации оказания услуг связи. Сеть связи цифрового телевидения является сетью связи общего пользования.

Услуга телевидения — это предоставление зрителю возможности просмотра телевизионных программ. По большому счету, технология здесь не важна. Зрителя не особенно интересует, каким образом сигнал попал "в телевизор", какие технологии и средства связи при этом использовались.

Цифровое телевидение — услуга телевидения с использованием цифровых сигналов, при оказании услуги цифрового телевидения возможна передача широкого спектра дополнительных данных и предоставления дополнительных услуг.

Порядок взаимодействия субъектов рынка

Кратко рассмотрим, какие субъекты вовлечены в процесс цифрового телевидения и какие функции эти субъекты выполняют (рис. В.1).

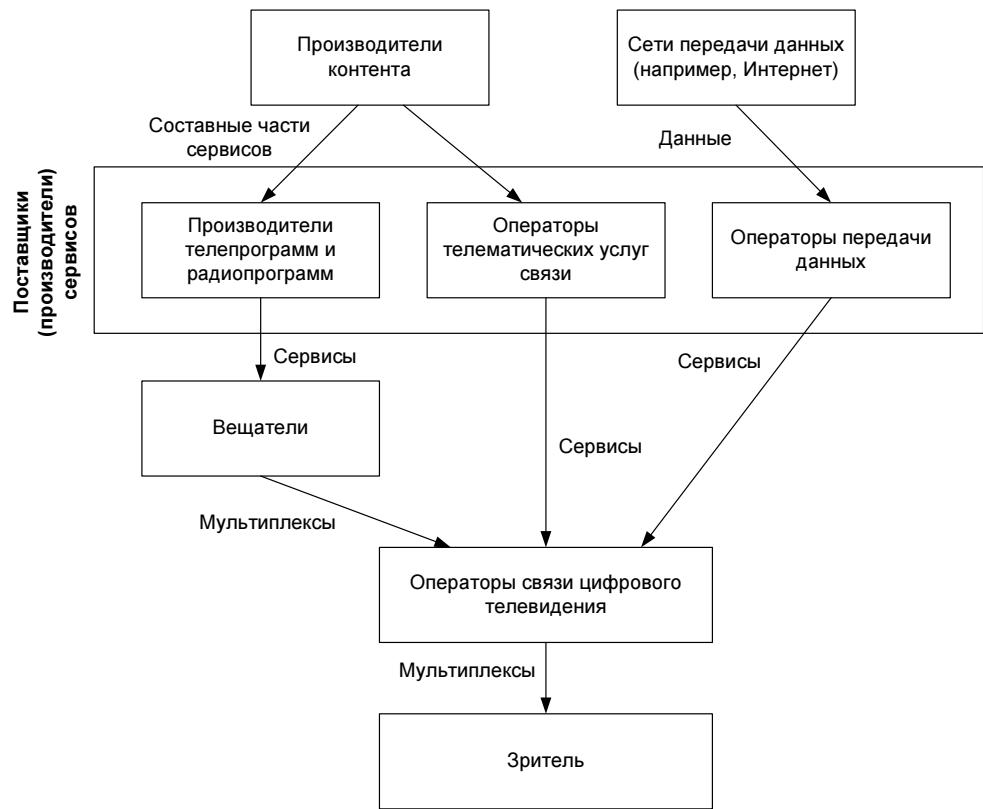


Рис. В.1. Структура отношений участников рынка ЦТВ

Первый и самый важный субъект рынка — это, конечно, абонент. Абонент имеет абонентское устройство, т. е. техническое приспособление, которое позволяет ему принимать и использовать сервисы.

Вторая группа субъектов — это *производители контента*. Производителями контента являются предприятия, создающие то, что будет доставляться зрителю: телевизионные программы, тексты, справочную информацию, игры и т. п.

Третья группа — *поставщики (производители) сервисов*. Производители сервисов — это предприятия, которые из различного контента создают сервисы.

Например, из сотен игр, произведенных разработчиками игр (т. е. производителями контента), составляют сервис под названием "Игры". Что касается видео- и аудиопрограмм, то при их производстве, как правило, производитель контента и производитель сервиса — это одна и та же компания (телекомпания или производственная студия), что вытекает из сложившейся практики производства. Производители теле- и радиопрограмм относятся к *средствам массовой информации*, и их деятельность регулируется законами РФ (Законом о СМИ). Производители различных сервисов, которые ориентированы на передачу данных (например, тех же наборов игр), относятся к поставщикам *телематических услуг связи*, и их деятельность также может регулироваться законодательно.

Телематическими услугами связи называются службы электросвязи, за исключением телефонной, телеграфной служб и службы передачи данных, предназначенные для передачи информации через сети электросвязи. Примерами телематических служб являются: службы электронных сообщений, службы голосовых сообщений, видеоконференции, службы доступа к информации, хранящейся в электронном виде и т. п. Более подробную информацию можно получить из Закона о связи, постановлений правительства в области связи и т. п.

Кроме того, в группу поставщиков сервисов попадают предприятия, предоставляющие услуги передачи данных (например, доступ в Интернет).

Четвертая группа — это *вещательные организации* (или *Вещатели*). Вещатель — это организация, осуществляющая сборку мультиплексов из различных сервисов, подготовленных средствами массовой информации. Более подробную информацию о деятельности вещателей можно получить из законодательства в области средств массовой информации.

Пятая группа — это *операторы связи цифрового телевидения*. Операторы цифрового телевидения получают собранные вещателями мультиплексы, а также данные от поставщиков телематических услуг связи и поставщиков услуг передачи данных для доставки зрителю при помощи технологий цифрового телевидения. Оператор связи окончательно формирует состав мультиплексов, он может добавлять телематические сервисы и сервисы передачи данных в мультиплексы, сформированные вещателями. Поскольку цифровое телевидение — технология многогранная, то возможно ее использование и без вещательных сервисов. В этом случае оператор связи цифрового телевидения формирует мультиплекс полностью без участия вещателей, добавляя в него сервисы передачи данных.

На рис. В.2 для примера приведена схема одного из возможных вариантов договорных отношений и услуг между субъектами рынка цифрового телевидения.



Рис. В.2. Структура предоставления услуг участниками рынка ЦТВ

Виды цифрового телевидения

Существует *спутниковое, кабельное и наземное (terrestrial)* цифровое телевидение. Данная книга посвящена последнему.

Спутниковое цифровое телевидение — это набор стандартов, описывающих способы передачи информации через спутниковые каналы связи. Этот набор стандартов называется DVB-S, где S — сокращение от "satellite", т. е. "спутник". В последнее время разработан стандарт DVB-S2, позволяющий увеличить пропускную способность спутниковых каналов связи, т. е. передавать большее количество программ. Постепенно этот новый стандарт получает все большее распространение.

Кроме наземного и спутникового, существует также кабельное цифровое телевидение, позволяющее значительно увеличить количество телевизионных программ, передаваемых "в кабеле".

Наземное цифровое телевидение делится на стационарное и мобильное. Первое от второго отличается незначительно — дополнительными режимами модуляции и применением IPDC (IP Data Casting) — метода передачи данных по сетям цифрового телевидения. Эти режимы позволяют повысить помехоустойчивость при мобильном приеме. Набор стандартов наземного цифрового телевидения называется DVB-T, а расширение этого набора для мобильного телевидения — DVB-H.

В 2008 году разработан стандарт DVB-T2, использующий дополнительные режимы модуляции совместно с иной схемой канального кодирования, что позволило увеличить количество передаваемых программ в полосе 8 МГц на 30%. К моменту написания этой книги (2 кв. 2009 г.) стандарт DVB-T2 находился в стадии апробирования.

Стандарты DVB-T/C/S предполагают использование транспортного потока MPEG2 в качестве транспорта.

"Цифра" против "аналога": особенности услуги

Цифровое телевидение — это услуга, оказываемая зрителю поставщиком услуг цифрового телевидения: организацией, оператором связи цифрового телевидения. Существуют серьезные отличия услуги цифрового телевидения от услуги аналогового телевидения. Эти отличия и привели к тому, что аналоговое телевидение постепенно вытесняется цифровым.

Рассмотрим подробнее отличия с точки зрения технологий и возможностей приема.

Первое, и самое главное отличие, это экономия радиочастотного спектра.

Это отличие, казалось бы, напрямую не касается абонентов. Тем не менее, это не так. Радиочастотный спектр — это ограниченный ресурс. Он не может быть использован для предоставления сколько угодно большого объема услуг телевидения, поскольку количество радиоканалов, необходимых для передачи телевизионного сигнала, ограничено.

В России, при работе через эфир, теоретически может быть использовано 60 радиоканалов. Казалось бы, это много. Но эти каналы также могут применяться для других целей — радиосвязь, локация, военная связь и т. п. Фактически, в крупных городах в эфире остается для использования 10—15 радиоканалов. К 2009 году в населенных пунктах России численностью более 200 тыс. чел. свободных каналов уже не осталось, что существенно затормозило развитие услуг телевидения.

Цифровое телевидение позволяет решить проблему свободных радиоканалов, поскольку позволяет передать на существующих каналах больше телевизионных программ. Если в городе есть 10 доступных каналов, то вместо 10-ти аналоговых можно будет передавать от 50 до 100 цифровых телепрограмм. Очевидно, технология, которая может дать абоненту больше, является и более привлекательной.

Второе отличие — это повышенное качество телевизионного изображения.

Предположим, что есть небольшой город, в котором действуют одинаковые по мощности аналоговый и цифровой передатчики. Разделим город на участки размером 10 на 10 метров, на каждом из этих участков разместим аналоговый и цифровой телевизионные приемники с антенной. Будем производить оценку качества по 5-балльной шкале.

В результате мы увидим, что цифровое телевидение оценивается или на 5 или на 2. Промежуточных оценок не будет. Это происходит потому, что цифровое телевидение устроено таким образом, что оно либо принимается, либо нет. И если принимается, то никакой деградации сигнала не происходит, как бы мы не были удалены от передатчика. Вспомним аналоговое телевидение: чем дальше мы удаляемся от передающей станции, тем сигнал постепенно становится все хуже и хуже. В цифровом телевидении этой постепенности не будет. Сигнал либо будет, либо нет.

Второе, что мы получим в результате эксперимента, что оценок 5 для цифрового телевидения будет больше, чем для аналогового. Если мы сделаем 100 оценок, то для цифрового мы получим 95 пятерок, а для аналогового только 50. Это является отражением того факта, что цифровое телевидение статистически доступно в 95% мест и 100% времени, а аналоговое, как известно, в 50% мест и 50% времени. Подробнее см. разд. 8.3.

Третье отличие цифрового приема от аналогового состоит в том, что цифровое телевидение может приниматься внутри помещений без потери качества. Вспомните, как вы настраивали комнатные "усы" аналогового телевизора. Их приходилось вращать в разные стороны, пытаясь добиться, чтобы изображение на экране перестало двоиться. В цифровом телевидении такой проблемы нет. Необходимо настроить antennu на любой доступный отраженный сигнал: например на стоящий рядом высотный дом, заводскую трубу и т. п. И при этом никаких "двоений" не будет, сигнал будет таким же качественным, как будто вы находитесь рядом с передатчиком.

Это плюсы. Но есть и минусы. К счастью, их немного. Главный из минусов — подверженность цифрового телевидения импульсным помехам, которые могут встречаться в городских условиях особенно часто. Импульсные помехи возникают из-за плохих контактов в устройствах включения освеще-

ния, при неисправности систем зажигания автомобилей и т. п. Если в аналоговом телевидении сильная импульсная помеха приведет к появлению на экране "искорки", то в цифровом телевидении изображение может полностью пропасть на несколько секунд или рассыпаться на "квадратики". Технология предлагает несколько способов борьбы с воздействием импульсных помех ("канальное кодирование"), которое позволяет свести этот "минус" практически к нулю.

Из чего состоит телевизионная программа, а стало быть, телевизионная услуга? Изображение и звук. Так обстоит дело в аналоговом телевидении. И собственно именно передачу изображения, сопровождаемого звуком, мы и привыкли называть телевидением. В последние годы развития аналогового телевидения совместно с изображением научились передавать текст, субтитры и даже некоторую служебную информацию о технических характеристиках изображения (например, WSS — Wide Screen Signalling — система оповещения о передаче изображения в формате 16:9). При этом, как говорилось ранее, передача одной телепрограммы требовала полосы 8 МГц радиочастотного спектра.

С появлением цифровых устройств и алгоритмов компрессии изображения, удалось снизить количество информации, необходимой для передачи телевизионных программ. К середине 90-х появился стандарт MPEG2, который включал в себя алгоритм компрессии видео и звука, а также способ организации телевизионных программ для многоканального вещания — транспортный поток MPEG2. Также, было предложено использовать модуляцию COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) для передачи транспортного потока. Подробнее о COFDM рассказывается в гл. 7.

Все это вместе привело к появлению цифрового телевидения, которое позволяет передавать вместо одной аналоговой телепрограммы от 1 до 15 цифровых в зависимости от выбранных способов модуляции и качества компрессии.

Рассмотрим теперь отличия с точки зрения оказываемой услуги.

С точки зрения услуги именно многоканальность является основным отличием цифрового телевидения от аналогового. Второе очень важное отличие — возможность передавать различную дополнительную информацию: дополнительные звуковые дорожки, субтитры, телетекст, различные данные (например, Интернет).

С появлением цифрового телевидения старая концепция "видео плюс звук" ушла в прошлое и появилась новая "видео плюс звук плюс данные". Причем обратите внимание — данные могут быть любыми. Например, это может быть какая-нибудь справочная информация, заказанная пользователем, личные сообщения, интерактивные телемагазины, Интернет и т. п.

Третье отличие — возможность организации обратного канала. Это необходимо для заказа данных (заказ товаров и услуг, телевизионное голосование, Интернет), а также в будущем — для определения параметров канала радиосвязи с целью "подстройки" под эти параметры. Обратный канал можно использовать для анализа зрительского интереса, для измерения рейтингов телевизионных программ. Обратный канал может быть организован как через наземные телефонные сети, так и через сотовую телефонную связь.

Четвертое отличие цифрового телевидения от аналогового состоит в возможности качественного приема в движении. При приеме аналогового телевидения в движении, возникали бы различные искажения "картинки", связанные с появлением отражений, изменением уровня сигнала. Цифровое же телевидение разработано таким образом, что противостоит этим негативным эффектам. Существует разновидность цифрового телевидения — мобильное телевидение — которое специально предназначено для приема на мобильные устройства.

Наземное эфирное телевидение DVB-T/H/T2: технологии

Итак, наземное эфирное телевидение DVB-T/H/T2 способно предложить зрителю услуги, которые было неспособно предложить аналоговое телевидение. Рассмотрим подробнее эти услуги.

Передача видео и аудио осуществляется в компрессированном виде. Причем нет никаких ограничений на параметры этого видео: через цифровое телевидение может передаваться изображение и телевидения высокой четкости (HD) и изображение пониженного разрешения для мобильных устройств (например, QCIF — 176×144 точек). Также и звук — может иметь различное качество компрессии по выбору вещателя.

Сказанное верно также и для остальных видов цифрового телевидения. Изображения и звук различного качества могут передаваться в любых комбинациях: например, может быть несколько каналов высокой четкости и стандартной четкости в одном мультиплексе, несколько звуковых каналов со скоростью цифрового потока 128 Кбит\сек и 256 Кбит\сек и т. п.

В аналоговом телевидении могла быть передана только одна звуковая дорожка. В цифровом телевидении такого ограничения нет. Количество звуковых дорожек, сопровождающих видео, может быть большим (вообще говоря, несколько тысяч). Это дает, например, возможность трансляции звукового сопровождения на нескольких языках.

Совмещение информации разного типа возможно за счет использования транспортного потока MPEG2 (рис. В.3).

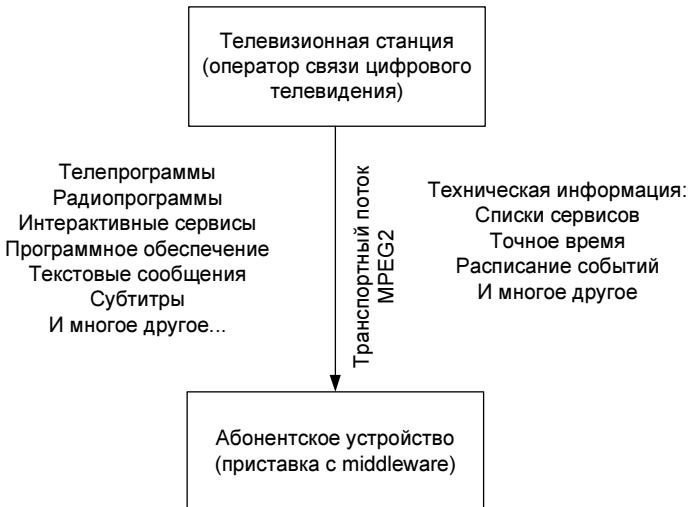


Рис. В.3. Информация, которая передается через MPEG TS

Вместе с цифровой аудио- и видеоинформацией передается краткая информация о составе сервисов и, например, указание языка вещания, а в случае использования звуковых дорожек с несколькими языками, возможно указать, какие именно языки используются. Делается это через механизм дескрипторов (описателей) транспортного потока.

Ну и, как говорилось ранее, большие возможности дает передача данных по сетям цифрового телевидения с использованием технологии IPDC. Причем какие данные можно передавать — зависит от фантазии разработчиков и редакторов телекомпаний.

В цифровом телевидении существует возможность передавать не просто данные, а приложения (программы), которые будут выполняться при помощи абонентской приставки. Например, абонент может заказать игру и получить ее на свою приставку. Такой заказ выполняется при помощи обратного канала. Примеры использования обратного канала приведены на рис. В.4 и В.5.

То же самое касается Интернета — в приставку может быть загружен браузер для просмотра html-страниц (рис. В.6). Также могут быть загружены приложения для интерактивного телевидения, осуществления онлайновых продаж и т. п.

Для того чтобы выполнение приложений на абонентской приставке было возможно, на приставке должно иметься специальное программное обеспечение, которое называется *middleware*. На сегодняшний день разработано несколько разных вариантов такого программного обеспечения.



Рис. В.4. Прямой и обратный канал



Рис. В.5. Прямой и обратный канал в интерактивном телевидении

Поскольку передача приложений и данных возможна, то передача и использование субтитров и телетекста, также как и других услуг, связанных с передачей данных, является "делом техники".

Для организации интерактивного телевидения требуется передавать информацию от приставки на телекомпанию, т. е. в сторону, обратную направлению информации при вещании. Стандарты DVB предусматривают возможность организации такого канала разными способами: через наземную телефонную сеть, через GPRS или 3G. В первом случае приставка должна быть оборудована телефонным модемом, во втором — модемом GPRS, а в третьем —

ем — 3G. Конечно, наличие модема удорожает абонентское устройство, но зато абонент перестает быть пассивным зрителем. Он получает возможность участвовать в голосованиях, совершать покупки в онлайновых магазинах, заказывать новостные дайджесты и получать иные услуги. Фактически, становится возможным все, что возможно в Интернете. Разумеется, становится возможным и пользование Интернетом. Наличие обратного канала позволяет также организовать переписку между пользователями, пересылку файлов, видео- и аудиоматериалов и т. п. Согласитесь, это уже совсем непохоже на привычное аналоговое телевидение.



Рис. В.6. Прямой и обратный канал в Интернет

Также существует возможность рассылки текстовых сообщений пользователям сети (вне зависимости от обратного канала), что делает цифровое телевидение незаменимым средством предупреждения об опасности в случае возникновения кризисных ситуаций.

Различные сервисы, которые передаются в цифровом телевидении, могут быть объединены в подборки, которые называются *букетами сервисов*. Например, могут быть созданы тематические букеты: новости, художественные фильмы. Букеты могут быть также организованы по вещательному принципу — один букет одного вещателя, другой — другого и т. п.

Ну и последнее очень важное свойство — это возможность передавать через цифровое телевидение обновления для абонентских устройств. Вообще говоря, абонентское устройство — это компьютер. А в компьютере наиболее важную роль играет программное обеспечение. Раньше для того, чтобы выполнять "апгрейд" оборудования, его приходилось возить в сервис-центр. В цифровом телевидении такой "апгрейд" может быть осуществлен автома-

тически и не требует присутствия специалиста (эта технология называется ОТА).

Вот далеко не полный перечень особенностей и новшеств, которые дает пользователю цифровое телевидение.

Мобильное телевидение DVB-H

Мобильное телевидение незначительно отличается от наземного эфирного (часто говорят — фиксированного) с технической точки зрения. Но для пользователя отличия велики.

Мобильное телевидение предназначено для приема на малогабаритные переносные устройства с небольшим размером экрана. Вообще говоря, на мобильные устройства возможен прием и DVB-T. Можно установить цифровой телевизор, допустим, в автомобиле и дать возможность пассажирам смотреть телепередачи во время движения. Но идея исключительно мобильного телевидения состоит в возможности просмотра телевидения "на ходу", при езде в общественном транспорте и т. п. Таким образом, мобильное телевидение отличается от фиксированного скорее своим предназначением, а технические особенности вытекают из этого предназначения.

Поскольку мобильное телевидение предназначено для просмотра программ "на ходу", то возникают разумные предположения о характере передаваемого контента. Телевизионные и радиопрограммы не должны иметь слишком большую длительность. Больше всего для мобильного телевидения подходят клипы, короткометражные фильмы, новости. Кроме того, неизвестно, когда у абонента будет желание и возможность смотреть свой мобильный телевизор, т. е. роль "телевидения по расписанию" также снижается и большее распространение в мобильном телевидении будут иметь программы по запросу. Впрочем, это касается и фиксированного телевидения. Для запроса нужен обратный канал и для его организации было бы логично объединить DVB-H-приемник с устройством GSM.

Поскольку прием будет осуществляться на мобильные устройства, то изображение должно передаваться с небольшим размером. Обычно используют формат QCIF. Поскольку изображение может иметь небольшой размер, то не требуется много ресурсов для его передачи, соответственно в одном мультиплексе можно передавать намного больше каналов по сравнению с фиксированным телевидением.

Следующая особенность мобильного телевидения — это большая ориентация на интерактивность. Сотовая связь сделала очень популярной загрузку по запросу игр и различных приложений на сотовые телефоны. Разумно использовать такую же стратегию и для мобильного телевидения.

На рис. В.7 приведен пример расположения информации на экране мобильного телевизора. В верхней части экрана по горизонтали мы видим сервисы, на которые подписался пользователь ("Музыка", "Новости" и т. п.), по горизонтали слева — состав выбранного на текущий момент сервиса.



Рис. В.7. Пример информации на экране мобильного приемника

Мобильный телевизор имеет все шансы стать переносным персональным мультимедийным центром, точно так же, как мобильный телефон стал переносным центром связи. Конечно, при этом мобильному телевизору придется конкурировать с мобильным телефоном. В настоящее время разработаны технологии передачи видео через мобильные сети, но эти технологии уступают DVB-H в надежности доставки контента и в объеме услуг, которые можно предоставить. В конечном счете, можно ожидать появление "сдвоенных" устройств. Такие устройства на рынке уже есть, и их качество будет со временем совершенствоваться.

Упрощенная структура сети цифрового телевидения

На рис. В.8 изображена упрощенная структура сети цифрового телевидения с технической точки зрения. Опишем кратко эту схему, опуская многочисленные подробности, которые будут в дальнейшем разобраны в деталях.

При обработке, сигнал телевизионной передачи проходит несколько важнейших стадий: кодирование, мультиплексирование (инкапсуляцию), модуляцию, излучение, прием абонентским устройством, демодуляцию, демультиплексирование или deinкапсуляцию, декодирование.

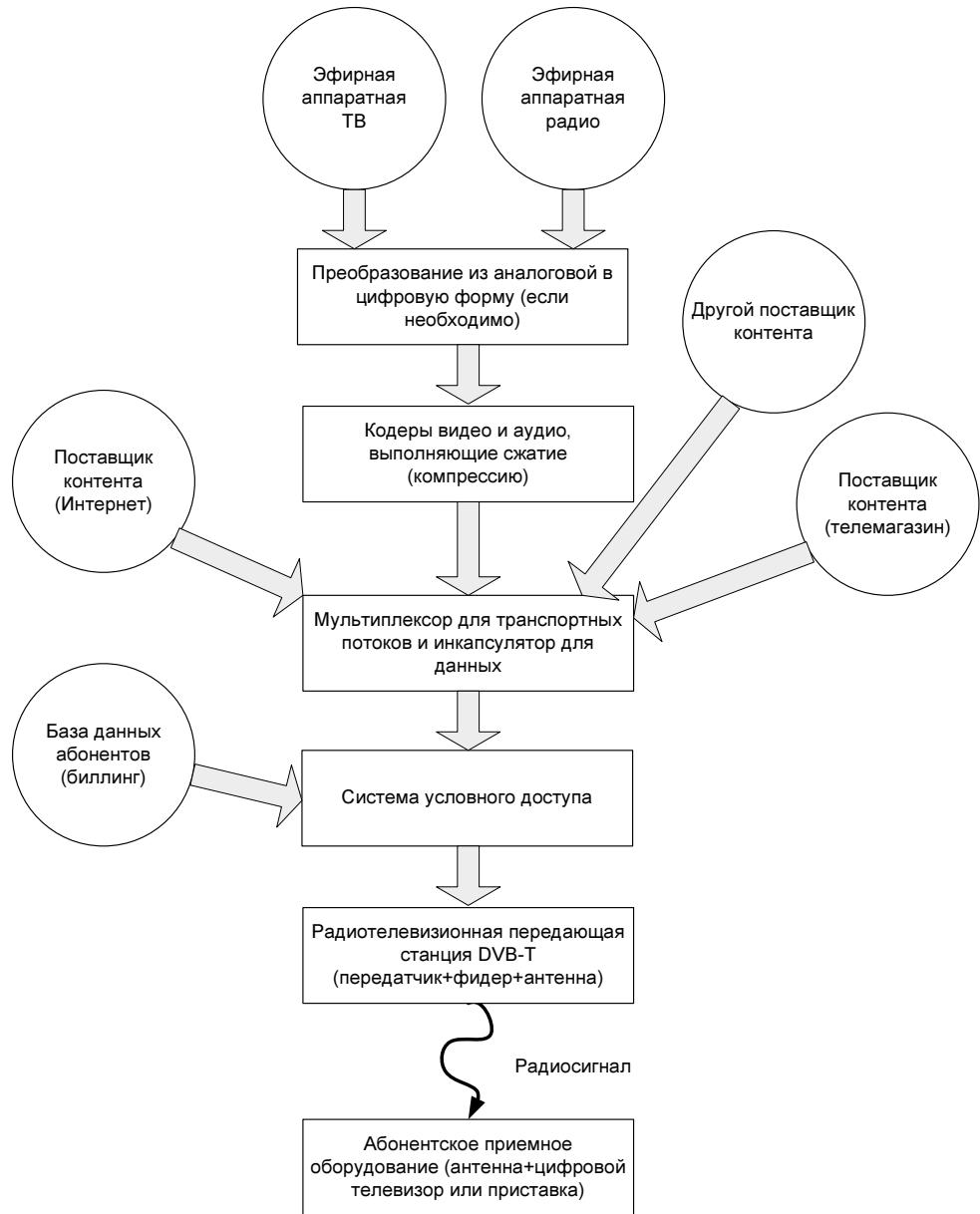


Рис. В.8. Упрощенная структура сети цифрового телевидения

Суть этих действий состоит в том, что сигнал телепрограммы оптимизируется, делается "цифровым", объединяется с сигналами других телепрограмм и различными данными (например, программой передач), а затем излучается

в эфир при помощи модуляции COFDM и принимается абонентскими устройствами, которые выполняют все преобразования в обратном порядке.

Рассмотрим чуть подробнее каждую стадию обработки сигнала.

Сигнал телевизионной программы с выхода мастер-микшера эфирной аппаратной телевизионной компании по цифровому последовательному интерфейсу SDI или аналоговым интерфейсам YUV, RGB, S-Video, CVBS (так называемый "композитный интерфейс") передается на устройство, производящее кодирование сигнала телепрограммы — кодер (coder). Цель кодирования: уменьшить избыточность информации, содержащейся в видеосигнале.

Кодирование приводит к уменьшению объема ресурсов, необходимых для передачи сигнала. К примеру, скорость передачи данных сигнала телепрограммы по интерфейсу SDI составляет 270 Мбит/сек, а после кодирования этого сигнала скорость передачи может быть уменьшена до 2—15 Мбит/сек, что, очевидно, позволит в дальнейшем значительно экономить ресурсы сети. Существуют различные стандарты кодирования видеоизображений, которые мы рассмотрим в дальнейшем. В цифровом телевидении как правило используются два из них: MPEG2, H.264 (он же MPEG4 part 10, он же AVC).

Кроме "сжатия" кодер придает сигналу телепрограммы одно очень важное свойство — он делает этот сигнал частью транспортного потока MPEG TS. Таким образом, сигнал телепрограммы как бы "внедряется" внутрь транспортного потока MPEG TS и в дальнейшем "путешествует" вместе с этим транспортным потоком как пассажир в поезде. Что представляет собой этот "транспортный поток" мы подробно рассмотрим в дальнейшем. Сейчас нам просто важно знать, что он есть.

После кодирования, транспортный поток MPEG TS (с телевизионной программой внутри) по сети Ethernet либо по асинхронному последовательному интерфейсу ASI передается на мультиплексор, который выполняет операцию мультиплексирования (объединения) транспортных потоков MPEG TS с различными программами в один транспортный поток MPEG TS, включающий все программы. Этот "единый" поток затем будет использоваться при модуляции COFDM и передаваться в эфир. Таким образом, на мультиплексор приходят кодированные сигналы от различных кодеров, а мультиплексор создает из них один "единый" сигнал.

Если сеть предназначена не только для передачи видео- и аудиоинформации, но и для передачи данных, то в процесс формирования сигнала вовлекается устройство под названием инкапсулатор — это устройство производит "инкапсулацию" (внедрение) данных в транспортный поток MPEG TS, где данные начинают соседствовать с цифровыми сигналами телевизионных программ. Конечно, сигналы телевизионных программ тоже имеют цифровую форму и тоже являются данными, но для нас здесь важнее указать, что в транспортном

потоке MPEG TS могут передаваться не только цифровые сигналы изображения и звука, но и другие данные.

Во многих случаях инкапсулатор и мультиплексор могут входить в состав одного многофункционального устройства. Данные, передаваемые на инкапсулатор, могут включать в себя: электронную программу передач (EPG), список сервисов (ESG), различные текстовые сообщения, игры и другую информацию, интересную абоненту.

Итак, после кодирования и мультиплексирования (инкапсуляции) мы имеем "единий" поток информации, содержащий сигналы телевизионных программ и иные данные, и мы называем этот поток — транспортным потоком MPEG TS.

Далее, готовый поток MPEG TS подается на модулятор COFDM цифрового передатчика, преобразуется, усиливается и излучается в эфир. Этот сигнал принимается абонентом, подается на абонентское приемное устройство, где выполняются операции, обратные описанным ранее, а именно: демодуляция, демультиплексирование (деинкапсуляция), декодирование, после чего получается восстановленный сигнал телевизионной программы, готовый для просмотра. Если абонент имеет не телевизор с цифровым декодером, а приставку, то, как правило, он подает сигнал с приставки на телевизор по интерфейсам HDMI или любому аналоговому интерфейсу.



ГЛАВА 1

Сигналы и интерфейсы

1.1. Схема соединений устройств цифрового телевидения

Оборудование, используемое для кодирования, формирования транспортных потоков и шифрования данных в цифровом телевидении, называется *головной станцией* (*headend*). Иногда этот термин используют без перевода — *headend* (*хедэнд*).

С использованием этого термина может возникнуть масса недоразумений, поскольку зачастую в оборудование головной станции включается помимо кодирующего оборудования и мультиплексора, оборудование MPEG over IP, спутниковое оборудование и т. п. Кроме того, "головная станция" — это еще и название оборудования, использующегося операторами кабельного телевидения. Таким образом, всегда обращайте внимание, о каком именно оборудовании идет речь, когда говорят о головной станции или "хедэнде".

В случае кабельного телевидения, оборудование головной станции является средством связи оператора связи. В случае эфирного или кабельного DVB оборудование кодирования и мультиплексирования (а также и оборудование *Simulcrypt*) может быть оборудованием вещательной организации, а не оператора связи (т. е. не являться средством связи), что, в свою очередь, может повлечь разные требования к сертификации и требованиям к качеству оборудования в соответствии с действующим законодательством.

На рис. 1.1 изображена схема соединения устройств в хэдэнде цифрового телевидения. Для простоты на этой схеме не показаны некоторые устройства (например, скремблер), которые не используют какие-то особые интерфейсы.

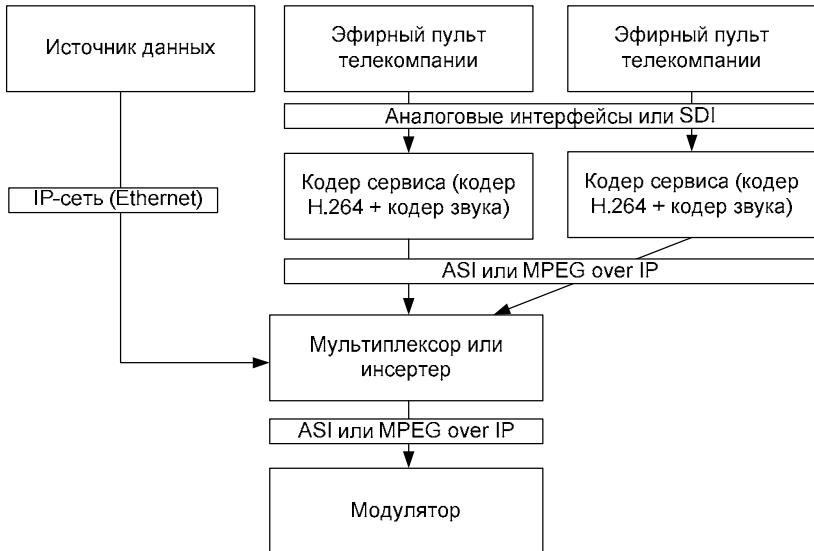


Рис. 1.1. Упрощенная схема соединений устройств с обозначением интерфейсов

Из рисунка видно, что "аналоговое царство" заканчивается на входе кодирующего устройства и далее сигнал является полностью цифровым.

В этой главе мы подробно рассмотрим все интерфейсы, указанные на иллюстрации. Подробнее остановимся на аналоговых интерфейсах и MPEG over IP — т. е. передаче информации через сети Ethernet. Подробнее о применении MPEG over IP можно узнать из гл. 11, поскольку именно в мобильном телевидении MPEG over IP широко используется.

1.2. Аналоговый композитный телевизионный сигнал и композитный интерфейс

Телевизионное изображение состоит из строк, которые называются *телевизионными строками*. Совокупность строк, которые формируют изображение, занимающее экран в определенный отрезок времени, называется *кадром*. Длительность этого отрезка времени называется *длительностью кадра*. Таким образом, телевизионное изображение — это последовательность кадров, сменяющих друг друга. Такой способ создания изображения называется *прогрессивной разверткой*. Возможен также иной способ, который называется *чересстрочной разверткой* (или, как говорят, "разверткой по полям").

Строки нумеруются сверху вниз. Совокупность строк кадра с четными номерами называется *четным полем (четным полукадром)*. Совокупность строк

кадра с нечетными номерами — *нечетным полем (нечетным полукадром)*. Количество строк в поле составляет половину количества строк полного кадра. Для комфортного восприятия движущегося изображения необходимо выводить на экран зрителя новое изображение каждые 20 мсек, т. е. частота смены изображений на телевизионном экране составляет 50 Гц. Также говорят, что скорость кадров составляет 50 кадров (или 50 полей — см. далее) в секунду.

Однако с учетом психофизиологии зрительного восприятия и для экономии ширины используемой полосы частот эффективнее передавать телевизионное изображение, чередуя четные и нечетные поля с той же самой скоростью, т. е. 50, только уже не кадров, а полей в секунду. Таким образом, телевизионный сигнал чересстрочной развертки организован как последовательная передача четных и нечетных полей со скоростью 50 полей в секунду.

Обратите внимание, что в случае аналогового сигнала нельзя сказать, что изображение содержит такое-то количество пикселов или столбцов изображения по горизонтали, мы можем сказать только, из какого количества строк оно состоит.

Теоретически мы можем использовать разные методы "проекции" аналогового сигнала на экран абонентского устройства, и количество точек по горизонтали и вертикали будет зависеть от того, сколько таких точек может воспроизвести абонентское устройство. Принято считать, что отношение сторон телевизионного экрана составляет 4:3 или 16:9. Исходя из этого, можно оценить, сколько точек содержит телевизионный экран на абонентском устройстве.

Иное дело, если телевизионное изображение передается цифровыми методами: в этом случае стандарт определяет размеры кадра телевизионного изображения по горизонтали и вертикали в "точках" (пикселях).

Теперь давайте подробнее поговорим об упомянутых ранее развертках и посмотрим, каким образом аналоговое телевизионное изображение воспроизводится на телевизионном экране. Не вдаваясь подробно в устройство электронно-лучевой трубки (кинескопа или ЭЛТ, по-английски — Cathode-ray tube или CRT), скажем только, что изображение создается на экране лучом, который "бежит" по поверхности электронно-лучевой трубки (эта поверхность покрыта особым веществом — люминофором), заставляя ее светиться с яркостью, пропорциональной уровню сигнала.

Обратите внимание, как нумеруются строки телевизионного изображения (рис. 1.2): сначала по порядку нумеруются все четные строки, потом все нечетные. Таким образом, номера четных строк содержатся в интервале 1—288, а нечетных — 289—576.

Луч прорисовывает одну строку поля слева направо, затем другую и т. п. Таким образом, если передается четное поле, то луч прорисовывает последова-

тельно сначала строку под номером 2, потом 4 и т. п. Во время передачи нечетного поля луч сначала прорисовывает слева направо последовательно все нечетные строки и т. д.

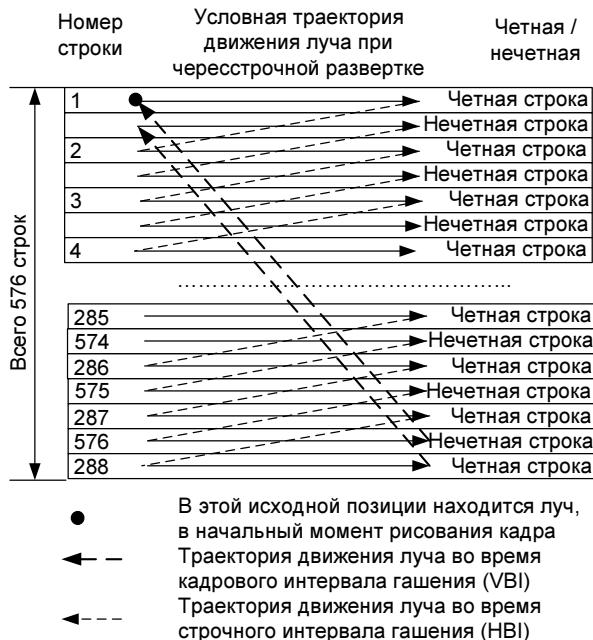


Рис. 1.2. Чересстрочная развертка

Такой порядок вывода на экран телевизионного изображения называется *чересстрочной разверткой* (*interlaced*). Чересстрочная развертка используется для создания изображений для обычного бытового телевидения.

Помимо сигнала изображения в телевизионном сигнале передаются различные управляющие импульсы, которые управляют лучом кинескопа — *синхроимпульсы*. В частности, существуют *кадровые синхроимпульсы* и *строчные синхроимпульсы* (рис. 1.3). Кадровый синхроимпульс — это команда лучу кинескопа начать рисовать новое поле, строчный синхроимпульс — новую строку.

Когда луч получает команду перемещаться в начало экрана для рисования нового поля (т. е. приходит кадровый синхроимпульс), он начинает выполнять такое перемещение. Что же в этот момент передается в телевизионном сигнале? Ведь луч в момент перемещения "занят" и не может рисовать на экране ничего полезного. В действительности, в телевизионном сигнале ничего не меняется: строки как передаются, так и продолжают передаваться — только

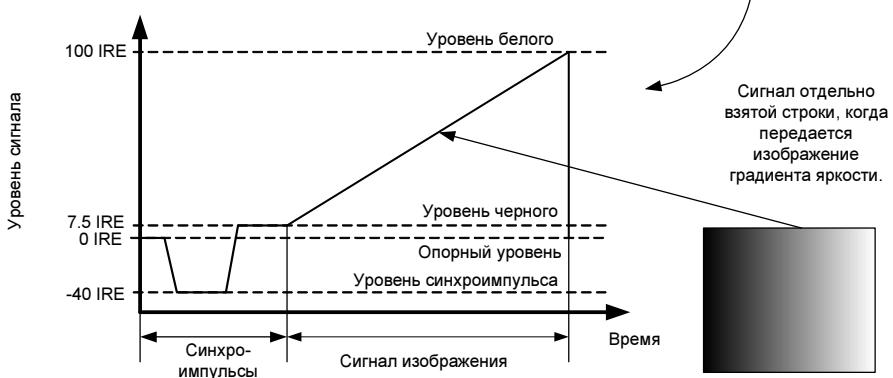
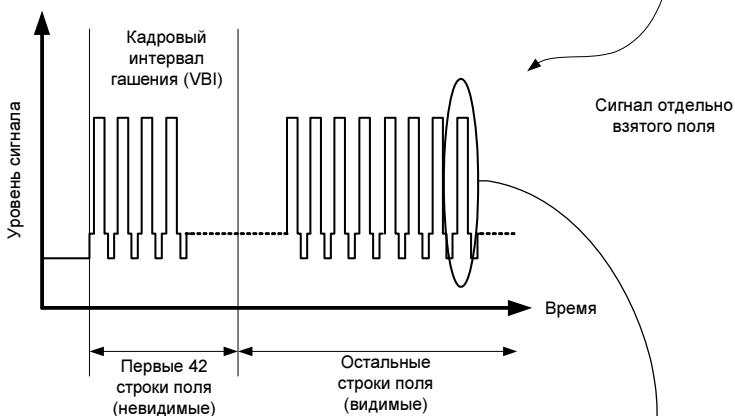
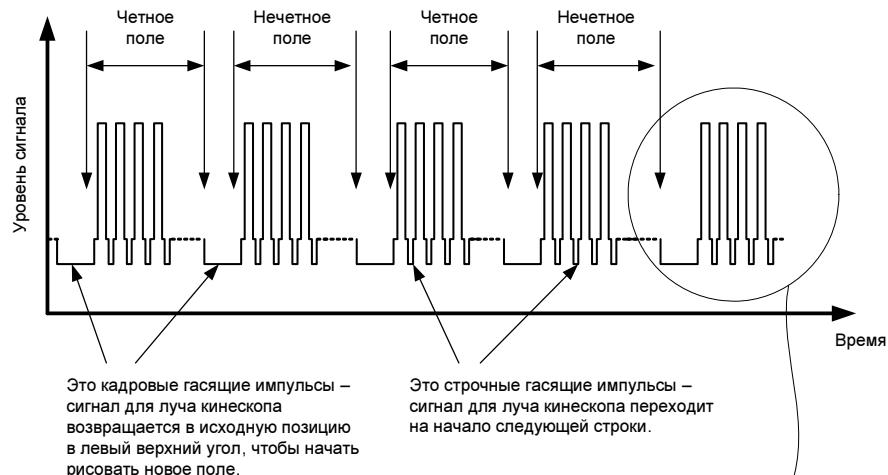


Рис. 1.3. Структура композитного сигнала

они не выводятся на экран. Пока луч кинескопа "доползет" в исходное положение, успеет передаться 42 "бесполезные" строки.

Период движения луча из правой нижней части кадра в левую верхнюю по команде кадрового синхроимпульса называется *вертикальным интервалом гашения*. В англоязычной литературе употребляется термин *vertical blanking interval* или, сокращенно, *VBlank* или *VBI*. Обозначение VBI является очень распространенным. Важно понимать, что в течение VBI в телевизионном сигнале передаются строки, но они не выводятся на экран телевизионного приемника.

В телевизионной технике возникло много идей, как использовать "бесполезные" строки, передающиеся в момент VBI для передачи какой-либо полезной информации, например телетекста, информации систем условного доступа и т. д. При оцифровке аналогового телевизионного сигнала эти "бесполезные" 42 строки оцифровываются тоже и используются в разных технических целях. Например, цифровой интерфейс SDI размещает на месте этих строк информацию о контрольных суммах.

Период, когда передается строчный гасящий импульс и луч переходит на начало следующей строки, называется *строчным периодом гашения*, или *horizontal blanking interval*, или *HBI*. Это период является довольно кратким, в его время не передается сигналов строк, и поэтому он не используется для передачи информации.

Теперь рассмотрим сигнал отдельно взятой строки. В его начале передается синхроимпульс, затем — информация об изменении яркости вдоль строки. На рисунке изображено, как меняется уровень сигнала изображения во времени, когда передается изображение градиента яркости от черного к белому.

В англоязычной литературе *опорный уровень* называется *master pedestal level*. Его увеличение будет приводить, как легко видеть, к потемнению изображения, а уменьшение — к его высыплению. Все детали изображения, которые передаются с уровнем выше белого, будут передаваться как белые, а ниже черного — как черные. Таким образом, неверная настройка уровней белого или черного может привести к потере информации об изображении (рис. 1.4). Проще говоря, детали частей изображения "утонут" в белом или черном фоне: например, трещины на стене здания будут не видны, если стена будет слишком темной.

Для обозначения уровней телевизионного сигнала используют условные величины, которые называются *IRE*. Эти величины легко перевести в милливольты:

$$\text{Уровень сигнала в милливольтах} = \text{Уровень в IRE} \times 7,14$$

Например, как видно из рис. 1.3, уровню белого соответствует уровень 100 IRE и 0,714 мВ, а опорному уровню (*master pedestal level*) соответствует 0 единиц IRE.

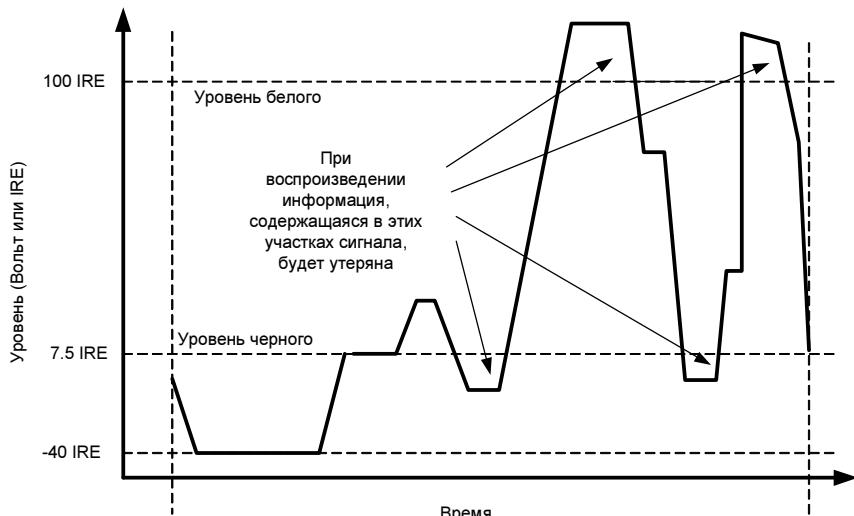


Рис. 1.4. Потеря информации при воспроизведении композитного сигнала

Помимо чересстрочной развертки используется *прогрессивная развертка* (*progressive scan*). При организации вывода изображения на экран методом прогрессивной развертки, изображение выводится полными кадрами (а не полями). Прогрессивная развертка часто используется при создании видеоизображений, предназначенных для демонстрации при помощи ЖКИ-мониторов.

Для обозначения типа разверток в стандартах телевизионного изображения для обозначения чересстрочной развертки употребляется буква "i", а для обозначения прогрессивной развертки буква "p". Например, запись 576i будет означать телевизионное изображение, состоящее из 576 строк и выводимое на экран абонентского оборудования с использованием чересстрочной развертки.

Ранее мы в основном говорили о передаче в сигнале информации о яркости. А как передается цвет? Он передается одновременно с сигналом яркости. При этом он помещается "внутрь" сигнала яркости при помощи квадратурной модуляции. Так же в сигнал яркости внедряются кадровый, строчный синхроимпульсы и другая информация, необходимая для синхронизации. Чтобы получить об этом представление, посмотрим, как будет выглядеть телевизионный сигнал на экране анализатора спектра (рис. 1.5) базового диапазона (о базовом диапазоне — *baseband* — см. разд. 9.2).

И напоследок рассмотрим такой запутанный предмет, как *нерабочая область телевизионного экрана* или *overscan* (рис. 1.6). В процессе совершенствования кинескопов, менялись их характеристики. Это приводило к тому, что ки-

некспопы по-разному воспроизводили один и тот же сигнал аналогового телевидения. Один кинескоп "съедал" изображение по краям, второй не "съедал", третий "съедал" его больше, чем первый и т. п. В результате, продюсеры и режиссеры не могли быть точно уверены, как же именно будет выглядеть их телевизионная программа на телевизоре клиента. Поэтому телевизионные программы стали сниматься в расчете на то, что часть изображения по краям кинескопа может быть "съедена" и, соответственно, зритель ее не увидит.



Рис. 1.5. Спектр композитного сигнала

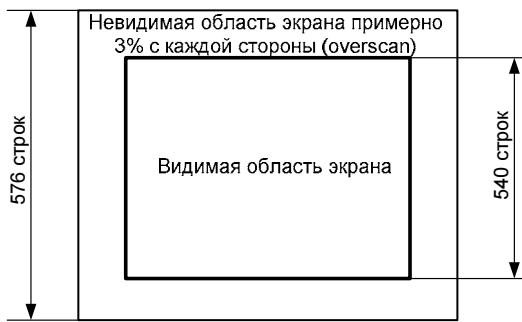


Рис. 1.6. Нерабочая область изображения (overscan)

Со временем выработалась традиция делать кинескопы таким образом, чтобы с каждой стороны "съедалось" около 3% изображения. Эти три процента остаются невидимыми зрителю и в некоторых телевизионных системах используются для передачи дополнительной информации. В любой современной видеокамере на экран монитора оператора выводится рамка (safe area),

которая ограничивает область съемки гарантированно не попадающую в невидимую трехпроцентную область экрана.

Итак, любое изображение, передаваемое в телевидении, обладает яркостью и цветом. Собственно зависимость этих двух свойств изображения от времени для каждого элемента передаваемой "картинки" и определяет телевизионное изображение. Электрический сигнал, который является функцией яркости телевизионного изображения от времени, называется *яркостной составляющей телевизионного сигнала*. Электрический сигнал, который является функцией цвета телевизионного изображения от времени, называется *цветовой составляющей телевизионного сигнала*.

Композитный видеосигнал — это аналоговый электрический сигнал, являющийся совокупностью яркостной, цветовой составляющей и сигналов синхронизации сигнала телевизионного изображения. В англоязычной литературе такой сигнал называется *CVBS (Composite Video Blanking and Sync)* или *composite video*.

Для передачи сигнала CVBS между различными устройствами в телевизионной студии используется композитный интерфейс с разъемами типа *RCA* ("тюльпан") или *BNC* (рис. 1.7) — коаксиальный кабель. Волновое сопротивление — 75 Ом. Максимальная длина — не более 50 м.



Рис. 1.7. Коннектор BNC (Источник: www.wikipedia.org)

1.3. Сигнал и интерфейс S-Video

Полный телевизионный сигнал состоит из трех основных компонент: яркостной, цветовой и синхросигнала. Эти три компонента сложным образом объединены в единый сигнал, который называется *полным телевизионным сигналом* или *композитным сигналом* (о котором говорили в конце предыдущего раздела данной главы).

Такой сложный сигнал, составленный из многих компонент, не так-то просто обработать. Единственное его удобство состоит в том, что такой сигнал

удобно передавать через эфир, т. к. для такой передачи потребуется полоса радиочастот шириной 8 МГц. Однако для студийного производства качество обработки композитного сигнала является недостаточным.

Интерфейс, в котором синхросигналы и яркостная составляющая передаются по одному проводнику, а цветовая составляющая — по другому, называется интерфейсом *S-Video* (сокращение от Separate Video, т. е. "Раздельное видео"). Для интерфейса S-Video используется специальный разъем (коннектор) MiniDin-4 (рис. 1.8). Он имеет четыре контакта: один для яркостного сигнала, один для цветового и два для "земли". Максимальная длина S-Video-кабеля — не более 50 м.



Рис. 1.8. Коннектор S-Video (Источник: www.wikipedia.org)

Телевизионный сигнал, передаваемый при помощи такого интерфейса, менее подвержен различным искажениям, вносимым оборудованием.

1.4. Компонентный сигнал и компонентный интерфейс

Для соединения различных устройств при студийном производстве телевизионных программ наиболее часто используется *компонентный интерфейс*, дающий наилучшее качество из всех аналоговых интерфейсов. В последние годы компонентный интерфейс получил большое распространение и в сфере бытового оборудования. Строго говоря, интерфейс S-Video тоже является компонентным интерфейсом, точнее — двухкомпонентным. Однако термин "компонентный" закрепился за телевизионным сигналом, разделенным на три компоненты.

Компонентный интерфейс реализован в нескольких вариантах, которые обозначаются аббревиатурами: YCbCr, RGB+sync и т. п. Как следует из названия, при использовании этого интерфейса телевизионный сигнал представляется в виде компонент, которые могут передаваться и обрабатываться раздельно.

Раздельная передача и обработка каждой из этих компонент приводит к еще большему увеличению качества телевизионного изображения по сравнению с двухкомпонентным интерфейсом S-Video. Но это не единственная причина преимуществ компонентного сигнала. Одной из самых важных причин является то, что использование такого сигнала позволяет снизить количество преобразований сигналов при студийной обработке, записи на видеомагнитофоны и т. п., чего не позволяет сделать S-Video. Поскольку количество преобразований уменьшается, соответственно уменьшается количество погрешностей, вносимых этими преобразованиями.

В современных видеокамерах телевизионный сигнал с матрицы видеокамеры получается сразу в компонентном виде. Аналоговый видеомагнитофон формата Betacam SP записывает телевизионный сигнал на ленту также в компонентном виде. Таким образом, при записи сигнала с видеокамеры на ленту, использование компонентного сигнала и компонентного интерфейса сводит количество преобразований сигнала к нулю.

Если камера позволяет производить компонентный видеосигнал, как правило, она маркируется знаком 3CCD. Если на камере такой знак отсутствует, то камера производит композитный сигнал, даже если на ней есть разъемы для компонентного интерфейса. В этом случае компонентный сигнал получается из композитного путем преобразования, а любое преобразование, как мы помним, ухудшает качество сигнала, к тому же композитный интерфейс сам по себе обеспечивает более низкое качество передачи, чем компонентный.

Наиболее распространенным в телевидении является компонентный интерфейс YCbCr. Компонентный сигнал YCbCr телевизионной программы состоит из трех компонент: яркостный сигнал и синхросмесь (Y) и два так называемых цветоразностных сигнала (Cb и Cr), которые являются комбинацией яркостного и цветового составляющих телевизионного изображения. Физически компонентный интерфейс YCbCr реализован в виде трех коаксиальных кабелей с разъемами типа BNC или RCA и выглядит как три композитных интерфейса. Волновое сопротивление кабелей — 75 Ом. Длина компонентных кабелей — не более 50 м.

Интерфейс RGB+synch является четырехкомпонентным и, соответственно, четырехпроводным. Сигнал RGB+synch состоит из четырех компонент: сигнала красного цвета (R), сигнала зеленого цвета (G), сигнала голубого цвета (B) и синхросмеси. Как видно, сигнал яркостной составляющей отсутствует в виде отдельного сигнала: часть сигнала этой составляющей присутствует в каждом сигнале, представляющем цвет. Принцип, на котором основано такое представление сигнала, очевиден: любой цвет в сочетании с яркостью можно представить в виде суперпозиции красного, зеленого и голубого цветов с различными яркостями. В телевидении интерфейс RGB+synch не получил значительного распространения.

Иногда в качестве компонентного используют интерфейс *YUV*. Этой аббревиатурой часто ошибочно называют интерфейс *YCbCr*. Математические соотношения между компонентными сигналами всех описанных ранее компонентных интерфейсов описываются следующей системой уравнений, из которых видно, что сигнал одного компонентного интерфейса можно легко преобразовать в сигнал другого:

$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B;$$

$$U = 0,436 \cdot (B - Y) / (1 - 0,114);$$

$$V = 0,615 \cdot (R - Y) / (1 - 0,299),$$

где: $Cb = B - Y$; $Cr = R - Y$, а Cb и Cr — описанные ранее цветоразностные сигналы, используемые в интерфейсе *YCbCr*.

В контексте цифрового телевидения компонентный интерфейс является наиболее востребованным и применяется в качестве входного интерфейса устройств видеокомпрессии, поскольку обеспечивает наилучшее качество передачи телевизионного сигнала. Еще более распространен SDI, о котором речь дальше.

В качестве примера посмотрите на фотографию задней панели профессионального видеомагнитофона формата DVCPRO50 фирмы Panasonic (рис. 1.9), снабженного всеми рассмотренными ранее интерфейсами и цифровым интерфейсом SDI, который описывается далее.



Рис. 1.9. Интерфейсы профессионального магнитофона

1.5. Форматы сигналов цифрового видео

Аналоговый сигнал оцифровывается в том виде, в котором он поступает на устройство оцифровки без всяких изменений. Это означает, что оцифровываются синхросигналы, а также строки, передающиеся в VBI.

Как мы уже говорили, размер телевизионного изображения характеризуется количеством строк и частотой смены полей. При переводе аналогового изображения в цифровую форму у телевизионного изображения появляется третий параметр: количество точек изображения по горизонтали. Кроме того, цифровой формат определяет частоты сэмплирования и размер сэмпла (sample), необходимые для оцифровки компонентов аналогового сигнала.

Форматы цифрового видео разработаны с учетом совместимости с аналоговыми форматами, т. е. в них заложена возможность обратного преобразования из цифрового сигнала в аналоговый. Это важно знать, если, например, вдруг возникнет желание удалить из цифрового сигнала "ненужную" область, занимаемую частями строк, попавшими в невидимую область экрана (overscan). При удалении этой информации могут возникнуть проблемы стыковки стандартов, появления на мониторе при воспроизведении сигнала нежелательных полос по краям кадра, нарушение пропорций изображения и другие неприятные вещи. Именно поэтому, как отмечалось ранее, аналоговый сигнал оцифровывается полностью "как есть" без всяких изменений.

Существует несколько цифровых форматов, определяющих размеры видеоизображения и скорость смены кадров (табл. 1.1), самым распространенным из которых является D1. В цифровом телевидении, как наземном, так и спутниковом, также используется формат с размером кадра 544×576 , что позволяет снизить количество передаваемых данных. Он дает худшее качество изображения, но зато позволяет сэкономить ресурсы сетей связи.

Таблица 1.1. Сравнительные характеристики форматов цифровых сигналов

Название	Сэмплов по горизонтали	Сэмплов по вертикали	Применение
1080i	1280, 1440	1080	Используется в телевидении высокой четкости (HDTV)
1080p	1920	1080	Используется в телевидении высокой четкости (HDTV)
4CIF	704	576	Используется в мультимедиа
720p	1280	720	Используется в телевидении высокой четкости (HDTV)
CIF	352	288	Используется в мобильном цифровом телевидении и мультимедиа

Таблица 1.1 (окончание)

Название	Сэмплов по горизонтали	Сэмплов по вертикали	Применение
D1 или SD	720	576	Основной формат, использующийся в цифровом телевидении стандартной четкости (SDTV)
D2	544	576	Нестандартный размер кадра SD, использующийся иногда в цифровом телевидении с целью экономии трафика
QCIF	176	144	Используется в мобильном цифровом телевидении и в мультимедиа
WXGA	1366	768	Используется в мультимедиа
XGA	1024	768	Используется в мультимедиа

В действительности стандартным для цифрового телевидения стандартной четкости в прямом смысле слова можно назвать только D1, который определен в международном стандарте ITU-R BT.601 "Параметры кодирования цифрового телевидения для студий" и QCIF, который определен в стандартах, имеющих отношение к мобильному телевидению (см., например, ITU-T H.264, ETSI TS 102 005 и др.).

Итак, мы видим, что неопределенная длина строки аналогового сигнала в цифровых форматах имеет совершенно четкое числовое значение, выраженное в сэмплах, например: 720, 544 или 176. При выводе на экран абонентского устройства каждый такой сэмпл конвертируется в какое-то количество точек экрана. Например, если экран имеет размер 720×576 точек, то один сэмпл будет конвертироваться в одну точку этого экрана. При использовании аналогового сигнала невозможно добиться такой определенности, т. к. параметры аналоговых устройств могут отличаться одно от другого.

Приведем подробно величины, которые определяет стандарт ITU-R BT.601 для оцифровки компонентного аналогового сигнала (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Параметры оцифровки компонентного сигнала

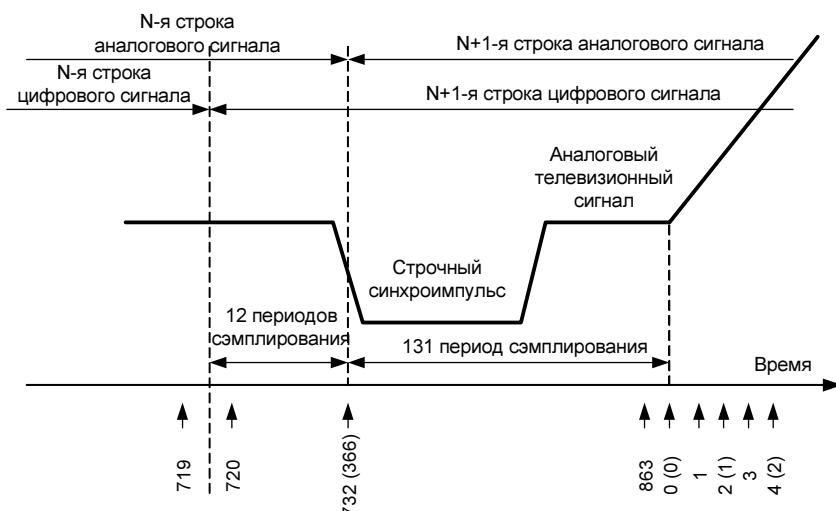
Параметр	Величина или требование
Количество сэмплов на полную длину линии сигнала (т. е. включая синхросмесь)	Яркостный сигнал (Y) — 864 Цветоразностные сигналы (Cr и Cb) — 432
Частота сэмплирования, МГц	Яркостный сигнал (Y) — 13,5 Цветоразностные сигналы (Cr и Cb) — 6,75
Способ оцифровки	PCM, 8 или 10 бит на сэмпл для яркостного и цветоразностных сигналов

Таблица 1.2 (окончание)

Параметр	Величина или требование
Количество сэмплов в видимой части линии цифрового изображения (т. е. без синхросмеси)	Яркостный сигнал (Y) — 720 (см. разд. 1.6), где показывается, что это число нельзя считать правильным) Цветоразностные сигналы (Cr и Cb) — 360
Количество уровней отсчета для яркостного сигнала (Y)	220
Значение отсчета для уровня черного	16
Значение отсчета для уровня белого	235
Количество уровней отсчета для цветоразностных сигналов (Cr и Cb)	225, нулевое значение соответствует отсчету 128

Также стандарт ITU-R BT.601 определяет, каким образом располагаются сэмплы относительно сигнала аналогового телевидения. Очевидно, что начать оцифровку мы можем с разных мест аналогового сигнала. ITU-R BT.601 определяет, с какого точно места оцифровка должна начинаться — с окончания предыдущей активной строки (в аналоговом же сигнале началом строки считается начало синхроимпульса).

Рассмотрим чуть подробнее, как происходит "оцифровка" аналоговых сигналов (рис. 1.10). Как было сказано, стандарт ITU-R BT.601 предусматривает



Номера сэмплов яркостного сигнала (в скобках — цветоразностных, если они существуют в данный момент, т. к. частота сэмплирования цветоразностных сигналов меньше, чем яркостного)

Рис. 1.10. Схема оцифровки аналогового телевизионного сигнала

частоты сэмплирования для YCbCr для яркостного сигнала 13,5 МГц, а для цветоразностных сигналов 6,75 МГц. При этом частоты сэмплирования определяются относительно "базовой" частоты сэмплирования 3,375 МГц, т. е. $13,5 \text{ МГц} = 3,375 \times 4$, а $6,75 \text{ МГц} = 3,375 \times 2$. Такое положение вещей обозначают следующим образом: 4:2:2, т. е. Y сэмплируется с частотой в 4 раза больше базовой, а цветоразностные сигналы Cb и Cr с частотами вдвое большими базовой (рис. 1.11).

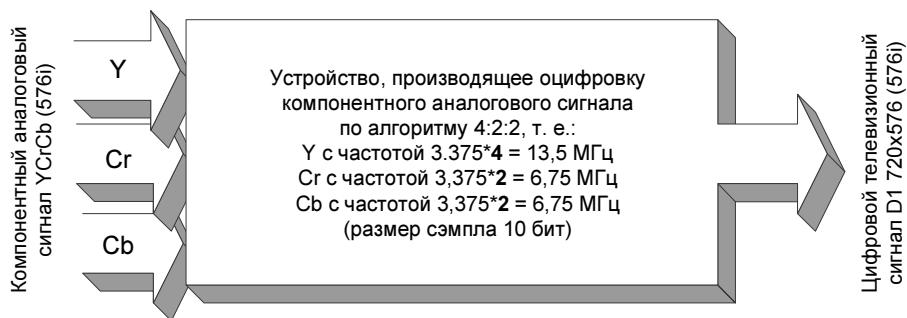


Рис. 1.11. Интерфейсы устройства оцифровки

Однако на практике производители оборудования допускали отклонения от стандарта ITU-R BT.601. Например, в цифровом формате DV фирмы SONY стал использоваться алгоритм сэмплирования 4:1:1, т. е. для сэмплирования цветоразностных сигналов использовалась частота вдвое меньшая, чем положено по стандарту, что теоретически должно приводить к ухудшению цветопередачи. Конечно, специалисты компании SONY говорят, что это не так и уменьшение частоты сэмплирования связано с внедрением различных "ноухай" в тракт обработки видеосигналов.

Сигналы, передающие изображение с количеством строк 576, называются *сигналами стандартной четкости*. Телевидение, созданное с использованием таких сигналов, называется *телевидением стандартной четкости* или *SDTV*. Сами сигналы стандартной четкости обозначают как *SD* (*standard definition*).

Помимо этого в последние годы активно развивается цифровой формат, который получил название *телевидения высокой четкости* или *HDTV*. Сами сигналы высокой четкости называют *HD* (*high definition*). Этот формат имеет несколько вариантов, которые я приводил в табл. 1.1.

Использование телевидения высокой четкости с аналоговыми сигналами оказалось на практике невозможной из-за слишком большой полосы радиочастот, которую занимает такой сигнал в эфире. И только появление стандартов

DVB и алгоритмов "сжатия" сигналов цифрового телевидения вдохнуло новую жизнь в HDTV.

Цифровой сигнал сам по себе характеризуется *скоростью цифрового потока*, т. е. количеством бит информации, передаваемой по интерфейсу в единицу времени. Например, для передачи сигнала D1 в "несжатом" виде потребуется канал связи, обеспечивающий скорость передачи информации до 270 Мбит/сек. В качестве интерфейса для передачи цифрового сигнала D1 используется последовательный цифровой интерфейс SDI (Serial Digital Interface).

К цифровому видеосигналу могут быть применены специальные алгоритмы, которые уменьшают скорость цифрового потока. Такие алгоритмы называются *алгоритмами компрессии* или "сжатия" цифрового сигнала. В частности, применение компрессии MPEG в различных ее вариантах позволяет уменьшить скорость цифрового потока с 270 Мбит/сек до 2—15 Мбит/сек с различными степенями ухудшения качества. Как показывают проведенные оценки, при скоростях выше 4 Мбит/сек ухудшение качества изображения в результате компрессии практически незаметно. Различные алгоритмы компрессии мы будем подробнее рассматривать в следующих главах.

Оцифровка композитного сигнала в профессиональном видеопроизводстве большого распространения не получила, и мы ее здесь рассматривать не будем.

1.6. SAR и DAR

Для обозначения соотношения сторон кадра цифрового изображения и сэмпла (пикселя) используют термины SAR и DAR.

SAR — *Sample Aspect Ratio* — соотношение сторон сэмпла. Вычисляется как отношение размера сэмпла горизонтали к размеру сэмпла по вертикали. Что значит размер сэмпла? Это геометрический размер области экрана, кодируемой одним сэмплом. Например, SAR = 1:1 значит, что сэмпл (или часто говорят — пиксель), является квадратным.

DAR — *Display Aspect Ratio* — соотношение сторон экрана. Вычисляется как отношение ширины экрана к его высоте. Здесь имеются в виду геометрические размеры экрана. Например, для показа телевидения в стандарте SD необходимо соотношение сторон экрана 4:3, а для HD — 16:9.

Нетрудно вывести формулу взаимного преобразования SAR и DAR:

$$\frac{DAR}{SAR} = \frac{N_X}{N_Y},$$

где N_X — количество сэмпов по горизонтали, а N_Y — по вертикали.

Давайте рассчитаем SAR и DAR для телевидения стандартной четкости при оцифровке аналогового изображения, исходя из сведений, полученных в предыдущей главе.

Мы знаем, что количество сэмплов изображения SD составляет 720 по горизонтали и 576 по вертикали. При этом, поскольку соотношение экрана SD = 4:3 (т. е. DAR = 4:3), находим SAR SD = 1,06. Однако эти расчеты не верны, и вот почему — в реальности не все 720 сэмплов по горизонтали будут содержать элементы изображения. Это легко понять, если вспомнить, что частота сэмплирования равна 13,5 МГц. Далее, из ГОСТ 7845 находим длительность строки изображения PAL — 52 мксек. Отсюда находим: $13500000 \times 0,000052 = 702$.

Таким образом, несмотря на то, что в соответствии со стандартом в строке будет 720 сэмплов, в реальности только 702 из них будут содержать информацию об изображении. Если пересчитать SAR с учетом этого важного наблюдения, то мы получим величину 1,09.

Обратите внимание, что данное обстоятельство касается только ситуации оцифровки аналогового изображения. В случае, если вы пользуетесь полностью цифровым трактом от съемки, до монтажа и выдачи в эфир, ситуация может быть иной (но никогда 100% нельзя утверждать, что стандартной). Мы обсудили эту ситуацию для того, чтобы продемонстрировать, что в стандартах могут встречаться забавные недоразумения.

1.7. Интерфейс SDI

Интерфейс SDI или последовательный цифровой интерфейс (*Serial Digital Interface*) используется для передачи некомпрессированного (или "несжатого") цифрового видеосигнала или, в режиме *внедренное аудио* (*embedded audio*), для передачи такого видеосигнала вместе со звуком. Этот интерфейс получил очень широкое распространение в профессиональном телевизионном производстве.

Интерфейс SDI определяется стандартами ITU-R BT.656 и SMPTE 259M для передачи сигнала стандартной четкости (SD) и называется SD-SDI. Для передачи сигналов высокой четкости (HD) интерфейс SDI определяется стандартом SMPTE 292M и называется HD-SDI.

Для SD-SDI стандартом определены следующие скорости:

- 270 Мбит/сек для передачи 576i;
- 360 Мбит/сек для передачи 756i в широкоэкранном режиме (т. е. с разрешением кадра 16:9);

- 143 Мбит/сек и 177 Мбит/сек для передачи оцифрованного композитного видео (эти режимы распространения не получили).

Для HD-SDI стандартом определена скорость 1,485 Гбит/сек.

Интерфейс SDI позволяет передавать сигналы контроля качества цифрового потока — контрольные суммы CRC (Cyclic Redundancy Check). Эти контрольные суммы размещаются вместо сэмплов, соответствующих строкам, передаваемым в период вертикального гасящего импульса (VBI или Vblank).

Интерфейс SDI позволяет передавать цифровые аудиосигналы совместно с видеосигналами. Сэмплы аудиосигналов размещаются также вместо строк, передаваемых в VBI. Стандарт определяет возможность передачи до 16 аудиоканалов совместно с одним видеоканалом. Режим передачи аудиоканалов называется *embedded audio*. К сожалению, не всякое оборудование, предназначенное для работы с интерфейсом SDI, поддерживает режим *embedded audio*.

Интерфейс SDI очень широко используется в студийном производстве — им снабжены практически все современные профессиональные видеокамеры и магнитофоны. В цифровом телевидении этот интерфейс используется в качестве входного интерфейса для кодеров MPEG2 или H.264.

Физически кабель SDI представляет собой коаксиальный кабель с разъемами BNC. Волновое сопротивление кабеля — 75 Ом. Длина такого кабеля без репитеров может составлять до 300 м.

1.8. Сигналы цифровых транспортных потоков и интерфейс ASI

Для передачи информации цифрового телевидения, используют особый вид транспорта — *транспортный поток MPEG* (называется для краткости MPEG TS). Сейчас мы не будем определять, что это такое, поскольку это тема отдельной большой главы этой книги.

Для передачи транспортного потока MPEG используются различные виды интерфейсов. В том и состоит удобство MPEG TS, что он легко "переносится" с одного способа передачи на другой, с одного интерфейса на другой: MPEG TS можно передавать через IP-сети, посредством COFDM-модуляции через эфир, через ASI и т. п.

ASI служит для непосредственной передачи MPEG TS "как есть", в "чистом виде". Это означает, что информация, передаваемая через ASI, содержит только биты MPEG TS. В общем случае ASI соединяет два устройства: источник MPEG TS и его приемник. Интерфейс ASI, как ясно из его названия, означает асинхронный последовательный интерфейс.

Электрически ASI идентичен SDI. Разница между ними, повторюсь, состоит в том, что SDI предназначен для передачи некомпрессированного видеосигнала, а ASI — транспортного потока MPEG TS. Таким образом, в ASI не реализована возможность использования VBI (см. разд. 1.7), поскольку VBI там просто нет.

Интерфейс ASI чрезвычайно распространен в DVB-приложениях.

1.9. Интерфейс HDMI

Интерфейс HDMI (High-Definition Multimedia Interface) используется для подачи цифрового сигнала на высококачественное абонентское оборудование (рис. 1.12). Интерфейс позволяет передавать видеосигналы, аудиосигналы, а также дополнительную информацию управления (*signalling*).



Рис. 1.12. Коннектор HDMI (Источник: www.wikipedia.org)

Данный интерфейс является цифровым, т. е. до подачи сигнал кодируется особым образом при помощи алгоритма TMDS (Transition Minimized Differential Signaling), что позволяет получить дополнительную коррекцию ошибок взаимного влияния медных проводников соединительных кабелей, благодаря этому удается, во-первых, снизить стоимость кабелей, а во-вторых, увеличить их длину.

Интерфейс HDMI поддерживает передачу видеосигналов с кодированием по формату 4:4:4 с размером сэмпла 12 бит, что намного превосходит требования стандарта ITU-R BT.601.

Интерфейс способен передавать сигналы цифрового видео с частотами сэмплирования от 25 до 680 МГц в зависимости от типа реализации HDMI (типы: 1, 2, 3 — см. далее). Также поддерживается передача до 8 каналов звука с частотами сэмплирования от 32 до 192 кГц. HDMI позволяет передавать цифровые потоки со скоростью до 10,2 Гбит/сек. Для передачи аудиоданных

и информации управления используется время, когда в потоке передаются сигналы строк VBI.

Все вышеописанные характеристики делают понятным, почему этот интерфейс называется HDMI — потому что он предназначен для использования в цифровом телевидении высокой четкости или в бытовых приложениях, где требуется передача высококачественных сигналов с большой скоростью цифрового потока: например, при проигрывании DVD-дисков с видео высокой четкости. В конечном счете, HDMI может передавать сигналы видео даже в формате 1080р.

Интерфейс HDMI является односторонне совместимым с цифровым интерфейсом DVI, т. е. сигнал DVI можно передавать через интерфейс HDMI, но не наоборот. Промышленностью выпускаются переходные устройства для того, чтобы соединять разъемы HDMI и DVI. Интерфейс DVI не нашел большого распространения в цифровом телевидении, поэтому мы его не рассматриваем. Также необходимо иметь в виду, что DVI не может передавать звук.

Разъемы интерфейса HDMI могут быть разных габаритов (всего существует три типа). Тип 1 — специально для бытовых приложений: разъем имеет 19 контактов и габариты 13,9×4,3 мм. Тип 2 — более габаритный разъем для передачи потоков максимальной скорости: 29 контактов и 21 мм в ширину. И, наконец, тип 3 — 10 мм и 19 контактов. Тип 3 предназначен для использования в малогабаритных устройствах.

Вопрос о максимальной длине кабеля является непростым, поскольку спецификация HDMI регламентирует не длину кабеля, а количество ошибок передачи, которое является критическим. Таким образом, длины кабелей зависят от параметров материалов и от технологий, используемых при изготовлении кабелей разными производителями. Кабели среднего качества имеют длину до 5 м, высокого — до 12 м.

1.10. Звуковые интерфейсы

Со звуковыми интерфейсами (в контексте DVB конечно) дела обстоят намного проще, чем с видеоинтерфейсами. Существует два вида аналоговых интерфейсов — *симметричный* и *несимметричный*. Правда, такой небольшой выбор самих типов интерфейсов с успехом компенсируется многочисленными типами разъемов: 3XLR (рис. 1.13), RCA, различными видами разъемов типа Jack и MiniDin и т. п.

Цифровой интерфейс используется только один — AES/EBU.

Сначала рассмотрим аналоговые интерфейсы.

Амплитуда электрических колебаний в аналоговом интерфейсе должна составлять не более 0,775 В. Этот уровень принимается за нулевой при расчете уровня звука в децибелах, т. е. уровню звука в 0 дБ соответствует амплитуда 0,775 В.



Рис. 1.13. Коннектор 3XLR

В современной профессиональной аппаратуре могут также использоваться уровни +4 дБ (1 В), в любом случае при использовании интерфейса, при коммутации и настройке оборудования, необходимо внимательно ознакомиться с инструкцией по эксплуатации. Во многих устройствах возможно использование различных уровней, при этом рядом с разъемами звуковых интерфейсов имеются соответствующие переключатели.

Самый простой аналоговый интерфейс — несимметричный. Он является двухпроводным (сигнал и "земля") и широко используется в быту. Несимметричный интерфейс обладает низкой помехозащищенностью, поскольку помехи могут вносить необратимые изменения в сигнал.

В симметричном интерфейсе используются три провода: "земля", отрицательный и положительный. По положительному проводу передается аудиосигнал без изменений, а по отрицательному — в противофазе. В приемнике отрицательный сигнал инвертируется и складывается с положительным, после чего выполняется нормализация (т. е. приведение уровня сигнала к нормальному уровню — в данном случае, это деление уровня на 2). Если происходит какая-либо помеха, то она одинаково повлияет на положительный и отрицательный сигнал. В приемнике отрицательный сигнал будет инвертирован, следовательно, помеха при суммировании с положительным сигналом вычитается. Благодаря такой конструкции, симметричный интерфейс менее подвержен помехам, чем несимметричный.

Из цифровых аудиоинтерфейсов в телевидении используется только так называемый *интерфейс AES/EBU*. Официально он называется *AES3*, но это на-

звание употребляется редко. В бытовой технике этот стандарт известен под названием *S/PDIF* и реализован с использованием другого типа разъемов.

В телевизионном оборудовании интерфейс AES/EBU используется с разъемами 3XLR, как у симметричного аналогового соединения. Этот интерфейс используется в основном для подачи сигнала на устройства кодирования (кодеры).

1.11. Потоки данных в цифровом телевидении (общие сведения)

Для начала определим, что такое поток. *Поток* — это последовательность бит информации, передаваемых друг за другом: бит под номером n передается в момент времени T_n , бит под номером $n + 1$ передается в момент времени T_{n+1} и т. п. При этом $T_{n+1} > T_n$.

Важнейшей характеристикой потока является скорость. *Скорость потока* может быть постоянной и переменной. Скорость одиночного потока имеет размерность бит в секунду и определяется очевидной формулой:

$$S(T) = \frac{1}{(T_{n+1} - T_n)}.$$

Обратите внимание, что к скорости потока в общем случае неприменима размерность "байт в секунду", поскольку байт — это единица хранения информации. Мы можем вести речь о "байтах в секунду" тогда, когда речь идет о скорости передачи информации, предназначенной для хранения.

Устройство, формирующее поток данных цифрового телевидения, называется *кодером*. Устройство, принимающее и обрабатывающее поток данных цифрового телевидения, называется *декодером*. Существуют кодеры видео и аудио, кодеры транспортных потоков и т. п. Также существуют комбинированные кодеры видео и аудио — именно они чаще всего и используются на практике, и мы будем рассматривать их дальше.

Потоки могут передавать информацию синхронно или асинхронно. В первом случае скорость обработки информации потока в передающем устройстве (кодер) и приемном устройстве (декодер) должна быть одинакова. *Синхронная передача данных* похожа на заводской конвейер, идущий с постоянной скоростью. Если конвейер будет менять скорость, то будут перегружаться или простаивать рабочие, стоящие в начале или в конце конвейера. В случае *асинхронной передачи данных* скорость большого значения не имеет. Передача данных по Интернету относится в большинстве случаев к асинхронному типу, т. е. при передаче информации по Интернету вам не важно, в какое точ-

но время придет тот или иной байт информации, важно, чтобы он пришел в течение промежутка времени, который вас устраивает.

В случае синхронной передачи данных говорят, что приемник и передатчик должны работать синхронно, в случае асинхронной передачи данных — не синхронно или асинхронно.

Передача видео-, аудио- и иной информации в цифровом телевидении имеет синхронный характер, поскольку новая информации генерируется передатчиком постоянно с частотой сэмплирования и с этой же частотой должна обрабатываться.

Давайте посмотрим, каким образом обрабатывается синхронный поток в приемном (декодер) и передающем (кодер) устройствах. Посмотрим внимательно на схему, изображенную на рис. 1.14.

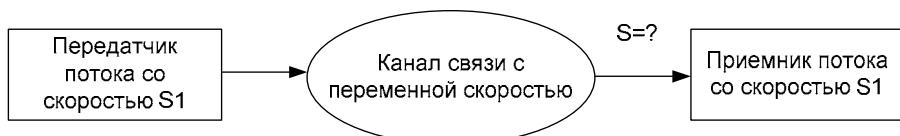


Рис. 1.14. Канал связи с переменной скоростью

Мы видим, что передатчик генерирует поток со скоростью, равной S_1 , а приемник должен принимать этот поток тоже со скоростью S_1 . Это и понятно, ведь наш поток синхронный. Но на нашем пути встает канал передачи данных, который в общем случае передает наш поток с переменной скоростью. Таким образом, для корректной работы приемника нам необходимо передавать от передатчика к приемнику информацию о скорости потока, поскольку неясно, какова эта скорость на выходе канала связи.

Кроме того, через один канал связи может одновременно передаваться несколько потоков. В этом случае какое-то количество времени передается один поток, потом другой, потом третий, потом опять первый и т. д. Процесс объединения нескольких потоков в один поток называется *мультиплексированием*. Хороший пример: улица, движение на которой регулируется светофорами, пропускающими то один поток, то другой. Мультиплексирование вносит дополнительные изменения в скорость передаваемого потока. Таким образом, если имеет место мультиплексирование, то скорость потока может меняться в нежелательно широких пределах, которые складываются с вариациями скорости передачи канала связи.

Так каким же образом синхронизировать работу приемника и передатчика? В стандарте MPEG2 TS эта проблема решается путем введения временных меток PTS, DTS и PCR. Эти метки представляют собой показания часов ко-

дера, которые передаются декодеру в составе потока данных. Например, метка PTS — это относительное время, когда переданный кадр должен быть показан зрителю, а DTS — когда он должен быть декодирован. Метка PTS формируется в тот момент, когда кадр попадает на вход кодера, а DTS — когда этот кадр появляется с выхода кодера. Разница PTS двух последовательных кадров и скажет декодеру, с какой скоростью работал кодер. Мы будем рассматривать эти метки подробнее в дальнейшем.

Вариации скорости при передаче потоков описывается *сетевым джиттером* (*jitter*). *Сетевой джиттер* — это отклонение отенной скорости потока в приемном устройстве, вследствие каких-то замедлений или ускорений передачи информации в канале связи, т. е. джиттер характеризует вариации скорости.

Допустим, у нас есть два "пакета" информации (неважно какой), первый сгенерирован источником в момент времени t_1 , а второй в момент времени t_2 . И пусть $\Delta t = t_2 - t_1$. Оба пакета прошли через канал связи и были приняты приемником в моменты времени T_1 и T_2 соответственно. Пусть $\Delta T = T_2 - T_1$.

Тогда джиттер будет равен:

$$\text{Джиттер} = |\Delta T - \Delta t|.$$

Величина джиттера может быть значительной — вплоть до секунд. Обычная величина джиттера в сетях передачи данных — несколько миллисекунд.

Поток может быть определенным образом структурирован. Например, биты могут быть объединены в блоки данных с фиксированной или произвольной длиной. Потоки, которые можно структурировать таким образом, называются *пакетными* (*packetized*). Таким образом, потоки могут быть пакетными с фиксированной или произвольной длиной пакетов. Как правило, пакеты имеют заголовки, содержащие информацию о содержимом пакета и т. п. Скорость пакетного потока будет составлять:

$$S(T) = \frac{\text{Длина пакета}}{(t_2 - t_1)},$$

где t_2 и t_1 — времена генерации первого бита двух последовательных пакетов.

Потоки, с которыми мы будем сталкиваться дальше, будут только пакетными. Забегая вперед, скажу, что длина пакета транспортного потока MPEG2 составляет 188 байт или 1504 бита.

Структур потоков может существовать великое множество, поскольку само определение потока не содержит никаких правил, как поток должен быть структурирован. Предлагается множество различных структур потока, пред-

назначенных каждая для своей задачи. Стандарт MPEG2 предлагает структуру потока, в котором удобно передавать аудио- и видеоданные, а также различного рода дополнительную информацию, учитывая специфику цифрового телевидения.

Качество передачи цифровой информации определяется величиной, которая называется *BER* (*Bit Error Rate*). BER равен произведению количества ошибочно переданных бит на общее количество переданных бит. Считается, что канал связи цифрового телевидения работает качественно, если имеется не более двух ошибочных бит на 10000 переданных без ошибок, т. е. $BER = 2 \times 10^{-4}$ и меньше.

1.12. Ethernet и мультикастовые потоки (MPEG over IP)

Интерфейс на базе технологии Ethernet может быть использован для передачи любого рода информации между оборудованием цифрового телевидения. Особенно это касается оборудования, которому необходим транспортный поток MPEG2. За последние несколько лет наметилась тенденция отказа от специализированных цифровых интерфейсов (например, ASI) в пользу Ethernet. Цифровые передатчики, мультиплексоры и прочее оборудование зачастую выпускается с интерфейсами Ethernet, где передача транспортных потоков осуществляется при помощи стека протоколов RTP/UDP/IP, подобно тому, как это происходит в IPTV (IP-телевидение).

Передача транспортных потоков через Ethernet часто сокращенно именуется MPEG over IP. При этом, помимо обычных IP-адресов, используются мультикастовые адреса (multicast address) для обозначения групп источников сигнала. Слово "группа" в данном случае надо понимать не как совокупность устройств, а как трафик какого-либо сервиса. Например, "мультикастовая группа первого мультиплекса", т. е. мультикастовый трафик, передающий транспортный поток первого мультиплекса и имеющий определенный мультикастовый IP-адрес (об адресах см. далее в этом разделе).

Кодер какого-нибудь телеканала может быть источником мультикастового трафика, а мультиплексор — приемником. В свою очередь мультикастовый трафик, генерируемый мультиплексором, может принимать передатчик, имеющий IP-интерфейс.

В этом случае так же значительно упрощается ветвление сигнала, поскольку обыкновенный сетевой свитч, обладающий возможностью работать с мультикастовым трафиком, может выполнять эту операцию. Таким образом, источник в системе может быть один, а приемников — множество. Например,

сигнал с одного кодера может быть доставлен на несколько мультиплексоров без дополнительных усилий.

По сути дела, в случае использования Ethernet и мультикаста, оборудование цифрового телевидения превращается в обычное сетевое оборудование, находящееся в границах единого вещательного домена (broadcast domain) или в разных вещательных доменах, соединенных маршрутизатором с возможностью маршрутизации мультикастового трафика.

Также большим удобством является то, что состав передаваемой информации может определяться протоколами уровня приложения, что делает интерфейс очень гибким. Для внесения каких-либо изменений в интерфейс требуется изменить приложение, формирующее и принимающее информацию без смены "железа".

Пример построения "хедэнда" цифрового телевидения с использованием Ethernet приведен на рис. 1.15.

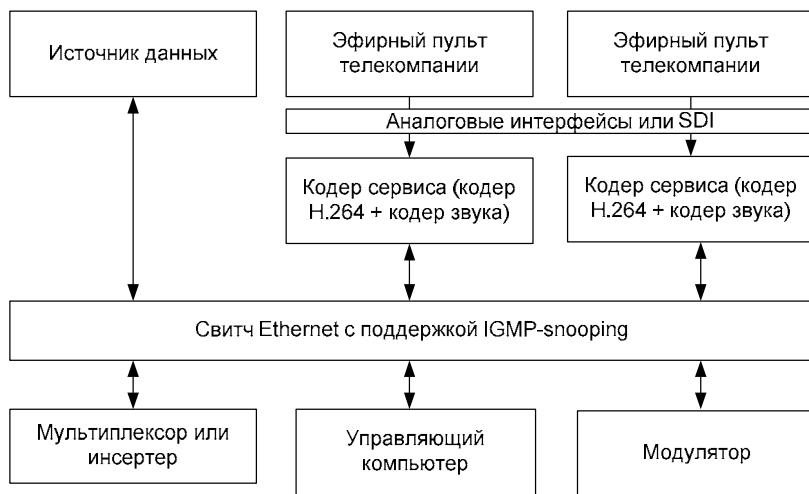


Рис. 1.15. Схема соединений устройств хедэнда с использованием Ethernet

Еще одно колоссальное удобство — возможность использования протокола SNMP для диагностики и управления оборудованием. В настоящее время практически любое устройство цифрового телевидения выпускается с возможностью диагностики и управления через SNMP.

Спецификация мультикастовых потоков определяется вне стандарта DVB. Эти потоки широко используются в компьютерных сетях для различных целей: передачи видео и аудио, телефонии, обмена информацией между маршрутизаторами и т. п. Использование мультикастовых потоков в DVB показывает, насколько близко цифровое телевидение к сетям передачи данных.

Рассмотрим основы мультикаста в компьютерных сетях. Существует несколько разновидностей информации, передаваемой в сетях передачи данных: *адресная информация* — от конкретного пользователя конкретному пользователю, широковещательные сообщения (*broadcast*, т. е. вещание) — от одного пользователя всем пользователям в пределах сегмента сети и *мультикаст* (*multicast*) — от одного пользователя многим пользователям в пределах всей сети.

Вещательный (*broadcast*) трафик доставляется в пределах сегмента сети (а не во всей сети), всем без исключения получателям, независимо от их желания. Мультикастовый трафик доставляется от одного источника, нескольким пользователям в пределах всей сети по *подписке*.

Пользователь может получать мультикастовый трафик, а может не получать — все зависит от того, имеет ли данный пользователь подписку на мультикастовый трафик. Подписка выполняется не на весь мультикастовый трафик, а только на тот, который пользователю нужен — например, на определенную телепрограмму, которая вещается по сети. Подписка на мультикастовый трафик — это только техническая процедура, связанная с отправкой команды на получение трафика. Не следует путать подписку на мультикастовый трафик и подписку на услуги (см. гл. 10).

Каким образом в сети отделяется один мультикастовый трафик от другого? Например, трафик одной телепрограммы от трафика другой? Трафик одного транспортного потока MPEG TS от другого? Это делается через IP-адресацию в определенном диапазоне IP-адресов, называемых *мультикастовыми адресами*.

Один мультикастовый адрес называется *мультикастовой группой*. Этот термин вводит в заблуждение, поскольку ни о какой реальной группе (т. е. совокупности чего-либо) речь не идет. Речь идет о маркировке при помощи IP-адреса трафика, передающего сигнал отдельной телепрограммы, радиопрограммы или транспортного потока.

Диапазон IP-адресов от 224.0.0.0 до 239.255.255.255 является диапазоном адресов мультикастовых групп. При этом часть этих адресов называется *хорошо известными* (*well-known address*) адресами и занята под различные стандартные операции в сети, и использование этих адресов может привести к нежелательным последствиям. Хорошо известные адреса обычно располагаются ниже 225.0.0.0.

Сама полезная нагрузка (элементарные потоки или транспортные потоки) содержится в пакетах *UDP* или *RTP*, которые располагаются "поверх" IP (т. е. на транспортном уровне). Использование протокола UDP показывает, что информация передается без подтверждения доставки.

Использование протокола RTP не является обязательным. В основном он нужен в тех случаях, когда на приемной стороне необходимо восстановить последовательность кадров и передать сигнал синхронизации. Необходимость в этом возникает при передаче через Интернет, когда от источника к приемнику возможно распространение несколькими разными путями и пакеты могут прийти к приемнику не в той последовательности, в которой они были отправлены источником.

Фактически, RTP является надстройкой над UDP (рис. 1.16) и отличается от UDP добавлением двух полей — порядкового номера пакета RTP и показаний часов источника в момент генерации пакета. Подробнее о RTP см. в стандарте RFC 3550 "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications". Показания часов могут использоваться для синхронизации кодеров и декодеров (см. разд. 4.3 и 5.2), а также для определения величины сетевого джиттера (см. разд. 1.11).

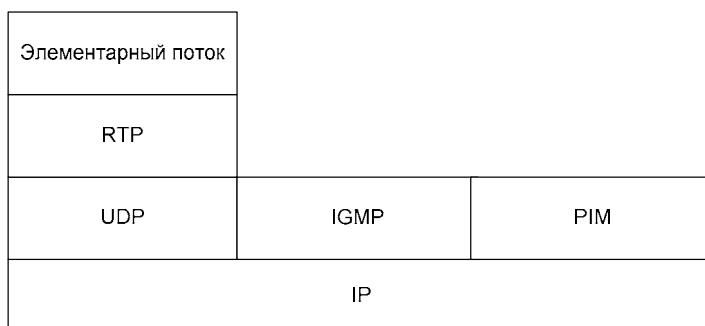


Рис. 1.16. Стек протоколов MPEG over IP

Подписка на мультикастовые группы выполняется при помощи протокола *IGMP* (Internet Group Management Protocol, протокол управления группами в Интернете), который работает очень просто: если вы желаете получать какую-либо мультикастовую группу (допустим, она имеет адрес 238.100.100.100), то вы отправляете IGMP-запрос (*query*) на эту группу (рис. 1.17). Маршрутизатор вашей сети находит группу и начинает трансляцию потока на ваш компьютер. Если источник этого мультикастового потока в вашей сети отсутствует, то запрос передается соседнему маршрутизатору по протоколу *PIM* (рис. 1.18). Соответственно, когда вы закончили просмотр, вы посыпаете вашему маршрутизатору IGMP-сообщение о том, что вы не желаете больше принимать поток.

Для того чтобы приемник узнал, какой адрес нужно указывать в IGMP-запросе, генератор мультикаста отправляет в сеть "рекламу" в виде сообще-



Рис. 1.17. Порядок осуществления подписки внутри одного мультикастового домена

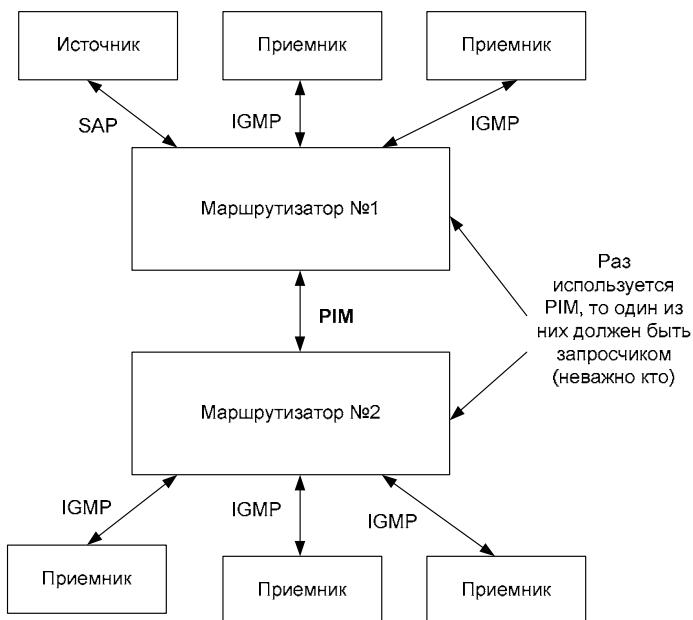


Рис. 1.18. Использование PIM и IGMP

ния по протоколу *SAP*. Такая "реклама" не обязательна. Адрес может быть передан как угодно. Например, инженер, обслуживающий кодер (генератор мультикаста), может послать его инженеру, обслуживающему мультиплексор (приемник мультикаста) в тексте электронного письма.

Мультикт — это совершенно особый вид трафика. Он отдельно обрабатывается маршрутизаторами, несмотря на то, что при его передаче используется IP-протокол. Как правило, этот трафик просто исключается из обычной IP-маршрутизации. Не забывайте внимательно изучать документацию на маршрутизаторы и свитчи, которые вы планируете использовать в сети. Помните, что IP-маршрутизация не означает автоматически мультикастовую маршрутизацию.

В несложных сетевых свитчах используется технология *IGMP snooping* (*Snooping* — "подглядывание"). Эта технология позволяет свитчу отслеживать и запоминать IGMP-запросы и направлять трафик в соответствии с этими запросами. Если бы Snooping не использовался, то мультикастовый трафик, проходящий через свитч, копировался бы на все интерфейсы свитча, в результате чего могла бы произойти перегрузка сети.

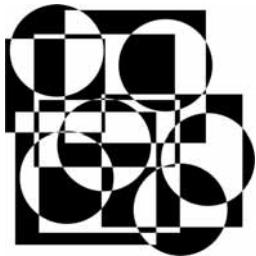
Если в сетях используется мультикт, то необходим постоянный мониторинг ресурсов сети, чтобы избежать перегрузок. Несколько "забытых" мультикастовых потоков и сеть может оказаться перегруженной трафиком.

Для того чтобы избавляться от ненужных потоков в сети, принимаются специальные меры. Один маршрутизатор в сегменте сети работает *запросчиком* (*querier*). Задача запросчика — обновлять связи между приемником и генератором мультикастовых потоков. Это нужно вот для чего: если приемник по каким-то причинам не успел послать IGMP-запрос об отключении от группы (например, пользователь неправильно закрыл сеанс), то получится, что трафик все равно будет поступать, поскольку связь не разорвана. Пара таких аварий — и сеть окажется перегружена. Поэтому запросчик время от времени посылает запросы к приемнику о том, нужен ли ему заказанный трафик. Если приемник не отвечает — связь рвется, и передача потока прекращается. Каждый из маршрутизаторов будет запросчиком, выбирается автоматически при помощи специального алгоритма.

Еще одно интересное приложение мультикаста в компьютерных сетях — доставка сигнала до передатчиков DVB. Транспортные потоки MPEG TS могут быть инкапсулированы в мультикастовый трафик (UDP/IP) и передаваться по региональной сети от мультиплексора до модуляторов по всему региону. Это приложение, правда, требует тщательной настройки сети с целью избежать скачков битрейта, поскольку мультикастовый трафик должен быть максимально синхронным.

Подробно об использовании RTP/UDP/IP для доставки транспортных потоков до модуляторов говорится в разд. 8.17. Там же приводятся некоторые вычисления, которые могут пригодиться на практике.

Более подробную информацию о том, как работает IGMP, PIM, и о мультикастовом вещании в сети вы можете получить из документов RFC 3171 "IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments" (мультикастовая адресация), RFC 3376 "Internet Group Management Protocol, Version 3" (IGMP), RFC 4601 "Protocol Independent Multicast" (PIM) и других. Также существует отличное руководство по мультикастовому роутингу компании CISCO, которое доступно на сайте этой компании.



ГЛАВА 2

Стандарты цифрового телевидения

2.1. Обзор стандартов цифрового телевидения

Стандартизацией цифрового телевидения DVB занимается Международный союз электросвязи — ITU (International Telecommunications Union) и Европейский институт стандартизации в сфере телекоммуникаций — ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Для подготовки стандартов широко используются разработки различных консорциумов, например DVB или CORBA, не имеющие обязательного характера. Также используются стандарты Международной организации по стандартизации (ISO — International Organization for Standardization).

Стандарты также можно разделить на категории по "обязательности". Некоторые из них должны обязательно выполняться, некоторые являются рекомендательными. Например, ETSI помимо обязательных стандартов, обозначаемых ETSI EN, публикует различные рекомендации ETSI TR (TR — технический рапорт) или спецификации ETSI TS.

Стандарты условно можно разделить на узкоспециальные и комплексные. Узкоспециальные охватывают какую-то одну определенную тематику: например, способы вычисления контрольных сумм. Комплексные стандарты — это по сути дела набор стандартов, охватывающих широкую область. Примером такого стандарта может служить MPEG2. Это и стандарт кодирования видео и звука, и стандарт транспорта.

Также, стандарты, которые применяются в цифровом телевидении, можно разделить на несколько групп по сферам применения:

- Базовые стандарты — стандарты, относящиеся к индустрии в целом. Например, ISO 639 — стандарт кодирования текстовой информации.

- Стандарты кодирования изображения и звука. Это стандарты ISO 11172 (MPEG1), ISO 13818 (MPEG2), ISO 14496 (MPEG3) и ITU-T H.264.
- Стандарты транспорта. Это стандарт ISO 13818-1 и новая на текущий момент разработка транспортного потока общего назначения GSE (ETSI TS 102 606).

Следующая группа стандартов — стандарты, относящиеся к формированию и передаче радиосигналов. К этой группе относится стандарт, который часто и называют собственно стандартом DVB-T — ETSI EN 300744, а также стандарт мобильного телевидения ETSI EN 302304.

Также существует обширная группа стандартов, определяющих структуру информации, передаваемой по сетям DVB (например, IPDC для мобильного телевидения), системы защиты авторских прав (системы условного доступа) и т. п.

Зачастую одни стандарты корректируют другие, вносят в них какие-либо дополнения, разъяснения и тому подобное. Это делает изучение стандартов довольно запутанным делом. В частности, стандарты ETSI вносят очень обширные изменения в состав информации PSI/SI транспортных потоков MPEG2. Вообще, набор стандартов MPEG2 является базовым, и если стоит цель освоить теорию цифрового телевидения, то изучение лучше начинать именно с MPEG2, затем изучать стандарты ETSI, а потом разработки консорциума DVB.

2.2. Группа стандартов ISO 13818 (MPEG2)

Стандарт MPEG2 — это не один стандарт, а обширная группа стандартов, использующихся во всех сферах DVB, начиная от сжатия видео и аудиоинформации и заканчивая передачей данных. Очень часто (и неправильно) MPEG2 называют только стандарт сжатия видео.

Стандарт MPEG2 состоит из нескольких частей.

Часть первая называется ISO 13818-1 "Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems" ("Информационные технологии — Общие принципы кодирования движущихся изображений и соответствующей аудиоинформации: Системы").

Часть вторая называется ISO 13818-2 "Generic coding of moving pictures and associated audio" ("Общие принципы кодирования движущихся изображений и сопутствующего звука").

Эти две части описывают способы "оформления" информации, которую необходимо передавать. В стандарте определяется синтаксис и семантика четырех разновидностей потоков данных: элементарного потока MPEG2, транс-

портного потока MPEG2, пакетизированного элементарного потока и программного потока. Последний в DVB не используется.

Элементарный поток — это структурированный поток данных, предназначенный для размещения информации о видео или аудио, компрессированных в стандарте MPEG2. Для передачи видео, компрессированного при помощи H.264, элементарный поток не используется — H.264 определяет вместо него собственный формат.

Пакетизированный элементарный поток — это промежуточная форма представления данных, необходимая для конвертации между транспортным и программным потоками. В DVB она используется в основном для совместимости.

Транспортный поток — это структурированный поток данных (рис. 2.1), использующийся для передачи нескольких элементарных потоков и служебной информации. Один транспортный поток формирует один мультиплекс.

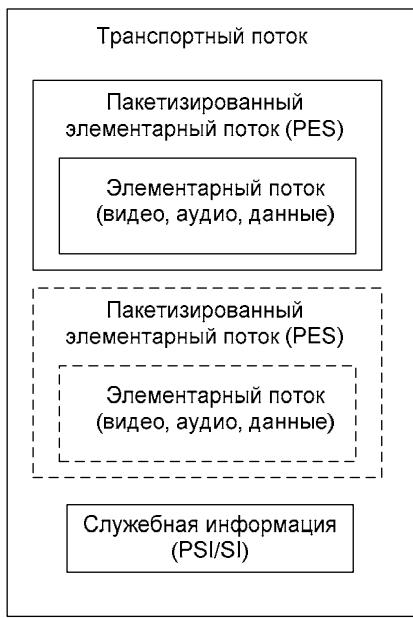


Рис. 2.1. Структура потоков MPEG2

Третья часть MPEG2 называется ISO 13818-3 и описывает принципы компрессии звука. Четвертая часть описывает способы контроля целостности (conformance testing). Пятая — методы моделирования потоков.

Шестая часть называется ISO 13818-6 "Information Technology — Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information — Part 6:

"Extensions for DSM-CC" ("Расширение DSM-CC") и очень важна для передачи данных по сетям DVB. В этой части определяется способ размещения произвольных данных в транспортном потоке MPEG2. Мы будем подробнее говорить о DSM-CC в разд. 9.10.

В стандарты MPEG2 достаточно много изменений вносится стандартами ETSI. В частности, значительно расширен состав служебной информации, которая может передаваться в транспортном потоке.

Обратите внимание, что стандарт ISO 13818 в части кодирования видео и звука описывает только алгоритм декодирования, а не алгоритм кодирования. Таким образом, структура кодера стандартом не регламентируется, что оставляет производителям кодеров массу свободы для творчества.

2.3. Стандарт ITU-T H.264

Стандарт ITU-T H.264 определяет способы сжатия изображений, использующихся в цифровом телевидении вместо способов, определенных во второй части стандарта MPEG2. Этот стандарт является наиболее современным и эффективным, и мы будем много говорить о нем в дальнейшем. Для простоты этот стандарт можно рассматривать как замену ISO 13818-2.

Помимо способов компрессии в ITU-T H.264 также определен формат представления компрессированных данных (он называется NAL), который используется вместо элементарных потоков MPEG2.

Стандарт H.264, так же как и ISO 13818, описывает только алгоритм декодирования, а не алгоритм кодирования.

2.4. Стандарты и рекомендации ETSI и DVB (перечень)

Стандарты цифрового телевидения также включают стандарты Европейского института по стандартизации телекоммуникаций (ETSI) и "голубые книги" (bluebooks) консорциума DVB. "Голубые книги" зачастую практически полностью дублируют стандарты ETSI. Все стандарты публикуются на английском языке.

Стандарты ETSI разделены на несколько категорий:

- EN — это стандарт, обязательный для исполнения;
- TS — спецификация;
- TR — "технический рапорт", имеющий рекомендательный характер.

Обратите внимание, что названия технических рапортов часто начинаются со слова "руководство" (guidelines). Эти документы содержат развернутые реко-

мендации и разъяснения для разработчиков и операторов связи и зачастую оказываются полезнее самого стандарта. Стандарты написаны простым и ясным языком с четкой терминологией, снабжены иллюстрациями, схемами, словарями аббревиатур и определений. Тем не менее, они содержат много перекрестных ссылок и поэтому не всегда удобны для работы.

Стандарты ETSI распространяются бесплатно через Интернет. Вы можете получить их с сайта ETSI. Для использования в работе (особенно для создания различных устройств) по данным стандартам, возможно, потребуются лицензионные платежи держателям патентов, использованных в стандартах — поэтому советуем всегда изучать прилагаемые к стандартам соглашения об авторских правах.

Далее приводится перечень стандартов, спецификаций и технических рапортов ETSI, а также "голубых книг" (blue books) консорциума DVB, которые дают описания технологий цифрового телевидения (табл. 2.1). В перечне приведены не все стандарты. Некоторые из них, которые не имеют прямого отношения к содержанию этой книги, пропущены. Полный список стандартов вы можете найти на сайтах www.dvb.org и www.etsi.org.

В перечне стандартов четыре колонки. Первая из них указывает отрасль цифрового телевидения: спутниковое, эфирное, кабельное и т. п. Вторая — сокращенное наименование технологии, описываемой в стандарте. Не все стандарты имеют такие сокращенные названия. Также одно сокращенное название может относиться к нескольким стандартам. В следующей колонке приводится полное английское название стандарта и в последней, четвертой колонке — описание содержания стандарта на русском языке.

Таблица 2.1. Перечень стандартов цифрового телевидения ETSI и DVB

Раздел	Сокр. название	Номер и название стандарта ETSI или DVB Bluebook ("голубая книга DVB")	Описание
Цифровое спутниковое телевидение	DVB-S	EN 300 421 "Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services"	Канальное кодирование, модуляция для сервисов, передаваемых на 11/12 ГГц
Цифровое спутниковое телевидение	DVB-S	TR 101 198 "Implementation of Binary Phase Shift Keying (BPSK) modulation in DVB satellite transmission systems"	Руководство по модуляции BPSK для DVB-S
Цифровое спутниковое телевидение	DVB-S2	EN 302 307 "Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications"	Цифровое спутниковое телевидение "второго поколения": канальное кодирование и модуляция для вещания, интерактивных сервисов, сбора новостей и иных спутниковых сервисов

Таблица 2.1 (продолжение)

Раздел	Сокр. название	Номер и название стандарта ETSI или DVB Bluebook ("голубая книга DVB")	Описание
Цифровое спутниковое телевидение	DVB-S2	TR 102 376 "User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications"	Руководство по реализации DVB-S2
Цифровое спутниковое телевидение	DVB-S2	TS 102 441 "DVB-S2 Adaptive Coding and Modulation for Broadband Hybrid Satellite Dialup Applications"	Спецификация по адаптивному кодированию и модуляции для приложений DVB-S2
Цифровое кабельное телевидение	DVB-C	EN 300 429 "Framing structure, channel coding and modulation for cable systems"	Структура кадра, канальное кодирование и модуляция для кабельного цифрового телевидения DVB-C
Цифровое кабельное телевидение	DVB-C2	DVB BlueBook A138 "Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2)"	Цифровое кабельное телевидение "второго поколения"(DVB-C2): структура кадра, канальное кодирование и модуляция
Цифровое спутниковое телевидение	DVB-CS	EN 300 473 "DVB Satellite Master Antenna Television (SMATV) distribution systems"	Системы коллективного спутникового приема (SMATV)
Цифровое спутниковое телевидение	DVB-CS	TS 101 964 "Control Channel for SMATV/MATV distribution systems; Baseline Specification"	Стандарт по каналу управления для систем SMATV
Цифровое спутниковое телевидение	DVB-CS	TR 102 252 "Guidelines for Implementation and Use of the Control Channel for SMATV/MATV distribution systems"	Руководство по каналу управления для систем SMATV
Цифровое эфирное телевидение	DVB-T	EN 300 744 "Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television"	Основной стандарт DVB-T: структура кадра, канальное кодирование и модуляция
Цифровое эфирное телевидение	DVB-T	TR 101 190 "Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects"	Руководство по строительству сетей цифрового эфирного телевидения
Цифровое эфирное телевидение	DVB-T	TS 101 191 "Mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization"	Стандарт по структуре мега-фрейма, необходимого для синхронизации одночастотных сетей
Цифровое эфирное телевидение	DVB-T2	DVB BlueBook A122 "Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)"	Эфирное цифровое телевидение "второго поколения": структура кадра, канальное кодирование и модуляция

Таблица 2.1 (продолжение)

Раздел	Сокр. название	Номер и название стандарта ETSI или DVB Bluebook ("голубая книга DVB")	Описание
Цифровое эфирное телевидение	DVB-T2	DVB BlueBook A133 "Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)"	Руководство по реализации стандарта DVB-T2
Цифровое эфирное телевидение	DVB-T2	DVB BlueBook A136 "Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)"	Стандарт по интерфейсу T2-MI для модуляторов DVB-T2
Мобильное телевидение	DVB-H	EN 302 304 "Transmission system for handheld terminals"	Расширение DVB-T для мобильного телевидения
Мобильное телевидение	DVB-H	TR 102 377 "Implementation guidelines for DVB handheld services"	Руководство по мобильному телевидению
Транспорт	DVB-SI	EN 300 468 "Specification for Service Information (SI) in DVB systems"	Спецификация для SI в транспортных потоках MPEG TS в цифровом телевидении
Транспорт	DVB-SI	TR 101 211 V1.8.1 (08/07) Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)	Руководство по SI в транспортных потоках MPEG TS в цифровом телевидении
Общий	DVB-SI	EN 300 472 "Specification for conveying ITU-R System B Teletext in DVB bitstreams"	Стандарт по телетексту
Общий	DVB-SI	EN 301 775 "Standard for conveying VBI data in DVB bitstreams"	Стандарт по передаче информации в VBI
Транспорт	DVB-SI	TS 102 823 "Carriage of synchronised auxiliary data in DVB transport streams"	Передача дополнительных синхронизированных данных в транспортном потоке
Передача данных	DVB-DATA	EN 301 192 "Specification for data broadcasting"	Основной стандарт по передаче данных по сетям цифрового телевидения (любым)
Передача данных	DVB-DATA	TR 101 202 "Specification for data broadcasting; Guidelines for the use of EN 301 192"	Руководство по использованию стандарта передачи данных по сетям DVB
Общий	DVB-SSU	TS 102 006 "Specification for System Software Update in DVB Systems"	Стандарт по апгрейду пользовательского оборудования через эфир
Общий	DVB-GSE	TS 102 606 "Generic Stream Encapsulation (GSE) Protocol"	Использование транспортных потоков общего назначения в DVB

Таблица 2.1 (продолжение)

Раздел	Сокр. название	Номер и название стандарта ETSI или DVB Bluebook ("голубая книга DVB")	Описание
Общий	DVB-GSE	DVB BlueBook A134 "Generic Stream Encapsulation (GSE) Implementation Guidelines"	Руководство по использованию транспортных потоков общего назначения
Транспорт	DVB-MPEG	TS 101 154 "Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications"	Руководство по использованию стандартов MPEG2 в цифровом телевидении (транспортных потоков, видео и аудиокодирования)
Передача данных	DVB-MPEG	TS 102 005 "Implementation Guidelines for the use of Audio-Visual Content in DVB services delivered over IP"	Руководство по передаче видео и аудиоинформации по сетям IP
Общий	DVB-SUB	EN 300 743 "Subtitling systems"	Стандарт по субтитрам
Общий	DVB-NIP	ETS 300 802 "Network-independent protocols for DVB interactive services"	Протоколы для интерактивных сервисов, независимые от сети
Общий	DVB-NIP	TR 101 194 "Guidelines for implementation and usage of the specification of network independent protocols for DVB interactive services"	Руководства по разработке и использованию протоколов, независимых от сети (ETS 300 802)
Цифровое кабельное телевидение	DVB-RCC	ES 200 800 "Interaction channel for Cable TV distribution systems (CATV)"	Интерактивный канал для кабельного цифрового телевидения
Цифровое кабельное телевидение	DVB-RCC	TR 101 196 "Interaction channel for Cable TV distribution systems (CATV); Guidelines for the use of ETS 300 800"	Руководство по использованию интерактивного канала для кабельного цифрового телевидения
Общий	DVB-RCG	EN 301 195 "Interaction channel through the Global System for Mobile Communications (GSM)"	Построение интерактивного канала при помощи GSM
Цифровое эфирное телевидение	DVB-RCT	EN 301 958 "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification of interaction channel for digital terrestrial TV including multiple access OFDM"	Спецификация для интерактивного канала эфирного цифрового телевидения (в том числе для систем OFDM с многопользовательским доступом)
Общий	DVB-RCGPRS	DVB BlueBook A073r1 "Interaction channel through General Packet Radio System (GPRS)"	Создание интерактивного канала при помощи GPRS
Защита информации	DVB-CPCM	TS 102 825-1 "Content Protection and Copy Management Specification; Part 1: CPCM Abbreviations, Definitions and Terms"	Первый из большой группы стандартов, посвященных защите информации и доступу в сетях DVB, объединенных общим называнием DVB-CPCM (см. www.dvb.org)

Таблица 2.1 (продолжение)

Раздел	Сокр. название	Номер и название стандарта ETSI или DVB Bluebook ("голубая книга DVB")	Описание
Защита информации	DVB-CI	EN 50221 "Common Interface Specification for Conditional Access and other Digital Video Broadcasting Decoder Applications"	Спецификация общего интерфейса (common interface — CI) для целей цифрового телевидения
Защита информации	DVB-CI	R 206 001 "Guidelines for implementation & use of the Common Interface for DVB Decoder Applications"	Руководство по использованию общего интерфейса (common interface — CI) для целей цифрового телевидения
Защита информации	DVB-CI	TS 101 699 "Extensions to the Common Interface Specification"	Дополнения к спецификации общего интерфейса (common interface — CI)
Общий	DVB-PI	TR 101 891 "Digital Video Broadcasting (DVB); Professional Interfaces: Guidelines for the implementation and usage of the DVB Asynchronous Serial Interface (ASI)"	Руководство по использованию интерфейса ASI
Общий	DVB-IRDI	TS 102 201 "Interfaces for DVB-IRDs"	Интерфейсы абонентских устройств цифрового телевидения
Передача данных	DVB-IPTV	TR 102 033 "Architectural Framework for the Delivery of DVB-Services over IP-based Networks"	Первый из группы стандартов, посвященных передаче DVB через IP-сети, объединенных названием DVB-IPTV
Передача данных	DVB-IPDC	TR 102 469 "IP Datacast over DVB-H: Architecture"	Архитектура IPDC (IPDC — передача данных по сетям DVB при помощи IP)
Передача данных	DVB-IPDC	TS 102 470-1 "IP Datacast over DVB-H: PSI/SI"	Информация PSI/SI (служебная информация) для IPDC (IPDC — передача данных по сетям DVB при помощи IP)
Передача данных	DVB-IPDC	TS 102 471 "IP Datacast over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG)"	Электронный гид сервисов (ESG) для IPDC (IPDC — передача данных по сетям DVB при помощи IP)
Передача данных	DVB-IPDC	DVB Bluebook A099 "IP Datacast over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG)"	"Голубая книга" по электронному гиду сервисов (ESG)
Передача данных	DVB-IPDC	TS 102 592 "IP Datacast over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG) Implementation Guidelines"	Руководство по созданию и использованию электронного гида сервисов (ESG)
Передача данных	DVB-IPDC	DVB Bluebook A112-1 "IP Datacast over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG) Implementation Guidelines"	"Голубая книга" — руководство по электронному гиду сервисов (ESG)

Таблица 2.1 (продолжение)

Раздел	Сокр. название	Номер и название стандарта ETSI или DVB Bluebook ("голубая книга DVB")	Описание
Передача данных	DVB-IPDC	TR 102 824 "Remote Management and Firmware Update System for DVB IP Services"	Удаленное управление и апгрейд ПЗУ-устройств, работающих в DVB-IP
Передача данных	DVB-IPDC	TS 102 472 "IP Datacast over DVB-H: Content Delivery Protocols"	Протокол CDP (протокол доставки контента) для IPDC (IPDC — передача данных по сетям DVB при помощи IP)
Передача данных	DVB-IPDC	TS 102 591 "IP Datacast over DVB-H: Content Delivery Protocols (CDP) Implementation Guidelines"	Руководство по использованию протокола CDP (протокол доставки контента) для сетей IPDC (IPDC — передача данных по сетям DVB при помощи IP)
Передача данных	DVB-IPDC	TS 102 474 "IP Datacast over DVB-H: Service Purchase and Protection"	Для сетей IPDC (IPDC — передача данных по сетям DVB при помощи IP): система покупок и защиты сервисов
Передача данных	DVB-IPDC	TS 102 611 "IP Datacast over DVB-H: Implementation Guidelines for Mobility"	Для сетей IPDC (IPDC — передача данных по сетям DVB при помощи IP): руководство по обеспечению мобильности
Передача данных	DVB-IPDC	TS 102 832 "IP Datacast over DVB-H: Notification Framework"	Для сетей IPDC (IPDC — передача данных по сетям DVB при помощи IP): система уведомлений
Защита информации	DVB-CSA	ETR 289 "Support for use of scrambling and Conditional Access (CA) within digital broadcasting system"	Стандарт по поддержке использования систем условного доступа и скремблирования в цифровом телевидении
Защита информации	DVB-SIM	TS 101 197 "DVB SimulCrypt; Part 1: Head-end architecture and synchronization"	Simulcrypt (использование нескольких CAS): архитектура хедэнда и синхронизация
Защита информации	DVB-SIM	TS 103 197 "Head-end implementation of SimulCrypt"	Руководство по построению хедэнда при использовании Simulcrypt
Защита информации	DVB-SIM	TR 102 035 "Implementation Guidelines of the DVB Simulcrypt Standard"	Руководство по использованию нескольких систем условного доступа по технологии Simulcrypt
Измерения	DVB-M	TR 101 290 "Measurement guidelines for DVB systems"	Руководство по проведению измерений в сетях цифрового телевидения (с целью определения качества)

Таблица 2.1 (окончание)

Раздел	Сокр. название	Номер и название стандарта ETSI или DVB Bluebook ("голубая книга DVB")	Описание
Измерения	DVB-M	TR 101 291 "Usage of DVB test and measurement signaling channel (PID 0x001D) embedded in an MPEG-2 Transport Stream (TS)"	Использование специального потока (PID 0x001D) для проведения тестов и измерений
Измерения	DVB-M	TS 102 032 "SNMP MIB for test and measurement applications in DVB systems"	MIB SNMP для проведения тестов и измерений



ГЛАВА 3

Обзор способов компрессии видео и звука

3.1. Общие сведения

Необходимость в компрессии возникла вследствие ограниченной пропускной способности каналов связи. Некомпрессированный поток видеоизображения стандарта D1, как мы уже рассматривали ранее, составляет 270 Мбит/сек, что неприемлемо для передачи через эфир. Для передачи одного такого потока потребовалась бы полоса частот около 60 МГц. Но существующий порядок таков, что для передачи одного телеканала можно использовать не более 8 МГц. С использованием же сжатия изображения и звука в полосе 8 МГц можно будет передавать 10 телевизионных каналов и даже больше!

К настоящему времени изобретено много различных способов видео и аудиокомпрессии, однако распространение получили лишь несколько: это MPEG и H.264 для видео, а также MP3 и AAC для аудио.

В этой главе мы вкратце рассмотрим основные принципы сжатия изображений и звука, а также сравним различные способы компрессии.

3.2. Избыточность

Сжатие (компрессия) видеоизображений стала возможна вследствие избыточности видеоизображения, т. е. обычное, некомпрессированное видео содержит больше информации, чем необходимо. Что это значит?

Представим, что изображение состоит из белого фона и размещенной на нем черной окружности. Это изображение занимает объем памяти, равный $720 \times 576 \times 32$ бит (32 — глубина цвета). Это примерно 13 Мбайт. И для того, чтобы передать изображение, нужно передавать все эти 13 Мбайт. Однако

точно так же достаточно передать только диаметр окружности, ее цвет и декартовы координаты положения на экране, т. е. всего 128 бит! Проблема здесь одна — кодер должен уметь находить на экране эту окружность, как-то измерять ее координаты и диаметр. А приемник, который принимает эту картинку, соответственно должен уметь рисовать окружность по переданным параметрам.

Вот, что значит избыточность — для передачи изображений мы можем передавать значительно меньше информации, но для этого мы должны иметь два устройства — кодер и декодер. Кодер должен уметь находить в изображении все "самое ценное", что можно передать, не нарушив при этом качества изображения, а декодер на основании переданной информации должен уметь заново "нарисовать" (говорят — "декодировать" или "восстановить") переданную телевизионную картинку. Способы поиска "самого ценного", что необходимо передать, и составляют способ видеокомпрессии (например, MPEG2 или H.264).

Похожая ситуация со звуком. Поскольку звук — это комбинация колебаний с разной частотой, амплитудой и фазой, то для передачи звука можно передавать параметры этих колебаний, а не сам звук.

Конечно, описанная картина очень примитивна. Реальное изображение гораздо сложнее окружности, более того, оно не состоит из правильных фигур и оно движется. Именно поэтому выработка оптимальных алгоритмов компрессии потребовала от человечества много времени. Все эти алгоритмы имеют под собой сложную математическую основу и требуют высокой производительности компьютеров.

3.3. Степень сжатия, качество изображения и скорость цифрового потока

Степень сжатия изображения равна результату деления скорости входного цифрового потока на скорость выходного. Чем больше коэффициент сжатия, тем больше теряется информации при компрессии, и тем меньше скорость компрессированного потока. Таким образом, степень сжатия показывает, во сколько раз уменьшилась скорость потока в результате компрессии. Современные кодеры сжимают изображение более чем в 100 раз.

Для цифрового телевидения стандартной четкости (SD — Standard Definition) при современных методах компрессии достаточно скоростей от 2 до 5 Мбит/сек. Для высокой четкости (HD — High Definition) от 4 до 15 Мбит/сек и более.

Чем меньше скорость компрессированного видео, тем хуже качество изображения. Но следует иметь в виду, что эта зависимость не так однозначна. Чем

больше динамика изображения и чем больше на изображении мелких деталей, тем сложнее оно поддается компрессии.

Например, для спортивного телеканала необходима большая скорость компрессированного видео, чем для канала телесериалов при одном и том же качестве телевизионной картинки (рис. 3.1 и 3.2). Однозначных рецептов по настройке кодирующих устройств не существует и оптимальную скорость компрессии выгоднее искать опытным путем.

Скорость потока не обязательно должна быть постоянной. Кодирующие устройства могут выбирать скорость в зависимости от содержания изображения. Если скорость постоянна, то такой режим работы кодера называют работой с *постоянным битрейтом* (*constant bitrate* — *CBR*), если скорость переменна, то работой с *переменным битрейтом* (*variable bitrate* — *VBR*).

В цифровом телевидении используются потоки как с постоянным, так и с переменным битрейтом. Однако колебания битрейта не должны быть слишком велики, поскольку это может усложнить мультиплексирование или привести к неправильной работе буфера декодера.



Рис. 3.1. Скорость потока: 2 Мбит/сек. Быстрые движения — меньшая избыточность, худшее качество компрессированного видеозображения

Скорость потока может также регулироваться внешними устройствами. Например, мультиплексором при статистическом мультиплексировании (см. разд. 5.23).

3.4. Потери при компрессии

Компрессия видео может выполняться как с потерей информации, так и без потерь. Например, если вы заархивируете видеофайл архиватором Rar, перенесете его на другой компьютер и разархивируете, то видеофайл восстановится точно в том же виде, в котором был — бит в бит, т. е. потери информации не произойдет.

Однако при этом вам не удастся сжать файл достаточно сильно. Поэтому в цифровом телевидении используется компрессия с потерей информации. В этом случае декодированное абонентским устройством изображение не идентично изображению на входе кодера — оно всегда несколько хуже. Зато в случае, если сжатие производится с потерями, изображение можно сжать в значительной степени и сэкономить на дорогостоящих каналах связи.

Вопрос не в том, сколько информации потеряно при компрессии. Вопрос в том, насколько это заметно зрителю. В любом случае, инженерам цифрового телевидения приходится искать компромисс между пропускной способностью каналов связи и качеством компрессии. Для оценки количества потерь используются специальные алгоритмы, называемые *метриками*.

Вопрос оценки качества не так прост, поскольку необходимо учитывать потери в канале связи, а на глаз не всегда можно отделить потери в канале связи от потерь при компрессии.

Потери в канале связи проявляются в виде "квадратиков" на изображении, полной потери или "размытия" части изображения, пропадания элементов движущейся части изображения. Например, если показывается несколько человек и у одного из них вдруг пропадает или искажается голова, то это сбои в канале связи (а точнее — потеря информации о движении, см. далее).

В случае, если канал связи идеальный (рис. 3.2) и не вносит никаких ошибок в передаваемый сигнал, то потеря информации при видеокомпрессии зависит от степени сжатия. Чем выше степень сжатия, тем больше потеря информации, и тем заметнее эта потеря.

Визуальные проявления потери информации при компрессии называются *артефактами компрессии* (рис. 3.3). Артефакты компрессии выглядят как:

- шум на малоконтрастных областях;
- шум при использовании монтажного приема "микс", когда одно изображение плавно переходит в другое;



Рис. 3.2. Скорость потока: 2 Мбит/сек. Неподвижное изображение — максимальная избыточность, наилучшее качество компрессированного видеозображения



Рис. 3.3. Пример артефактов компрессии

- шум по всему изображению на монтажных стыках;
- легкое двоение на границах участков с разным контрастом ("контуры");
- появление мелких деталей произвольной формы на границах участков с разным контрастом (иногда только этот дефект называют "артефактами компрессии");
- различие в яркости и контрасте в форме небольших квадратов, имеющих четкую границу ("блокинг");
- размытость деталей, снижение контраста и глубины цвета на некоторых областях или на всем изображении ("пластмассовое изображение").

Как правило, если используется хороший кодер, артефакты компрессии практически незаметны. Кроме того, заметность артефакта компрессии зависит от угла, под которым зритель видит телевизионный экран. Если смотреть телевизор с размером диагонали 72 см с расстояния 2 м, то очевидно, что заметность артефактов компрессии будет выше, чем на телевизоре с диагональю экрана 54 см.

3.5. Сравнение качества аналогового и цифрового изображения

Аналоговое телевидение обладает также многими искажениями, среди которых наиболее заметны:

- множественные контуры ("двоение", "троение" и т. п.);
- тянувшиеся продолжения ярких объектов ("факелы");
- яркие или темные узкие горизонтальные полосы ("выпадения строк" и искровые помехи);
- разнообразные наклонные, горизонтальные или вертикальные полосы, вызванные помехами в канале связи;
- небольшие "искорки", хаотически появляющиеся по всему экрану, возникающие при недостаточном уровне сигнала ("снег");
- кратковременное пропадание цвета при недостаточном уровне сигнала.

Если субъективно проанализировать качество компрессированного цифрового и аналогового изображений, то качество цифрового изображения окажется выше для небольших степеней компрессии (для D1 скорость потока не ниже 2 Мбит/сек по состоянию развития технологий кодирования на 2009 год).

Основное принципиальное отличие искажений цифрового сигнала от аналогового заключается в том, что аналоговые искажения охватывают обширные области экрана, а цифровые — небольшие.

Тем не менее, у многих зрителей формируется мнение, что "цифровое качество" хуже. Как показывает многолетний опыт внедрения цифровых технологий, это мнение объясняется непривычным характером артефактов компрессии, что делает их более заметными (и поначалу — непривычными), что связано с особенностями человеческого восприятия. Таким образом, зрителю необходима адаптация к цифровому изображению. Аналоговое телевидение существует очень давно, и к перечисленным дефектам аналоговой картинки зрители привыкли. При просмотре головной мозг частично маскирует эти дефекты, выделяя содержательную часть изображения, которая и воспринимается.

С другой стороны, артефакты компрессии приводят к небольшому, но все жеискажению формы, текстуры и цвета предметов, на что человек реагирует особенно остро, что дополнительно делает артефакты компрессии более заметными.

Тем не менее, человеческий мозг быстро привыкает к этим артефактам, вырабатывая привычку на их отбраковку.

На практике всегда можно подобрать параметры кодера, соответствующие характеру изображения, которые позволяют свести количество артефактов до минимума.

3.6. Особенности восприятия изображения и звука

Немного забежим вперед и рассмотрим особенности восприятия человеком звука и изображения, которые используются при кодировании. В этом разделе будет применяться терминология, которая объясняется в последующих разделах. Рекомендую вам перечитать этот раздел еще раз после того, как вы познакомитесь с основными идеями, использующимися в кодировании.

Существуют особенности восприятия изображения и звука, которые активно применяются при кодировании с целью уменьшить количество передаваемой информации. Особенно важны эти особенности для компрессии звука. В основном эти особенности касаются так называемого эффекта *маскирования* (*masking*), суть которого заключается в том, что при определенных обстоятельствах часть получаемой информации не воспринимается головным мозгом — и соответственно нет необходимости передавать эту информацию от телестанции абоненту, поскольку абонент все равно ее не воспримет.

Простейший пример: после очень громкого звука, некоторое время человек чувствует себя "оглушенным" и перестает слышать. Говорят, что тихий звук

"маскируется" громким. Следовательно, после громкого звука можно некоторый короткий промежуток времени компрессировать с худшим качеством (и меньшим битрейтом).

Подобным же образом, если звук какой-то одной частоты намного громче всех остальных, то восприятие звуков других частот ухудшается. Следовательно, при компрессии эти "остальные" частоты можно компрессировать сильнее, с большей потерей качества. Модель восприятия, использующаяся для управления преобразованием DCT в аудиокодеках, часто называется "*психоакустической моделью*" восприятия.

Далее рассмотрим наиболее важные особенности восприятия изображений.

Маскирование по яркости (luminance masking) — имеет отношение к различимости деталей изображения. Для того чтобы различить на сером фоне серый же узор, должны соблюдаться некоторые условия — этот узор должен быть или чуть темнее или чуть ярче фона примерно на 2% от яркости самого фона.

Если разница меньше — человеческий глаз не сможет отличить узор от фона. Таким образом, можно не передавать информацию об объектах, яркость которых отличается от яркости фона на величину, меньшую 2% от яркости фона. Эту особенность восприятия необходимо учитывать при квантизации коэффициентов DCT. На приведенной фотографии (рис. 3.4) детали на заднем фоне неразличимы по только что рассмотренной причине.

Сходный эффект с маскировкой по яркости называется *фальшивыми контурами*.

На фотографии (рис. 3.5) фальшивые контуры показаны стрелками. Этот эффект возникает, когда при квантизации выбрано недостаточное количество уровней и информация о непрерывных градиентах яркости передается с искажениями. При компрессии необходимо сводить фальшивые контуры к нулю правильным выбором уровней квантизации.

Маскирование по времени (temporal masking) — при быстрой смене изображения, например, на границе сцен, часть информации новой сцены не воспринимается человеком. Зритель как бы кратковременно "привыкает" к новому изображению. Например, если в одном плане демонстрировалась динамичная сцена, а потом произошло переключение на спокойную сцену, то небольшая часть начала спокойной сцены будет проигнорирована головным мозгом. В течение этого короткого периода "адаптации" изображение может быть компрессировано чуть сильнее (с соответствующей потерей качества). Конечно, это не даст сэкономить много, но все же...

Маскирование по детализации (frequency masking) — в области изображения, где содержится большое количество мелких деталей, внимание зрителя ос-

лабляется. Таким образом, зритель не видит каждую мелкую деталь по отдельности, а видит их "совокупно". Пример — рябь на воде. В области же, где деталей мало, каждый мелкий элемент имеет свое значение. Таким образом, области, где деталей больше, можно компрессировать чуть сильнее, чем области, в которых деталей меньше.



Рис. 3.4. Исходное изображение



Рис. 3.5. Фальшивые контуры
(показаны стрелками)

Однако наиболее важное свойство человеческого глаза — это пониженная четкость цветового восприятия. Именно поэтому качество цветовой составляющей изображения может быть в 4 раза снижено по сравнению с яркостной составляющей. Мы говорили об этом подробно в главе 1 "Сигналы и интерфейсы", когда обсуждали форматы 4:4:4 и 4:2:2. Вследствие этого свойства восприятия, количество пикселов цветовой составляющей может быть уменьшено в 2 раза по сравнению с яркостной составляющей и человек при этом ничего не заметит. Очевидно, это дает хорошую выгоду при компрессии изображения.

3.7. Кодирование видео: основные идеи

Принципы видеокомпрессии во всех кодерах примерно одинаковы и отличаются только реализацией. Каждый способ реализации имеет свои особенности. Эти особенности влияют на количество артефактов компрессии и степень сжатия, производимой разными кодерами. Поэтому кодеры одного и того же стандарта могут давать разное качество изображения или звука. Напомним, что в стандартах описаны только принципы декодирования, а не принципы кодирования. Поэтому и возникает такой простор в выборе вариантов кодирующих устройств.

В этом разделе мы рассмотрим основные идеи (рис. 3.6), которые используются в алгоритмах компрессии видео. Материал раздела предназначен для того, чтобы дать читателю самое общее представление об этой непростой сфере. За более подробными сведениями необходимо обращаться к специализированной литературе.

Изначально изображение представляет собой последовательность кадров или полей, размером 720×756 пикселов в телевидении стандартной (SD) и 1920×1080 — высокой (HD) четкости. Для простоты будем считать, что изображение имеет прогрессивную развертку, т. е. состоит только из кадров, передающихся с частотой 25 кадров/сек. Кроме того, для простоты будем считать, что яркостная и цветовая составляющие обрабатываются совместно, а не по отдельности.

Сжатие (компрессия, кодирование) делится на два больших класса:

- внутрикадровое;
- межкадровое.

Внутрикадровое кодирование — это компрессия изображения с использованием только информации о текущем кадре, *межкадровое кодирование* — с использованием информации о других кадрах видеопоследовательности. Существуют способы компрессии, в которых межкадровое кодирование не используется совсем (например, всем известный DV). Межкадровое кодирование называют иногда "временным" (temporal), чтобы подчеркнуть тот факт, что оно выполняется "вдоль" оси времени и в нем участвуют кадры как предыдущие, так и последующие по отношению к кодируемому.

Основная идея компрессии состоит в том, что передается разница изображений между двумя кадрами, а не сами эти изображения. Таким образом, один кадр видеопоследовательности является *ключевым* (*key frame*), а все остальные кадры передаются как разница между передаваемым кадром и ключевым кадром. Ключевые кадры должны время от времени обновляться, т. е. не может быть один ключевой кадр на весь фильм или видеосюжет. Обычно пере-

дается несколько десятков ключевых кадров в минуту. Ключевой кадр может быть подвергнут внутrikадровому кодированию.



Рис. 3.6. Порядок операций при компрессировании видеоизображений

Расстояние между соседними ключевыми кадрами называется *группой изображений* (*GOP* — *group of pictures*). Обычно используются размеры *GOP* от 25 до 100 кадров (т. е. от 1 кадра в 1 сек, до 1 кадра в 4 сек). Чем больше размер *GOP*, тем хуже качество компрессии. Почему так — станет ясно дальше.

Кадры между ключевыми кадрами (рис. 3.7) называются *предсказываемыми кадрами* (*predictive frames*). "Предсказываемыми" слово не очень удачное, поскольку кадры не предсказываются (подобно будущему нашей цивилизации), а вычисляются в строгом соответствии с математическими законами.

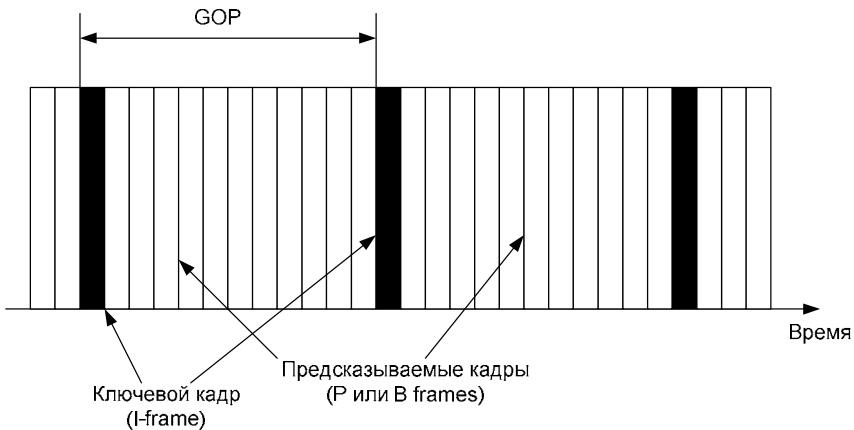


Рис. 3.7. Ключевые кадры и предсказываемые кадры

"Предсказываемые" кадры делятся на *P-кадры* (previous) и *B-кадры* (bidirectional). Р-кадры "предсказываются" на основании разницы с предыдущим по времени ключевым кадром (previous — значит "предыдущий") или предыдущим Р-кадром (рис. 3.8).

В-кадры "предсказываются" на основании различий с предыдущим и следующим ключевыми кадрами или соседними Р-кадрами (рис. 3.9). "B" означает bidirectional — т. е. "дву направленный".

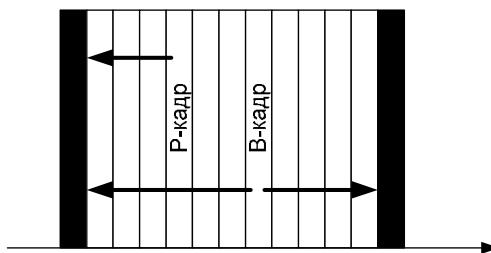


Рис. 3.8. В-кадр, Р-кадр и опорный I-кадр

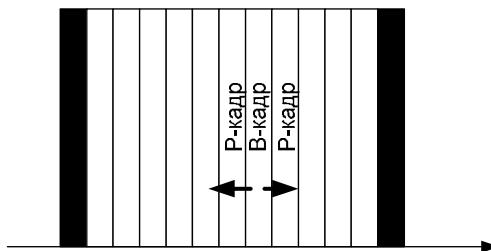


Рис. 3.9. В-кадр и опорный Р-кадр

Почему же вычитание одного кадра из другого так эффективно для задач компрессии изображения?

Если мы рассмотрим соседние кадры видеопоследовательности, то с удивлением обнаружим, что не так уж много на них и меняется. Если кадры соседние, то, как правило, один кадр от другого отличается незначительно. Давайте вычтем из одного кадра другой кадр. Получившийся кадр назовем *остаточным кадром* (*residual frame*).

На этом кадре почти не будет изображения (рис. 3.10) — ведь разницы между соседними кадрами почти не было: т. е. в цифровом виде этот остаточный кадр будет заполнен нулевыми значениями. Это очень хорошо, потому что такие данные легко поддаются компрессии. Например, вместо последовательности из 100 нулевых значений, можно передать последовательность из двух (0,100). Первое из чисел показывает, какое значение повторяется, а второе — количество повторяющихся значений. Ясно, что эта запись намного короче — т. е. компрессия выполнена! Конечно, в реальности все намного сложнее, но нам важно просто получить представление об основах.

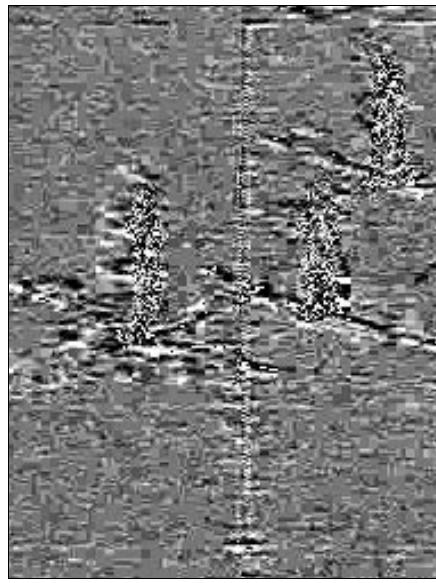


Рис. 3.10. Остаточный (residual) кадр

Количество нулевых значений можно еще увеличить, если до вычитания произвести компенсацию движения. *Компенсация движения* — это последовательность действий, которая позволяет описать перемещающиеся участки изображений в двух последовательных кадрах. Идея компенсации движения проста. Предположим, что у нас есть кадр, на котором изображены бильярд-

ные шары на столе. Один из шаров катится. При этом вид шара не меняется, меняется только его положение на экране. При вычитании этих двух кадров на тех местах, где перемещался шар, мы получим ненулевые значения, что для компрессии нехорошо. А теперь давайте представим, что мы можем передать информацию о том, куда на экране переместился шар.

Например, мы можем передать информацию, что некий участок первого кадра переместился на следующем кадре в положение на 5 точек влево. Передача такой информации по сути и есть "компенсация движения". Компенсация движения состоит из передачи информации об участке изображения, который движется, и информации о том, куда движется этот участок. Куда он движется — описывается *вектором движения*, смысл которого ясен из нижеследующей иллюстрации картинки (рис. 3.11) с бильярдными шарами.

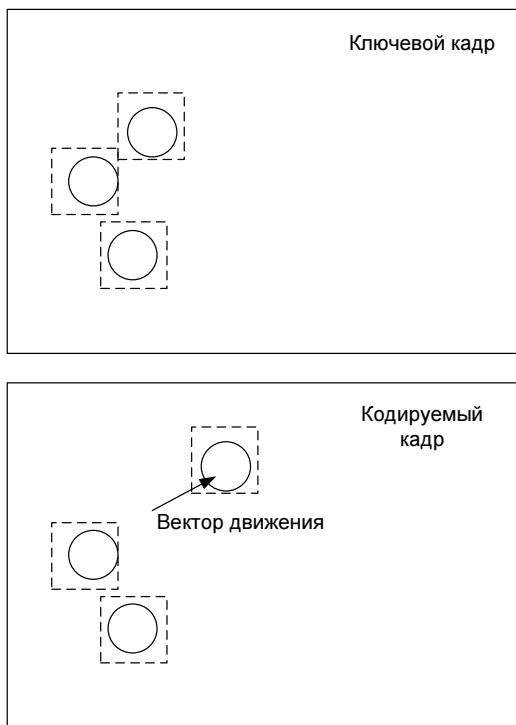


Рис. 3.11. Кодируемый и ключевой кадры

Вернемся к вычитанию одного кадра из другого. Давайте перед этим вычитанием мы выполним компенсацию движения, т. е. получим информацию о движущихся участках. При этом сами участки исключим из вычитания, посчитав, что на месте этих участков при вычитании будут нули. Собственно, зачем нам их вычитать, ведь всю информацию об этих участках мы уже име-

ем — зачем дублировать информацию? Чем меньше информации, тем нам лучше — в этом и суть компрессии. Таким образом, количество нулей в остаточном кадре увеличится — добавятся нули там, где мы выполнили компенсацию движения.

Таким образом, после всех ранее описанных манипуляций, мы будем иметь следующую информацию, которую для наглядности покажем графически (рис. 3.12).

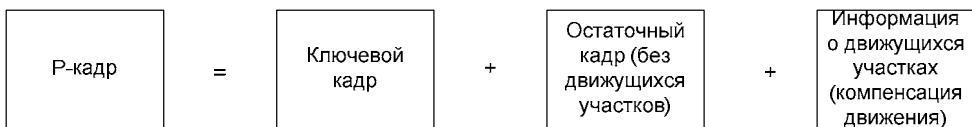


Рис. 3.12. Состав Р-кадра

Ключевой кадр передается без изменений (или подвергается внутрикадровой компрессии), а вот остаточный кадр и информацию о движении подвергают дальнейшей компрессии. Рассмотрим, как компрессируется остаточный кадр.

После получения остаточного кадра, он разбивается на прямоугольные участки (8×8 точек, 16×16 точек и т. п.). К каждому такому участку применяется дискретно-косинусное преобразование или иначе Discrete Cosine Transform сокращенно — *DCT*.

Давайте рассмотрим некий произвольный участок остаточного кадра размером 8×8 точек (рис. 3.13). Каждая точка этого участка в цифровом виде представляет собой число. В общем случае, точки разных яркостей и цветов могут иметь любую комбинацию, поэтому и числа тоже могут иметь любую комбинацию, поскольку мы рассматриваем произвольное придуманное изображение.

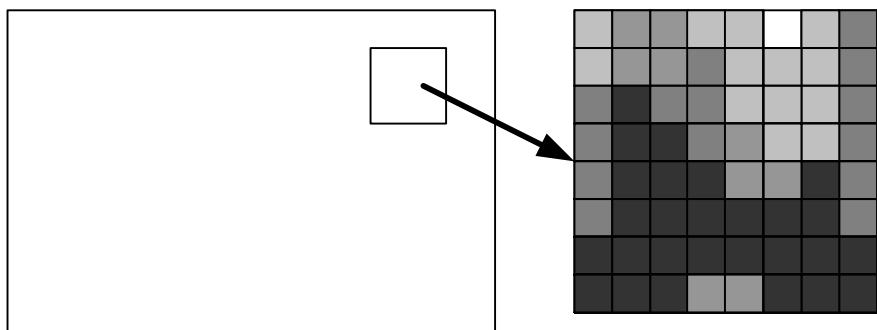


Рис. 3.13. Блок изображения 8×8 точек

Так вот чем хорошо DCT — оно описывает любую произвольную комбинацию чисел при помощи упорядоченной комбинации чисел.

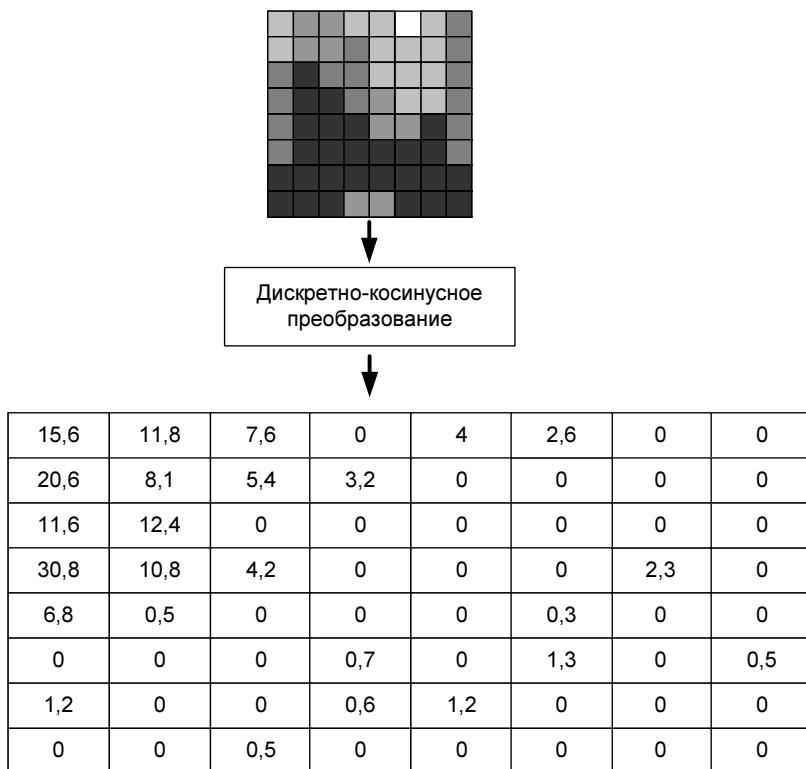


Рис. 3.14. Получение матрицы коэффициентов DCT

Итак, из иллюстрации мы видим (рис. 3.14), что в результате DCT получилась таблица 8×8 ячеек, при этом числа, имеющие наибольшее значение, размещены в левом верхнем углу таблицы. Каких бы яркостей и цветов не были точки на исходном изображении 8×8 , расположение чисел после применения DCT всегда будет примерно таким, как показано. Таким образом, числа, имеющие наибольшее значение, всегда будут иметь тенденцию к "скучиванию" в левом верхнем углу. Соответственно, к правому нижнему углу будут группироваться нулевые значения.

Теперь произведем квантизацию данных в таблице. В нашем примере произведено квантование с шагом 3. То есть $3 = 1$, $6 = 2$, $9 = 3$ и т. д. В реальных алгоритмах уровни квантования могут быть любыми.

Теперь считаем данные из таблицы (как показано на рис. 3.15) и запишем последовательности повторяющихся чисел парами (N, M), где N — количество

повторений, а M — повторяющееся число. Такой способ записи называется *групповым кодированием (run-length encoding — RLE)*.

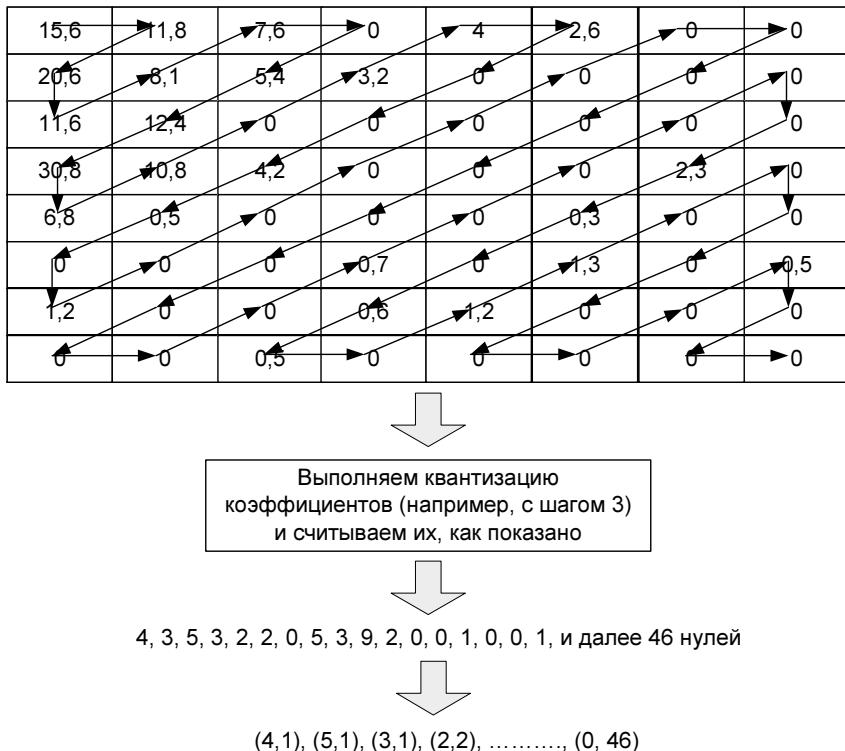


Рис. 3.15. Считывание коэффициентов DCT и их сокращенная запись

Получившаяся запись через пары (N, M) будет гораздо короче, чем запись исходного изображения в цифровом виде — т. е. мы продвинулись еще дальше в компрессии нашего изображения и имеем компрессированный остаточный кадр (residual frame).

В реальных алгоритмах компрессирования остаточного кадра выполняется сложнее, в частности, выбираются различные размеры ячеек, к которым применяется DCT, используются разные уровни квантования, разные "маршруты" считывания результатов DCT и т. п.

После совершения всех приведенных манипуляций, выполняется дополнительное сжатие, которое называется *энтропийным кодированием*. Суть энтропийного кодирования сводится к тому, что в последовательности чисел, которая подвергается компрессии, находятся закономерности вероятностного характера, которые и используются для кодирования.

Упрощенно, идея такого кодирования достаточно понятна: предположим, что у нас есть последовательность групп чисел: 111, 110, 111, 112, 111, 110, 080, 011, 111, 126, 135 и т. д. Пусть в этой последовательности 111 встречается 400 раз, 110 — 200 раз и остальные варианты — по 1 разу. Обозначим группу 111 числом 1, как самую часто встречающуюся, 110 числом — 2 и т. п. И будем группы "зашифровывать" при передаче этими числами. Первые 10 "шифров" будут однозначными числами (0...9), следующие — двузначными и т. п.

Поскольку в реальности количество разных вариантов групп может доходить до сотен, то ясно, что такое кодирование приведет к снижению потока информации при передаче. Действительно — наиболее часто будут встречаться "шифры" самых часто встречающихся групп, и эти шифры как раз и будут самыми короткими (т. е. содержать меньшее количество чисел). Подобное встречается в обычном человеческом языке — самые употребительные слова, как правило, являются самыми короткими (я, небо, река и т. п.).

Энтропийному кодированию может быть подвергнута любая цифровая информация — как компенсация движения, так и компрессированный остаточный кадр. Существует несколько алгоритмов энтропийного кодирования: *кодирование Хаффмана, арифметическое кодирование* и т. п.

Для примера, на рис. 3.16 приведена условная формула, по которой происходит сборка Р-кадра в декодере.

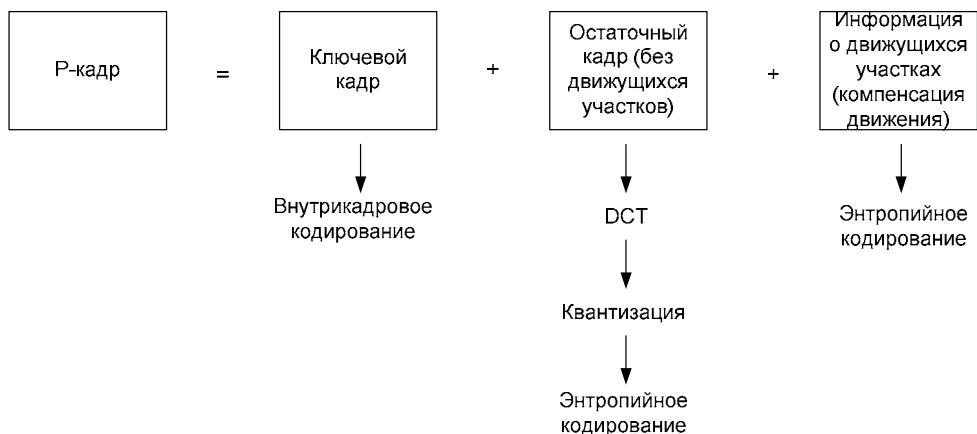


Рис. 3.16. Состав Р-кадра с указанием примененных алгоритмов

Готовая компрессированная последовательность форматируется в виде элементарного потока MPEG, о котором мы поговорим в отдельной главе.

Теперь рассмотрим, что происходит в декодере. В декодер сначала приходит ключевой кадр, который декомпрессируется (если к нему применялась внутrikадровая компрессия) и сохраняется в памяти декодера. Этот кадр будет необходим в дальнейшем, поскольку он используется для "предсказания" кадров GOP, которые идут за ним. После того как прошла вся GOP, ключевой кадр удаляется из памяти, уступая свое место ключевому кадру следующей GOP.

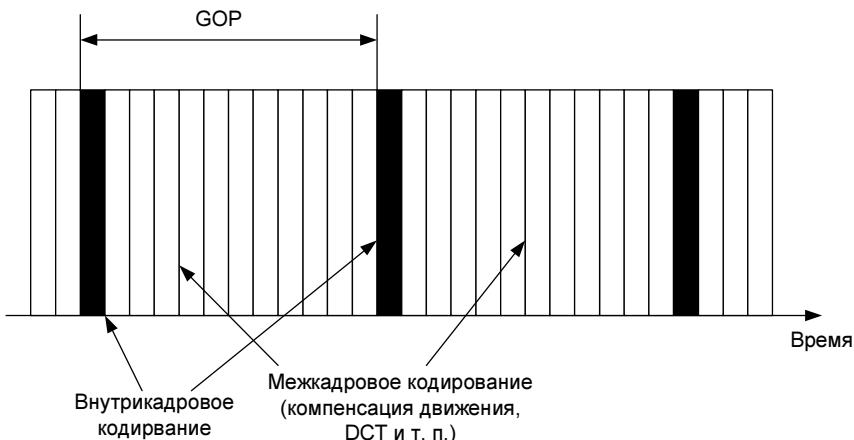


Рис. 3.17. Межкадровое и внутрикадровое кодирование

После ключевого кадра начинают один за другим поступать P-кадры, которые представляют собой информацию об отличиях этих кадров от ключевого кадра (рис. 3.17). Информация эта состоит из двух частей, как мы видели: из векторов движения и участков, которые они описывают, а также остаточного кадра, обработанного DCT. И то и другое подвергнуто энтропийному кодированию.

Получив P-кадр, декодер производит энтропийное декодирование всей информации, затем применяет обратное дискретно-косинусное преобразование, получая остаточный кадр. Этот остаточный кадр складывается с ключевым кадром. После этого выполняется компенсация движения — т. е. из ключевого кадра "выдергиваются" участки, которые переместились и складываются с полученным суммарным кадром в местах, определяемых векторами движения. В результате получается готовый кадр (рис. 3.18).

Последовательность готовых кадров передается на устройство, демонстрирующее ее зрителю (например, устройство интерфейса HDMI).

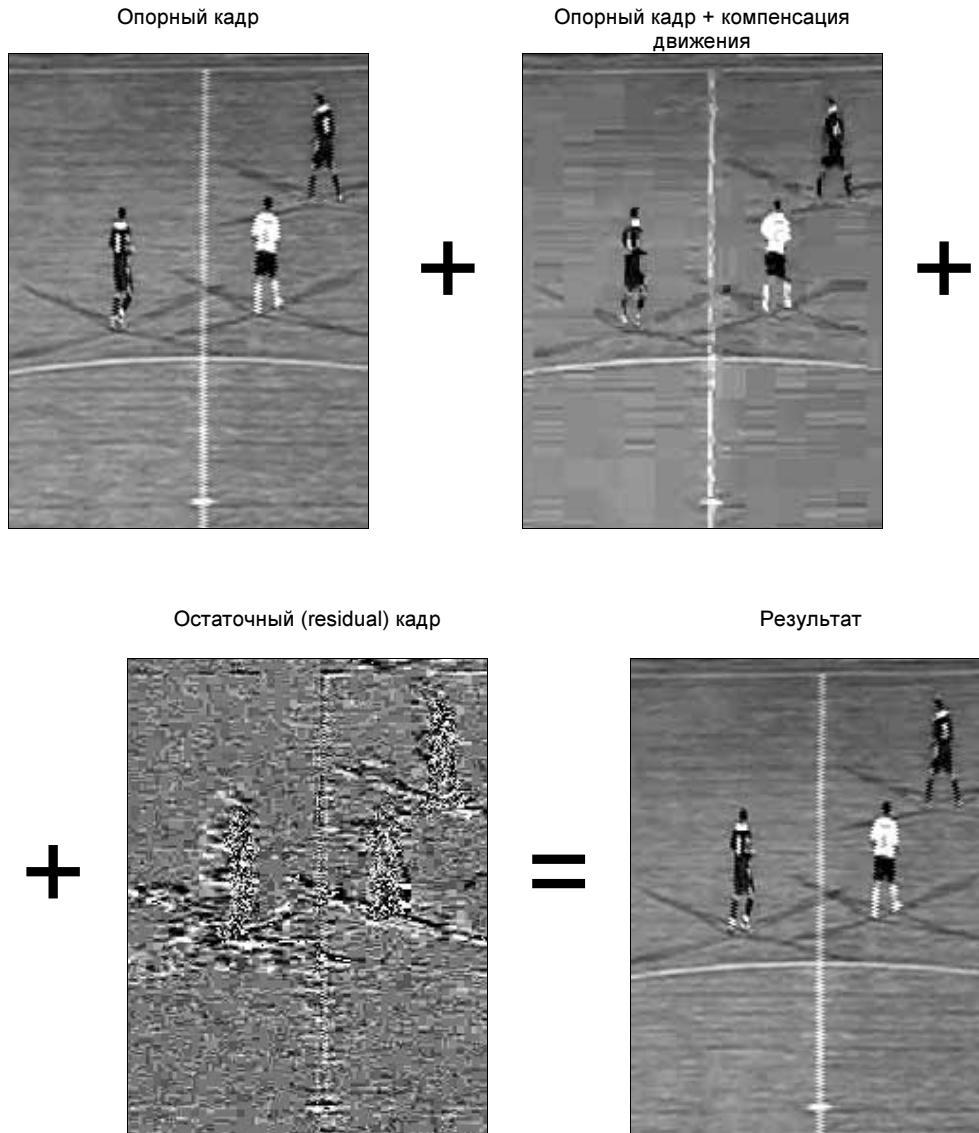


Рис. 3.18. Порядок декомпрессирования изображения

3.8. Кодирование аудио: основные идеи

Кодирование аудио выполняется очень похоже на кодирование видео (рис. 3.19): здесь мы также встречаем DCT и энтропийное кодирование. Но есть и существенные отличия. В частности, кодирование производится в гра-

ницах узких полос частот (всего этих полос 32), "вырезаемых" из сигнала по-лосовыми фильтрами. Кодирование внутри каждой такой "полосы" производится отдельно, с параметрами, определяемыми "блоком управления" на основании психоакустической модели.

Разбиение на полосы позволяет очень гибко кодировать звук в разных диапазонах частот. Как мы помним, не все частоты человеческое ухо одинаково хорошо воспринимает — поэтому "плоховоспринимаемые" частоты можно кодировать с большим сжатием и худшим качеством, что позволяет получить более низкий битрейт для всего сигнала в целом.

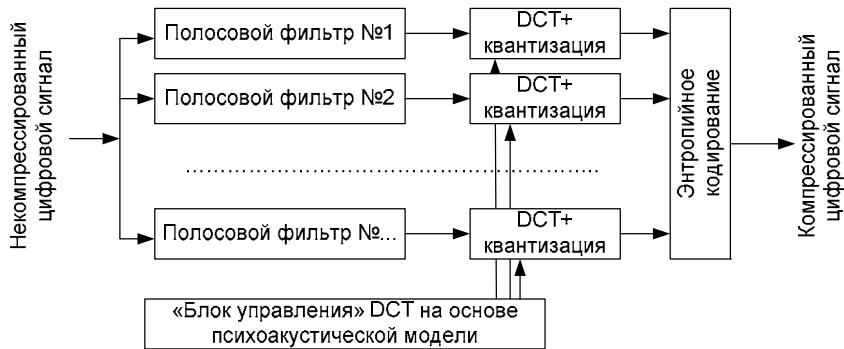


Рис. 3.19. Упрощенная схема кодера звука

После разбиения на полосы, каждая такая полоса преобразуется при помощи дискретно-косинусного преобразования (DCT), которое мы встречали ранее, когда говорили о видеокомпрессии.

Звуковой сигнал представляет собой сложное колебание в диапазоне частот от 20 Гц до 20000 Гц. Математиками доказано, что такое сложное колебание может быть представлено как сумма синусоидальных и косинусоидальных колебаний разных частот и амплитуд. Совокупность этих колебаний называется *спектром*. Суть преобразования DCT для звука и состоит в том, что исходное колебание преобразуется в набор частот и амплитуд колебаний спектра. Таким образом, отпадает необходимость передавать через канал связи само колебание — можно передать только числа, характеризующие спектр: список частот и амплитуд колебаний спектра, сумма которых и даст исходное звуковое колебание. Когда мы рассматривали компрессирование изображения, мы на самом деле делали то же самое, только для случая двумерного (т. е. графически представляемого на плоскости) сигнала.

После разбиения на участки выполняется энтропийное кодирование, подобное описанному ранее для компрессии видео.

После выполнения энтропийного кодирования производится форматирование компрессированного цифрового сигнала в элементарный поток, о чём мы будем говорить далее.

3.9. Стандарты кодирования видео в DVB-T

К настоящему моменту в DVB-T используется два стандарта видеокомпрессии MPEG2 и MPEG4 part 10. Последний из них называется также AVC (Advanced Video Coding — усовершенствованное кодирование видео) или H.264. Это множество названий возникло, поскольку этот стандарт был выпущен разными организациями, которые принимали участие в его разработке, каждый под своим названием. ISO (International Organization for Standardization — Международная организация стандартизации) выпустила этот стандарт под названием MPEG4 part 10, а ITU (International Telecommunication Union — Международный союз электросвязи) под названием H.264. Название, однако, сути не меняет — алгоритмы MPEG4 part 10 и H.264 идентичны.

Следует сразу отметить, что называть стандарт MPEG2 part 10 просто "MPEG4" некорректно, поскольку существует стандарт видеокомпрессии MPEG4 part 2, который иногда называют MPEG4 Visual и который широко используется для компрессии изображений в компьютерной технике.

Далее мы будем употреблять название H.264 для того, чтобы избежать путаницы.

Стандарты MPEG2 и H.264 (как и остальные стандарты компрессии) имеют несколько разных " заводских настроек ", предназначенных для разных типов кодируемого видео. Эти " заводские настройки " называются *профилями и уровнями кодирования*. Профили могут предусматривать достаточно глубокие изменения в алгоритме кодирования для разных типов видео: например, могут использоваться разные алгоритмы для видео для мобильных телефонов и видео высокой четкости и т. п. Уровни — это варианты кодирования внутри профилей. Таким образом, уровень — это набор настроек для каждого профиля. Например, профиль может определять вариант кодирующего алгоритма для видео стандартной четкости, а уровень — настройки этого алгоритма для стандартной четкости с передачей цвета по схеме 4:2:2.

Также можно сказать, что профили соответствуют ресурсам, которыми может располагать кодер, а уровни — целям кодирования. Профиль нужен для того, чтобы "подогнать" кодирующий алгоритм под количество памяти и быстродействию устройства (компьютера), а уровень — для того, чтобы сказать устройству, что и как нужно кодировать.

По набору уровней и профилей, описанных в стандартах кодирования, можно понять, для каких типов видео предназначен тот или иной кодер.

Конкретные реализации стандартного алгоритма могут быть разными. Как указывалось ранее, стандарт не предусматривает описания кодера, а только декодера. Таким образом, стандарт описывает, как декомпрессировать видео, а не как его компрессировать. Таким образом, создается конкуренция для производителей кодирующих устройств. На базе стандарта MPEG2 или H.264 можно создавать много вариантов кодирующих алгоритмов, которые будут создавать стандартное компрессированное видео. Каждый производитель кодера может определять для него свои наборы дополнительных профилей для разных ситуаций. Например, компанией "Элекард" создан кодер, имеющий специальный профиль для кодирования в стандарте H.264 для абонентского устройства GS8310.

MPEG2 и H.264 реализованы с использованием идей, которые мы рассматривали в разд. 3.7. Существующие различия в реализации мы обсудим далее в этой главе.

Существует также стандарт VC-1, разработанный компанией Microsoft, который рассматривается как ближайший конкурент H.264. Однако он не получил распространения (по всей видимости, из-за боязни возможных высоких лицензионных платежей за его использование, которые могут быть введены в будущем). Подробное описание этого стандарта можно найти на сайте компании Microsoft.

Использование различных стандартов кодирования в DVB-T регламентируется документами ETSI TS 102 154 "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of Video and Audio Coding in Contribution and Primary Distribution Applications based on the MPEG-2 Transport Stream" и ETSI TS 102 005 "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in DVB services delivered directly over IP protocols".

3.10. MPEG2

Первым появился стандарт видеокомпрессии MPEG2 (в 1995 г.). Не нужно путать стандарт видеокомпрессии MPEG2 со стандартом транспортных и элементарных потоков MPEG2, на использовании которых основано цифровое телевидение DVB-T.

MPEG2 использует компенсацию движения, DCT и кодирование квантованных коэффициентов DCT при помощи кодов переменной длины (VLC — Variable Length Codes). DCT выполняется на блоках размером 8×8 точек изображения (как в разобранном ранее примере). Считывание коэффициентов DCT выполняется зигзагом, как это было рассмотрено ранее. Для изображе-

ний с чересстрочной разверткой предусмотрены специальные маршруты считывания.

Для компенсации движения, кадр делится на макроблоки, размером 16×16 точек. Как показали исследования, такой способ разбиения не всегда эффективен, и в последующих стандартах в алгоритмы компенсации движения были внесены изменения. Р- и В-кадры могут использовать в качестве опорных только I-кадры.

В стандарте MPEG2 определены следующие профили и уровни (табл. 3.1), которые имеют отношение к телевидению: *простой профиль* (SP — simple), *основной профиль* (MP — main), *студийный профиль* (422P) и *высокий профиль* (HP — high).

Все отличия — в алгоритмах, которые используются для работы и в ресурсах (памяти компьютера, например), которые этим алгоритмам нужны. Чем меньше ресурсов, тем более низкий профиль приходится использовать и тем более низкое качество кодирования удается получить. Профиль 422P отличается от всех остальных тем, что использует схему представления цвета 4:2:2, в то время как все остальные профили — 4:2:0. В простом профиле не используются В-кадры, в то время как во всех остальных профилях они могут быть.

Профиль SP оптимизирован для видео в низком разрешении и с низкой скоростью кадров, MP — для телевидения стандартной четкости и DVD, а HP — для телевидения высокой четкости.

Таблица 3.1. Уровни MPEG2

Аббр.	Название уровня	Скорость кадров (в сек)	Размер кадра	Макс. скорость потока (Мбит/сек)
LL	Low (низкий)	23,976; 24; 25; 29,97; 30	CIF	4
ML	Main (основной)	23,976; 24; 25; 29,97; 30	SD	15
H14L	High 1440	23,976; 24; 25; 29,97; 30; 50; 59,94; 60	16CIF	60
HL	High (высокий)	23,976; 24; 25; 29,97; 30; 50; 59,94; 60	1080HD	80

Здесь мы видим различные наборы настроек под разные размеры кадра в точках и разные скорости кадров. Обратите внимание на уровень H14L — он предназначается для кодирования сигналов телевидения высокой четкости с количеством точек по горизонтали 1440. На техническом жаргоне такое

ТВЧ иногда называется "неполным ТВЧ". "Неполное ТВЧ", тем не менее, получило очень широкое распространение.

Сочетание уровня с профилем обозначается следующим образом:

MPEG2 XX@YY, где XX — аббревиатура профиля, а YY — уровня

Например: MPEG2 MP@ML — кодирование в стандарте видеокомпрессии MPEG2 с использованием основного профиля на основном уровне. Именно этот способ кодирования является основным в цифровом телевидении.

На практике нашли применение не все сочетания уровней и профилей. Использование различных уровней с различными профилями приведено в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Сочетание уровней и профилей в MPEG2

Уровни/профили	SP	MP	422P	HP
LL	—	MP@LL, видеоконференц-связь, видеотелефония	—	—
ML	SP@ML, применения не нашел	MP@ML, применяется в видеопроизводстве, цифровом телевидении, DVD	422P@ML, применяется в видео- производстве	HP@ML, применяется в цифровом телевидении (спутни- ковом и кабельном)
H14L	—	MP@H14L, применяется в цифровом телевидении (спутниковом и кабель- ном)	422P@H14L, применения не нашел	HP@H14L, применя- ется в цифровом телевидении (спутни- ковом и кабельном)
HL	—	MP@HL, применяется в цифровом телевидении (спутниковом и кабель- ном)	422P@HL, применяется в видео- производстве	HP@HL, применяется в цифровом телевидении (спутни- ковом и кабельном), для целей проведе- ния презентаций

Как видно из таблицы, далеко не все возможности, заложенные в стандартах, нашли применение на практике. В подавляющем большинстве приложений используется MP@ML, для целей видеопроизводства применяется 422P@ML (например, в стандарте Betacam-SX фирмы SONY). Высокие уровни и профили не получили широкого распространения, поскольку при их использовании получается очень большой битрейт.

Гораздо большую эффективность показал стандарт видеокомпрессии H.264, о котором речь пойдет далее.

3.11. MPEG2 part 10, он же AVC, он же H.264

Стандарт H.264 включает множество усовершенствований по сравнению с MPEG2, что позволяет в итоге получить двукратный выигрыш по битрейту при одинаковом качестве компрессированного изображения.

Тем не менее, использование тех или иных усовершенствований остается "на совести" разработчика каждого конкретного кодера. Зачастую при внедрении новых технологий оказывается, что поставленное оборудование соответствует стандарту лишь частично и не позволяет использовать все преимущества новой технологии. Подобная ситуация имела место и при тестировании ранних реализаций стандарта H.264, что у многих инженеров породило сомнение в качестве H.264. Кроме того, необходимо помнить, что стандарт H.264 не описывает кодер, он описывает только декодер. Совершенство кодирующих алгоритмов находится в зоне ответственности производителя кодеров. К счастью, к настоящему моменту (середина 2009 года) удалось создать совершенные модели кодеров, которые демонстрируют все преимущества H.264 над MPEG2.

Для повышения эффективности кодирования в H.264 введена возможность использования для формирования Р- и В-кадров не только предыдущие или последующие I-кадры в качестве опорных. В H.264 имеется возможность использовать для Р-кадров предыдущие Р-кадры, а для В-кадров — предыдущие или последующие Р-кадры (рис. 3.20). При этом, при формировании В-кадра, в случае компенсации движения, итоговый вектор вычисляется как среднее из векторов, полученных при компенсации движения относительно предыдущего и последующего кадров. Такой алгоритм приводит к существенному снижению битрейта компрессированного изображения.

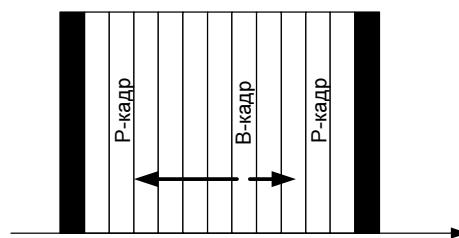


Рис. 3.20. Использование Р-кадров к качестве опорных

Также в H.264 при компенсации движения, помимо блоков 16×16 точек (как в MPEG2) возможно использование блоков с размерами, кратными 4 точкам (8×4 , например). Такие более мелкие блоки позволяют наиболее точно произвести компенсацию движения, точнее отделять области с движением от не-

подвижных областей изображения. Также используется некоторые иные усовершенствования. Например, уменьшение размерности вектора движения, что позволяет точнее позиционировать движущийся блок.

После выполнения компенсации движения к остаточному кадру применяется не DCT, как в случае с MPEG2, а целочисленное преобразование на ячейках размером 4×4 точек (4×4 integer transform). Это преобразование по своим свойствам очень близко DCT.

Если в MPEG2 для сжатия квантизованных коэффициентов преобразования (в MPEG2 это был DCT) использовались только RLE-коды, то в H.264 используется сразу несколько вариантов энтропийного кодирования, построенного на анализе вероятностей появления той или иной числовой последовательности: *UVLC* (*Universal Variable Length Coding*), *CAVLC* (*Context-based Variable Length Coding*) и *CABAC* (*Context based Adaptive Binary Arithmetic Coding*). CABAC является наиболее совершенным алгоритмом энтропийного кодирования, который позволяет получить двукратный выигрыш по сравнению с RLE. Однако CABAC требует больших вычислительных ресурсов.

При декодировании стандартом предусматривается использование *деблокинг-фильтра* (*deblocking filter*), который снижает заметность границ между блоками, на которых выполнялось DCT. Действительно, при квантизации значения коэффициентов "огрубляются" и границы блоков становятся заметны — изображение состоит как бы из множества маленьких "квадратиков". Деблокинг-фильтр позволяет избавиться от этого нежелательного эффекта.

В соответствии со стандартом, кодер H.264 имеет "двуслойную" логическую структуру: он состоит из уровня кодирования *VCL* (*Video Coding Layer*) и сетевого абстрактного уровня *NAL* (*Network Abstraction Layer*). Мы будем немного подробнее говорить об этом при рассмотрении формирования элементарных потоков. Если кратко — на уровне VCL выполняется собственно компрессия видео, а на уровне NAL — адаптация результатов для передачи по различным сетям (вещательным, сетям передачи данных и т. п.), поскольку у каждой из таких сетей есть свои особенности. Такая адаптация заключается в разбивке компрессированного видео на порции определенного размера, снабжение этих порций заголовками, содержащими информацию для сетевых устройств и т. п.

В H.264, так же как и в MPEG2, используются уровни и профили — т. е. наборы "заготовок" на все случаи жизни. Профили соответствуют ресурсам, использующимся для кодирования — наличию свободной памяти, процессору и т. п. Чем меньше ресурсов, тем более низкий профиль необходимо применить, тем хуже будет качество кодирования.

Уровни (табл. 3.3) соответствуют задачам кодирования — тому, что нужно кодировать. Например, видео стандартной или высокой четкости. Необходи-

мо иметь в виду, что производитель кодирующих устройств может выпускать устройства только с определенным набором уровней и профилей, а также может разрабатывать собственные уровни и профили. Таким образом, необходимо тщательно следить за совместимостью используемого оборудования.

Таблица 3.3. Уровни H.264

Название уровня	Скорость кадров (в сек)	Размер кадра	Макс. скорость потока (Мбит/сек)
1.0	15	QCIF	0,064
1.1	30	QCIF	0,192
1.2	15	CIF	0,384
2.0	30	CIF	2
3.0	25	SD	10
3.1	30	720p	14
3.2	60	720p	20
4.0	30, 60	1080HD	20
4.1	30, 60	1080HD	50
5.0	60	4k×2k (цифровой кинематограф)	135

В H.264 используется три профиля:

- базовый (baseline);
- основной (main);
- расширенный (extended).

Базовый профиль рассчитан на кодирование с небольшими ресурсами, поэтому многие "прелести" стандарта H.264 в нем отключены. Используется режим компенсации движения близкий к MPEG2, отсутствуют В-кадры, используется энтропийное кодирование на базе VLC-кодов. Базовый профиль напоминает несколько "подправленный" MPEG2. Основная область применения базового профиля — видеоконференцсвязь и видеотелефония.

Основной профиль включает в себя основные достоинства H.264: модернизированную компенсацию движения, все алгоритмы энтропийного кодирования, возможность для Р- и В-кадров использовать в качестве опорных любые Р-кадры и т. п. Область применения основного профиля — телевизионное производство и вещание (в том числе и DVB-T).

Расширенный профиль предназначен для вещания по IP-сетям и содержит некоторые режимы, необходимые для повышения надежности при распространении в сетях передачи данных.

Таким образом, профиль выбираем исходя из возможностей нашего оборудования, которое в свою очередь определяется задачей, для которой это оборудование предназначено. Уровень выбираем исходя из задачи и окончного (абонентского) оборудования, которое будет использоваться.

3.12. Углубленное сравнение алгоритмов стандартов кодирования

Приведем более полное сравнение нескольких стандартов кодирования (табл. 3.4). Эта таблица сравнивает стандарты, в том числе и по параметрам, которые мы не рассматривали. Тем не менее, привести эту таблицу полезно для тех, кто пожелает в дальнейшем самостоятельно разобраться в вопросе более детально.

Таблица 3.4. Сравнение нескольких стандартов кодирования видео

Параметр	Стандарт			
	MPEG1	MPEG2	MPEG4 Visual	H.264
Сложность кодера	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Совместимость с предыдущими стандартами	Да	Да	Да	Нет
Скорость передачи	До 1,5 Мбит/сек	2—15 Мбит/сек	0,064—2 Мбит/сек	0,064—150 Мбит/сек
Опорный кадр	Только один для GOP	Только один для GOP	Только один для GOP	До 5 в GOP
Размер макроблока (для компенсации движения)	16×16	16×16 (прогрессивн. развертка) и 16×8 (чересстр. развертка)	16×16	16×16
Размер блока (для компенсации движения)	8×8	8×8	16×16, 8×8, 16×8	8×8, 8×16, 16×16, 4×8, 4×4
Точность компенсации движения	1/2 точки	1/2 точки	1/2 или 1/4 точки	1/2 или 1/4 точки

Таблица 3.4 (окончание)

Параметр	Стандарт			
	MPEG1	MPEG2	MPEG4 Visual	H.264
Тип преобразования	Дискретное косинусное (DCT)	Дискретное косинусное (DCT)	Дискретное косинусное (DCT)	Целочисленное 4×4
Размер блока для преобразования	8×8	8×8	8×8	4×4
Шаг квантизации результатов преобразования	Постоянный шаг	Постоянный шаг	Векторная квантизация	Шаг с уровнем увеличения в 12,5%
Тип энтропийного кодирования	VLC	VLC	VLC	UVLC, CAVLC, CABAC



ГЛАВА 4

Элементарные потоки и NAL

4.1. Общие сведения

Кодированные изображения помещаются в структуру данных, которая, в случае MPEG2, называется *элементарным потоком MPEG2*, а в случае H.264 — *потоком блоков NAL* (NAL unit stream). И та и другая структуры состоят из блоков, снабженных заголовками со служебной информацией. После формирования элементарный поток или NAL разбиваются на фрагменты пакетизированного элементарного потока, которые имеют большую длину. Каждый фрагмент пакетизированного элементарного потока также снабжен заголовком, описывающим содержание пакета. Формат пакетизированного элементарного потока одинаков для MPEG2 и H.264.

В этой главе мы рассмотрим подробнее элементарный поток MPEG2 и менее подробно поток NAL. Поток NAL обладает довольно сложной структурой, знание которой не так необходимо на практике. Элементарный поток MPEG2 рассмотрим подробнее, потому что он проще и содержит многие базовые элементы, которые употребляются в NAL: слайсы, кадры и т. п.

После формирования пакетизированного потока, содержащего внутри элементарный поток или поток NAL, этот пакетизированный поток используется для формирования транспортного потока MPEG2. Транспортный поток будет рассмотрен в следующей главе.

В цифровом телевидении не используются отдельно кодеры видео и отдельно кодеры аудио. Как правило, устройство, именуемое кодером, является *кодером сервиса*, т. е. включает в себя и кодер видео и аудио (рис. 4.1). Выходной поток кодера сервиса — это транспортный поток MPEG2, который содержит элементарные потоки видео, аудио и PCR.

Если на практике вы не будете сталкиваться с "внутренним миром" кодирующих устройств, эту часть можно пропустить.

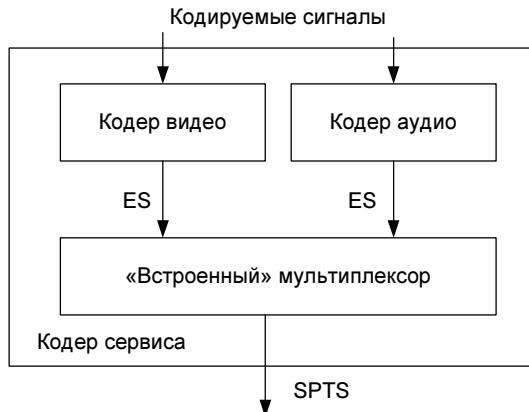


Рис. 4.1. Кодер сервиса

4.2. Иерархия элементарного потока MPEG2

В предыдущей главе мы рассмотрели способы кодирования видеоизображений, но не говорили о том, каким образом "оформляются" результаты кодирования. Для такого оформления существуют структура данных, называемая *элементарный поток MPEG*.

Структура элементарного потока MPEG2 определяется стандартом ISO/IEC 13818-2 "Generic coding of moving pictures and associated audio" ("Общие принципы кодирования движущихся изображений и сопутствующего звука").

Сокращенно элементарный поток именуется *ES (elementary stream)*.

Элементарный поток — это структурированный поток, содержащий информацию одного типа: видеоданные, аудиоданные и т. п. Потоки этого типа генерируются кодером видео или аудиоинформации (в том числе в составе кодера сервиса). Элементарный поток может также использоваться для передачи данных (см. гл. 9).

Рассмотрим элементарный видеопоток. Можно понимать видеопоток как организованную структуру данных, сформированную в соответствии с синтаксисом, который мы будем рассматривать далее. Причем структура эта иерархически организована, т. е. большие элементы могут содержать меньшие и т. п.

Видеопоток содержит упорядоченный набор битовых потоков, которые называются *слоями (layers)*. Если слоев несколько, то поток называется *масштабируемым (scalable) потоком*. Если один — *немасштабируемым (non-scalable) потоком*.

scalable) потоком. Первый слой называется базовым и декодируется независимо от остальных. Остальные слои называются расширенными и не могут быть декодированы отдельно от базового.

Что же такое масштабирование, для которого нужны несколько слоев? В случае если поток является масштабируемым, это значит, что декодер может выдавать пользователю изображение разных профилей. В этом случае в потоке присутствуют два слоя одновременно для каждого из профилей. Масштабирование может быть как пространственным (размер кадра), так и времененным (скорость кадров). Возможности масштабирования не используются в DVB, хотя теоретически это возможно.

Передача одновременно двух и более слоев приведет к затратам в использовании ресурсов каналов связи, что нерационально с экономической точки зрения, а в случае DVB-T еще и затруднительно физически, поскольку количество радиочастотных каналов ограничено. В дальнейшем будем считать, что элементарный поток содержит только один базовый слой.

Наиболее крупной (верхний уровень иерархии) синтаксической единицей видеопотока является *видеопоследовательность* (*video sequence*). Видеопоследовательность состоит из заголовка, дополнительного (расширенного) заголовка, за которым следуют блоки данных. Видеопоследовательность заканчивается кодом окончания видеопоследовательности (*Sequence end code*).

Блоки данных, из которых состоит видеопоследовательность: это *блоки групп изображений* (GOP), которые в свою очередь состоят из *блоков кадров*. Блоки изображений и блоки кадров также имеют свои заголовки (рис. 4.2). В случае кодирования чересстрочной развертки поля, составляющие один кадр, кодируются в двух последовательных блоках. Какое поле идет первым — определяется настройками кодера. Обычно в параметрах кодера указывается, какое поле должно быть первым — верхнее (*upper*) или нижнее (*lower*).

В случае наличия в потоке В-кадров порядок следования блоков кадров может не соответствовать порядку показа этих кадров зрителю (рис. 4.3). Это легко понять, если вспомнить, что В-кадр кодируется на основании информации, содержащейся в опорных I- или P-кадрах, которые должны показываться зрителю как до, так и после В-кадра. И соответственно эти опорные кадры должны прийти в декодер до того, как В-кадр начнет декодироваться. В результате получается, что возможна ситуация, когда кадр, закодированный последним, должен декодироваться первым.

В случае если видеопоследовательность не содержит В-кадров, то порядок кодирования и последовательность показа кадров совпадают.

Блоками называются прямоугольные участки изображения, внутри которых применяется DCT. Размер блока в MPEG2 составляет (в яркостном канале) 8×8 сэмплов, в H.264 размер блока может быть разным (см. разд. 3.11).

В случае чересстрочной развертки блок кадра соответственно содержит те же матрицы, только представляющие или четные или нечетные строки. Размер матриц, кодирующих цветоразностные сигналы, зависит от формата сигналов (4:2:0, 4:2:2 или 4:4:4), что показано на рис. 4.4.

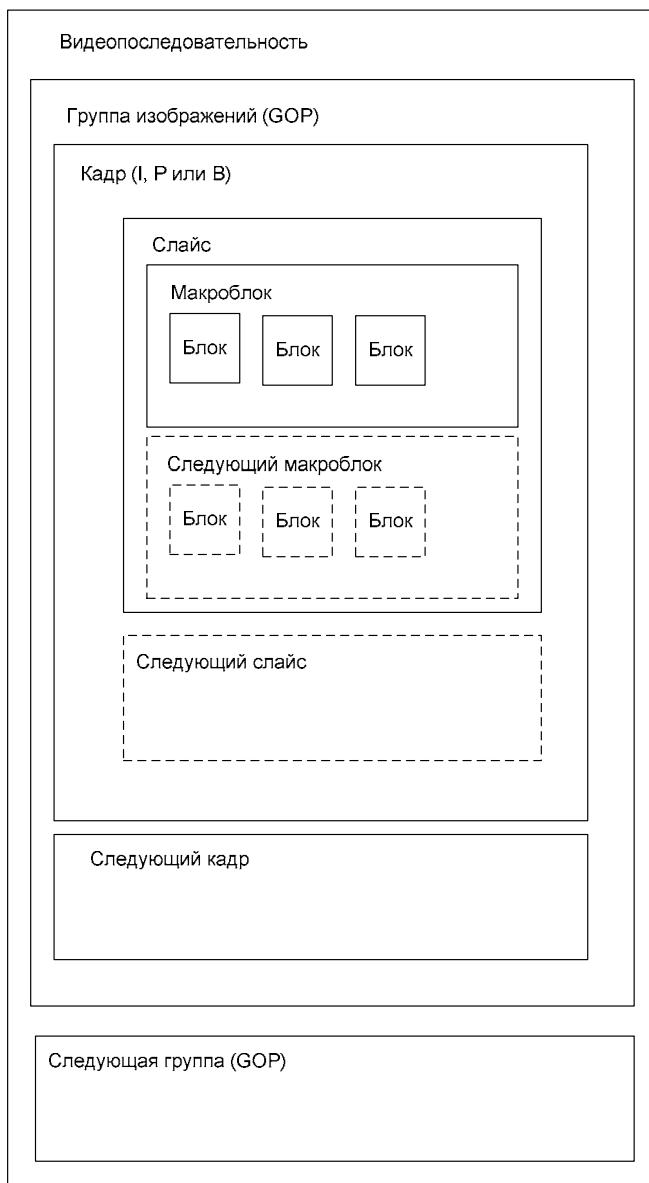


Рис. 4.2. Иерархия элементарного потока

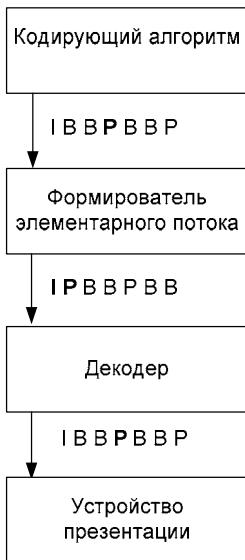


Рис. 4.3. Изменение порядка кадров в элементарном потоке

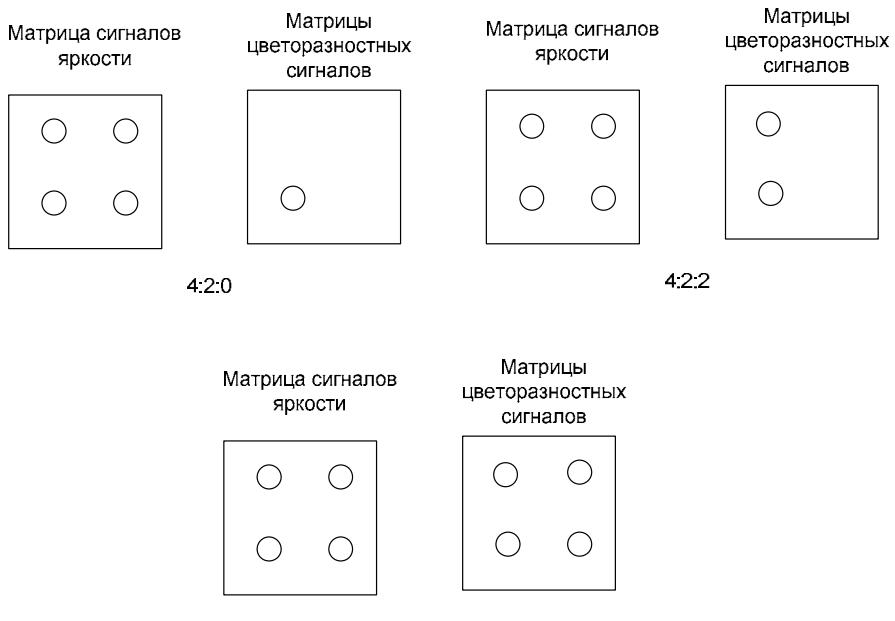


Рис. 4.4. Соотношение количества сэмплов яркости и цветности для разных форматов цифрового сигнала

Макроблоками называются прямоугольные части матриц яркостного или цветоразностного сигналов (рис. 4.5). Структура макроблока зависит от представления сигнала. Макроблоки располагаются в изображении последовательно по строкам.

Порядок следования блоков в макроблоке показан на рис. 4.6.

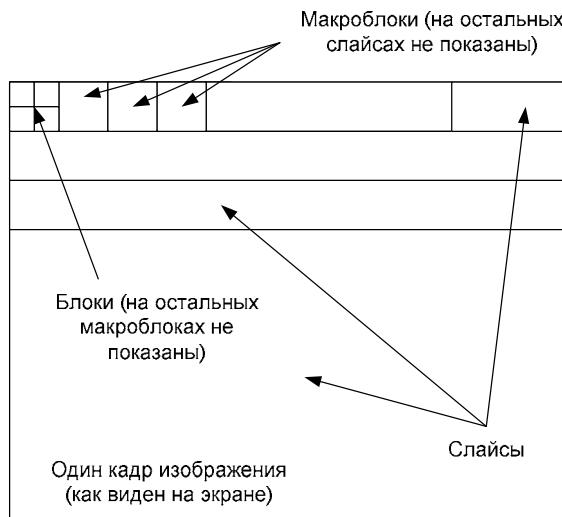


Рис. 4.5. Блоки, макроблоки и слайсы

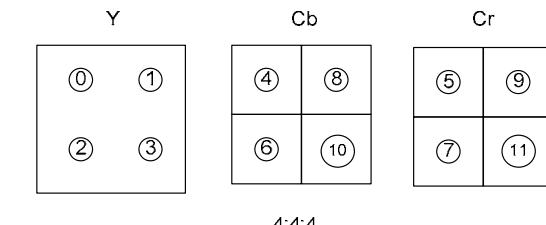
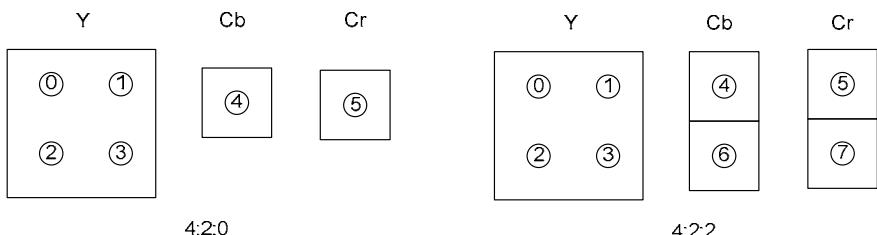


Рис. 4.6. Порядок следования блоков в макроблоке

Группы последовательных макроблоков могут быть разбиты на слайсы (slices). При этом, поскольку макроблоки располагаются по строкам, каждый слайс содержит часть какой-либо строки. Слайс не может содержать макроблоки из двух разных строк и перекрываться один с другим. Как правило, используется один слайс на кадр. Таким образом, эта иерархическая единица для целей DVB оказывается лишней, тем не менее, в элементарном потоке она присутствует, а значит, знать о ней надо. Развитие структура слайсов получила в H.264, где они могут использоваться для своеобразного энтропийного перемешивания, повышающего надежность при передаче видео через Интернет.

4.3. Системные часы кодера

Выходной буфер кодера производит с определенной скоростью кадры видео-последовательности. Каждый из этих кадров произведен в некоторый момент времени. Каждый кодер имеет встроенные часы, поэтому моменты времени, когда производится тот или иной кадр, легко зафиксировать и передать с кодера на декодер. Зачем это нужно?

Очень просто — декодер должен декодировать кадры с той же скоростью, с которой кодер их производит. Кроме того, кодер должен выдавать их в правильной последовательности. На скорость кодера и декодера может влиять масса факторов — от напряжения в сети до температуры в помещении, поэтому их работу необходимо синхронизировать. Кроме того, канал связи может иметь переменную задержку и какую-то собственную буферизацию, т. е. скорость потока на входе декодера может непредсказуемо меняться (см. разд. 1.11).

В стандарте элементарных потоков имеется два значения, которые принимают участие в процессе синхронизации — они называются *временными штампами* DTS и PTS. Кроме того, может возникнуть необходимость передавать с кодера на декодер показания системных часов кодера. Это делается при помощи поля PCR. Поле PCR мы будем рассматривать в гл. 5, посвященной транспортному потоку. Мы будем встречать эти значения, когда начнем рассматривать синтаксис элементарного потока.

Значение имеют даже не сами показания этих часов, а разницы показаний для разных кадров или моментов времени, поскольку нам необходимо синхронизировать скорость обработки информации.

Временной штамп декодера (*Decoder Timestamp* или *DTC*) — это время системных часов, в которое кадр должен быть взят из входного буфера декодера и декодирован. Принимается, что такую операцию можно совершить мгно-

венно. Таким образом, DTS показывает время, в которое кадр надо декодировать и положить в выходной буфер декодера.

Временной штамп показа (*Presentation Timestamp* или *PTS*) — это время системных часов, в которое кадр нужно показать зрителю, т. е. отправить из выходного буфера декодера на устройство воспроизведения (например, на кодер PAL или интерфейс HDMI). Мы говорили в предыдущем разделе, что время показа может не соответствовать времени декодирования, поэтому PTS не всегда соответствует DTS. Например, при наличии В-кадров, время декодирования Р-кадров будет раньше, чем время их презентации.

Системные часы имеют тактовую частоту 27 МГц, т. е. "тикают" 1 раз в $3,7 \times 10^{-8}$ сек. Этого более чем достаточно для синхронизации. Для хранения значения системных часов обычно используется 32 бита, поэтому значения системных часов при этой частоте повторяются каждые 158 сек.

Для передачи от кодера к декодеру значения системных часов делятся на две части — базовую и дополнительную (см. разд. 5.2).

Зная значение DTS и PTS, декодер сможет "рас也算ать" скорость, с которой нужно производить декодирование, и работать с этой скоростью. В H.264 применена несколько другая система синхронизации, основанная на использовании служебной информации, которая называется HRD (см. разд. 4.6).

4.4. Синтаксис элементарного потока MPEG2

В табл. 4.1 приведена структура элементарного потока. Эта таблица поясняет иерархическую структуру, описанную в разд. 4.2. Обратите внимание, что заголовки элементов могут содержать "расширения" — дополнительные данные, содержащие дополнительную информацию об элементах потока.

Таблица 4.1. Упрощенная структура элементарного потока

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Заголовок видеопоследовательности	Sequence header		Здесь передается информация, структурированная, как показано в последующих таблицах
Начало цикла № 1. Цикл заканчивается тогда, когда после прохождения тела цикла передается код окончания видеопоследовательности (sequence end code). Проверка наличия кода осуществляется в конце цикла, т. е. тело цикла выполняется хотя бы один раз			
Данные расширения и пользовательские данные	Extension and user data		Здесь передается информация, структурированная, как показано в последующих таблицах

Таблица 4.1 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Начало цикла № 2 (вложенный цикл в цикл № 1). Цикл заканчивается тогда, когда после прохождения тела цикла встречается код начала изображения (picture start code) или код начала группы (group start code). Проверка наличия кода осуществляется в конце цикла, т. е. тело цикла выполняется хотя бы один раз			
Если следующее поле не является "Заголовком группы изображений", то переходим сразу к полю "Заголовок изображения". Как определить, какой заголовок следующий? Очень просто — по стартовому коду (см. табл. 4.2)			
Заголовок группы изображений	GOP header		Передается не в каждом теле цикла, а только в начале группы изображений
Данные расширения и пользовательские данные	Extension and user data		Здесь передается информация, структурированная, как показано в последующих таблицах
Заголовок изображения	Picture header		Здесь передается информация, структурированная, как показано в последующих таблицах
Расширение кодирования изображения	Picture coding extension		Блок дополнительных данных о параметрах кодирования изображения. Подробнее см. документ ISO 13818-2 разд. 6.2.3.1 и 6.3.10
Данные изображения	Picture data		Собственно данные изображения. Структура этих данных приведена в таблицах далее
Конец цикла № 2			
Конец цикла № 1			
Код конца последовательности	Sequence end code	32	Код окончания видеопоследовательности

Видеопоследовательность начинается со стартового кода. Стартовый код состоит из префикса и значения кода. Префикс стартового кода в двоичном виде выглядит следующим образом: '00000000000000000000000000000001', т. е. 31 двоичный ноль и одна единица. Такое значение префикса гарантирует его уникальность в потоке. За префиксом следует восьмибитное значение кода, как это приведено в табл. 4.2.

Помимо стартовых кодов используются еще *расширенные стартовые коды* (*Extension Start Code*). Эти коды используются в качестве дополнительных кодов после кода расширения (0xB5). Таким образом, расширенные старто-

вые коды уточняют тип информации, передаваемой в блоке расширения (extension), т. е. после стандартных заголовков элементов потока, могут быть использованы расширенные заголовки, передающие дополнительную информацию. Расширения синтаксиса элементарного потока мы рассматривать не будем. Желающие смогут найти всю необходимую информацию в документе ISO 13818-2.

Таблица 4.2. Значения стартового кода видеопоследовательности

Название	Английское название	Значение	Описание
Стартовый код изображения	Picture start code	0x00	Стартовый код, с которого начинается блок информации об изображении
Стартовый код доли	Slice start code	0x01—0xAF	Стартовый код, с которого начинается блок информации о слайсах
Стартовый код пользовательских данных	User data start code	0xB2	Стартовый код, с которого начинается блок пользовательских данных
Стартовый код заголовка видеопоследовательности	Sequence header start code	0xB3	Стартовый код, с которого начинается блок информации о видеопоследовательности
Код ошибки видеопоследовательности	Sequence error start code	0xB4	Стартовый код блока описания ошибок
Код расширения	Extension start code	0xB5	Стартовый код блока дополнительной информации
Код конца видеопоследовательности	Sequence end code	0xB7	Код, которым завершается видеопоследовательность. Используется для маркировки конца видеопоследовательности
Код начала группы	Group start code	0xB8	Стартовый код, с которого начинается блок информации о GOP
Системный код	System start code	0xB9—0xFF	Различные коды системного назначения

Также приведем схему синтаксических элементов (рис. 4.7), дополнительно поясняющую связи внутри элементарного потока. На этой схеме под "данными изображения" подразумеваются слайсы со всем их содержимым. Кроме того, на этой схеме показаны расширенные заголовки и пользовательские данные.

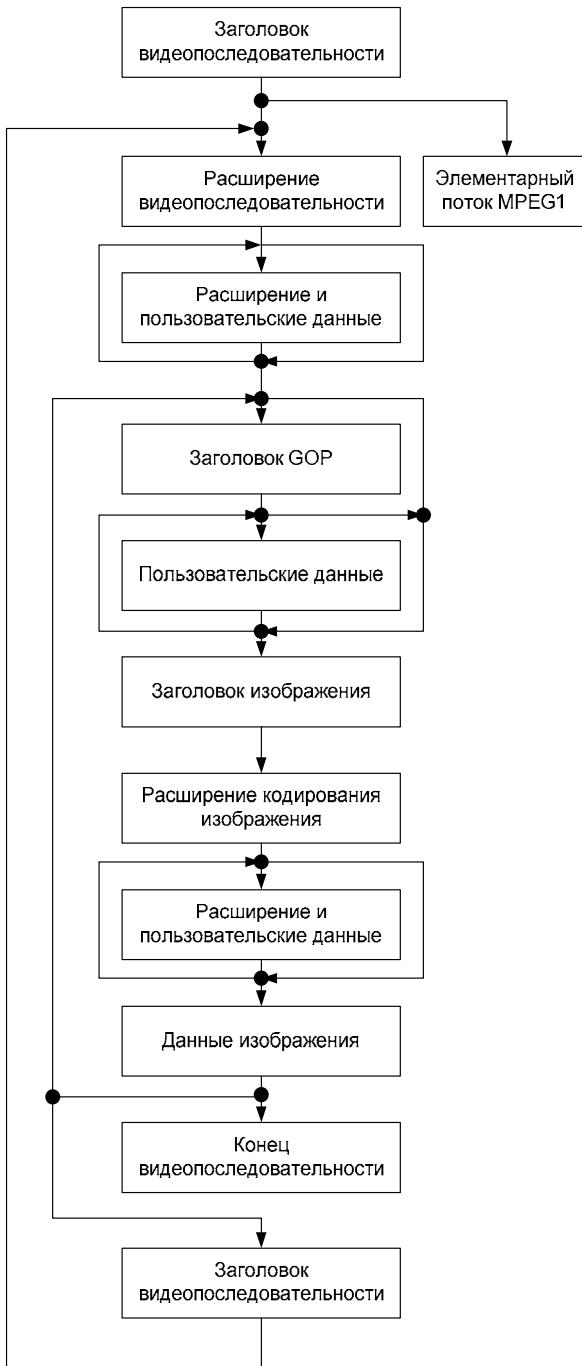


Рис. 4.7. Схема последовательности синтаксических элементов в элементарном потоке

4.5. Основные элементы синтаксиса элементарного видеопотока MPEG2

В последующих таблицах (табл. 4.3—4.7) приведена структура основных элементов синтаксиса элементарного видеопотока. Эти элементы всегда начинаются с 32-битного стартового кода.

Таблица 4.3. Заголовок видеопоследовательности (sequence header)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Стартовый код заголовка видеопоследовательности	Sequence header code	32	Всегда = 0x000001B3 для обозначения блока заголовка видеопоследовательности
Размер по горизонтали	Horizontal size value	12	12 младших значащих битов горизонтального размера яркостной составляющей изображения в сэмплах. Старшие два бита составляют расширение размера по горизонтали и указываются в поле "Расширение горизонтального размера" (Horizontal Size Extension) Расширения видеопоследовательности. О расширении видеопоследовательности см. документ ISO 13818-2 разд. 6.1—6.3
Размер по вертикали	Vertical size value	12	12 младших значащих битов вертикального размера яркостной составляющей изображения в сэмплах. Старшие два бита составляют расширение размера по вертикали и указываются в поле "Расширение вертикального размера" (Vertical Size Extension) Расширения видеопоследовательности. О расширении видеопоследовательности см. документ ISO 13818-2 разд. 6.1—6.3
Соотношение сторон	Aspect ratio information	4	Это поле содержит код величины SAR (Sample Aspect Ratio) или DAR (Display Aspect Ratio). Подробнее о SAR и DAR см. разд. 1.6. Величины SAR или DAR кодируются следующими двоичными значениями: 0001: SAR=1 (квадратные пиксели) 0010: DAR = 3:4 0011: DAR = 9:16 0100: DAR = 2:2.21

Таблица 4.3 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Скорость кадров	Frame rate code	4	<p>Четырехбитовый код скорости кадров. Код может принимать следующие значения:</p> <p>0001: 23,976...</p> <p>0010: 24</p> <p>0011: 25</p> <p>0100: 29,97...</p> <p>0101: 30</p> <p>0110: 50</p> <p>0111: 59,94...</p> <p>1000: 60</p> <p>В какие единицах — кадрах или полях — указывается данная величина, зависит от значения флага "Прогрессивная развертка". Может быть получена следующим образом: Скорость кадров = Величина скорости кадров \times (Расширение величины скорости кадров N + 1) / (Расширение величины скорости кадров D + 1). Если скорость нужно указать непосредственно в данном поле, то Расширение величины скорости кадров N и Расширение величины скорости кадров D должны быть нулевыми. О расширении видеопоследовательности см. документ ISO 13818-2 разд. 6.1—6.3</p>
Скорость потока	Bit rate value	18	18 младших значащих разрядов скорости кадров/полей. См. информацию к предыдущему полю
Маркер	Marker bit	1	Маркер всегда = 1. Бит необходим для предотвращения ошибок, связанных с появлением в потоке значений, равных стартовым кодам, но не являющихся таковыми
Величина буфера видеодекодера	Vbv buffer size value	10	Младшие 10 бит размера буфера видеодекодера в байтах. Всего величина составляет 18-битное число. Старшие 8 бит указываются в блоке расширения видеопоследовательности. О расширении видеопоследовательности см. документ ISO 13818-2 разд. 6.1—6.3
Флаг фиксированных параметров	Constrained parameters flag	1	Всегда = 0. Артефакт, оставшийся от MPEG1
Флаг матрицы внутрикадрового квантования	Load intra quantizer matrix	1	Информация о матрице квантизации. См. подробнее документ ISO 13818-2 разд. 6.3.11

Таблица 4.3 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Матрица внутрикадрового квантования	Intra quantizer matrix	8×64	Информация о матрице квантизации. См. подробнее документ ISO 13818-2 разд. 6.3.11
Флаг матрицы межкадрового квантования	Load non-intra quantizer matrix	1	Информация о матрице квантизации. См. подробнее документ ISO 13818-2 разд. 6.3.11
Матрица межкадрового квантования	Non-intra quantizer matrix	8×64	Информация о матрице квантизации. См. подробнее документ ISO 13818-2 разд. 6.3.11
Следующий стартовый код	Next start code		Стартовый код следующего синтаксического элемента

Таблица 4.4. Пользовательские данные (user data)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Стартовый код заголовка пользовательских данных	User data start code	32	Всегда = 000001B2
Пользовательские данные	User data	—	Количество бит пользовательских данных может быть любым, но должно быть кратно 8. Содержание этих бит определяются приложениями пользователя, участвующими в кодировании-декодировании потока. Пользовательские данные не должны содержать 23 или более нулевых битов подряд
Следующий стартовый код	Next start code	32	Стартовый код следующего синтаксического элемента

Таблица 4.5. Заголовок групп изображений (Group of picture header)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Стартовый код GOP	Group start code	32	Всегда = 000001B8

Таблица 4.5 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Таймкод	Timecode	25	<p>Информация о таймкоде. Данная информация не используется для декодирования, тем не менее, мы приведем расшифровку этого поля, поскольку понятие таймкода очень распространено в видео.</p> <p>1 бит — флаг режима drop frame. Используется в NTSC. Если бит = 1, значит, используется режим drop frame.</p> <p>2—6 биты — часы</p> <p>7—12 биты — минуты</p> <p>13 бит — маркер. Бит всегда = 1</p> <p>14—19 биты — секунды</p> <p>20—25 биты — кадры</p>
Закрытая последовательность	Closed GOP	1	Используется для В-кадров. Если бит = 1, значит, текущий В-кадр кодирован только с использованием внутrikадрового кодирования (что фактически делает его I-кадром) либо только с использованием обратного предсказания (т. е. исходя из содержания последующих кадров). Бит необходим для правильной обработки следующего флага в декодере, т. е. этот флаг указывает декодеру, что информация, необходимая для декодирования текущего В-кадра, еще не поступила в декодер
Нарушенный линк	Broken link	1	Бит устанавливается в 1, если необходимо показать, что опорный кадр, который необходим для декодирования текущего В-кадра, уже покинул буфер декодера и не может быть использован, т. е. декодировать текущий В-кадр невозможно. Используется совместно с предыдущим флагом, который определяет исключение из этого правила
Следующий стартовый код	Next start code		Стартовый код следующего синтаксического элемента

Таблица 4.6. Заголовок кадра (Picture header)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Стартовый код изображения	Group start code	32	Всегда = 00000100 (шестнадцатеричных)

Таблица 4.6 (окончание)

Название поля	Английское на- звание поля	Бит	Примечание
Временная ссылка	Temporal reference	10	Идентификатор данного изображения. Правила инкрементирования данного идентификатора зависят от значения поля "Краткая задержка" (low delay) в расширении видеопоследовательности, что связано с особенностями работы буфера декодера. Подробнее см. документ ISO 13818-2 разд. 6.3.9
Тип кодирования		3	Определяет тип кодирования данного изображения (кадра). Возможны следующие значения: 001 — I-кадр (intra-coded) 010 — P-кадр (predictive-coded) 011 — B-кадр (bidirectionally-predictive-coded)
Задержка буфера декодера		16	Время в единицах 90 кГц системных часов (тиков), которое должно пройти между получением последнего буфера кадра и началом декодирования этого кадра. В случае если поле имеет значение FFFF, величина задержки не определена
Не используется	Full pel backward vector	1	Всегда = 0
Не используется	Backward f code	3	Всегда = 0
Не используется	Extra bit picture	1	Всегда = 0
Не используется	Extra information picture	3	Всегда = 0
Индикатор дополнительной информации о кадре	Extra bit picture	1	Если бит = 1, то за этим заголовком следует расширенная информация. См. документ ISO 13818-2 разд. 6.1—6.3
Следующий старт-тотальный код	Next start code		Стартовый код следующего синтаксического элемента

Таблица 4.7. Данные изображения (picture data)

Название поля	Английское название поля	Бит	Примечание
Эта структура состоит целиком из повторяющихся долей (slices) до тех пор, пока не встретится стартовый код, отличный от Стартового кода доли (Slice start code)			

4.6. H.264 NAL

Уровень сетевой абстракции (*NAL — Network Abstraction Layer*) — часть спецификации H.264, пришедшая на смену стандарту ISO 13818-2 в части элементарных потоков. При передаче изображений, кодированных стандартом H.264 элементарные потоки MPEG2 не используются — вместо них используется NAL.

Принципиально в NAL по сравнению с MPEG2 изменилось не так уж и много: здесь тоже есть кадры, слайсы и видеопоследовательности. Принципиально изменилась сама структура NAL — он состоит из блоков, формат которых можно изменить в зависимости от среды передачи. В элементарных потоках MPEG2 такого механизма не было. В H.264 структура NAL может быть различной в зависимости от того, как передается видео — в DVB или через Интернет по протоколу RTP и т. п.

Другое принципиальное отличие NAL — обеспечение надежности передачи. В последующих главах мы будем касаться вопроса о надежности каналов связи. Дело в том, что каким бы способом мы не передавали информацию — это всегда делается с ошибками. Например, шумы в радиодиапазоне могут приводить к потере полезной информации. В цифровом телевидении принимаются очень серьезные меры для обеспечения коррекции ошибок. О них мы будем говорить в гл. 7. Те меры применяются во время подготовки информации для передачи через эфир. Однако NAL содержит несколько способов, позволяющих дополнительно увеличить возможность коррекции ошибок. Основа этих способов — "перемешивание" информации и ее повторение. Для эфирного DVB это особой ценности не имеет, поскольку, как уже сказано, информация защищается при передаче через эфир, однако это имеет важное значение при передаче по IP-сетям.

В разд. 4.2 мы говорили о том, что закодированные изображения группируются в слайсы. Слайсы используются и в H.264, только их структура сложнее. Главное нововведение: один слайс может быть разбит на несколько частей, которые располагаются в разных частях экрана (рис. 4.8). В потоке же слайс передается как единое целое. Нетрудно видеть, что в итоге информация об изображении будет передаваться в "перемешанном" виде. Если в процессе передачи заголовок слайса будет утерян, то слайс "пропадет", но при этом будет потеряна информация разных частей изображения, что менее заметно для глаза. Также слайсы могут быть посланы в потоке NAL в произвольном порядке, что еще больше увеличивает "перемешивание". Хороший пример, как такое перемешивание позволяет увеличить устойчивость к помехам, приведен в разд. 7.211.

Кроме того, благодаря NAL в H.264 существуют методы коррекции ошибок (Error Concealment), которые позволяют восстановить утерянный слайс путем

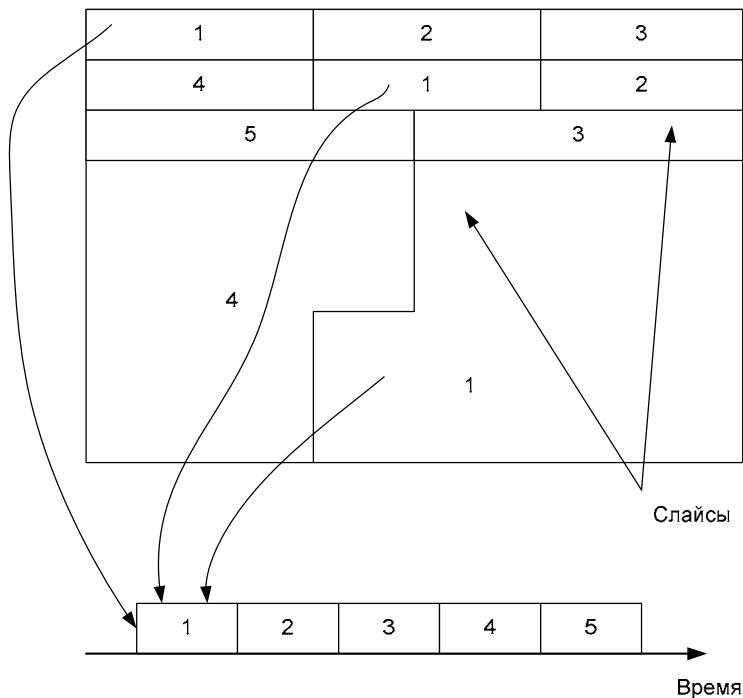


Рис. 4.8. Слайсы в H.264 могут располагаться произвольно, но группируются при передаче

интерполяции информации соседних слайсов как с данного кадра, так и с соседних. Исследования показывают, что методы коррекции ошибок работают и дают хороший результат (рис. 4.9 и 4.10).

Синхронизация работы кодера и декодера выполняется без использования DTS и PTS как в элементарных потоках MPEG2. Вместо этого, в служебной информации NAL задается постоянная скорость, с которой кадры декодируются, а также частота системных часов. Зная эту скорость и частоту, можно вычислить значения DTS и PTS.

В разд. 4.2 мы говорили о том, что порядок кадров в потоке и порядок кадров в декодере могут отличаться. Такая же ситуация сохраняется и при использовании NAL. Если в элементарном потоке порядок декодирования определялся по DTS, то в NAL порядковый номер кадра в GOP указывается напрямую в служебной информации в заголовке слайса (так называемая *POC* — *Picture Order Counter* — счетчик последовательности изображений).

В NAL вводится термин *IDR* — *Instant Decoder Refresh* (буквальный перевод — "мгновенное обновление декодера"). По сути дела это ключевой (или опорный) кадр, т. е. кадр, для декодирования которого не требуется информа-

ция ни о каком другом кадре. В то же время информация о IDR требуется для декодирования последующих кадров (пока не встретится следующий IDR). Два последовательных IDR ограничивают GOP. С IDR начинается нумерация РОС, т. е. при приходе каждого последующего IDR счетчик РОС обнуляется.



Рис. 4.9. Декодированный кадр с ошибкой (без использования коррекции ошибок)



Рис. 4.10. Декодированный кадр с ошибкой (с использованием коррекции ошибок)

Также в стандарте H.264 определена модель стандартного декодера, которая называется *HRD (Hypothetical Reference Decoder)*. В модели HRD определяются два буфера, которые существуют в декодере — буфер *CPB (Coded Picture Buffer)*, т. е. буфер на входе) и *DPB (Decoded Picture Buffer)*, т. е. буфер на выходе). Модель HRD определяет, каким образом должны работать эти буфера,

какова скорость считывания информации, каковы их размеры и т. п. В служебной информации, которая передается в NAL, содержатся параметры этого буфера (например, размеры), которые должно использовать декодирующее устройство в абонентской приставке.

Служебная информация, которая передается в NAL, делится на несколько групп (рис. 4.11). Первая группа — информация о видеопоследовательности *SPS* (*Sequence Parameter Set*). Эта информация передается в NAL и при декодировании применяется до тех пор, пока не появится следующая такая же информация. Как правило, информация SPS передается до начала GOP, т. е. непосредственно перед передачей IDR.

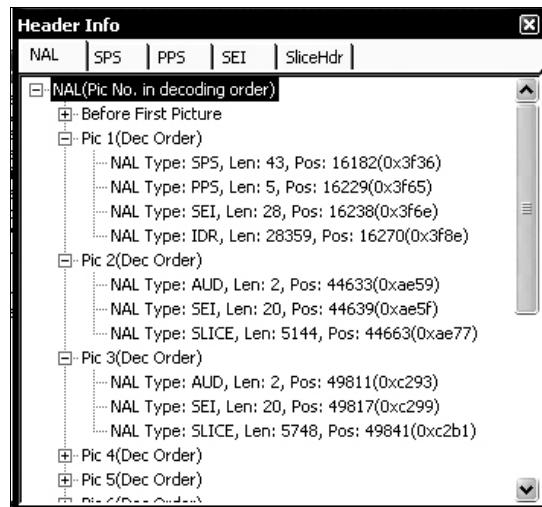


Рис. 4.11. Пример порядка следования элементов NAL в порядке их декодирования (получено при помощи программы H264Visa, кодер Elecard)

В состав SPS входит следующая информация (рис. 4.12): информация об используемом профиле и уровне, количестве опорных кадров внутри GOP, количестве макроблоков по горизонтали и вертикали, SAR, информация, необходимая для синхронизации работы кодера и декодера, информация HRD и т. д.

Вторая группа, которая обычно следует за первой, это информация об изображении *PPS* (*Picture Parameter Set*). PPS определяет параметры кодирования следующих за ним кадров (в основном — о слайсах). В состав PPS (рис. 4.13) входит информация о: слайсах, типе расположения слайсов, типе энтропийного кодирования, типе предсказания, использовании de-blocking фильтра и т. п.

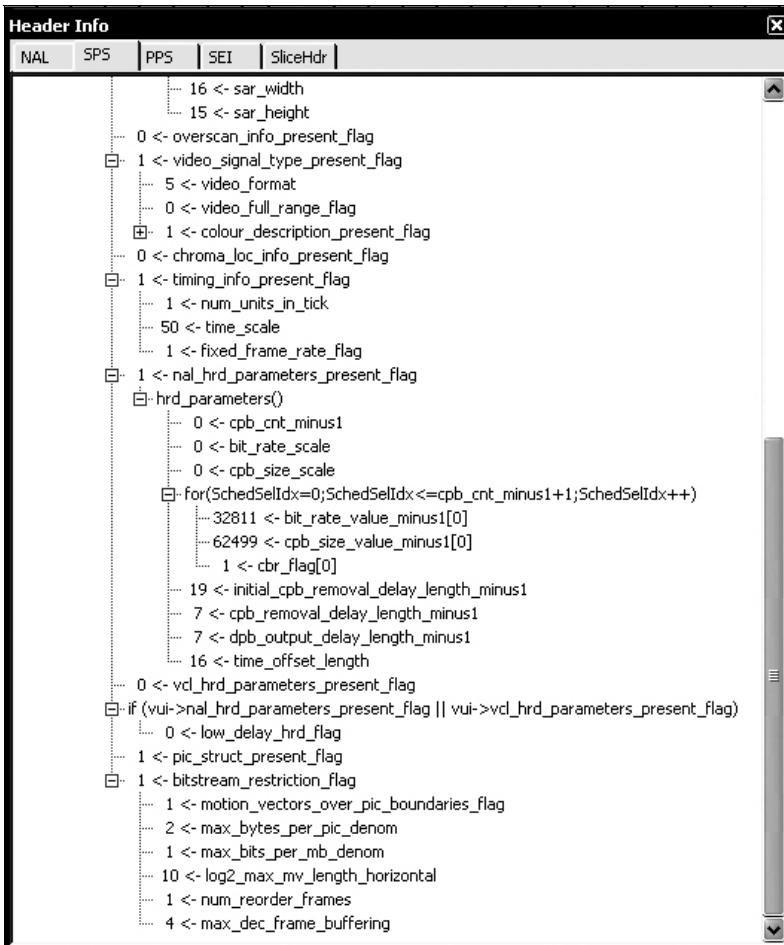


Рис. 4.12. Фрагмент SPS с информацией HRD (получено при помощи программы H264Visa, кодер Elecard)

Третья группа — дополнительная информация SEI (*Supplement Enhancement Information*). Эта информация, как правило, передается перед каждым кадром. В основном она содержит сведения, необходимые для работы буферов декодера (CPB и DPB) для декодирования данного кадра (рис. 4.14).

Четвертая группа — заголовки слайсов (slice header). Она содержит информацию о кодировании текущего слайса.

В слайсах находятся структуры данных, которые содержат информацию о макроблоках, векторах движения и т. п. Мы не будем останавливаться здесь на этой информации. Всем, кто желает узнать больше, рекомендую обращаться непосредственно к стандарту H.264.

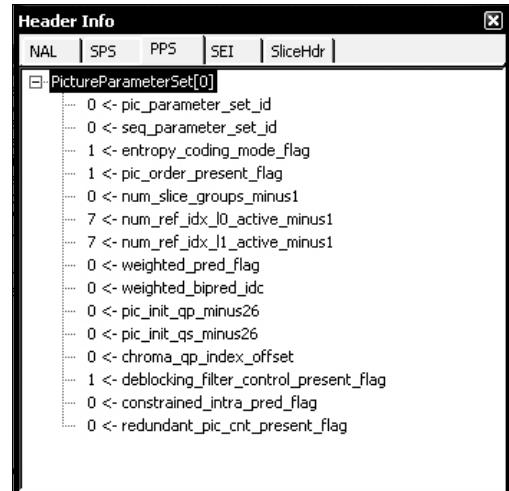


Рис. 4.13. Пример PPS
(получено при помощи программы H264Visa, кодер Elecard)

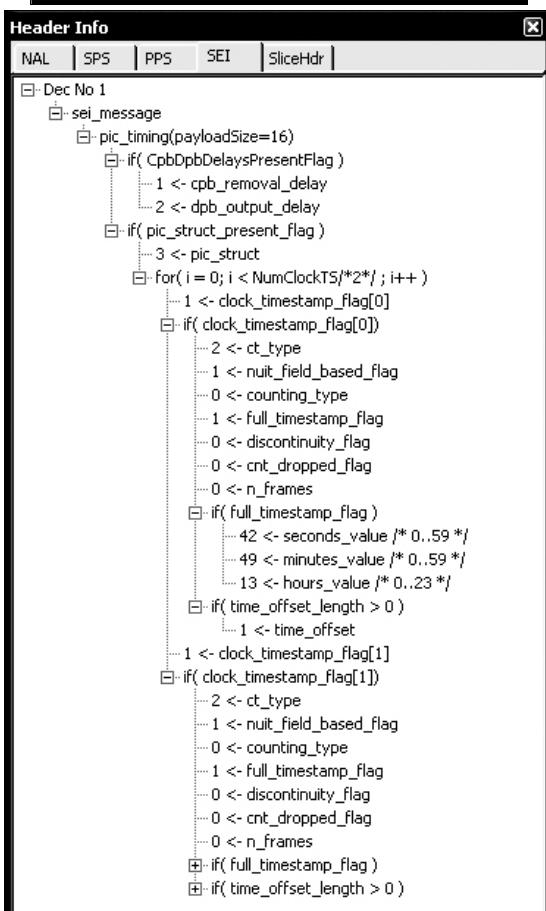


Рис. 4.14. Пример SEI
(получено при помощи программы H264Visa, кодер Elecard)

Давайте в качестве примера рассмотрим, как можно вычислить показания часов кодера, используя информацию SEI для некоторого кадра, приведенную на скриншотах программы H264Visa. Используем формулу D-1 из стандарта ITU-T H.264 разд. D.2.2:

$$\begin{aligned} \text{Показания часов} = & ((hH \times 60 + mM) \times 60 + sS) \times \text{time_scale} + nFrames \times \\ & \times (\text{num_units_per_tick} \times (1 + \text{nunit_field_based_flag})) + \text{time_offset} \end{aligned}$$

Подставляя в эту формулу значения из SPS и SEI (см. рис. 4.12 и 4.14), получаем:

$$\begin{aligned} \text{Показания часов} = & ((13 \times 60 + 49) \times 60 + 42) \times 50 + 0 \times (1 \times (1 + 1)) + 1 = \\ & = 2489101 \end{aligned}$$

Обратите внимание, что поскольку значение time_scale из SPS равно 50, то это значит, что часы кодера "тикают" 50 раз в секунду. Таким образом, разработчик кодера может устанавливать скорость часов самостоятельно, стандарт не указывает, какая она должна быть. Это существенное отличие от MPEG2.

Верхней иерархической структурой NAL является NALU (NAL unit) — блок NAL. NALU может содержать информацию: слайсы, разные виды служебной информации, данные набивки, различные маркеры (начала, окончания и т. п.). Каждый NALU содержит один логический блок информации: SPS, PPS, SEI, слайс и т. п. Структура потока NAL видна на рис. 4.11. На этой иллюстрации *AUD* — это *Access Unit Delimiter* — специальный маркер, использующийся для обозначения начала блока данных.

После формирования потока NAL, этот поток разбивается на фрагменты большого размера, снабженные заголовками — пакетизированный элементарный поток PES (точно так же, как это делается с элементарным потоком MPEG2), который затем мультиплексируется в транспортный поток MPEG.

4.7. Программный поток MPEG2

Программный поток предназначен для использования в ситуациях, когда возникновение помех маловероятно. Например, при записи на DVD, поскольку информация, записанная на DVD, не подвержена значительным помехам, если этот DVD правильно хранится и используется. В DVB программные потоки не применяются, однако мы упоминаем об их существовании, поскольку иначе не ясно, зачем нужен пакетизированный элементарный поток. Назначение пакетизированного элементарного потока — PES (Packetized Elementary Stream) как раз и состоит в том, чтобы обеспечивать простой обмен информацией между элементарными и программными потоками в MPEG2. Таким образом, пакетизированный поток в цифровом телевидении выглядит весьмаrudimentарно.

4.8. Пакетизированный элементарный поток — PES

Стандарт ISO 13818-1 определяет назначение PES, как "поток, необходимый для преобразования программных и транспортных потоков". Использование этого потока в DVB с технической точки зрения не оправдано, но необходимо с точки зрения совместимости стандартов.

После создания элементарного потока MPEG2 или потока NAL, эти потоки формируют *пакетизированный элементарный поток* (*Packetized Elementary Stream* — *PES*), который затем мультиплексируется в транспортный поток MPEG2. С точки зрения PES элементарные потоки представляют собой поток байт — их синтаксис больше значения не имеет.

В PES может быть упакована не только видео- или аудиоинформация, но также и различная дополнительная информация, например, субтитры, информация электронной программы передач, ESG и т. д.

PES может быть мультиплексирован в программный или транспортный потоки. Несколько потоков PES являются "кирпичиками" для построения транспортных потоков DVB. Например, если транспортный поток сконструирован для передачи сигналов двух телевизионных программ, то в нем будет минимум четыре пакетизированных элементарных потока: видео первой программы, аудио первой программы, видео второй программы и аудио второй программы. В действительности потоков будет больше, но об этом поговорим позже.

Каждый пакет PES начинается с заголовка. Поскольку PES очень широко используются в цифровом телевидении, приведем упрощенное описание заголовка пакета PES (детальное описание см. ISO/IEC 13818-1 разд. 2.4.3.7 "Semantic definition of fields in PES packet").

Тип передаваемой информации обозначается Идентификатором потока (*Stream_id*). Значения *Stream_id* приведены в табл. 4.8. Вид заголовка PES-пакета зависит от значения этого индикатора. В данной книге мы опустим те идентификаторы и описания, которые не используются в цифровом телевидении.

Таблица 4.8. Некоторые значения *Stream_id*, предусмотренные ISO/IEC 13818-1

Значение <i>Stream_id</i>	Описание
10011110	Поток, содержащий одинаковые (как правило нулевые) значения. Используется для дополнения потока с целью получить постоянный битрейт
110xxxxx	Аудиопоток с номером xxxxxx

Таблица 4.8 (окончание)

Значение Stream_id	Описание
1110xxxx	Видеопоток с номером xxxx
11110000	Поток ECM-сообщений системы условного доступа (см. гл. 10)
11110001	Поток EMM-сообщений системы условного доступа (см. гл. 10)
11110010	Поток, содержащий данные DSM-CC (см. гл. 9)
11111001	Поток MPEG-1 согласно ISO/IEC 11172-1
10111111	Пользовательские данные (например, асинхронные данные)

Обратите внимание на значения Stream_id, предназначенные для обозначения потоков видео- и аудиоинформации. Для адресации аудиопотоков отведено 5 бит, что позволяет адресовать 31 аудиопоток. Для адресации видеопотоков отведено 4 бита, что позволяет адресовать 15 видеопотоков. В частности, в записанном на DVD фильме не может быть больше 31 аудиодорожки с переводом, поскольку количество адресуемых аудиопотоков равно 31. В DVB эти номера большой роли не играют, поскольку потоки идентифицируются по номеру PID пакета транспортного потока, о чем будет идти речь в следующей главе. Пример структуры PES приведен в табл. 4.9.

Таблица 4.9. Пример структуры PES потока

Наименование поля	Английское написание	Размер в битах	Описание
Префикс пакета	Packet_start_code_prefix	24	Совместно со следующим полем Stream_id обозначает начало пакета PES. Всегда имеет значение 0x000001
Идентификатор потока	Stream_id	8	Приведен в табл. 4.8. Определяет вид заголовка PES и тип передаваемой информации. В данной таблице представлен вид заголовка только для значений Stream_id, приведенных в табл. 4.8
Длина пакета	PES_packet_length	16	Длина пакета в байтах
Маркер		2	Маркер = 10
Флаг режима скремблирования	PES scrambling control		Флаг = 00, если поток не скремблирован. В противном случае значение устанавливается пользователем (разработчиком)

Таблица 4.9 (окончание)

Наименование поля	Английское написание	Размер в битах	Описание
Приоритет PES	PES priority		Приоритет = 1, если поток обладает высоким приоритетом. Насколько мне известно, эта система приоритезации на практике применения не нашла
Флаг выравнивания	Data alignment indicator		Флаг = 1
Флаг копирайта	Copyright		Флаг = 1, если материал защищен копирайтом
Оригинал или копия	Original or copy		Равен 1, если оригинал
Флаг наличия PTS	PTS flag	1	Флаг = 1, если далее будет PTS (в нашем примере это так)
Флаг наличия DTS	DTS flag	1	Флаг = 1, если дальше будет DTS (в нашем примере это так)
Не используется в DVB		14	Здесь располагаются поля, которые не используются в DVB
Маркер		4	Маркер = 0011
Презентационный временной штамп	PTS	36	PTS первого кадра, передаваемого в PES (см. разд. 4.3). Формат представления PTS см. документ ISO 13818-1 разд. 2.4.3.7
Маркер		4	Маркер = 0001
Временной штамп декодера	DTS	36	DTS первого кадра, передаваемого в PES (см. разд. 4.3). Формат представления DTS см. документ ISO 13818-1 разд. 2.4.3.7
Данные	PES_packet_data_byte		Собственно данные, которые передаются в потоке (например, элементарный поток)

Маркеры в синтаксисе нужны для того, чтобы предотвратить совпадения, когда значение префикса пакета может случайно встретиться в полезной нагрузке этого пакета. Анализ наличия маркеров при приеме потока сводит к минимуму неправильное отождествление начала PES.

Следует отметить, что в случае если PES используется для создания транспортного потока, то информация о типе потока содержится также в секциях PSI (Program System Information) транспортного потока. Таким образом, сведения о типе потока некоторым образом дублируются: они есть и в PES и в транспортном потоке. Это необходимо, поскольку PES может быть как вклю-

чен в транспортный поток, так и исключен из него и при этом информация не должна потеряться. Это, например, происходит в абонентской приставке DVB в процессе демультиплексирования транспортного потока, когда вы выбираете канал для просмотра. При таком исключении информации о типе потока не должна потеряться, поскольку после исключения поток должен быть правильно обработан, а следовательно нужно знать его тип.

В случае если в PES находится NAL H.264, то для счета времени декодирования и презентации каждого кадра может быть использованы поля PTS и DTS заголовка PES.

Если PES применяется для передачи данных, то он может иметь структуру, определенную стандартом DVB-DATA (ETSI EN 301192). Эта структура называется *структурой данных PES* и подробнее рассматривается в разд. 9.5.

После того как из элементарного потока или потока NAL сформирован поток PES, этот поток PES мультиплексируется с другими PES данного сервиса. Например, элементарными потоками видео и звука. В результате получается транспортный поток сервиса. В цифровом телевидении кодеры видео и аудио редко используются по отдельности, обычно это одно устройство (кодер сервиса), на выходе которого — транспортный поток с видео, звуком и PCR данного сервиса.

Транспортные потоки, содержащие отдельные сервисы, передаются на мультиплексор, который включает их в состав транспортного потока MPEG2 мультиплекса наряду с другими потоками.



ГЛАВА 5

Транспортный поток MPEG2

5.1. Общие сведения

Сокращенно транспортный поток MPEG2 именуется MPEG2 TS или просто TS.

Транспортный поток предназначен для использования в системах связи, где в процессе передачи могут возникать ошибки. Радиоэфир с его помехами является как раз такой системой связи.

Как следует из названия, транспортный поток MPEG2 предназначен для транспортировки данных. Транспортный поток является байтовым потоком, т. е. наименьшая структурная единица потока — байт (а не бит). Транспортный поток является пакетным потоком — он состоит из пакетов длиной 188 байт. Такой размер пакета выбран для обеспечения совместимости с технологией ATM (некоторое время назад ATM рассматривалась как конкурент Ethernet).

Описание синтаксиса и семантики транспортного потока приводится в ISO/IEC 13818-1 "Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems" ("Информационные технологии — Общие принципы кодирования движущихся изображений и соответствующей аудиоинформации: Системы"). Область применения ISO/IEC 13818-1 показана на рис. 5.1. Дополнительные сведения о транспортном потоке, используемом в DVB, также можно найти в стандарте ETSI EN 300 468 "Digital video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems" и других стандартах ETSI.

Устройство, формирующее транспортный поток MPEG2, называется *кодером транспортного потока*. Устройство, которое принимает и обрабатывает транспортный поток — *декодером транспортного потока*. Декодер транс-

портного потока декодирует только один сервис одновременно. Это очень важно понимать. Не путайте кодер и декодер транспортного потока с кодером и декодером видео и аудио.

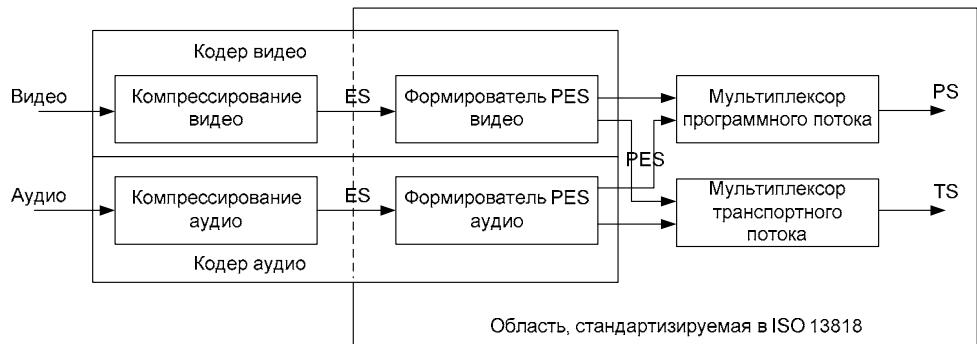


Рис. 5.1. Область применения ISO 13818-1

Для кодера и декодера транспортного потока необходима синхронизация, аналогичная кодеру-декодеру изображения и звука (см. разд. 4.3). Такая синхронизация выполняется при помощи *PCR* — Program Clock Reference (временной штамп программных часов). PCR выполняет такую же функцию для кодера-декодера транспортного потока, как PTS/DTS для элементарного потока MPEG2.

Процесс создания транспортного потока из нескольких пакетизированных элементарных потоков (PES) называется *мультиплексированием*. В дальнейшем в этой главе мы будем употреблять слово "элементарный поток" в значении "пакетизированный элементарный поток".

При мультиплексировании элементарные потоки могут браться из других транспортных потоков. Здесь аналогия с обычным городским транспортом может быть уместна — транспортные потоки напоминают поезда метро, а PES — пассажиров, которые едут на этих поездах и могут пересаживаться с одного на другой.

Выход кодера какого-нибудь сервиса (*кодера сервиса*) является мультиплексированным транспортным потоком, поскольку телепрограмма состоит из видео и звука и значит, как минимум, из двух элементарных потоков. К этим двум потокам добавляется еще поток PCR, о котором мы будем говорить далее.

В итоге, транспортный поток, составляющий мультиплекс, мультиплексируется из множества элементарных потоков, взятых из транспортных потоков, сгенерированных кодерами сервисов. При этом информация PCR сохраняется для каждого сервиса.

В случае если транспортный поток при мультиплексировании меняется незначительно, иногда говорят о *ремультиплексировании*. Например, операция удаления из транспортного потока одной программы с коррекцией PSI/SI вполне можно назвать ремультиплексированием. Иными словами, ремультиплексирование — это коррекция транспортного потока.

В зависимости от того, сколько программ (сервисов) находится в транспортном потоке, различают *однопрограммный транспортный поток (SPTS — Single Program Transport Stream)* и *многопрограммный транспортный поток (MPTS — Multi Program Transport Stream)*.

Можно также сказать следующее: в кодере сервиса происходит создание SPTS, а в мультиплексоре — MPTS (рис. 5.2).

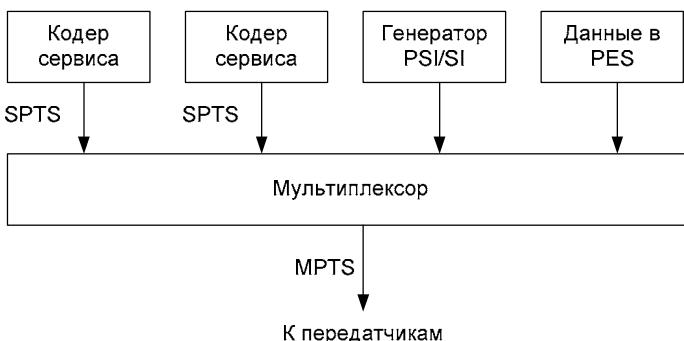


Рис. 5.2. Формирование многопрограммного транспортного потока

Транспортный поток получается путем мультиплексирования элементарных потоков (PES), содержащих информацию различных телевизионных программ, а также иную информацию (телетекст, обновления программного обеспечения тюнеров, EPG, ESG и т. п.) и служебную информацию, которая содержит сведения о самом транспортном потоке (*SI — System Information*) и о передаваемых в потоке сервисах (*PSI — Program Specific Information*). Совместно эта информация называется *PSI/SI*.

SPTS обычно содержит сокращенный набор PSI/SI и не предназначен для использования напрямую для создания мультиплекса. Если подать SPTS на модулятор передатчика, то, скорее всего, произойдет ошибка (это будет зависеть от программного обеспечения модулятора). MPTS наоборот содержит полную информацию, необходимую для абонентского устройства, и может быть подан на модулятор.

Состав таблиц PSI/SI, которые используются в цифровом телевидении, частично определяется стандартом MPEG2, а частично — стандартами DVB (см. в частности ETSI EN 300 468 "Digital video Broadcasting (DVB);

Specification for Service Information (SI) in DVB systems"). Каждая из таблиц содержит поля с информацией и дескрипторы (descriptors). Дескрипторы — это особым образом оформленные небольшие объемы информации описательного характера.

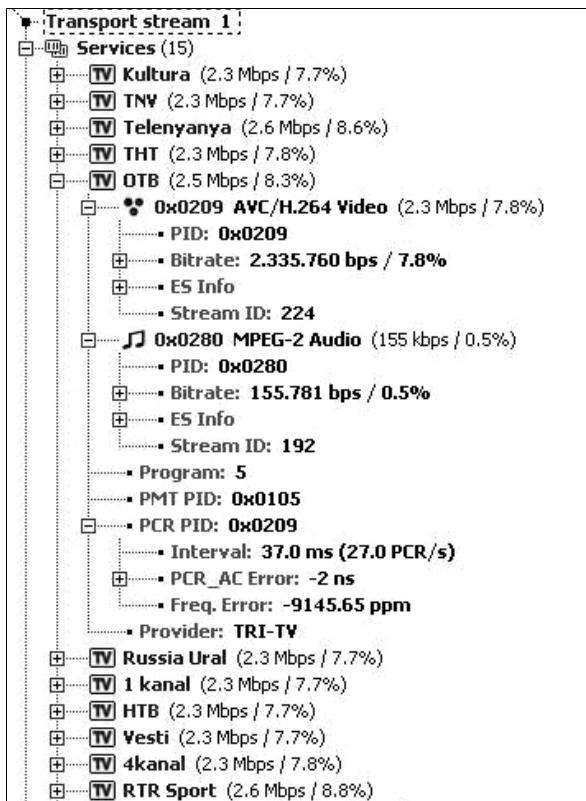


Рис. 5.3. Пример иерархической структуры сервисов транспортного потока, полученный при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия). PSI/SI не показана

В новейшей модернизации стандарта цифрового телевидения DVB-T2 наряду с транспортным потоком MPEG2 используется также *транспортный поток общего назначения* (*Generic Transport Stream*).

Транспортный поток может иметь постоянную и переменную скорости передачи информации. И в том и другом случае, элементарные потоки, составляющие транспортный поток, могут иметь переменную и постоянную скорость.

Каждый пакет имеет заголовок, содержащий краткую информацию о том, что содержится в этом пакете. Важнейшая часть заголовка — *PID* или *Program*

Identification Number, т. е. идентификатор программы. В дальнейшем мы будем употреблять сокращение PID, поскольку оно получило наибольшее распространение. PID это как бы "цифровой позывной" PES, входящего в состав транспортного потока.

PID имеет длину в 12 бит. Определенный PID маркирует пакеты транспортного потока, содержащие информацию либо одного PES, либо определенной таблицы PSI/SI. Декодер транспортного потока, выбирая из транспортного потока пакеты с определенным номером PID, собирает элементарный поток или таблицу PSI/SI.

Например, пакеты с PID 145 содержат PES с NAL H.264 видео телевизионного канала HTB, а пакеты с PID 146 — PES со звуковым сопровождением.

Рассмотрим пример на рис. 5.3. На нем изображена часть структуры сервисов транспортного потока действующей DVB-станции. Данное изображение получено при помощи программы StreamXpert голландской компании Dektec (www.dektec.com). Мы видим, что в показанном транспортном потоке имеется 15 сервисов. Один из них (телевизионная программа OTB) для наглядности показан в развернутом виде. Этот сервис состоит из трех элементарных потоков: NAL H.264 на PID = 0x0209, звук MPEG-2 на PID = 0x0280 и поток PCR на том же PID, что и видео. Программа OTB имеет порядковый номер "5".

Не все PID можно использовать свободно. Стандарт ISO 13818-1 резервирует некоторые PID для передачи служебной информации (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Значения PID по ISO 13818-1

Значение PID	Описание
0x0000	Таблица распределения программ (Program Allocation Table или PAT)
0x0001	Таблица условного доступа (Conditional Access Table или CAT)
0x0002	Таблица описания транспортного потока (Transport Stream Description Table или TS DT)
0x0003—0x000F	Зарезервировано
0x0010—0x1FFE	Эти номера могут использоваться для потоков, таблиц и т. п. Могут содержать PCR. Часть этих чисел используется для нумерации специфических таблиц DVB
0x1FFF	Поток нулевых значений

Поток нулевых значений используется как балласт для того, чтобы обеспечить постоянный битрейт транспортного потока. Это поток переменной скорости, скорость его равна разнице между суммой скоростей всех PES плюс

потоков PSI/SI и фиксированной скоростью транспортного потока, которую необходимо обеспечить.

Кроме этого, некоторые значения PID резервируются стандартами DVB, эти значения приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Значения PID для дополнительных таблиц DVB, определенные стандартом ETSI EN 300468 "Digital Video Broadcasting (DVB): Specification for Service Information (SI) in DVB systems"

Значение PID	Описание
0x0010	Таблицы NIT, ST
0x0011	Таблицы SDT, BAT, ST
0x0012	Таблицы EIT, ST
0x0013	Таблицы RST, ST
0x0014	Таблицы TDT, TOT, ST
0x0015	Поток, использующийся для синхронизации сети
0x0016	Таблица RNT
0x0017—0x001B	Зарезервировано
0x001C	Дополнительная информация для управления и контроля
0x001D	Служебный поток, использующийся для производства измерений
0x001E	Таблица DIT
0x001F	Таблица SIT

Заголовок пакета транспортного потока содержит циклический счетчик, который очень удобно использовать для анализа целостности потока. Помимо полезной нагрузки (т. е. PES), пакет содержит так называемое *поле адаптации*, которое имеет важное значение при передаче данных, не связанных с видео- и аудиоинформацией. Поле адаптации также используется для передачи PCR (см. разд. 5.2).

Полностью синтаксис пакета приводится в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Синтаксис пакета транспортного потока MPEG2

Наименование поля	Английское написание	Размер в битах	Описание
Синхробайт	Synch byte	8	Всегда равен '0100 0111' (0x47). Служит индикатором начала пакета

Таблица 5.3 (продолжение)

Наименование поля	Английское написание	Размер в битах	Описание
Индикатор ошибки TS	Transport error indicator (сокращенно — TEI)	1	Однобитный флаг, который показывает, есть ли в пакете хотя бы одна неустранимая ошибка. Предполагается, что этот флаг устанавливает некая внешняя подпрограмма, анализирующая ошибки. Таким образом, этот флаг как бы маркирует качественные и некачественные пакеты. Если значение равно 1, это означает, что пакет содержит хотя бы одну ошибку
Индикатор наличия начала полезной нагрузки	Payload unit start indicator	1	Если пакет содержит PES-поток, то: 1 означает, что в этом пакете начнется новый пакет PES-потока, 0 — что в текущем пакете TS не начинается пакет PES. Если пакет содержит таблицы PSI, то: 1 означает, что в этом пакете содержится первый байт секции PSI, 0 означает, что не содержится. Для остальных типов нагрузки значение этого бита не определено
Приоритет	Transport priority	1	Если бит равен 1, то передаваемое содержимое имеет более высокий приоритет по сравнению с другим содержимым, передаваемым с тем же PID
Идентификатор номера программы (PID)	Program identification number	13	Важнейшее поле. Число, содержащееся в этом поле, означает номер передаваемого в пакете потока или иного содержимого, как бы его "позвынной сигнал"
Индикатор скремблирования потока	Transport scrambling control	2	00 — если поток не скремблирован, остальные значения не определены и могут использоваться для различных целей, определяемых пользователем. Если поток скремблирован, то заголовок пакета TS не должен быть скремблирован. Возможный вариант значений: 10 — для скремблирования содержимого этого пакета используется четный ключ (even key); 11 — используется нечетный ключ (odd key). Подробнее о ключах и скремблении в DVB см. гл. 10
Индикатор поля адаптации	Adaptation field control	2	00 — зарезервировано; 01 — в пакете только полезная нагрузка без поля адаптации; 10 — в пакете только поле адаптации без полезной нагрузки; 11 — в пакете поле адаптации, за которым следует полезная нагрузка

Таблица 5.3 (окончание)

Наименование поля	Английское написание	Размер в битах	Описание
Циклический счетчик	Continuity counter, сокращенно обозначается CC	4	Циклический счетчик, который считает пакеты, имеющие один и тот же PID. Значение его меняется от 0 до 15. После 15 счетчик сбрасывается опять в 0. Непрерывно анализируя значение этого счетчика в декодере, можно понять, сколько пакетов каждого PID "пропало" по дороге от кодера до декодера (например, из-за помех при передаче через эфир). Например, если для потока с PID = 202 после пакета с номером 9 был получен пакет с номером 11, то ясно, что один пакет (с номером 10) был утерян при передаче. Подобным же образом позволяет отследить, если пакет был доставлен дважды
Поле адаптации или полезная нагрузка	Adaptation field or data bytes		Полезная нагрузка или поле адаптации (см. далее)

5.2. PCR — временной штамп программных часов

Как отмечалось в разд. 5.1, существуют кодер и декодер транспортного потока. *Кодер* — это устройство, формирующее транспортный поток определенной скорости, а *декодер* — это устройство, которое этот поток принимает и обрабатывает. В стандарте ISO 13818-1 существует стандартная модель декодера транспортного потока, которая называется T-STD. В дальнейшем мы подробнее рассмотрим эту модель, а пока нам необходимо понимать, что подобно кодерам и декодерам видео, кодеру и декодеру транспортного потока необходима синхронизация. Необходимость синхронизации связана с тем, что при прохождении сигнала через канал связи, битрейт может меняться. В то же время, скорость работы декодера должна быть равна скорости кодера. Выравнивание скоростей достигается за счет синхронизации часов кодера и декодера (рис. 5.4). При этом часы кодера являются ведущими, а часы декодера — ведомыми. Синхронизация выполняется путем передачи показаний часов кодера на декодер.

Как мы видели в разд. 4.3, для кодеров видео и аудио для передачи показаний часов кодера используется PTS и DTS. Для передачи показаний часов кодера транспортного потока используется *временной штамп программных часов* или *Program Clock Reference* (сокращенно — PCR).

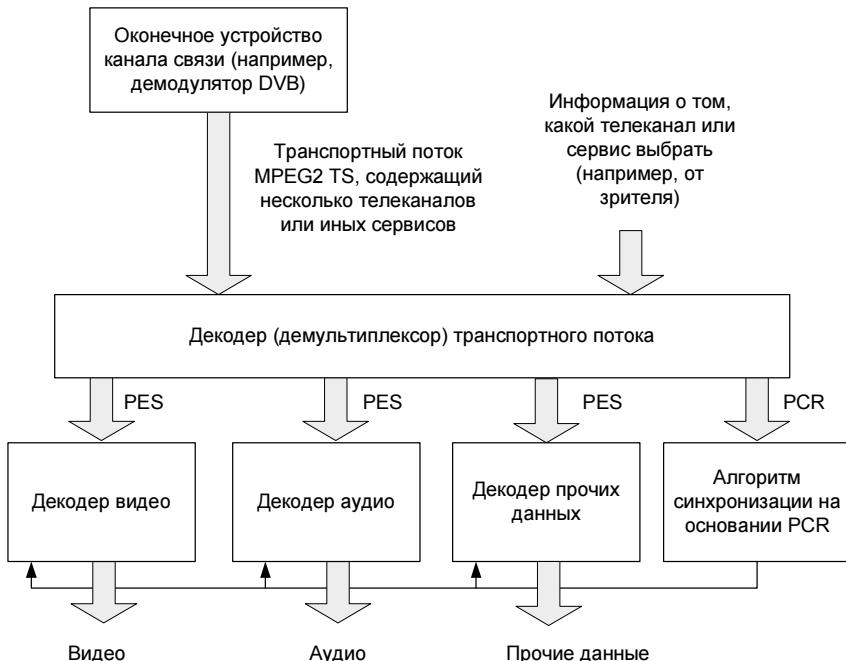


Рис. 5.4. Схема синхронизации кодера и декодера транспортного потока

Как указывалось ранее, декодер транспортного потока декодирует одновременно только один сервис. Поэтому в транспортном потоке должно содержаться столько PCR, сколько сервисов. В SPTS, очевидно, содержится один поток PCR, в MPTS — по количеству сервисов.

PCR генерируется кодером транспортного потока, входящего в состав кодера сервиса. Таким образом, декодер синхронизируется к тому PCR, который принадлежит сервису, декодируемому в данный момент.

Согласно стандарту MPEG2 часы кодера "идут" с тактовой частотой 27 МГц (± 810 Гц), т. е. один "тик" этих часов происходит один раз в 1/27000 000 сек, т. е. примерно один раз в 37 нсек.

Эти часы не имеют минут, секунд, как обычные часы — это просто непрерывный счет "тиков". PCR вычисляется исходя из показаний этих системных часов кодера.

PCR состоит из основной части и базовой части:

$$\text{PCR}(i) = \text{PCR_базовый}(i) \times 300 + \text{PCR_дополнительный}(i)$$

Базовая часть PCR определяется как:

$$\text{PCR_базовый}(i) = ((\text{частота часов} \times t(i)) \text{ DIV } 300) \% \cdot 2^{33}$$

Дополнительная часть PCR определяется как:

$$\text{PCR_дополнительный}(i) = ((\text{частота часов} \times t(i)) \text{ DIV } 1) \% \cdot 300$$

В этих формулах:

- Частота часов равна 27 МГц;
- $t(i)$ — время генерации последнего байта, содержащего поле PCR;
- DIV — целочисленное деление;
- % — остаток от деления.

Обратим сразу внимание, что для величины $t(i)$ не установлен нулевой пункт, т. е. не определено, когда эта величина является нулевой, как например, определено для гражданского счисления времени (0 — это полночь). Таким образом, фактически имеет значение не величина PCR, а разница этих величин:

$$\text{Скорость потока} = ((i_2 - i_1) * \text{частота часов}) / (\text{PCR}_2 - \text{PCR}_1).$$

В этой формуле i_2 и i_1 — номера байтов при последовательном счете, соответствующих PCR_2 и PCR_1 , т. е. $i_2 - i_1$ — это количество байт, переданных в промежуток времени между двумя PCR.

Базовый PCR выражен в 1/300 частоты системных часов. Если мы разделим стандартную частоту системных часов на 300, то получим частоту 90 кГц. Эта частота также широко используется для синхронизации видео при передаче по каналам связи, в частности с использованием протокола RTP. В разд. 1.12 мы говорили о том, что заголовок RTP содержит показания часов в момент генерации пакета. Вот эти "показания часов" и есть базовая часть PCR.

Также обратим внимание, что поле для передачи базовой части PCR имеет разрядность 33 бита, т. е. при частоте системных часов 27 МГц значение этого поля будет повторяться примерно каждые 26 часов. Некоторые разработчики оборудования не преобразуют 27 МГц к 90 кГц при вычислении PCR — в этом случае показания PCR будут повторяться один раз примерно в 318 сек. Обратите внимание, что переход через нулевое значение при обработке потока PCR должен правильно обрабатываться программным обеспечением декодера.

Точность PCR должна быть не хуже, чем ± 500 нсек. Эта точность не включает возможные изменения скорости канала передачи данных (например, джиттеры, потери пакетов и т. п.). Таким образом, такая точность PCR должна обеспечиваться непосредственно на выходе кодера.

Посмотрим на рис. 5.5, изображающий панель контроля параметров PCR, измеренных с помощью программы StreamXpert компании Dektec. На рисунке

показан разброс параметров PCR действующей станции DVB. Мы видим, что распределение отклонений значений от точных (левая нижняя панель) близко к нормальному, а значит, является случайным. Это означает, что в канале связи отсутствуют систематические ошибки, т. е. на разброс отклонений влияют только случайные факторы (это и есть смысл нормального распределения).

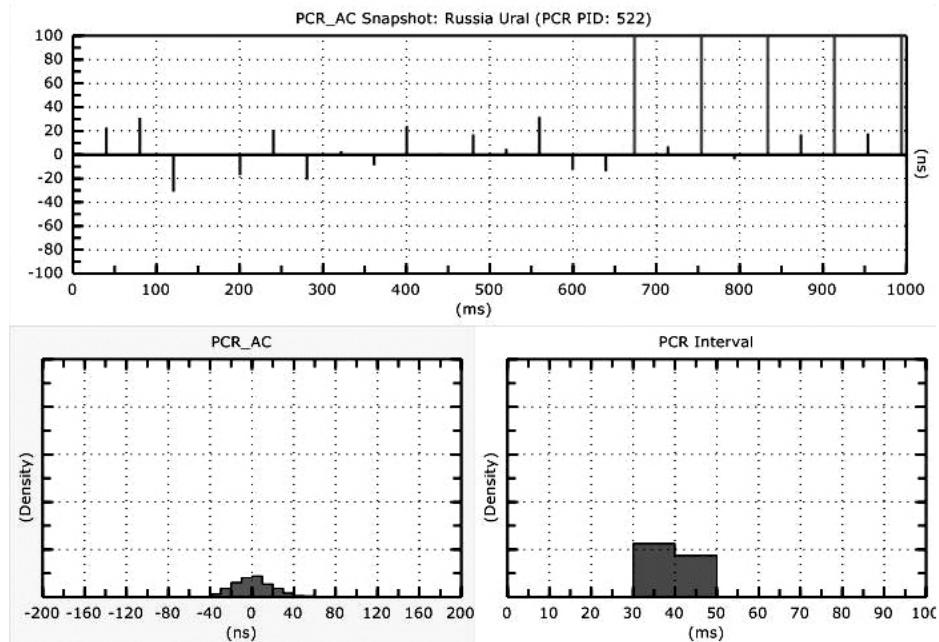


Рис. 5.5. Параметры PCR, измеренные при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия)

На нижнем правом графике изображены интервалы между последовательными значениями PCR. Видно, что эти интервалы располагаются в промежутке 30—50 мсек. Это является допустимым. Наконец, на верхнем графике мы видим ряд последовательных измерений PCR. Из этого ряда следует, что значения отклонений не превышают 100 нсек, что укладывается в разрешенные границы.

При мультиплексировании или ремультиплексировании транспортных потоков возможна операция замены PCR, сгенерированных кодерами сервисов на PCR, сгенерированные мультиплексором. Такая операция называется *перештамповкой PCR (PCR restamping)*. Перештамповка PCR позволяет уменьшить погрешности PCR, которые неизбежно возникнут при мультиплексировании. Тем не менее, хороший мультиплексор не будет вносить в поток изме-

нений, которые приведут к выходу параметров за пределы разрешенных, поэтому эта операция не является обязательной. Но ее желательно выполнять в ситуациях, когда сервис получен мультиплексором, допустим, посредством MPEG over IP.

5.3. Пример: использование поля адаптации для передачи PCR

Приведем пример поля адаптации пакета транспортного потока для случая, когда передается PCR (табл. 5.4, рис. 5.6). Для полной информации смотрите ISO/IEC 13818-1 разд. 2.4.3.4 "Adaptation Field". Существует техническая спецификация цифрового телевидения ETSI TS 102 154, которая дает рекомендации по использованию поля адаптации в DVB, из нее также можно получить информацию по использованию поля адаптации.



Рис. 5.6. Пакет транспортного потока с полем адаптации и без

Таблица 5.4. Структура поля адаптации для случая передачи PCR

Наименование поля	Английское написание	Размер в битах	Описание
Длина поля	Adaptation field length	8	Длина поля адаптации в байтах

Таблица 5.4 (продолжение)

Наименование поля	Английское написание	Размер в битах	Описание
Индикатор отсутствия непрерывности	Discontinuity indicator	1	Если установлен в единицу, то означает, что в следующем пакете для данного PID будет содержаться PCR с новыми данными после изменения времени программных часов кодера. Таким образом, это предупреждение для декодера о том, что со следующим пакетом придется синхронизироваться заново по тому времени, которое придет в этом следующем пакете
Индикатор информации для произвольного доступа	Random access indicator	1	Если этот индикатор установлен в 1, то это означает, что в следующем пакете имеется новый логический блок информации. Этот флаг необходим для программного обеспечения, которое будет организовывать произвольный доступ к информации, содержащейся в потоке. В случае с PCR, если это поле установлено в 1, то это означает предупреждение, что ассоциированный поток должен смениться и в следующем пакете придет PCR уже для нового потока, т. е. фактически то же самое, что в предыдущем поле. Это поле рекомендуется устанавливать в 1, если в текущем пакете передается ключевой кадр
Индикатор приоритета элементарного потока	ES priority indicator	1	Если установлен в 1, то показывает, что этот пакет обладает более высоким приоритетом, чем все остальные этого же PID. Может использоваться, например, для обозначения пакета, в котором передается PCR для ключевого кадра или сам ключевой кадр
Флаг наличия PCR	PCR flag	1	Если флаг равен 1, значит, в поле адаптации передается PCR. Это именно случай нашего примера
Флаг наличия OPCR	OPCR flag	1	В DVB не используется
Флаг точки разбивки	Splicing point flag	1	Если флаг равен 1, значит, информация, передаваемая в этом пакете, распределена между несколькими пакетами (разбита на части) и в этом поле адаптации будет содержаться информация о том, как эта разбивка осуществлена
Флаг наличия пользовательских данных	Transport private data flag	1	Если флаг равен 1, значит, поле адаптации содержит пользовательские данные. Подробнее см. в ранее указанном стандарте
Флаг наличия расширения поля адаптации	Adaptation field extension flag	1	Если флаг равен 1, значит, поле адаптации имеет расширенный формат. Подробнее см. в ранее указанном стандарте
Штамп программных часов (PCR), базовая часть	Program clock reference base	33	Поле передается, только если флаг PCR flag равен 1. Содержит базовую часть PCR

Таблица 5.4 (окончание)

Наименование поля	Английское написание	Размер в битах	Описание
Поле не используется	Reserved	6	Поле не используется. Очевидно, авторы стандарта приберегли его на "черный день". Поскольку этот день еще не наступил, пока неизвестно, зачем оно нужно
Дополнительная часть PCR	Program Clock reference extension	9	Дополнительная часть PCR
Нулевые байты	Stuffing bytes		Нулевые байты. Нужны для того, чтобы дополнить пакет до 188 байт, если необходимо

5.4. Модель декодера транспортного потока (T-STD)

Если вы не желаете глубже разобраться в порядке работы декодера транспортного потока, этот раздел можно пропустить без ущерба пониманию дальнейшего материала.

Стандарт ISO/IEC 13818-1 дает описание так называемого "стандартного декодера" транспортного потока MPEG2. Этот стандартный декодер обозначается T-STD и по сути является моделью реального декодера. Хотя в стандарте прямо и не говорится, что декодер должен быть построен именно таким образом.

T-STD является абстрактной моделью, которую, в частности, удобно использовать для измерений правильности работы декодеров. И в первую очередь это модель буферизации информации, а не самого декодирования (рис. 5.7).

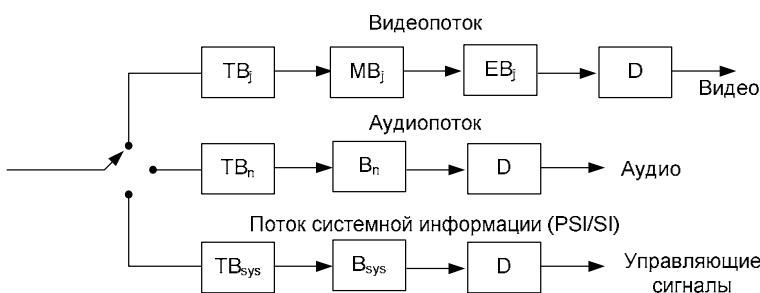


Рис. 5.7. T-STD для MPEG2

Будем считать, что все элементарные потоки, содержащие видео, нумеруются литерами J, а содержащие аудио — литерами N. В этой схеме и в дальнейшем будут использоваться следующие условные обозначения:

- ТВ_J — транспортный буфер (transport buffer) для PES, под номером J (видео);
- МВ_J — буфер мультиплексирования (multiplexing buffer) для PES, содержащих видео;
- ЕВ_J — буфер видеодекодера;
- ТВ_N — транспортный буфер (transport buffer) для PES, под номером N (аудио);
- ЕВ_N — буфер аудиодекодера;
- ТВ_{sys} — транспортный буфер (transport buffer) для PES, содержащих PSI/SI;
- ЕВ_{sys} — буфер декодера таблиц PSI/SI;
- D — декодеры видео, аудио и информации PSI/SI.

Стандартный декодер транспортного потока T-STD декодирует одновременно только один элементарный пакетизированный поток (PES). Биты транспортного потока, содержащие этот PES, попадают в T-STD последовательно, друг за другом.

Сначала пакеты попадают в транспортный буфер, задача которого — "погасить" неравномерности скорости канала передачи данных и скорости транспортного потока. Если поток является видеопотоком, то после транспортного буфера пакеты попадают в буфер мультиплексирования. Задача буфера мультиплексирования — компенсировать задержки в приходе пакетов, вызванные мультиплексированием элементарных потоков. В случае аудио и системной информации необходимости в этом буфере нет, вследствие небольших скоростей этих потоков.

После прохождения транспортного буфера (и буфера мультиплексирования в случае видео) пакеты попадают в буфер декодера. Задача буфера декодера состоит в компенсации задержек, связанных с процессом кодирования. К примеру, в случае видео, пакеты могут поступать не в том порядке, в котором они должны декодироваться. Например, В-пакет приходит раньше, чем I-пакет, необходимый для его декодирования, и этот В-пакет хранится в буфере декодера (см. разд. 4.2).

Если сервис, который декодируется T-STD, содержит поток видео, компрессированного при помощи H.264, то используется расширенная модель T-STD, которая отличается от представленной ранее наличием буфера на выходе декодера видеопотока. Этот буфер называется DPB, и мы упоминали о нем в разд. 4.6.

В случае использования H.264 в элементах SPS NAL передается информация, которая используется для управления работой декодера T-STD. Эта информация называется параметрами HRD, и вы можете найти ее на рис. 4.12. Стандарт предусматривает также режимы работы в том случае, если параметры HRD не передаются (см. Приложение "A" к ITU-T H.264).

Передача данных из буфера транспортного потока ТВ в буфер мультиплексирования MB осуществляется с постоянной скоростью R_{x_n} , которая равна 0, если ТВ пуст, а в случае, если ТВ не пуст — зависит от выбранного уровня и профиля кодирования (в случае MPEG2).

Размер буфера транспортного потока ТВ фиксирован и равен 512 байт. Динамика заполнения буферов М и В (по материалам компании Rohde & Schwarz) показана на рис. 5.8 и 5.9.

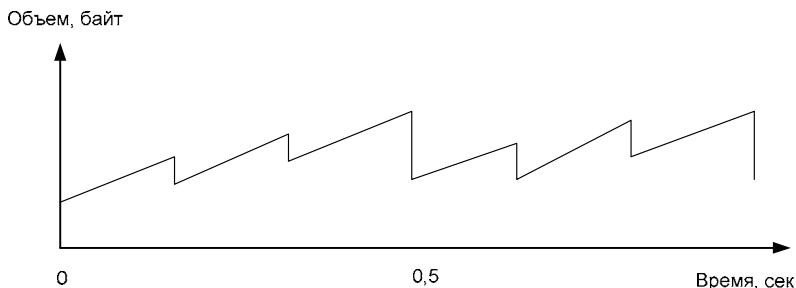


Рис. 5.8. Динамика заполнения буфера E_b

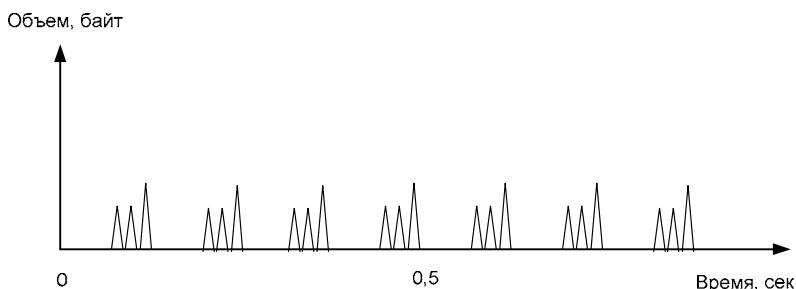


Рис. 5.9. Динамика заполнения буфера M_b

Ввод видеоданных в ТВ осуществляется в соответствии со скоростью потока, определяемой PCR. Далее, передача данных из MB в EB может осуществляться несколькими методами (для MPEG2).

Метод утечки (Leak Method). Подобно описанному методу передачи между ТВ и MB используется постоянная скорость, зависящая от уровня и профиля

кодирования. Для кодирования в MPEG2 подробнее см. ISO/IEC 13818-1 разд. 2.4.2.3 и ISO/IEC 13818-2 табл. 8.13. Метод утечки используется в случае, если:

- STD-дескриптор для данного элементарного потока отсутствует в таблице PMT;
- STD-дескриптор присутствует и флаг leak_valid установлен в 1;
- STD-дескриптор присутствует, флаг leak_valid установлен в 0 и поле vbv_delay имеет значение 0xFFFF;
- выбран режим подстройки (trick mode). Подробнее см. ISO/IEC 13818-1 разд. 2.4.3.6. Режим подстройки (trick mode) предназначен для особой работы декодера в паре с буфером, предназначенный для обработки режимов замедленной передачи видео и т. п. Основным образом этот режим предназначен для работы с видеозаписывающими устройствами и в DVB не употребляется.

Метод vbv_delay. При использовании этого метода определяется точная скорость передачи информации, которая передается от МВ к ЕВ. Для этого используется значение поля vbv_delay, определяющего промежуток времени между посылками. Этот режим используется, если значение поля vbv_delay, передаваемого в STD-дескрипторе, не имеет значение 0xFFFF и не установлен флаг leak_valid.

При использовании H.264, если в NAL отсутствуют параметры HRD, это приводит к форсированию использования метода утечки.

В случае обработки видеопотока, при изменении скорости входного потока, буфер может как переполниться (*overflow*), так и "недополниться" (*underflow*). И то и другое событие считается ошибкой. Однако если мы установим флаг low_delay в расширении видеопоследовательности (подробнее см. разд. 6.2.2.3 ISO/IEC 13818-2), то недополнение буфера ошибкой считаться не будет.

Вы можете наблюдать ситуации недополнения буфера, когда на абонентском приемнике изображение "застывает" при пропадании входного потока с телепрограммами. Для того чтобы это было возможно, при недополнении буфера, информация о последнем переданном кадре не удаляется из буфера и копируется на декодер видео до тех пор, пока входной поток не восстановится, т. е. декодер все время декодирует один и тот же кадр видеопоследовательности.

При противоположной ситуации, т. е. при переполнении буфера, можно наблюдать, как изображение "перескакивает" с картинки на картинку, часть кадров как бы оказывается пропущенной.

Аудиоинформация передается от транспортного буфера в буфер декодера с постоянной скоростью, зависящей от количества передаваемых каналов

(подробнее см. разд. 2.4.2.3 ISO/IEC 13818-1). Размер буфера ТВ для аудиопотоков также зависит от количества каналов. Для двух каналов (т. е. режим стерео) размер буфера равен 3584 байт.

В буфер системной информации направляются пакеты с PID 0, 1, 3 (т. е. содержащие SI), пакеты с нулевыми байтами, пустые пакеты и т. п. При передаче из TB_{sys} в EB_{sys} также используется постоянная скорость. Буфер системной информации имеет размер 1536 байт.

Некоторые изменения вносятся в архитектуру T-STD для целей декодирования потоков ISO/IEC 14496-3. В основном эти изменения касаются способов исчисления скорости передачи информации между буферами и вычислений размеров буферов. Подробнее см. разд. 2. 11.2 ISO/IEC 13818-1.

5.5. Состав служебной информации PSI/SI

Помимо пакетизированных элементарных потоков (PES), содержащих информацию о видео и аудио телепрограмм, а также иные данные сервисов (например, электронную программу передач EPG), транспортный поток MPEG2 TS содержит служебную информацию, которая передается в пакетах, имеющих специально предназначенные PID. Эта информация называется программной и системной информацией (*Program Specific Information/System Information*) или, сокращенно, *PSI/SI*. Структура PSI/SI показана на рис. 5.10.

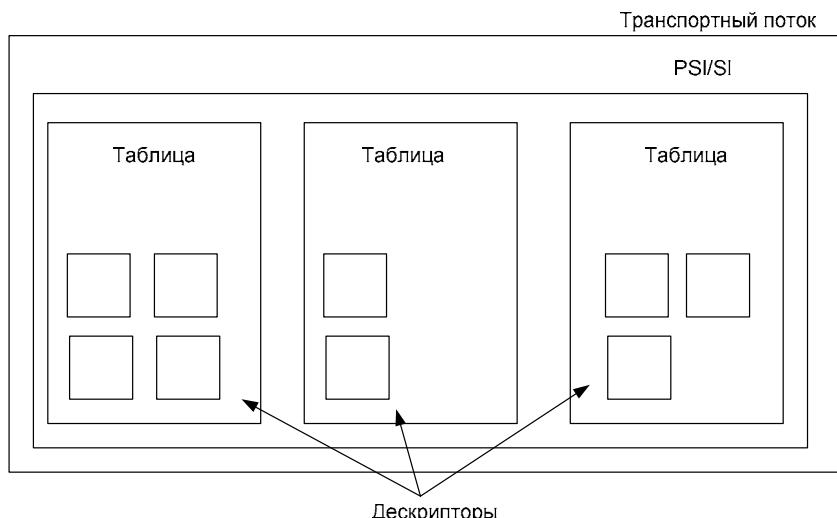


Рис. 5.10. PSI/SI и дескрипторы

PSI/SI организована в виде таблиц (табл. 5.5). Основное назначение этих таблиц — передавать декодирующему устройству информацию о составе телевизионных программ, которые передаются в потоке, о наличии систем условного доступа (скремблирования), о сети связи, используемой для передачи, о наличии дополнительной информации (EPG, ESG, различные данные), сигналы точного времени и иные сведения, необходимые для декодирования потока и предоставления услуг зрителю.

Часть таблиц определяется стандартом ISO/IEC 13818-1 в рамках определения транспортного потока MPEG2 TS, а часть стандартом DVB ETSI EN 300468 "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems".

Таблицы, определяемые стандартом DVB, применяются только в том случае, если TS используется для передачи сигналов цифрового телевидения стандарта DVB.

Каждая из таблиц содержит *дескрипторы* (*descriptors*). Дескрипторы — это особым образом оформленные небольшие объемы информации описательного характера. Дескрипторов определено около полусотни. Некоторые из них предназначены для использования только в определенных таблицах, а некоторые могут появляться в таблицах разного типа.

Таблица 5.5. Основные таблицы PSI/SI DVB

Сокр. название таблицы	Название таблицы	Английское название таблицы	PID	Описание
PAT	Таблица размещения программ	Program Allocation Table	0x00	Определяется ISO/IEC 13818-1. Содержит информацию о сервисах, присутствующих в транспортном потоке. В этой таблице указывается PID таблицы PMT для каждого сервиса. PAT может быть только одна в каждом TS
PMT	Таблица сборки программ	Program Map Table	Опреде- ляется в PAT	Определяется ISO/IEC 13818-1. Содержит информацию о PID потоков, входящих в состав каждого сервиса. Таблиц PMT в потоке TS столько, сколько сервисов. PID PMT для каждого сервиса указывается в PAT
CAT	Таблица условного доступа	Conditional Access Table	0x01	Определяется ISO/IEC 13818-1. Содержит информацию об используемых системах условного доступа
TSDT	Таблица описания транспортного потока	Transport stream description table	0x02	Определяется ISO/IEC 13818-1. Содержит дескрипторы TS, определяющие режим работы декодеров

Таблица 5.5 (окончание)

Сокр. название таблицы	Название таблицы	Английское название таблицы	PID	Описание
NIT	Таблица сетевой информации	Network Information Table	0x10	Определяется ETSI EN 300468. Содержит информацию о сети связи. Например, идентификатор сети связи
SDT	Таблица описания сервиса	Service Description Table	0x11	Определяется ETSI EN 300468. Содержит дополнительные сведения о сервисе, которые могут быть пред- ставлены абоненту
EIT	Таблица событий	Event Information Table	0x12	Определяется ETSI EN 300468. Используется для передачи элек- тронного гида программ (EPG)
TDT	Таблица времени и даты	Time and Date Table	0x14	Определяется ETSI EN 300468. Содержит данные о точном времени
TOT	Таблица временного пояса	Time Offset Table	0x14	Определяется ETSI EN 300468. Содержит данные о часовом поясе и времени перехода с летнего на зим- нее время
RST	Таблица статуса	Running Status Table	0x13	Определяется ETSI EN 300468. Таблица статуса сервиса (например, работает сервис или остановлен)
ST	Таблица набивки	Stuffing Table	0x14	Определяется ETSI EN 300468. Содержит сведения о байтах набивки
BAT	Таблица букета	Bouquet Association Table	0x11	Определяется ETSI EN 300468. Содержит сведения о букетах (группах сервисов)

Как видно, некоторые таблицы передаются в пакетах, имеющих один и тот же PID. Как же тогда декодер PSI/SI их различает? Каждая таблица в своем составе имеет *Идентификатор таблицы* (Table_id). Отличие Идентификатора таблицы от PID состоит в том, что PID маркирует пакет транспортного потока, который переносит таблицу, а Идентификатор таблицы — тип переносимой таблицы (табл. 5.6).

Например, таблицы NIT могут быть действующими или прочими и передаются в пакете транспортного потока, маркованного одним PID. Идентификатор таблицы позволяет отличать один тип таблицы от другого.

Например, таблица NIT может передаваться в пакетах TS, имеющих PID = XXXX, но при этом если table_id = 0x40, то передается действующая NIT, а

если `table_id` = 0x41, то прочая NIT. Возможные значения `table_id` приводятся в стандартах DVB. `Table_id` может использоваться не только для маркировки PSI/SI, но и для других целей. Например, для маркировки секций MPE-FEC (см. разд. 9.6).

Таблица 5.6. Значения `table_id`

Название таблицы	Table_id
PAT	0x00
CAT	0x01
PMT	0x02
TSDT	0x03
NIT actual	0x40
NIT other	0x41
SDT actual	0x42
SDT other	0x46
BAT	0x4A
EIT actual	0x4E
EIT other	0x4F
TDT	0x70
RST	0x71
TOT	0x73
ST	0x72

Таблицы EIT, NIT и SDT могут разделяться на действующие (*actual*) и прочие (*other*). Действующие отличаются от прочих тем, что передают сведения, относящиеся к данному транспортному потоку, а прочие — к какому-либо другому. Таким образом, транспортный поток может содержать несколько NIT — одну "свою" и остальные — других потоков.

Тремя "самыми главными" таблицами являются NIT, PAT и PMT (рис. 5.11). Если в потоке по какой-либо причине отсутствуют первые две из них, то абонентское устройство не увидит потока. Если отсутствует PMT, то абонентское устройство не увидит сервиса, который эта PMT описывает.

NIT — это специфическая таблица, использующаяся только в DVB. Если транспортный поток предназначен для передачи по сетям передачи данных, то она, как правило, не используется.

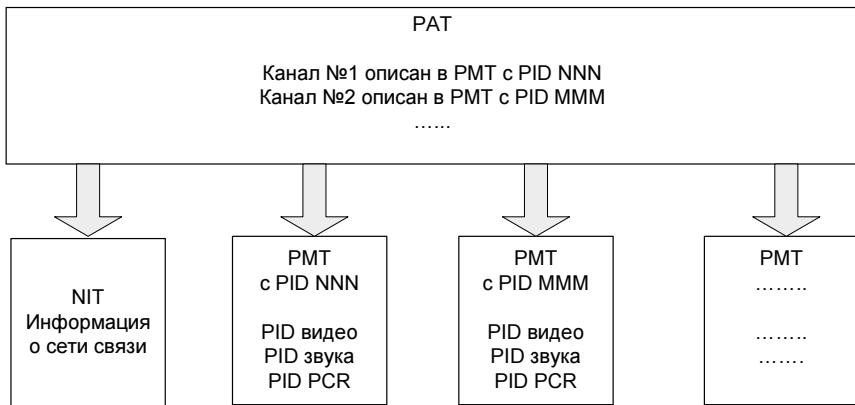


Рис. 5.11. PAT, NIT и PMT

SPTS как правило содержит только PAT и PMT. MPTS — минимум NIT, PAT и набор PMT для каждого сервиса. Если подать на модулятор поток MPTS без NIT, то скорее всего, модулятор этот поток не увидит. Словом, наличие NIT — это признак того, что транспортный поток предназначен для вещания через эфир.

Помимо NIT, PAT и PMT остальные таблицы можно считать вспомогательными. Для цифрового телевидения, тем не менее, важно наличие SDT, поскольку абонентские устройства используют информацию из SDT для предоставления абоненту описания сервиса.

Таблицы могут адресовать другие таблицы. Например, в PAT содержатся ссылки на PMT.

Вспомогательные таблицы не имеют ссылок из PAT или на PAT, они ссылаются на конкретные PID или просто переносят информацию без ссылок. К примеру, в таблице TDT содержатся сведения о времени, для чего, очевидно, никакой PID в самой таблице указывать не нужно. Декодер транспортного потока найдет TDT по значению table_id и декодирует ее содержимое.

Несколько сервисов могут быть объединены в *букеты сервисов*. Например, по тематике. Каким образом сервисы объединяются в букеты, описывается в таблице букетов — BAT.

Каждая таблица начинается с заголовочной части, за которой следует "полезная нагрузка" в виде данных, дескрипторов и т. п.

Давайте рассмотрим пример на рис. 5.12. Мы видим, что в потоке имеется 15 сервисов, которые показаны в свернутом виде, и 7 различных таблиц PSI/SI. При этом таблица TDT показана для примера в развернутом виде. Мы видим, что эта таблица передается в пакетах транспортного потока, имеющих

PID = 20 (0x14), а сама таблица имеет table_id = 112 (0x70). При этом вся таблица умещается в 8 байт. Версия таблицы равна 0, т. е. содержимое таблицы с момента включения мультиплексора не изменялось. Периодичность передачи таблицы измерена программой Dektec и приведена для наглядности — она составляет 7,1 Гц, т. е. данная таблица PSI/SI передается 7 раз в секунду.

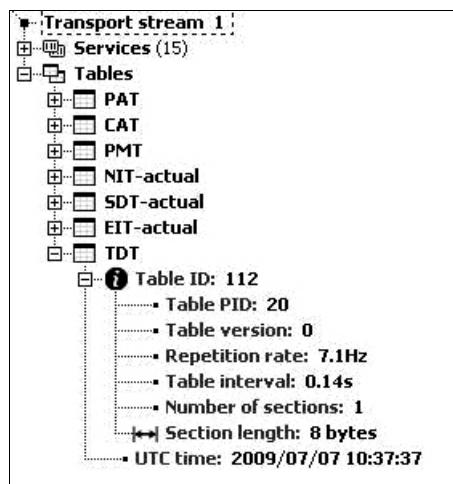


Рис. 5.12. Пример структуры PSI/SI, полученный при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия). Таблица TDT показана в развернутом виде. Сервисы не показаны

Если таблица слишком длинная и не умещается в один пакет транспортного потока, то она может быть разбита на несколько частей, называемых *секциями*. Начало новой секции в пакете обозначается указателем (pointer), который есть байт, указывающий, сколько байт секции последует за ним.

В случае если в данном пакете TS начинается новая секция, тогда поле *Индикатор начала полезной нагрузки* (*Payload Unit Start Indicator*) в заголовке этого пакета должно быть установлено в 1 и первый же байт полезной нагрузки должен являться указателем.

Если в данном пакете TS новой секции не начинается, то Индикатор начала полезной нагрузки должен быть установлено в 0 и указатель не используется — в полезной нагрузке передается собственно таблица.

В случае несовпадения длины таблицы и пакета TS для "добивки" могут использоваться нулевые байты (*Stuffing Bytes*).

Следует подчеркнуть, что большинство параметров PSI/SI устанавливается инженерами, которые обслуживают мультиплексор, т. е. ответственность за правильность тех или иных значений, указанных в таблицах, лежит на технических специалистах телевизионной станции. В программном обеспечении

мультиплексора обычно присутствует редактор таблиц PSI/SI транспортного потока, который и используется для создания и внесения изменений в PSI/SI.

5.6. Таблица размещения программ (PAT)

Таблица размещения программ (Program Allocation Table — PAT) содержит информацию о том, какие сервисы имеются в транспортном потоке (табл. 5.7). Каждый сервис получает свой номер (идентификатор). Каждому из идентификаторов ставится в соответствие номер таблицы сборки программ (PMT), в которой содержится более подробная информация о каждом сервисе. Проще говоря, PAT содержит информацию вида "в этом транспортном потоке есть программа (сервис) с номером N, информацию о котором нужно искать в таблице PMT с PID = XXX", "в этом транспортном потоке есть программа (сервис) с номером M, информацию о котором нужно искать в таблице PMT с PID = YYY" и т. д.

Таблица PAT всегда имеет PID = 0x00. В каждом транспортном потоке может быть только одна таблица PAT.

Таблица 5.7. Синтаксис PAT

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Для PAT всегда равен 0x00
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Всегда равен 1
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	1	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD. Из значения этого поля возможно определить количество сервисов N, которое используется далее
Идентификатор транспортного потока	Transport stream ID	16	Идентификатор транспортного потока. Определяется пользователем. Вы устанавливаете эту величину, когда настраиваете мультиплексор. В дальнейшем этот идентификатор будет использоваться для определения совместимости сервисов и для других не менее важных целей

Таблица 5.7 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Зарезервировано	Reserved	2	—
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Идентификатор последовательности обновления	Current-next indicator	1	Идентификатор равен 1 в том случае, если передается таблица PAT, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы. Таким образом, возможно передать новую версию таблицы заранее. В комбинации с полем Номер версии и данным полем можно однозначно определить момент переключения на новую версию таблицы
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции PAT, если PAT разбивается на секции. Номер первой секции равен 0. Номера последующих секций получаются инкрементированием предыдущих
Последний номер секции	Last section number	8	Номер последней секции, если PAT разбита на секции
Начало цикла от 0 до N, где N — количество сервисов			
Номер программы	Program number	16	Номер программы (сервиса), присутствующего в транспортном потоке. Если Номер программы равен 0, то в поле PID сети или PID таблицы PMT передается PID таблицы сетевой информации (NIT). Остальные номера обычно присваиваются по порядку при настройке мультиплексора
Зарезервировано	Reserved	3	Поле всегда равно 1
PID сети или PID таблицы PMT	Network PID или PMT PID	13	Если значение поля "Номер программы" равно 0, то это поле содержит PID таблицы сетевой информации (NIT). В противном случае это поле содержит PID таблицы сборки PMT для данной программы (сервиса). Присвоение PID PMT производится при настройке мультиплексора. Для этих PID должны использоваться только разрешенные значения

Таблица 5.7 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Конец цикла			
Контрольная сумма	CRC_32		

Рассмотрим пример PAT действующей DVB-станции (рис. 5.13). Мы видим, что PAT имеет 15 веток для каждого из 15-ти сервисов плюс одну ветку для определения NIT. Для примера развернуты ветки NIT и ветка программы № 13 (1 Kanal). Для программы 1 Kanal устанавливается PID PMT = 269.

Обратим также внимание на ветку программы под номером 0 (откомментированной как "Defines network PID"). В ней указывается PID = 16. Это PID, на котором передается таблица сетевой информации NIT.

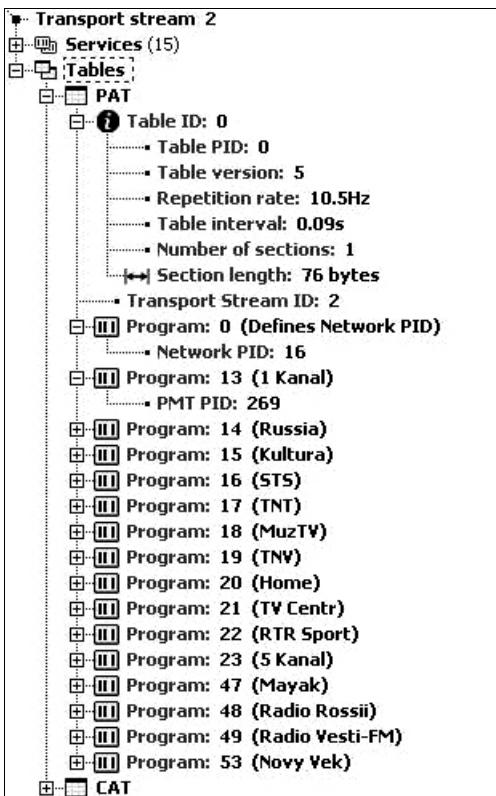


Рис. 5.13. Пример PAT, полученный при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия)

5.7. Таблица сборки программ (PMT)

Таблица сборки программ (Program Map Table — PMT) содержит PID видео, аудио и иной информации, входящих в состав каждой телепрограммы (сервиса). Сколько в транспортном потоке телепрограмм, столько и таблиц PMT (табл. 5.8). Можно сказать, что таблица PMT содержит информацию такого типа: "сервис с номером N содержит видео, передаваемое в пакетизированном элементарном потоке (PES) с PID = XXXX, аудио, передаваемое в PES с PID = YYYY, субтитры с PID = ZZZZ" и т. п.

Номера PID для таблиц PMT устанавливаются при настройке мультиплексора и определяются техническими специалистами компании, эксплуатирующей мультиплексор. Таблица PAT содержит номера всех PMT, которые передаются в транспортном потоке, таким образом, таблица PMT является подчиненной таблицей PAT.

Когда зритель выбирает какую-нибудь программу для просмотра, то декодер транспортного потока находит эту программу в PAT и узнает, какая у нее PMT. Затем декодер находит эту PMT и на основании информации PMT "собирает" телепрограмму из отдельных потоков видео, аудио, субтитров и т. п.

Для PMT можно использовать пользовательский диапазон PID от 0x0010 до 0x1FFE. Обычно используются самые верхние числа из этого диапазона.

Для одной телепрограммы (сервиса) в одном транспортном потоке может быть определена только одна PMT.

Таблица PMT не может быть разбита на секции.

Таблица 5.8. Синтаксис PMT

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Для PMT всегда равен 0x02
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 1
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD

Таблица 5.8 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Номер программы	Program number	16	Номер программы, которая описывается в данной таблице. Не может быть больше, чем 0x3F8. Может использоваться, например, для обозначения номера телевизионного канала. Обычно этот номер присваивается мультиплексором автоматически и может быть изменен через редактор PSI/SI
Зарезервировано	Reserved	2	—
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Идентификатор последовательности обновления	Current-next indicator	1	Идентификатор равен 1 в том случае, если передается таблица PMT, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы
Номер секции	Section number	8	Номер секции равен 0
Последний номер секции	Last section number	8	Последний номер секции равен 0
Зарезервировано	Reserved	3	—
PID PCR	PCR PID	13	PID потока, в котором содержится PCR для данной телепрограммы (сервиса)
Зарезервировано	Reserved		—
Длина поля информации о программе	Program info length	12	Первые два бита должны быть равны 0. Оставшиеся 10 задают в байтах размер следующего поля с дескрипторами
Дескриптор	Descriptor		Дескриптор данной телепрограммы (сервиса)
Начало цикла от 0 до N			
Тип потока	Stream type	8	Идентификатор типа потока, для которого задается PID. См. следующую табл. 5.9
Зарезервировано	Reserved	3	—
PID элементарного пакетизированного потока (PES)	Elementary PID	13	Указывается PID пакетизированного элементарного потока (PES), входящего в телепрограмму (сервис)
Зарезервировано	Reserved	4	—

Таблица 5.8 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Длина	ES info length	12	Первые два бита должны быть равны 0. Оставшиеся 10 задают в байтах размер следующего далее поля с дескрипторами
Дескрипторы	Descriptor		Дескрипторы сервиса
Конец цикла			
Контрольная сумма	CRC_32	32	Контрольная сумма

Таблица 5.9. Возможные значения поля Stream type (тип потока) в PMT

Значение поля Stream type	Описание
0x02	Видеопоток по ISO 13818-2 (т. е. MPEG2)
0x03	Аудио MPEG1 Layer 3
0x04	Аудио MPEG2 (AAC)
0x06	Пользовательские данные (Private Stream)
0x07	MHEG (программное обеспечение приставки — middleware — для обеспечения интерактивности). Подробнее см. разд. 9.13
0x08	DSM-CC (передача данных). Подробнее см. разд. 9.10
0x1B	Видео H.264
0xBD	Аудио AC-3

Рассмотрим пример PMT на рис. 5.14. В транспортном потоке содержатся PMT для всех сервисов, которые передает станция цифрового телевидения. Для примера на рисунке в развернутом виде показана PMT только для сервиса (телевизионной программы) под названием 1 Kanal. Эта PMT передается в пакетах транспортного потока, имеющих PID = 269, table id = 0x02. Длина этой PMT составляет 66 байт. PMT не содержит дескрипторов сервиса, только дескрипторы компонент, которые этот сервис составляют.

Поле Table version = 1, это означает, что с момента запуска мультиплексора эта таблица один раз изменялась. Частота передачи таблицы измерена программой и приводится для примера. Видно, что частота эта достаточно большая — 3,4 Гц, т. е. декодер транспортного потока может определять конфигурацию сервиса три раза в секунду.

Развернуто показан компонент сервиса, представляющий собой поток компрессированного изображения H.264 (Stream type = 27 или 0x1B) в пакетах

с PID = 529. Этот компонент содержит три дескриптора: STD-дескриптор (см. разд. 6.4) и два пользовательских дескриптора, не определенных стандартами (unknown descriptor). STD-дескриптор устанавливает режим утечки (leak) для декодера транспортного потока.

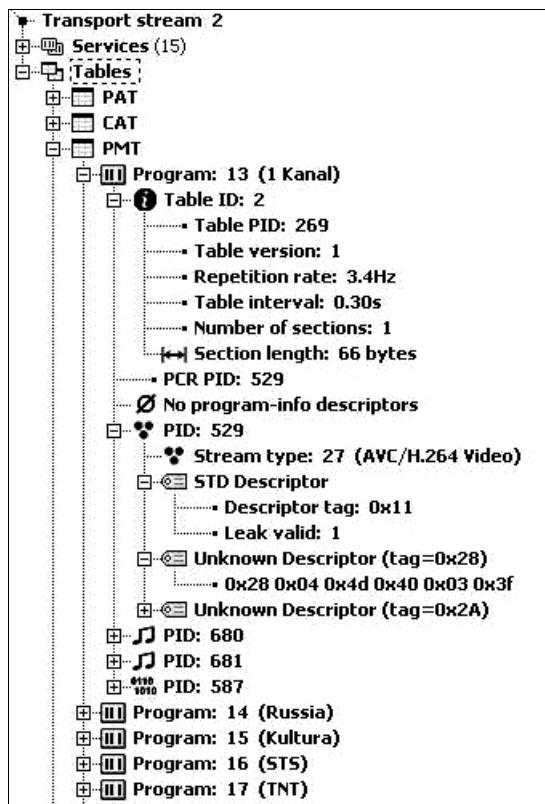


Рис. 5.14. Пример PMT, полученный при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия)

Обратите также внимание на поток с PID = 587, который тоже входит в состав сервиса 1 Kanal. Это поток с stream type = 0x06 (не показан), переносящий данные. В данном случае, это данные телетекста.

5.8. Таблица условного доступа (CAT)

Подробнее о системах условного доступа и применении CAT можно прочитать в гл. 10.

Таблица условного доступа (Conditional Access Table — CAT) предназначена для передачи сведений о системах условного доступа, используемых для

скремблирования программ данного транспортного потока (табл. 5.10). В частности, передаются сведения о соответствии потоков EMM и ECM каждой из применяемых систем условного доступа.

Таблиц САТ в транспортном потоке может быть несколько. Имеется правило — одна САТ на одну систему условного доступа, причем таблица САТ может быть разбита на несколько секций.

Таблица 5.10. Синтаксис САТ

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Для САТ всегда равен 0x01
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 1
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD
Зарезервировано	Reserved	18	—
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Идентификатор последовательности обновления	Current-next indicator	1	Идентификатор равен 1 в том случае, если передается таблица САТ, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции САТ, если САТ разбивается на секции. Номер первой секции — 0. Номера последующих секций получаются инкрементированием предыдущих
Последний номер секции	Last section number	8	Номер последней секции, если САТ разбита на секции
Дескриптор	Descriptor		Дескриптор системы условного доступа. Для получения информации о дескрипторах, которые могут употребляться в данной таблице, см. разд. 10.6
Контрольная сумма	CRC_32	32	Контрольная сумма

5.9. Таблица описания транспортного потока (TSDT)

Таблица описания транспортного потока (Transport Stream Description Table — TSDT) предназначена для передачи дескрипторов, которые можно отнести ко всему транспортному потоку в целом (табл. 5.11). На практике эта таблица применяется нечасто.

Таблица 5.11. Синтаксис TSDT

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Для TSDT всегда равен 0x03
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 1
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD
Зарезервировано	Reserved	18	—
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Идентификатор последовательности обновления	Current-next indicator	1	Идентификатор последовательности обновления равен 1 в том случае, если передается таблица TSDT, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции TSDT, если TSDT разбивается на секции. Номер первой секции — 0. Номера последующих секций получаются инкрементированием предыдущих
Последний номер секции	Last section number	8	Номер последней секции, если таблица TSDT разбита на секции
Дескриптор	Descriptor		Дескрипторы
Контрольная сумма	CRC_32	32	Контрольная сумма

5.10. Таблица сетевой информации (NIT)

Таблица сетевой информации (Network Information Table — NIT), как следует из ее названия, предназначена для передачи информации о сети, в которой передается транспортный поток. Эта таблица является обязательной в том случае, если транспортный поток предназначен для использования в цифровом телевидении. Многие абонентские устройства не будут работать, не найдя в принятом транспортном потоке этой таблицы. NIT предназначена для использования в MPTS.

В NIT (табл. 5.12) передается идентификатор сети, который выполняет роль своеобразного "позвывного" телевизионной сети, информация о физических свойствах сети (например, частоте) и т. п.

При передаче транспортного потока из одной сети в другую, например, со спутника в кабельную сеть, к "старому" NIT может добавляться "новый", например, к NIT спутниковой сети может добавляться NIT кабельной. Таким образом, в сети может передаваться две NIT, которым присваиваются разные значения поля Идентификатор таблицы (Table_id). Таблица NIT той сети, в которой передается транспортный поток, называется *действующей NIT* (actual NIT), NIT иных сетей называются *прочими NIT* (other NIT). Действующая NIT имеет Идентификатор таблицы 0x40, прочая NIT — 0x41.

Наличие действующей и прочей NIT позволяет декодеру и абоненту узнать не только, к какой сети он подключен, но и откуда сигнал попал в эту сеть.

Процесс формирования NIT контролируется техническим персоналом, обслуживающим мультиплексор.

Идентификатор группы пакетов PID таблицы NIT определяется в Таблице размещения программ PAT (см. разд. 5.6).

Таблица 5.12. Синтаксис NIT

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Для действующей NIT идентификатор равен 0x040, для прочей NIT — 0x41
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 1
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD

Таблица 5.12 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Зарезервировано	Reserved	18	—
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Идентификатор последовательности обновления	Current-next indicator	1	Идентификатор равен 1 в том случае, если передается таблица NIT, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции NIT, если NIT разбивается на секции. Номер первой секции — 0. Номера последующих секций получаются инкрементированием предыдущих
Последний номер секции	Last section number	8	Номер последней секции, если NIT разбита на секции
Зарезервировано	Reserved	4	—
Длина дескриптора сети	Network descriptor length	12	—
Дескриптор(ы) сети	Descriptor(s)		Дескрипторы сети. Количество дескрипторов зависит от значения поля
Зарезервировано	Reserved	4	—
Длина поля дескрипторов транспортных потоков	Transport stream loop length	12	Это поле определяет длину в байтах секции дескрипторов, которая следует далее за этим полем. Из значения этого поля легко вычислить N, необходимое для организации цикла далее
Цикл от 0 до N			
Идентификатор транспортного потока	Transport stream ID	16	Идентификатор транспортного потока, для которого будет приведена информация. Таким образом, NIT может содержать информацию для нескольких транспортных потоков (нескольких мультиплексов)
Идентификатор оригинальной сети	Original network ID	16	Идентификатор транспортного потока, который использовался как источник для текущего потока
Зарезервировано	Reserved	4	—

Таблица 5.12 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Длина дескрипто-ра(ов) транспорт-ного потока	Transport descriptors length	12	Длина следующего далее поля дескрипторов в байтах
Дескриптор(ы)	Descriptor(s)		Дескрипторы транспортного потока
Конец цикла			
Контрольная сумма	CRC_32	32	

Рассмотрим пример NIT действующей DVB-сети на рис. 5.15. Во-первых, это действующая NIT, поскольку table id = 64 (0x40). Версия этой таблицы (table version) равна 16, т. е. с момента запуска мультиплексора таблица изменилась 16 раз. Эта таблица принадлежит сети с идентификатором 2, в сети содержится один транспортный поток, имеющий идентификатор 1. В таблице име-

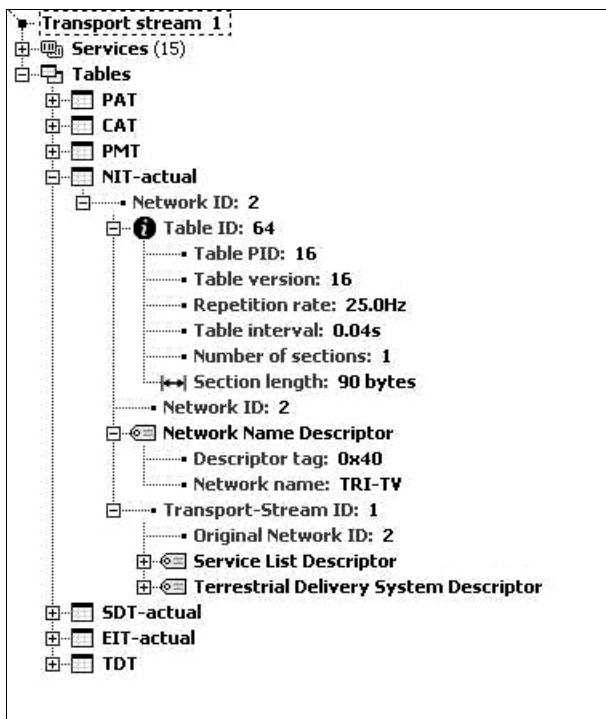


Рис. 5.15. Пример NIT, полученный при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия)

ется один дескриптор сети — Дескриптор имени сети. Он задает название поставщика услуг (оператора связи) — TRI-TV.

Также в таблице имеется два дескриптора уровня транспортного потока (т. е. описывающие не всю сеть, а транспортный поток). Это дескриптор сервисов и дескриптор системы распространения. Оба этих дескриптора показаны в свернутом виде (их содержание имеет большой объем). Описания этих дескрипторов можно найти в справочнике по дескрипторам в этой книге.

Обратите внимание на поле original network id. Его значение равно 2, т. е. значение этого поля и значение идентификатора текущей сети совпадают. Это означает, что данный транспортный поток сгенерирован специально для текущей сети, а не взят из другой сети и не подвергнут ремультиплексированию.

Обратите внимание, что скорость передачи этой таблицы достаточно высока — 25 раз в секунду. Таким образом, абонентское устройство (а точнее декодер транспортного потока в этом устройстве) 25 раз в секунду может проверять конфигурацию сети, на которую оно настроено.

5.11. Таблица описания сервиса (SDT)

Таблица описания сервиса (Service Description Table — SDT) предназначена для передачи информации о телевизионной программе (сервисе). Если таблица NIT передает информацию о физической части сети, по которой путешествует транспортный поток, то таблица SDT описывает сервисы, которые в этом транспортном потоке есть.

В транспортном потоке может быть две таблицы SDT — для данной сети и для сетей, откуда взяты телевизионные программы или иные сервисы. Таблица SDT для данной сети называется *действующей* (actual), для иных сетей — *прочей* (other). Действующая таблица SDT имеет table_id = 0x42, прочая — 0x46.

Таблица SDT (табл. 5.13) передается в пакетах транспортного потока, имеющих PID 0x0011.

Таблица 5.13. Поля таблицы SDT

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Для действующей SDT он равен 0x042, для прочей — 0x46
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор синтаксиса секции всегда равен 1

Таблица 5.13 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD
Идентификатор транспортного потока	Transport stream ID	16	Идентификатор транспортного потока, к которому относится настоящая таблица. Для прочей SDT может не совпадать с ID транспортного потока, в котором передается
Зарезервировано	Reserved	2	—
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Идентификатор последовательности обновления	Current-next indicator	1	Идентификатор равен 1 в том случае, если передается таблица SDT, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции SDT, если SDT разбивается на секции. Номер первой секции — 0. Номера последующих секций получаются инкрементированием предыдущих
Последний номер секции	Last section number	8	Номер последней секции, если SDT разбита на секции
Идентификатор оригинальной сети	Original network ID	16	Идентификатор той сети, откуда взята информация для данной сети. Если этот идентификатор равен идентификатору текущей сети, значит, очевидно, данная сеть и является оригинальной, т. е. транспортный поток первоначально сформирован в ней
Зарезервировано	Reserved	8	—

Таблица 5.13 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Цикл от 0 до N			
Идентификатор программы (сервиса)	Service ID	16	Номер программы из соответствующей таблицы РМТ
Зарезервировано	Reserved	6	
Флаг наличия расписания событий в EIT	EIT schedule flag	1	Флаг равен 1, если в транспортном потоке присутствует Таблица событий (EIT) для данного сервиса, содержащая расписание событий (schedule). Иначе этот флаг равен 0
Флаг наличия в EIT сведений о будущих событиях	EIT present following flag	1	Флаг равен 1, если в транспортном потоке присутствует Таблица событий (EIT) для данного сервиса, и эта таблица содержит сведения о будущих событиях (например, для составления программы передач). Если информация о будущих событиях не передается, то это поле устанавливается в 0. Подробнее см. следующий разд. 5.12 и технический рапорт ETSI TR 101211
Состояние воспроизведения сервиса	Running status	3	Определяет состояние воспроизведения сервиса. Возможны следующие значения: 0 — статус не определен; 1 — сервис не работает; 2 — сервис начнет работать через несколько секунд (это полезно знать, например, для автоматической записи на HDD абонентской приставки, чтобы успеть подготовиться к записи); 3 — пауза; 4 — сервис работает в обычном режиме; 5—7 — зарезервировано на будущее
Флаг режима системы условного доступа	Free CA mode	1	Если флаг равен 1, значит, хотя бы один компонент сервиса скремблирован системой условного доступа, иначе он равен 0
Длина поля дескрипторов	Descriptors loop length	12	Длина в байтах следующего далее поля с дескрипторами
Дескриптор(ы)	Descriptor(s)		Дескриптор(ы)
Конец цикла			
Контрольная сумма	CRC_32	32	Контрольная сумма

Рассмотрим пример SDT действующей станции цифрового телевидения (рис. 5.16). Мы видим, что это действующая SDT (table id = 0x42), которая передается в пакетах транспортного потока, имеющих PID = 17 (0x11). Текущая версия таблицы является 12-й (поле Table version = 12), что означает, что таблица менялась 12 раз с момента запуска мультиплексора.

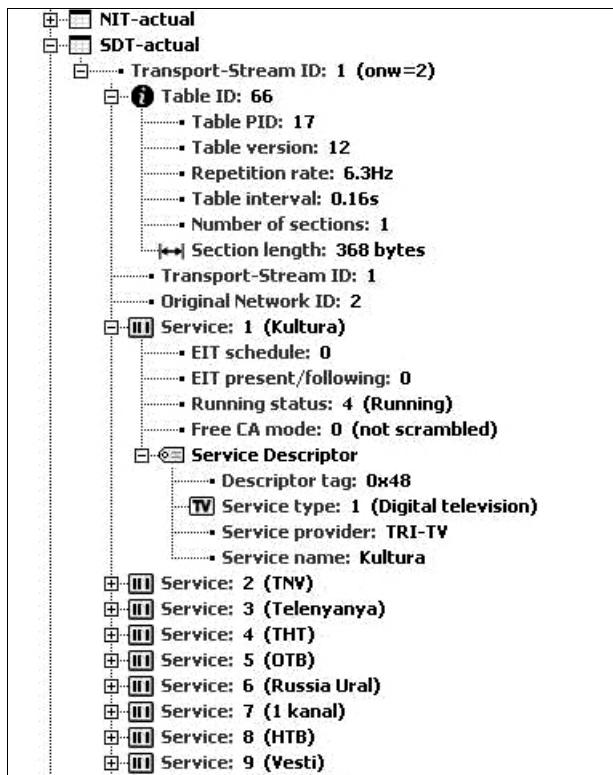


Рис. 5.16. Пример SDT, полученный при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия)

Транспортный поток, который описывает эта таблица, имеет id = 1, а сеть id = 2. В сети, как и на предыдущих иллюстрациях, имеется 15 сервисов. Из них показаны 9, а сервис Kultura развернут для наглядности. Мы видим, что поскольку поля EIT равны 0, то EPG для этого сервиса не передается. Сервис не скремблирован и в настоящий момент действует (running status = 4). Для этого сервиса передается один дескриптор — дескриптор сервиса. Он устанавливает имя сервиса — Kultura, тип сервиса и название оператора связи (или вещателя).

5.12. Таблица событий (EIT)

Таблица событий (Event Information Table — EIT) предназначена для передачи информации о событиях различного рода, которые будут происходить с телепрограммой (сервисом). Наиболее очевидное применение EIT — это отправка в абонентское устройство расписания телевизионных передач на текущий день или на несколько дней вперед. Это расписание передач называется *электронной программой передач EPG (Electronic Service Guide)*.

Таблица EIT не является обязательной.

Записи о событиях должны присутствовать в таблице в хронологическом порядке.

EIT передается в пакетах транспортного потока, имеющих PID 0x012.

Таблица EIT может быть разбита на секции, поскольку ее объем, как правило, достаточно большой.

В текущем транспортном потоке могут передаваться EIT как для текущего потока, так и для иных потоков. В случае если EIT относится к текущему потоку, то она называется *действующей EIT* (actual EIT), иначе — *прочей EIT* (other EIT). Например, телекомпания может передавать программу передач не только для программ данного транспортного потока, но и для программ, идущих в других транспортных потоках на других частотных каналах.

Таблица EIT может содержать информацию о текущем событии (present event) и событии, которое последует за текущим (following events). В этом случае таблица называется *EIT p/f*, т. е. *EIT present/following* (настоящий/последующий). Если таблица содержит расписание событий, которые наступят в будущем, она называется *EIT schedule*. В соответствии с типом информации, передаваемой в EIT, таблица маркируется различными *table_id* (табл. 5.14).

Таблица 5.14. Возможные значения *table_id* для Таблицы событий (EIT)

Table_id	Тип EIT	Пояснения
0x4E	Действующая	Передается информация о текущих и последующих событиях в текущем транспортном потоке
0x4A	Прочая	Передается информация о текущих и последующих событиях в постороннем транспортном потоке
0x50 — 0x5F	Действующая	Передается расписание событий в текущем транспортном потоке
0x60 — 0x6F	Прочая	Передается расписание событий в постороннем транспортном потоке

Генерация EIT, как правило, осуществляется не самим маршрутизатором, а отдельным устройством, называемым *EPG-сервер*. EPG-сервер обычно представляет собой компьютер с программным обеспечением, которое на входе принимает программу передач, оформленную в виде документа XML, а на выходе дает транспортный поток не содержащий сервисов, но содержащий EIT. Эта EIT затем поступает на мультиплексор, который размещает ее в основном транспортном потоке. Синтаксис EIT приведен в табл. 5.15.

В EIT используются в основном краткие и полные дескрипторы событий. Каждый такой дескриптор описывает одну телепередачу — ее начало, окончание, дает информацию о названии и т. п.

Таблица 5.15. Синтаксис EIT

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Возможные значения см. в табл. 5.14
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 1
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD
Идентификатор сервиса	Service ID	16	Идентификатор сервиса, к которому относится настоящая таблица. Для прочей EIT значение этого поля может не совпадать с ID сервисов текущего транспортного потока
Зарезервировано	Reserved	2	—
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Идентификатор последовательности обновления	Current-next indicator	1	Идентификатор равен 1 в том случае, если передается таблица EIT, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы

Таблица 5.15 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции EIT, если EIT разбивается на секции. Номер первой секции — 0. Номера последующих секций получаются инкрементированием предыдущих
Последний номер секции	Last section number	8	Номер последней секции, если EIT разбита на секции
Идентификатор транспортного потока	Transport stream ID	16	Идентификатор транспортного потока, к которому относится данная EIT
Идентификатор оригинальной сети	Original network ID	16	Идентификатор той сети, откуда взята информация для данной сети. Если этот идентификатор равен идентификатору текущей сети, значит, очевидно, данная сеть и является оригинальной, т. е. транспортный поток первоначально сформирован в ней
Номер последней секции	Segment last section indicator	8	Номер последней секции в текущем сегменте. Если таблица не сегментирована, то поле должно иметь значение, равное значению поля "Последний номер секции"
Идентификатор последней таблицы	Last table id	8	Содержит номер последнего использовавшегося table_id. Список возможных table_id приведен в табл. 5.14
Цикл от 0 до N			
Идентификатор события	Event ID	16	Идентификатор события. Должен быть уникальным в пределах одной телепрограммы (сервиса)
Время начала	Start time	40	Дата и время начала события. Используется всемирное время (UTC) и модифицированная юлианская дата (MJD) — см. подробнее разд. 5.20. В старших 16-ти битах содержится MJD, а в младших 24-х — UTC. При этом MJD хранится числом, а время — в 4-битовом формате BCD (Binary Coded Decimal). Например, 93/10/13 12:34:56 будет закодировано как 0xC079123456
Длительность	Duration	24	Длительность в 4-битовом формате BCD (Binary Coded Decimal). Например, 12:34:56 будет закодировано как 0x123456
Состояние воспроизведения сервиса	Running status	3	Принимает значения, аналогичные значениям этого поля, в таблице SDT (см. разд. 5.11)
Флаг режима системы условного доступа	Free CA mode	1	Принимает значения, аналогичные значениям этого поля, в таблице SDT (см. разд. 5.11)

Таблица 5.15 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Длина поля дескрипторов	Descriptor loop length	12	Длина в байтах следующего далее поля с дескрипторами
Дескриптор(ы)	Descriptor(s)		Дескриптор(ы)
Конец цикла			
Контрольная сумма	CRC_32	32	Контрольная сумма

Рассмотрим пример таблицы ЕИТ действующей станции цифрового телевидения (рис. 5.17). Как мы видим из иллюстрации, это таблица EIT actual p/f, т. е. содержащая сведения о текущих и следующих событиях. Эта таблица принадлежит сервису Kultura. Идентификатор таблицы равен 78 (0x4E), а сама

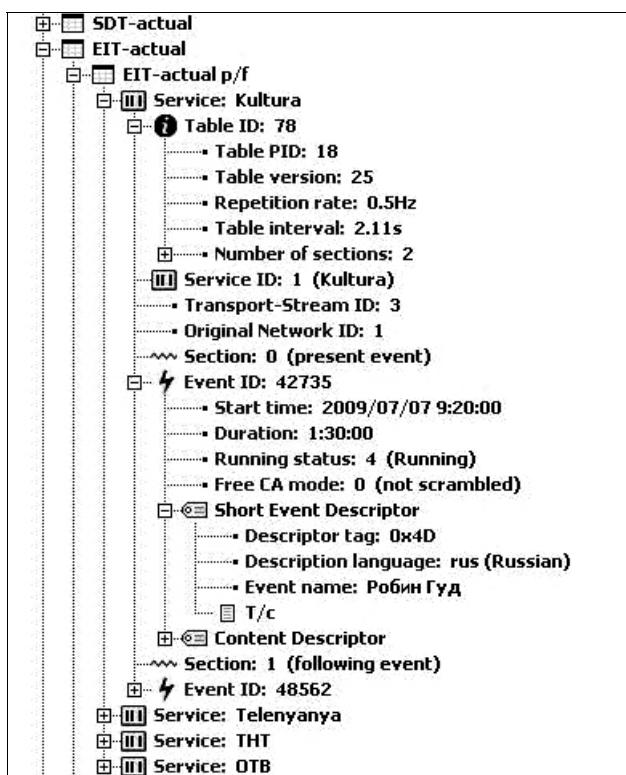


Рис. 5.17. Пример ЕИТ, полученный при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия)

таблица передается в пакетах транспортного потока с PID = 18 (0x12). Таблица имеет значительный размер, поэтому разбита на две секции (number of section = 2).

Таблица содержит сведения о двух событиях, первое имеет идентификатор 42735, второе — 48562. Развернуто показана информация о первом из этих событий. Второе событие имеет аналогичную структуру и не показано.

Для события 42735 дается информация о его начале (start time) и длительности (duration). Также указывается, что это событие происходит в настоящий момент (running status = 4) и событие не защищено системой условного доступа.

Для этого события определены два дескриптора — Краткий дескриптор события (Short event descriptor) и Дескриптор содержания (content descriptor). Краткий дескриптор события имеет тег 0x4D и содержит информацию о том, что событие имеет звуковую дорожку на русском языке и называется "Робин Гуд", тип события — телесериал.

Дескриптор содержания не показан для краткости. Он включает в себя код содержания, т. е. код, предназначенный для телесериалов (см. разд. 6.20).

Информация из этой таблицы EIT используется для формирования экрана электронной программы передач (EPG).

5.13. Таблица времени и даты — TDT

Таблица времени и даты (Time and Date Table — TDT) служит для передачи информации о текущих всемирном времени UTC и модифицированной юлианской дате MJD.

Таблица TDT не является обязательной.

Таблица TDT передается в пакетах транспортного потока маркируемых PID 0x0014 и имеет table_id 0x70 (табл. 5.16).

Таблица не может быть разбита на секции.

Таблица 5.16. Синтаксис TDT

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Всегда равен 0x70
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 0
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0

Таблица 5.16 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт в таблице, следующих сразу за этим полем. Поле всегда равно 5, как нетрудно догадаться
Время и дата	UTC time	40	В старших 16 битах содержится MJD, а в младших 24 — UTC. При этом MJD хранится числом, а время — в 4-битовом формате BCD (Binary Coded Decimal). Например, 93/10/13 12:34:56 будет закодировано как 0xC079123456. О времени и дате см. подробнее в разд. 5.20

Рассмотрим пример TDT действующей станции цифрового телевидения (рис. 5.18). Мы видим, что таблица имеет table id = 112 (0x70) и передается в пакетах транспортного потока, имеющих PID = 20 (0x14). Длина таблицы составляет всего 8 байт.

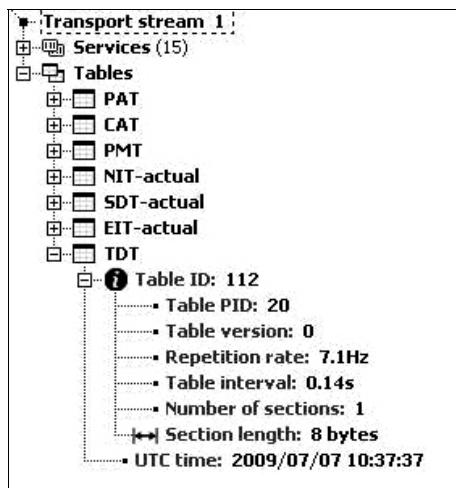


Рис. 5.18. Пример TDT, полученный при помощи программы StreamXpert (Dektec, Голландия)

5.14. Таблица временного пояса — ТОТ

В таблице временного пояса (Time Offset Table — ТОТ) передается информация о всемирном времени UTC и разнице между местным временем и все-

мирным. Данная таблица всегда умещается в один пакет транспортного потока, поскольку имеет малые размеры.

Эта таблица передается в пакетах TS, имеющих PID 0x0014, и table_id должен быть равен 0x73 (табл. 5.17).

В этой таблице используется один тип дескрипторов — Local time offset descriptor (см. разд. 6.24).

Таблица 5.17. Поля таблицы временного пояса TOT

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Всегда равен 0x73
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 0
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт в таблице, следующих сразу за этим полем. Поле всегда равно 5
Время и дата	UTC time	40	В старших 16 битах содержится модифицированная юлианская дата MJD, а в младших 24 — всемирное время UTC. При этом MJD хранится числом, а время — в 4-битовом формате BCD (Binary Coded Decimal). Например, 93/10/13 12:34:56 будет закодировано как 0xC079123456. О времени и дате см. подробнее в разд. 5.20
Длина поля дескрипторов	Descriptors loop length	12	Длина в байтах последующего поля с дескрипторами
Дескриптор(ы)	Descriptor(s)		Дескриптор(ы)
Контрольная сумма	CRC_32	32	Контрольная сумма

5.15. Таблица статуса — RST

Таблица статуса (Running Status Table — RST) предназначена для быстрой и удобной передачи информации о статусе события, определенного в EIT для какой-либо телепрограммы (сервиса) в составе данного транспортного потока. Это может быть полезно, например, если по каким-либо причинам происходит задержка выдачи программы в эфир, информация этой таблицы может быть использована для предупреждения зрителя об этом. Данная таблица на практике используется сравнительно редко.

Таблица может быть сегментирована.

Все сегменты таблицы RST передаются в пакетах транспортного потока с PID 0x0013, table_id должен иметь значение 0x71 (табл. 5.18).

Таблица 5.18. Поля таблицы статуса RST

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Всегда равен 0x71
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 0
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт в таблице, следующих сразу за этим полем
Цикл от 0 до N			
Идентификатор транспортного потока	Transport stream ID	16	Идентификатор транспортного потока, к которому относится данная таблица
Идентификатор оригинальной сети	Original network ID	16	Идентификатор сети, из которой получена информация для передачи по текущей сети. Если этот идентификатор равен идентификатору текущей сети, значит, текущая сеть и является оригинальной и весь материал первоначально сформирован в ней
Идентификатор сервиса	Service ID	16	Идентификатор сервиса, для которого будет в следующем поле задан идентификатор события. Вспомним, что в EIT идентификаторы событий являются уникальными только в пределах каждого сервиса
Идентификатор события	Event ID	16	Идентификатор события, для которого передается статус
Зарезервировано	Reserved	5	—
Статус события	Running status	3	Собственно статус события. Его значения аналогичны значению поля "Статус воспроизведения сервиса" таблицы SDT: 0 — статус не определен; 1 — события не будет; 2 — событие наступит в ближайшем будущем (это полезно знать, например, для автоматической записи на HDD абонентской приставки, чтобы успеть подготовиться к записи); 3 — пауза; 4 — с событием все OK; 5–7 — зарезервировано на будущее
Конец цикла			

5.16. Таблица набивки — ST

Таблица набивки (Stuffing(ST) Table — ST) используется в том случае, если необходимо с какими-либо техническими целями передавать информацию, не имеющую смыслового значения. Например, для того, чтобы транспортный поток имел фиксированный битрейт в том случае, если битрейты сервисов меняются.

Данная таблица на практике употребляется редко, поскольку существует более простой метод, позволяющий выполнить задачу набивки — генерация потока на PID = 0x1FFF с постоянным или переменным битрейтом, заполненного байтами, имеющими одно и то же значение (например, нулевыми байтами или байтами 0xFF и т. п.). Подробнее см. разд. 5.22.

Таблица ST передается в пакетах транспортного потока, имеющих PID от 0x0010 до 0x0014. Таблица должна иметь идентификатор table_id, равный 0x72 (табл. 5.19).

Таблица 5.19. Поля таблицы набивки ST

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Всегда равен 0x72
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 0
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт в таблице, следующих сразу за этим полем
Данные	Data bytes		Байты набивки. Они игнорируются декодером и могут иметь любое значение

5.17. Таблица букета — BAT

Таблица букета (Bouquet Association Table — BAT) предназначена для передачи информации об объединении сервисов в группы. Такое объединение иногда бывает необходимо для формирования пакетов предложений клиенту от какого-то одного поставщика услуг, либо группировать каналы по тематикам (например, новостные каналы, фильмы и т. п.).

Группы сервисов называются *букетами* (bouquet). Таблица букетов может быть разбита на несколько секций, если она слишком большая и не умещается в один пакет транспортного потока.

Таблица передается в пакетах с PID 0x0011. Идентификатор таблицы table_id должен иметь значение 0x4A (табл. 5.20).

Таблица 5.20. Поля Таблицы букета (BAT)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Идентификатор таблицы	Table_id	8	Идентификатор таблицы. Всегда равен 0x4A
Идентификатор синтаксиса секции	Section syntax indicator	1	Идентификатор всегда равен 1
Зарезервировано	Reserved	1	Поле всегда равно 0
Зарезервировано	Reserved	2	—
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD
Идентификатор букета	Bouquet ID	16	Идентификатор букета, которому далее в этой таблице будет даваться определение
Зарезервировано	Reserved	2	—
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Идентификатор последовательности обновления	Current-next indicator	1	Идентификатор равен 1 в том случае, если передается таблица BAT, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции BAT, если BAT разбивается на секции. Номер первой секции — 0. Номера последующих секций получаются инкрементированием предыдущих
Последний номер секции	Last section number	8	Номер последней секции, если BAT разбита на секции
Зарезервировано	Reserved	4	—
Длина дескрипто-ра(ов) букета	Bouquet descriptors length	12	Длина дескрипторов в байтах, следующих за этим полем

Таблица 5.20 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Кол-во бит	Описание поля
Дескриптор(ы) букета	Descriptor(s)		Дескрипторы букета (см. гл. 6)
Зарезервировано	Reserved	4	—
Длина цикла	Transport stream loop length	12	Размер в байтах цикла, который следует далее. Используется для вычисления значения N
Цикл от 0 до N — 1			
Идентификатор транспортного потока	Transport stream ID	16	Идентификатор транспортного потока, в котором находится сервис для определяемого букета
Идентификатор оригинальной сети	Original network ID	16	Идентификатор сети, из которой получена информация для передачи по текущей сети. Если этот идентификатор равен идентификатору текущей сети, значит, текущая сеть и является оригинальной и весь материал первоначально сформирован в ней
Зарезервировано	Reserved	4	—
Длина дескрипто-ра(ов) транспорта	Transport descriptors length	12	Длина в байтах дескрипторов, которые следуют далее
Дескриптор(ы) транспорта	Descriptor(s)		Дескриптор(ы). Подробнее см. в гл. 6
Конец цикла			
Контрольная сумма	CRC_32	32	Контрольная сумма

5.18. Дополнительные сведения о PSI/SI

В данной главе приведены только некоторые сведения о PSI/SI. Полные сведения можно получить из стандартов ISO 13818-1 и ETSI EN 300468.

Сведения о дескрипторах приведены в гл. 6. Некоторые дескрипторы описаны в разделах, посвященных темам, где эти дескрипторы применяются — это, например, разделы о передаче данных и о системах условного доступа. Для поиска информации о дескрипторах удобно использовать алфавитный указатель или оглавление.

Необходимо также помнить, что стандарты цифрового телевидения разрешают производителям оборудования и операторам связи определять свои собственные дескрипторы. Информацию о таких дескрипторах необходимо искать в документации на конкретное оборудование или запрашивать у производи-

телей (операторов связи). Пример пользовательского дескриптора приведен на рис. 5.14.

5.19. Способы кодирования текстовой информации в PSI/SI

Текстовое поле может начинаться с символов, которые определяют кодировку языка, используемую для данного текстового поля. Эти символы не показываются на экране пользователю, т. е. являются "невидимыми", управляющими.

Управляющие символы кодируются байтами, имеющими значения от 0x01 до 0x1F (табл. 5.21). Если первый байт имеет значение 0x10, значит, следующие за ним два байта определяют расширенную таблицу кодировки (например, для тайского языка, различные алфавиты европейских языков и т. п.). Расширенная таблица не применяется для работы с кириллицей (табл. 5.22), и мы не будем ее рассматривать в данной книге. Всех интересующихся отсылаем к дополнению № 1 (Annex A) стандарта ETSI EN 300468 "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems".

Таблица 5.21. Некоторые начальные байты текстовых строк

Первый байт строки	Кодировка
0x01	Латино-кириллический алфавит по ISO/IEC 8859-5, он же ГОСТ 19768-74
0x02	Латино-арабский алфавит по ISO/IEC 8859-6
0x03	Латино-греческий алфавит по ISO/IEC 8859-7

Давайте рассмотрим применение на практике этой кодовой таблицы (см. табл. 2.22). Как указывалось ранее, строчка кириллицы должна начинаться с байта 0x01, за которым следует текст, закодированный в соответствии с ISO 8859-5. Например, слово "цифровой" будет закодировано следующим образом:

0x01 0xE6 0xD8 0xE4 0xE0 0xDE 0xD2 0xDE 0xD9

Если текстовая строка начинается с байта, значение которого находится в промежутке 0x20—0xFF, то это означает, что для строки используется стандартная латинская кодировка.

Как правило, в ручной кодировке необходимости не возникает, поскольку интерфейс мультиплексора позволяет выбрать язык, на котором будет производиться работа. Соответственно и кодировка будет выполнена автоматически.

Таблица 5.22. Коды символов кириллицы ISO/IEC 8859-5

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	
nbsr	Ё	Ђ	Ѓ	Є	Ѕ	І	Ї	Ј	Љ	Њ	Ћ	Ќ	shy	Ӻ	҆	
160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	
А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Ӣ	Қ	Л	М	Н	О	П	
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	
Р	С	Т	Ү	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ҋ	Ы	Ҋ	Э	҃	҅	Я
192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	
а	б	в	г	д	е	ж	з	и	Ӣ	қ	л	м	н	о	п	
208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	
р	с	т	ү	ф	х	ц	ч	ш	щ	Ҋ	ы	Ҋ	э	҃	҅	я
224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	
№	ё	ђ	ѓ	є	ѕ	і	ї	ј	љ	њ	Ћ	ќ	§	Ӻ	҆	
240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	

5.20. Дата и время в таблицах PSI/SI

Дата и время в таблицах PSI/SI представляется в виде суммы модифицированной юлианской даты и всемирного времени.

Модифицированная юлианская дата (Modified Julian Date — MJD) представляет собой непрерывный счет суток, начиная с момента полночи с 16 на 17 ноября 1858 года по григорианскому календарю. С 1859 по 2130 годы значения MJD будут положительны и для их записи будет достаточно пяти значащих цифр. Очевидно, что такая система счета дней гораздо удобнее для машинной обработки, чем стандартное деление на годы и месяцы.

Для того чтобы вычислить год, месяц и день, зная MJD, используйте следующие формулы:

$$Y' = \text{int}[(MJD - 15078,2) / 365,25]$$

$$M' = \text{int}\{[MJD - 14956,1 - \text{int}(Y' \times 365,25)] / 30,6001\}$$

$$D = MJD - 14956 - \text{int}(Y' \times 365,25) - \text{int}(M' \times 30,6001)$$

Если $M' = 14$ или $M' = 15$, тогда $K = 1$; иначе $K = 0$

$$Y = Y' + K$$

$$M = M' - 1 - K \times 12$$

Для того чтобы вычислить модифицированную юлианскую дату MJD, зная день, месяц и год, используйте следующие формулы:

Если $M = 1$ или $M = 2$, тогда $L = 1$; иначе $L = 0$

$$\text{MJD} = 14956 + D + \text{int}[(Y - L) \times 365,25] + \text{int}[(M + 1 + L \times 12) \times 30,6001]$$

В приведенных ранее формулах:

- Y — год;
- M — порядковый номер месяца в году;
- D — порядковый номер дня в месяце;
- int — операция взятия целой части числа без округления.

Для обозначения моментов времени используется *Всемирное время (Universal Time Coordinated — UTC)*. Данное время иногда называют *Гринвичским*, что не совсем верно, поскольку UTC это не время в Гринвиче, а время, определяемое по группе атомных высокоточных часов.

Получение местного времени из UTC достигается прибавлением к нему поправки за часовой пояс (*смещение времени, Time Offset*). К западу от Гринвича поправка отрицательна, к востоку — положительна. Необходимо помнить, что UTC не переводится ни на летнее, ни на зимнее время.

Для целей сохранения в PSI/SI data MJD сохраняется в 16-битном поле в двоичном виде. Время же кодируется двоично-десятичным кодом, в котором на каждую цифру времени отводится 4 бита. Всего в показаниях времени содержится 6 цифр, т. е. общая длина поля, содержащего показания времени, составит $4 \times 6 = 24$ бита.

Если необходимо сохранять дату и время, то для такой информации отводится 40-битное поле, в старшие 16 разрядов которого записывается MJD, а в младшие 24 — двоично-десятичное представление времени.

Приведем для наглядности пример: 93/10/13 12:34:56 будет закодировано как 0xC079123456.

5.21. Контрольные суммы в таблицах PSI/SI

Алгоритм вычисления контрольных сумм CRC32 описан в Annex B стандарта ETSI EN 300468. Подробнее мы на этом вопросе останавливаться не будем, т. к. этой теме посвящено много различных материалов, поскольку эти коды применяются повсеместно в компьютерной технике.

Отметим лишь, что для вычисления CRC используется характеристический полином следующего вида:

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1.$$

5.22. Набивка (stuffing)

В некоторых случаях необходимо, чтобы транспортный поток имел постоянную скорость, несмотря на то, что составляющие его сервисы имеют переменную скорость. Обычно необходимость в этом возникает при использовании конвертеров различных интерфейсов (например, IP в ASI), которые разработаны для конвертирования потоков с постоянным битрейтом.

Для того чтобы дополнить транспортный поток до необходимой скорости, мультиплексор имеет отключаемую возможность генерировать поток на PID = 0x1FFF, содержащий балластную информацию. В качестве балласта могут использоваться любые значения — они все равно будут проигнорированы декодером транспортного потока в абонентском устройстве.

5.23. Мультиплексирование

Мультиплексирование, как указывалось ранее, это процесс создания транспортного потока из потоков PES (Packetized Elementary Stream) с добавлением информации PSI/SI. Мультиплексирование выполняется специальным устройством, которое называется *мультиплексором*. Фактически, мультиплексор — это "сердце" хэдэнда центра формирования программ.

Мультиплексор может иметь различные входные и выходные интерфейсы (ASI, Ethernet) в зависимости от источников, откуда будут браться PES.

В качестве источников PES также служат транспортные потоки. Это могут быть как однопрограммные транспортные потоки (SPTS), которые генерируются мультиплексорами,строенными в кодеры сервисов (см. рис. 4.1), так и мультипрограммные транспортные потоки (MPTS), созданные другими мультиплексорами. Напомним, что в случае, если при мультиплексировании в исходный транспортный поток вносятся незначительные изменения, то такой процесс называется *ремультиплексированием*.

Физически, мультиплексор представляет собой небольшое устройство, предназначенное для монтажа в телекоммуникационную стойку. По сути дела мультиплексор — это промышленный компьютер со специализированным программным обеспечением.

Мультиплексор управляется, как правило, через web-интерфейс или специализированной программой через IP-сеть.

Процесс сборки представляет собой последовательную "укладку" пакетов с разными PID. При этом необходимо следить за тем, чтобы временные промежутки между пакетами одного PID были пропорциональны скорости потоков. А поскольку скорости потоков могут меняться, то ясно, что задача мультиплексирования не так проста.

Скорость потока на выходе кодера видео зависит от сложности кодированного изображения. Чем выше скорость, тем более динамичное или сложное изображение можно передать. В транспортном потоке таких потоков много, поэтому суммарная скорость потока все время меняется. Для того чтобы сделать ее постоянной (это упростит работу декодера), используется набивка (Stuffing) или статистическое мультиплексирование.

Статистическое мультиплексирование — это метод мультиплексирования транспортных потоков, в котором мультиплексор управляет кодерами таким образом, чтобы суммарная скорость транспортного потока оставалась постоянной. Это позволяет достичь еще одного важного результата — перераспределения ресурса качества между PES. Действительно, никогда не бывает, чтобы по всем телеканалам одновременно шли сложные и динамичные сцены. Поэтому, регулируя качество кодирования и, соответственно, скорость на всех кодерах, можно добиться наибольшего качества в среднем по всем каналам. Например, каналу, на котором транслируется динамичная сцена из кинофильма, будет предоставлен больший битрейт за счет канала, который в это момент транслирует "говорящую голову".



ГЛАВА 6

Дескрипторы транспортного потока MPEG и PSI/SI DVB

6.1. Общие сведения

В данном разделе приведена краткая информация о некоторых дескрипторах, которые могут использоваться в транспортном потоке MPEG TS в DVB. Описания дескрипторов имеются как в самом стандарте транспортного потока MPEG2 (ISO 13818-1), так и в стандартах DB (ETSI EN 300468). В этой главе эти описания объединены.

Некоторые дескрипторы и их применение подробно описаны в тексте книги. Вы можете быстро найти описание этих дескрипторов, пользуясь алфавитным указателем.

Поскольку доступ для редактирования содержания дескрипторов на практике осуществляется через специализированное программное обеспечение мультиплексора, знание конкретного синтаксиса каждого дескриптора не требуется. Поэтому в данном справочнике мы приводим сведения только о полях дескрипторов, которые имеют практическое значение при эксплуатации сети цифрового телевидения и доступ к которым осуществляется через ПО мультиплексора.

Дескрипторы могут располагаться в различных таблицах PSI/SI в зависимости от их назначения. Условно можно разделить дескрипторы на несколько больших групп в соответствии с иерархией транспортного потока. *Дескрипторы уровня транспортного потока* размещаются в PAT, NIT, BAT, CAT, EIT, TDT, TOT и описывают свойства всего потока или сети цифрового телевидения в целом. *Дескрипторы уровня сервиса* описывают свойства определенного сервиса (например, телепрограммы) и размещаются в PMT или SDT. *Дескрипторы уровня элементарного потока* описывают составные части сервиса (элементарные потоки) и могут размещаться только в PMT.

В заголовках дескрипторов указаны номера тегов описываемых дескрипторов (каждый дескриптор имеет идентификатор, называемый *тегом*), после названия полей в скобках указывается размер поля в битах. Для получения полной информации о синтаксисе дескрипторов обращайтесь к указанным выше стандартам.

6.2. Conditional access descriptor — дескриптор системы условного доступа (0x09)

- Тег:* 0x09.
- В каких таблицах используется:* CAT, PMT.

Назначение:

Используется для указания идентификаторов потоков ECM и EMM для систем условного доступа. Если используется в PMT, то указывает сервис с сообщениями ECM. Когда используется в CAT, то указывает сервис с сообщениями EMM.

Поля:

- CA system id (16): идентификатор системы условного доступа для которого определяются сервисы ECM или EMM;
- CA PID (13): PID сервиса, содержащего ECM или EMM.

6.3. ISO 639 language descriptor — дескриптор кодирования языка по ISO 639 (0x10)

- Тег:* 0x10.
- В каких таблицах используется:* SDT, PMT.

Назначение:

Используется для указания языка элемента сервиса. Как правило, звукового сопровождения.

Поля:

Содержит цикл, состоящий из полей ISO 639 language code (24): трехсимвольный код языка по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19.

6.4. STD descriptor — STD-дескриптор (0x17)

- Тег:* 0x17.
- В каких таблицах используется:* PMT.
- Назначение:*

Используется для указания режима работы буфера T-STD (см. разд. 5.4). Пример использования см. рис. 5.14.

- Поля:*
 - Leak valid flag (1): поле равно 1, если используется "метод утечки".

6.5. Network Name Descriptor — дескриптор сетевого имени (0x40)

- Тег:* 0x40.
- В каких таблицах используется:* NIT.
- Назначение:* передача названия сети в текстовой форме.
- Поля:*

Дескриптор содержит одно текстовое поле произвольной длины. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19.

6.6. Service List Descriptor — дескриптор списка сервисов (0x41)

- Тег:* 0x41.
- В каких таблицах используется:* NIT, BAT.
- Назначение:* передача сведений о типе сервиса.
- Поля:*

Содержит в цикле связанные пары полей service_id и service_type:

- Service_id (16) — идентификатор описываемого сервиса. Равен полю номера программы (program number) в PMT;
- Service_type (8) — тип описываемого сервиса. Поле равно 0x01, если передается цифровое телевидение, в противном случае значение определяется пользователем (оператором связи). Рекомендуется по умолчанию использовать 0x01.

6.7. Stuffing descriptor — дескриптор набивки (0x42)

Тег: 0x42.

В каких таблицах используется: NIT, BAT, SDT, EIT.

Назначение:

Передача сведений о байте, использующемся для набивки (т. е. заполнения "пустых" мест).

Поля:

- stuffing byte (8), может иметь длину $8 \times N$, если для набивки используется последовательность N байт.

6.8. VBI data descriptor — дескриптор данных VBI (0x45)

Тег: 0x45.

В каких таблицах используется: PMT.

Назначение:

Передача сведений о доступе к информации, содержащейся в VBI. В каждой PMT может содержаться только один такой дескриптор.

Поля:

- data_service_id:

- поле равно 0x01, если используется телетекст EBU (при этом должен использоваться еще teletext descriptor);
- поле равно 0x04 для VPS;
- поле равно 0x05 для WSS;
- поле равно 0x06 для встроенных субтитров (closed captioning).

Для каждой строки VBI определяется пара полей:

- field_parity (1): поле равно 1, если строка в первом (нечетном) поле, иначе поле равно 0;
- line_offset (5): номер строки в кадре (т. е. как будто бы развертка является прогрессивной).

6.9. VBI teletext descriptor — дескриптор телетекста VBI (0x46)

- Тег:* 0x46.
- В каких таблицах используется:* PMT.
- Назначение:* передача сведений о телетексте, передаваемом в VBI.
- Поля:* см. разд. 6.23.

6.10. Bouquet name descriptor — дескриптор названия букета (0x47)

- Тег:* 0x47.
- В каких таблицах используется:* BAT, SDT.
- Назначение:* передача названия букета.
- Поля:* то же самое, что для дескриптора имени сети (Network Name Descriptor), см. разд. 6.5.

6.11. Service descriptor — дескриптор сервиса (0x48)

- Тег:* 0x48.
- В каких таблицах используется:* SDT.
- Назначение:* используется для описания сервиса.
- Поля:*
 - service type (8): обозначает тип сервиса. Возможные значения приведены в табл. 6.1. Полный список возможных значений см. в стандарте ETSI EN 300468;
 - service provider name (длина произвольная): название поставщика услуг.

Таблица 6.1. Некоторые возможные значения поля service type

Значение	Описание
0x01	Цифровое телевидение
0x02	Цифровое радио

Таблица 6.1 (окончание)

Значение	Описание
0x03	Телетекст
0x06	Мозаика
0x0C	Передача данных
0x10	MHP (см. разд. 9.14)

6.12. Linkage descriptor — дескриптор присоединения (0x4A)

- Тег: 0x4A.
- В каких таблицах используется: NIT, BAT, SDT, EIT.
- Назначение:

Этот дескриптор применяется для указания какого-либо сервиса, содержащего дополнительную информацию. Он может использоваться многими способами, в частности для загрузки программного обеспечения в приставку, для указания резервного сервиса и т. п. Также используется в мобильном телевидении для указания сервиса, на который можно переключиться при выезде за зону приема. Если этот дескриптор размещается в NIT, то указывает на сервис, передающий какую-либо дополнительную информацию, касающуюся всей сети; если в BAT — то соответствующего букета и т. п. Этот дескриптор может иметь разные формы. В частности, в DVB-DATA определен особый формат этого дескриптора для описания таблицы INT (см. в стандарте ETSI EN 301192 разд. 8.2.1). Пример использования linkage descriptor приведен в разд. 9.7.

- Поля:
 - Original network id (16): идентификатор сети, в которой находится адресуемый сервис;
 - Transport stream id (16): идентификатор транспортного потока, где находится адресуемый сервис;
 - Service id (16): идентификатор адресуемого сервиса (тождественен полю "Номер программы" в PMT);
 - Linkage type (8): тип информации, на которую указывает дескриптор (табл. 6.2).

Таблица 6.2 Некоторые возможные значения поля linkage type

Значение	Описание
0x01	Информационный сервис (дополнительная информация)
0x02	Электронная программа передач (один из способов передачи EPG предполагает использование дескриптора присоединения)
0x06	Дополнительные данные
0x08	Для мобильного телевидения: указание сервиса, на который возможно выполнить переключение (например, при нестабильном приеме в движении)
0x09	SSU (System Software Upgrade) — апгрейд программного обеспечения абонентского оборудования через эфир
0x0A	Указание на транспортный поток, который содержит SSU сервис (т. е. в котором передаются данные для апгрейда)
0x0B	Сервис INT (передача данных)
0x0C	Указание на транспортный поток, который содержит INT
0x80—0xFE	Определяется пользователем

6.13. NVOD reference descriptor — дескриптор ссылки на сервис NVOD (0x4B)

- Тег: 0x4B.
- В каких таблицах используется: SDT.
- **Назначение:**

Указывает сервис NVOD (NVOD — Near Video On Demand, т. е. "почти видео-по-требованию").
- **Поля:**
 - Original network id (16): идентификатор сети, в которой находится адресуемый сервис;
 - Transport stream id (16): идентификатор транспортного потока, где находится адресуемый сервис;
 - Service id (16): идентификатор адресуемого сервиса (тождественен полю "Номер программы" в PMT).

6.14. Time shifted service descriptor — дескриптор сервиса с временным сдвигом (0x4C)

- Тег: 0x4C.
- В каких таблицах используется: BAT, SDT.
- Назначение:

Указание сервиса, который является сдвинутым по времени текущим сервисом для NVOD. NVOD может быть организован как несколько сдвинутых друг относительно друга по времени одинаковых сервисов.

- Поля:
 - reference service id (16): идентификатор адресуемого сервиса (тождественен полю "Номер программы" в PMT).

6.15. Short event descriptor — краткий дескриптор события (0x4D)

- Тег: 0x4D.
- В каких таблицах используется: EIT.
- Назначение:

Сокращенные сведения о событии в EIT — название события и краткое описание.

- Поля:
 - ISO_639_language_code (24): трехсимвольный код языка по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. разд. 5.19;
 - Event name (<256>): имя события в текстовом виде;
 - Text (<256): описание события в текстовом виде.

6.16. Extended event descriptor — расширенный дескриптор события (0x4E)

- Тег: 0x4E.
- В каких таблицах используется: EIT.

Назначение:

Описание события по категориям с использованием более 256 символов.

Поля:

Помимо поля указания языка, как в кратком дескрипторе события, содержит два поля — item description и item. Первый определяет название описания, второй — собственно описание. Например: "Автор сценария" — "Григорий Горин", "Режиссер-постановщик" — "Марк Захаров" и т. д. Всего может быть до 256 пунктов, каждый из которых может иметь описание не более 256 символов.

6.17. Component descriptor — дескриптор компонентов (0x50)

Тег: 0x50.

В каких таблицах используется: SDT, EIT.

Назначение: передача типа элементарного потока и его текстовое описание.

Поля:

- Stream content (4) и component type (8): в табл. 6.3 приведены некоторые наиболее часто используемые значения. Для полного списка см. стандарт ETSI EN 300468;
- Component tag (8): тег компонента. Равен значению поля component tag в дескрипторе идентификатора потока (stream identifier descriptor). В качестве примера использования тега компонента см. рис. 9.2;
- ISO 639 language descriptor (24): трехсимвольный код языка по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19.

Таблица 6.3. Некоторые значения полей stream content и component type дескриптора компонентов

Stream content	Component type	Описание
0x01	0x01	MPEG2 видео, SD, 4:3, 25 Гц
0x01	0x0A—0x0B	MPEG2 видео, HD, 4:3, 25 Гц (с векторами панорамирования и без)
0x02	0x01—0x05	MPEG1 Layer2 звук. Соответственно: один моно, два моно, стерео, многоязыковой многоканальный звук, объемный (surround)

Таблица 6.3 (окончание)

Stream content	Component type	Описание
0x03	0x01	Телетекст в формате EBU
0x03	0x03	Данные VBI
0x03	0x10—0x14	Субтитры. Соответственно: без соотношения сторон, для экрана 4:3, для экрана 16:9, для экрана 2.21:1, для HD
0x03	0x20—0x24	То же самое, что предыдущая строка, только для слабослышащих людей
0x04	0x00—0xFF	Звук AC-3 в различных режимах (подробнее см. табл. D.1 в стандарте ETSI EN 300468)
0x05	0x01	SD H.264, 4:3, 25 Гц
0x05	0x03	SD H.264, 16:9, 25 Гц
0x05	0x0B	HD H.264, 16:9, 25 Гц
0x06	0x01, 0x03	HE-AAC аудио (моно, стерео)

6.18. Mosaic descriptor — дескриптор мозаики (0x51)

- *Тег:* 0x51.
- *В каких таблицах используется:* SDT.
- *Назначение:*

Описывает мозаичный экран, т. е. несколько изображений, размещенных на разных частях экрана. В DVB используется редко, поскольку требует специальных абонентских устройств.

- *Поля:*
- Дескриптор содержит группы полей (по числу элементов мозаики). В каждую группу входят поля, описывающие идентификатор сети, потока и сервиса элемента мозаики, а также координаты области экрана, где этот элемент размещается. Подробнее см. стандарт ETSI EN 300468.

6.19. Stream identifier descriptor — дескриптор идентификатора потока (0x52)

- *Тег:* 0x52.
- *В каких таблицах используется:* PMT.

Назначение:

Назначает потоку тег, который в других дескрипторах может использоваться как короткая ссылка на этот поток.

 Поля:

- Component tag (8): назначаемый тег дескриптора.

6.20. CA identifier descriptor — идентификатор условного доступа (0x53)

 Тег: 0x53. **В каких таблицах используется:** BAT, SDT, EIT. **Назначение:**

Показывает, зашифрован ли какой-либо букет, сервис или событие системой условного доступа с указанным идентификатором id.

 Поля:

- CA system id (16): идентификатор системы условного доступа. Эти идентификаторы назначаются ETSI (см. ETSI TR 101162). Некоторые из идентификаторов приведены в гл. 10.

6.21. Content descriptor — дескриптор содержания (0x54)

 Тег: 0x54. **В каких таблицах используется:** EIT. **Назначение:** используется для описания содержания какого-либо события. **Поля:**

- Content nibble level 1 (4) и Content nibble level 1 (4). А также два поля, значения которых определяются пользователем. В табл. 6.4 приведены возможные значения. Значения, которые в таблице не указаны, либо зарезервированы, либо могут использоваться пользователем по своему усмотрению.

Таблица 6.4. Некоторые значения полей *content nibble level* в дескрипторе содержания

Content nibble level 1	Content nibble level 2	Описание (последовательное перечисление в соответствии со значением content nibble level 2)
0x1	0x0—0x8	Драма, детектив или триллер, приключения, фантастика, комедия, мелодрама, романтическая история, "кино для взрослых"
0x2	0x0—0x4	Новости, новости с прогнозом погоды, новостной журнал, документальный фильм, интервью или дебаты
0x3	0x0—0x3	Шоу, игровые шоу, варьете-шоу, ток-шоу
0x4	0x0—0xB	Спорт, специальные события (например, Олимпиада), спортивный журнал, футбол, теннис, командный спорт (кроме футбола), легкая атлетика, мотогонки, водный спорт, зимний спорт, конный спорт, борьба
0x5	0x0—0x5	Детские передачи, подготовка к школе, увеселительные программы для детей 6—14 лет, увеселительные программы для детей 10—16 лет, обучающие программы, мультфильмы
0x6	0x0—0x6	Музыка, рок (поп), классика, фолк, джаз, опера, балет
0x7	0x0—0xB	Культура, искусство, изобразительное искусство, религия, поп-культура, литература, кино, экспериментальное кино, СМИ, новые виды искусства, журналы, мода
0x8	0x0—0x3	Общественно-политические программы, документалистика, экономика, известные люди
0x9	0x0—0x7	Наука, природа, технологии, медицина, другие страны, социальные науки, продолжение обучения, языки
0xA	0x0—0x7	Отдых, туризм, поделки, авто, здоровье, питание, реклама, садоводство
0xB	0x0—0x3	Родной язык, расовые проблемы, неопубликованное, прямая трансляция

6.22. Parental rating descriptor — дескриптор возрастного рейтинга (0x55)

- Тег: 0x55.
- В каких таблицах используется: EIT.
- Назначение:

Определяет возможность просмотра события (рейтинг) по возрасту зрителя.

Поля:

- country code (24): код страны, для которой присваивается рейтинг согласно ISO 3166. Для России этот код будет: RUS, где каждая буква задекодирована по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- rating (8): значение равно минимальному разрешенному возрасту зрителя минус 3 года.

6.23. Teletext descriptor — дескриптор телетекста (0x56)

 Тег: 0x56. **В каких таблицах используется:** PMT. **Назначение:**

Определение, какой именно поток в сервисе переносит информацию о телетексте.

 Поля: содержит цикл из четырех полей.

- ISO 639 language descriptor (24): трехсимвольный код языка телетекста по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- Teletext type (5):
 - 0x01 — начальная страница;
 - 0x02 — страница субтитров;
 - 0x03 — добавочная страница;
 - 0x04 — страница телевизионной программы.
- Teletext magazine number (3): идентификатор раздела телетекста (см. стандарт ETSI EN 300706);
- Teletext page number (8): номер страницы телетекста (см. стандарт ETSI EN 300706).

6.24. Local time offset descriptor — дескриптор местного времени (0x58)

 Тег: 0x58. **В каких таблицах используется:** TOT.

□ **Назначение:**

Передача смещения времени сети цифрового телевидения относительно всемирного времени (UTC). Обратите внимание, что время перехода с летнего на зимнее задается вручную, т. е. раз в полгода необходимо менять содержимое данного дескриптора.

□ **Поля:**

- Country code (24): код страны, для которой присваивается рейтинг согласно ISO 3166. Для России этот код будет: RUS, где каждая буква за-кодирована по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- Country region id (6): идентификатор временной зоны в стране. Самый восточный часовой пояс имеет номер 1. Если поле равно 0, страна со-держит один часовой пояс;
- Local time offset polarity (1): для западной долготы поле равно 0, для восточной — 1;
- Local time offset (16): смещение времени. Правила кодирования време-ни см. в разд. 5.20;
- Time of change (40): время перехода с летнего времени на зимнее в мо-дифицированной юлианской дате (MJD);
- Next time offset (16): значение поля local time offset, которое будет по-сле следующего переключения.

6.25. Subtitling descriptor — дескриптор субтитров (0x59)

□ **Тег:** 0x59.

□ **В каких таблицах используется:** PMT.

□ **Назначение:**

Передача информации о субтитрах. Обратите внимание, что поток субтит-ров должен иметь тип 0x06 (пакетизированный элементарный поток с пользовательскими данными).

□ **Поля:**

Дескриптор содержит цикл, состоящий из четырех полей:

- ISO 639 language code (24): трехсимвольный код языка субтитров по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- Subtitling type (8): см. табл. 6.4;

- Composition page id (16): номер страницы оглавления (composition) субтитров;
- Ancillary page id (16): идентификатор добавочной страницы.

6.26. Terrestrial delivery system descriptor — дескриптор описания наземной сети распространения (0x5A)

- Тег: 0x5A.
- В каких таблицах используется: NIT.
- Назначение:

Передача информации о сети связи. Данный дескриптор содержит различную дополнительную информацию о сети связи. Поскольку данная информация дублирует сведения из TPS, использование данного дескриптора большого смысла не имеет. О TPS см. разд. 7.24.

- Поля:

В состав дескриптора входят поля, описывающие используемый канал связи: центральную частоту, полосу, наличие или отсутствие иерархического режима, скорости транспортных потоков и т. п. Редактирование этих полей в случае необходимости доступно через интерфейс маршрутизатора и в дополнительном описании не нуждается. Единственное поле, использование которого может иметь практический смысл, это флаг other frequency flag (1). Если он равен 1, значит, сеть является многочастотной.

Использование этого флага может быть полезно в мобильном телевидении для указания абонентскому устройству, что в сети имеются другие частоты для текущего сервиса (подробнее о таком использовании см. разд. 11.11).

6.27. Multilingual network name descriptor — многоязычный дескриптор имени сети (0x5B)

- Тег: 0x5B.
- В каких таблицах используется: NIT.
- Назначение:

То же, что дескриптор имени сети. Имеется возможность передачи имени на нескольких языках.

Поля:

Дескриптор содержит пары полей:

- ISO 639 language code (24): трехсимвольный код языка имени сети по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- Поле имени длиной не более 256 символов.

6.28. Multilingual bouquet name descriptor — многоязычный дескриптор букета (0x5C)

 Тег: 0x5C. *В каких таблицах используется:* BAT. *Назначение:*

То же, что и дескриптор имени букета. Имеется возможность передачи имени на нескольких языках.

 Поля:

- ISO 639 language code (24): трехсимвольный код языка названия букета по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- Поле имени длиной не более 256 символов.

6.29. Multilingual service name descriptor — многоязычный дескриптор имени сервиса (0x5D)

 Тег: 0x5D. *В каких таблицах используется:* SDT. *Назначение:* служит для передачи имени сервиса на нескольких языках. **Поля:**

Дескриптор содержит цикл из трех полей:

- ISO 639 language descriptor (24): трехсимвольный код языка названия сервиса по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- Имя провайдера сервиса (до 256 символов);
- Имя сервиса (до 256 символов).

6.30. Multilingual component descriptor — многоязычный дескриптор компонентов (0x5E)

- Тег:* 0x5E.
- В каких таблицах используется:* EIT.
- Назначение:*

То же самое, что и дескриптор компонентов. Позволяет дать описание компонента на нескольких языках.

- Поля:*

Дескриптор состоит из трех полей:

- Component tag (8): см. разд. 6.17;
- ISO 639 language descriptor (24): трехсимвольный код языка названия компонента по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- Название компонента (до 256 символов).

6.31. Service move descriptor — дескриптор перемещения сервиса (0x60)

- Тег:* 0x60.
- В каких таблицах используется:* PMT.
- Назначение:*

Указание для абонентского устройства позиции, в которую перемещен какой-либо сервис.

- Поля:*

- New original network id (16), new transport stream id (16), new service id (16) — новые идентификаторы сети, транспортного потока и сервиса.

6.32. Short smoothing buffer descriptor — краткий дескриптор буфера (0x61)

- Тег:* 0x61.
- В каких таблицах используется:* EIT.

Назначение:

Позволяет указать битрейт потока, с которым будет передаваться то или иное событие. Является сокращенной формой дескриптора, определенного в ISO 13818-1 (т. е. стандартного дескриптора MPEG2).

Поля:

- Sb size (2): если поле равно 1, то размер буфера равен 1536 байт. Остальные значения не определены;
- Sb leak rate (6): скорость считывания данных с выхода буфера. Возможные значения приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5. Значение поля Sb leak rate краткого дескриптора буфера

Значение	Скорость (Мбит/сек)
1	0,0009
2	0,0018
3	0,0036
4	0,0072
5	0,0108
6	0,0144
7	0,0216
8	0,0288
9	0,075
10	0,5
11	0,5625
12	0,8437
13	1,0
14	1,1250
15	1,5
16	1,6875
17	2,0
18	2,2500
19	2,5
20	3,0
21	3,3750

6.33. Frequency list descriptor — дескриптор списка частот (0x62)

- Тег: 0x62.
- В каких таблицах используется: NIT.

Назначение:

Служит для передачи абонентскому устройству списка частот, на которых ведется работа в текущей сети связи цифрового телевидения.

Поля:

- Coding type (2): поле равно 11 для наземного телевидения;
- Цикл полей center frequency (32): см. разд. 6.26.

6.34. Data broadcast descriptor — дескриптор данных (0x64)

- Тег: 0x64.
- В каких таблицах используется: SDT, EIT.

Назначение:

Описание типа передаваемых данных при использовании DVB-DATA.

Поля:

- Data broadcast id (16): идентификатор спецификации системы передачи данных (табл. 6.6). См. также гл. 9. Полный список значений поля см. в ETSI TR 101162;

Таблица 6.6. Некоторые возможные значения data broadcast id дескриптора данных

Значение	Описание
0x0001	Конвейерная передача данных (data pipe)
0x0002	Асинхронные данные
0x0003	Синхронные данные
0x0004	Синхронизированные данные
0x0001	Мультипротокольная инкапсуляция (MPE)
0x0001	Карусели данных
0x0001	Карусели объектов

- Component tag (8): тег компонента, который устанавливается при помощи дескриптора компонента (component descriptor);
- Selector field (до 256 байт): системозависимая информация. Определяется разработчиком систем передачи данных (клиентов и серверов). Может использоваться, например, для определения точки входа;
- ISO 639 language descriptor (24): трехсимвольный код языка описания сервиса по ISO639-2, каждый символ кодируется в 8 бит по ISO 8859-1. Правила кодирования текста см. в разд. 5.19;
- Text (до 256 символов): описание сервиса.

6.35. Scrambling descriptor — дескриптор скремблирования (0x65)

- Тег: 0x65.
- В каких таблицах используется: PMT.
- Назначение: служит для описания режима скремблирования.
- Поля:
 - Scrambling mode (8): см. табл. 6.7 для определения значений поля. Обратите внимание, что расшифровка описания доступна только владельцам лицензии на CSA (Common Scrambling Algorithm — общий алгоритм шифрования), полученной от ETSI, и в данной книге не приводится. Также необходимо иметь в виду, что различные режимы шифрования (не нужно путать режим шифрования и систему условного доступа CAS) невозможно совмещать внутри одного сервиса, внутри одного сервиса режим шифрования должен быть один и тот же, хотя CAS могут быть различны (см. гл. 10).

Таблица 6.7. Возможные значения поля scrambling mode дескриптора скремблирования

Значение	Описание
0x01	Используется режим DVB-CSA1. Это значение является значением по умолчанию в том случае, если дескриптор скремблирования отсутствует
0x02	Используется режим DVB-CSA2
0x03	Используется стандартный режим DVB-CSA3
0x04	Используется минимально усовершенствованный режим DVB-CSA2
0x05	Используется полностью усовершенствованный режим DVB-CSA2

Таблица 6.7 (окончание)

Значение	Описание
0x70—0x7F	Значение определяется документами ATIS (Консорциум в области индустрии телекоммуникаций, wwwatis.org)
0x80—0xFE	Определяется пользователем (разработчиком CAS)

6.36. Data broadcast id descriptor — дескриптор идентификатора данных (0x66)

- Тег:* 0x66.
- В каких таблицах используется:* PMT.
- Назначение:* передача идентификатора данных.
- Поля:*
 - Data broadcast id (16): идентификатор оператора передачи данных, определяемый ETSI (см. стандарт ETSI EN 101162);
 - Id selector byte (до 240 байт): поле, значение которого определяется оператором передачи данных или разработчиком системы передачи данных.

6.37. Cell list descriptor — дескриптор ячеек сети связи (0x6C)

- Тег:* 0x6C.
- В каких таблицах используется:* NIT.
- Назначение:* Сообщение абонентскому устройству характеристик радиотелевизионных передающих станций цифрового телевидения, которые имеются в сети связи. При этом сеть рассматривается состоящей из ячеек (cells) и субъячеек (subcells).

- Поля:*

Дескриптор состоит из двух вложенных циклов — по ячейкам и в каждой ячейке — по субъячейкам.

 - Cell id (16): идентификатор ячейки. Как правило, устанавливается через интерфейс модулятора РТПС;

- Cell latitude (16): широта угла сферического прямоугольника, приблизительно описывающего зону радиопокрытия ячейки. Выражена в условных единицах. Одна единица равна $90^\circ/2^{15}$. Какого именно угла — стандартом не оговаривается, т. е. определяется разработчиком;
- Cell longitude (16): долгота угла зоны радиопокрытия. Выражена в условных единицах, причем одна единица равна $180^\circ/2^{15}$;
- Cell extent for latitude (12): размер зоны по широте. Выражен аналогично широте;
- Cell extent for longitude (12): размер зоны по долготе. Выражен аналогично долготе.

Такой же набор параметров определяется для каждой субъячейки.

6.38. Cell frequency link descriptor — дескриптор частот ячеек сети (0x6D)

- Тег:* 0x6D.
- В каких таблицах используется:* NIT.
- Назначение:*
Применяется для передачи абонентскому устройству сведений о частотах, использующихся каждой из ячеек и субъячеек сети.
- Поля:*
Дескриптор содержит два вложенных цикла — по ячейкам и в каждой ячейке по субъячейкам.
 - Cell id (16): идентификатор ячейки. Как правило, устанавливается через интерфейс модулятора РТПС;
 - Frequency (32): центральная частота. В условных единицах. Одна единица равна 10 Гц.

Аналогичные поля используются для описания субъячеек.

6.39. Announcement support descriptor — дескриптор поддержки объявлений (0x6E)

- Тег:* 0x6E.
- В каких таблицах используется:* SDT.

Назначение:

Передает абонентскому устройству информацию о том, какой тип объявлений поддерживает данный сервис.

Поля:

- Announcement support indicator (16): это поле (табл. 6.8) является набором флагов, каждый из которых маркирует тип объявления, которое может быть передано;
- Announcement type (4): см. табл. 6.9;
- Reference type (3): способ, которым передается сообщение. Возможные значения см. в табл. 6.10;

Таблица 6.8. Возможные значения поля *announcement support indicator* дескриптора поддержки объявлений

Номер бита	Описание
0 (LSB)	Предупреждения об опасности
1	Дорожная обстановка
2	Информация об общественном транспорте
3	Предупреждения
4	Новости
5	Погода
6	Анонсы событий
7	Персональный вызов

Таблица 6.9. Значения поля *announcement type*

Значение	Описание
0000	Сообщение о тревоге
0001	Сообщение о дорожной обстановке
0010	Сообщение об общественном транспорте
0011	Предупреждающее сообщение
0100	Новостное сообщение
0101	Сообщение о погоде
0110	Сообщение о событии
0111	Персональное сообщение

Таблица 6.10. Некоторые возможные значения поля *reference type* дескриптора поддержки сообщений

Значение	Описание
000	Объявления передаются в виде звука в обычном аудиопотоке (речевые объявления) сервиса
001	То же, что предыдущий, только в одном из звуковых потоков сервиса
010	Сообщения передаются в другом сервисе этого же транспортного потока
011	Сообщения передаются в другом сервисе другого транспортного потока

- Original network id (16), transport stream id (16), service id (16), component tag (8) — идентификаторы сети, транспортного потока, сервиса сообщений, а также тег компонента сервиса, в котором передаются сообщения. Тег компонента устанавливается stream identifier descriptor (дескриптором идентификации сервиса) в ПМТ.

6.40. Adaptation field data descriptor — дескриптор данных поля адаптации (0x70)

- Тег: 0x70.
- В каких таблицах используется: ПМТ.
- Назначение:

Используется для указания типа данных, которые передаются в пользовательских данных поля адаптации пакетов транспортного потока MPEG TS.

- Поля:
 - adaptation field data identifier (8): набор флагов, большинство из которых зарезервированы на будущее. Используется только 0 (LSB), означающий, что передаются данные переключения анонсов (подробнее см. спецификацию ETSI TS 101154), и первый, который означает, что передается информация о единице доступа данных (AU).

6.41. Service availability descriptor — дескриптор доступности сервиса (0x72)

- Тег: 0x72.
- В каких таблицах используется: SDT.

Назначение:

Используется для передачи абонентскому устройству списка ячеек, в которых доступен тот или иной сервис.

 Поля:

- Availability flag (1): флаг равен 1, если передается список ячеек, где сервис доступен, равен 0, если наоборот;
- Список 16-битных идентификаторов ячеек сети.

6.42. User defined descriptor — дескриптор, определенный пользователем (0x80—0xFE)

 Теги: 0x80—0xFE. **В каких таблицах используется:** NIT, BAT, SDT, EIT, PMT. **Назначение:** определяется пользователем (разработчиком). **Поля:** определяются пользователем (разработчиком).



ГЛАВА 7

Распространение радиоволн, модуляция и канальное кодирование

7.1. Колебания и волны

В радиотехнике для передачи информации используются *электромагнитные и электрические колебания*, которые представляют собой периодическое изменение амплитуды (и мощности) электромагнитного поля или электрического поля в какой-либо точке пространства (рис. 7.1). Колебание не переносит энергию из одной точки пространства в другую, в отличие от волны.

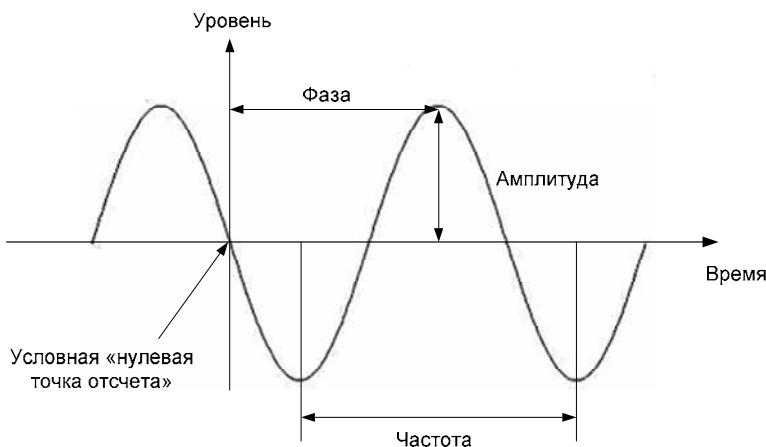


Рис. 7.1. Колебание и его параметры

Волна — это распространяющееся в пространстве возмущение, переносящее энергию. *Электромагнитные волны* — это распространяющиеся возмущения

электромагнитного поля, имеющие форму колебаний (рис. 7.2). Волна имеет две периодичности — пространственную и временную. Пространственная периодичность характеризуется длиной волны, а временная — частотой.

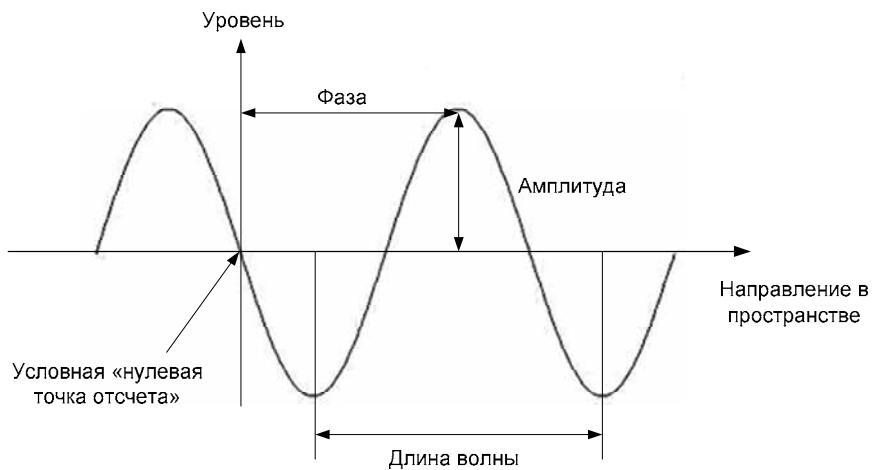


Рис. 7.2. Электромагнитная волна и ее параметры

Если мы остановимся в какой-либо точке пространства, через которую проходит электромагнитная волна, то мы обнаружим, что уровень напряженности электромагнитного поля будет колебаться. Это демонстрирует связь между волнами и колебаниями.

Частота и длина волны связана соотношением:

$$\omega = \frac{c}{\lambda},$$

где

- ω — частота;
- c — скорость распространения радиоволн (скорость света);
- λ — длина волны.

Поскольку электромагнитные волны переносят энергию, то их можно рассматривать как поток энергии. Этот поток можно охарактеризовать количеством энергии, переносимым в единицу времени — *мощностью*. Мощность измеряется в ваттах. Электромагнитная волна имеет мощность 1 Вт (ватт), когда она переносит 1 Дж (дюйм) энергии за 1 сек времени. Например, мощность передатчика — это количество энергии, которое передатчик отдает в единицу времени в устройство, присоединенное к передатчику (например, в антенну).

Мощность представляет собой площадь под кривой на рис. 7.2, деленную на время, соответствующее этой площади.

Электромагнитные волны являются плоскими волнами, т. е. распространяются в одной определенной плоскости. Волны, распространяющиеся в одной плоскости, называются *поляризованными волнами*, а сама плоскость — *плоскостью поляризации*. В цифровом телевидении используются волны, распространяющиеся либо в горизонтальной, либо в вертикальной плоскостях. Говорят, что используются *волны горизонтальной или вертикальной поляризаций*.

Возможность излучать и принимать волны разных поляризаций определяется конструкцией используемой антенны.

7.2. Модуляция, несущая, спектр

Электромагнитные волны используются в радио для передачи информации. Это делается при помощи модуляции — изменения параметров волны в соответствии с изменением передаваемой информации. Например, параметры волны могут принимать различные значения, в зависимости от значения текущего байта транспортного потока MPEG2.

Термин *модуляция* означает отображение (mapping) изменений информации на изменения частоты, фазы и амплитуды излучаемого сигнала. Таким образом, модуляция устанавливает зависимость (функцию) частоты, фазы и амплитуды излучаемого сигнала от информации, которая при помощи этого сигнала передается.

В аналоговом телевидении эта зависимость является непрерывной функцией, в цифровом телевидении — дискретной функцией, принимающей определенные фиксированные значения.

Различают несколько видов модуляции: амплитудную, частотную, фазовую, а также смешанные виды. Если амплитуда сигнала является функцией передаваемой информации, то модуляция называется *амплитудной*, если частота — *частотной* и т. п. В цифровом телевидении используются модуляция COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), которая является *амплитудно-фазовой модуляцией*. Таким образом при изменении передаваемой информации изменяются как амплитуда, так и фаза сигнала.

Электромагнитное колебание, которое подвергается модуляции, называется *несущей* (carrier). Говорят, что несущая "промодулирована".

Запишем формулу, которая определяет зависимость амплитуды несущей от времени на выходе воображаемого передатчика. Эта зависимость описывает колебание амплитуды в зависимости от времени, частоты и фазы.

$$A(t) = A \cdot \sin(\omega t + \theta).$$

В этой формуле:

A — амплитуда несущей;

ω — круговая частота сигнала (она связана с периодом T зависимостью

$$\omega = \frac{2\pi}{T};$$

θ — фаза сигнала;

t — время.

Сигналы, форма которых во времени повторяется через какой-то промежуток времени T , называются периодическими с *периодом* T . Сигнал, записанный ранее в виде формулы, является периодическим, поскольку \sin — это периодическая функция.

Математическая теория говорит нам, что любой периодический сигнал с определенной степенью точности можно представить в виде суммы синусоидальных или косинусоидальных сигналов с различными амплитудами, частотами и весовыми коэффициентами. Или, говоря по-другому, любой периодический сигнал можно представить с определенной степенью точности в виде суммы гармонических колебаний. Такое представление называется *рядом Фурье*.

Если сигнал является строго синусоидальным, то ряд Фурье для этого сигнала состоит из одного-единственного члена $A(t) = A \cdot \sin(\omega t + \theta)$.

Пусть имеем некоторый (неважно какой) радиосигнал $S(t)$ с круговой частотой ω . Круговая частота равна:

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

где T — период колебания.

Как гласит математическая теория, этот сигнал можно представить в виде разложения в ряд Фурье следующего вида:

$$\begin{aligned} S(t) &= \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + \dots + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + \dots = \\ &= \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos \omega k t + b_k \sin \omega k t) \end{aligned}$$

или то же самое, в комплексной форме, что намного удобнее и проще:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} C_k e^{jkt},$$

где C_k — комплексный коэффициент.

Преобразование между записью разложения Фурье через тригонометрические функции и записью через комплексные числа выражается следующими формулами:

Если $k = 1, 2, \dots$, то $C_k = \frac{1}{2}(a_k - jb_k)$.

Если $k = -1, -2, \dots$, то $C_k = \frac{1}{2}(a_k + jb_k)$.

При этом модуль комплексного числа (амплитуда) будет определяться следующим выражением:

$$|C_k| = \frac{\sqrt{a_k^2 + b_k^2}}{2}.$$

А угол (фаза):

$$\angle C_k = \arctg \frac{b_k}{a_k}.$$

В комплексной форме модуль комплексного числа представляет собой амплитуду, а угол — фазу. Как видно из приведенных ранее формул, если форма сигнала записана через формулу, содержащую тригонометрические функции, то выразить из этой формулы амплитуду и фазу сигнала будет сложнее, чем при записи через комплексные числа.

Вот таким образом можно представить комплексное число геометрическими методами для наглядности. Внимательно изучите рис. 7.3, т. к. он нам потребуется в дальнейшем, когда мы будем говорить о созвездиях.

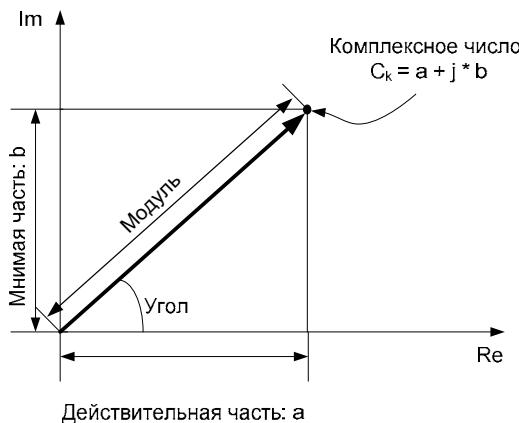


Рис. 7.3. Графическое представление комплексного числа

Из приведенных ранее выражений следует, что сигнал состоит из постоянной составляющей $\frac{a_0}{2}$ и переменных составляющих $a_k \cos \omega k t$ и $b_k \sin \omega k t$. Чем большее количество элементов k используется в этом разложении, тем точнее оно описывает сигнал $S(t)$. Ранее, в формуле разложения в ряд Фурье показан идеальный случай — количество элементов равно бесконечности. Но использовать на практике такую формулу нельзя, потому что невозможно знать бесконечное количество данных. Именно поэтому мы и говорили, что представить сигнал в виде ряда Фурье можно только с определенной достоверностью, а не совершенно точно.

Заметим также, что постоянная составляющая в радиосигнале отсутствует, т. е. постоянный член разложения в ряд Фурье равен 0.

Давайте внимательно посмотрим на формулу разложения в ряд Фурье, особенно на сумму синусов и косинусов. Каждый из этих синусов и косинусов в отдельности представляет собой отдельное синусоидальное или косинусоидальное колебание со своей частотой ωk . То есть это и означает, что сигнал $S(t)$ может быть представлен в виде суммы одиночных синусоидальных или косинусоидальных колебаний.

Эта формула является математической записью того факта, что любой сигнал представляет собой совокупность одиночных синусоидальных или косинусоидальных колебаний с разными амплитудами с частотами, кратными целым числам.

Графически эта ситуация показана на рис. 7.4.

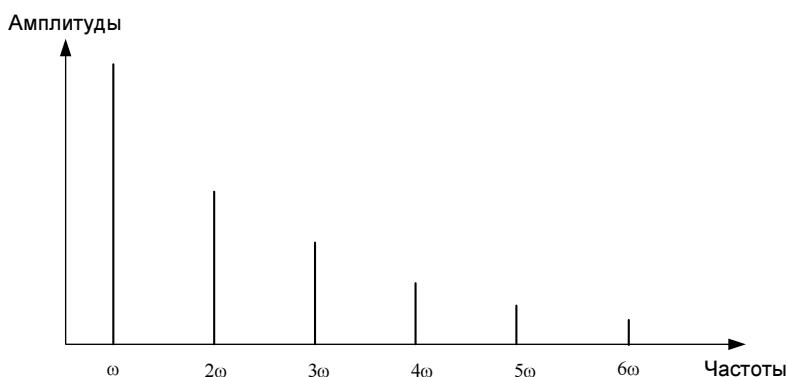


Рис. 7.4. Пример спектра несущей

Электромагнитные колебания с частотами ωk называются *гармониками*.

Совокупность колебаний, которые в сумме дают несущую, называется *спектром несущей*. Спектр несущей располагается в области частот радиодиапазона.

зона (т. е. от 1 кГц до 100 ГГц). Составляющие спектра несущей называются гармониками и занимают некоторый диапазон частот, который называется *полосой спектра несущей*. На практике гармоники несущей приносят только лишние помехи и в передатчиках используют специальные устройства (фильтры), чтобы препятствовать их излучению.

Теперь усложним ситуацию, введя модуляцию. Для простоты рассмотрим случай аналогового телевидения. Поскольку модуляция — это периодическая зависимость параметров несущей от информации, то она может быть представлена разложением в ряд Фурье. В аналоговом телевидении эта зависимость является периодической с периодом следования частоты кадров.

Пусть модулирующая периодическая функция при разложении в ряд Фурье имеет вид:

$$\begin{aligned} M(t) &= \frac{c_0}{2} + c_1 \cos \psi t + c_2 \cos 2\psi t + \dots + d_1 \sin \psi t + d_2 \sin 2\psi t + \dots = \\ &= \frac{c_0}{2} + \sum_{l=1}^{\infty} (c_l \cos \psi lt + d_l \sin \psi lt). \end{aligned}$$

Эта функция имеет частоту ψ . Соответственно гармоники этой частоты будут (по аналогии с гармониками несущей) иметь частоты ψl , где $l = 1, 2, 3$ и т. п. Диапазон, в котором располагаются эти гармоники, называется *базовым диапазоном (baseband)*. Таким образом, базовый диапазон — это диапазон частот, в котором располагаются гармоники модулирующей функции. Соответственно, совокупность гармоник базового диапазона называется *спектром базового диапазона*. А полоса частот, в которой располагаются эти гармоники, называется *полосой частот базового диапазона (baseband bandwidth)*. В аналоговом и цифровом телевидении эта полоса составляет 8 МГц.

Мы вернемся к понятию базового диапазона далее в разд. 7.15, поскольку это важно для понимания, как формируется радиочастотный сигнал цифрового телевидения с использованием модуляции COFDM.

Математически процесс модуляции можно записать в следующем виде, где $R(t)$ — модулированный сигнал несущей.

$$R(t) = S(t) \cdot M(t).$$

Если мы подставим в эту формулу разложения в ряд Фурье для несущей и для модулирующей функции и раскроем скобки, то мы получим колебания с частотами вида $\phi k \pm \psi l$, где k и l — положительные целые числа.

Если мы нанесем эти колебания на рисунок спектра несущей, то получим следующую картину (рис. 7.5). Для наглядности на рисунке показана только

сама несущая и вторая гармоника, а остальные гармоники выглядят аналогично с коррекцией на их амплитуду.

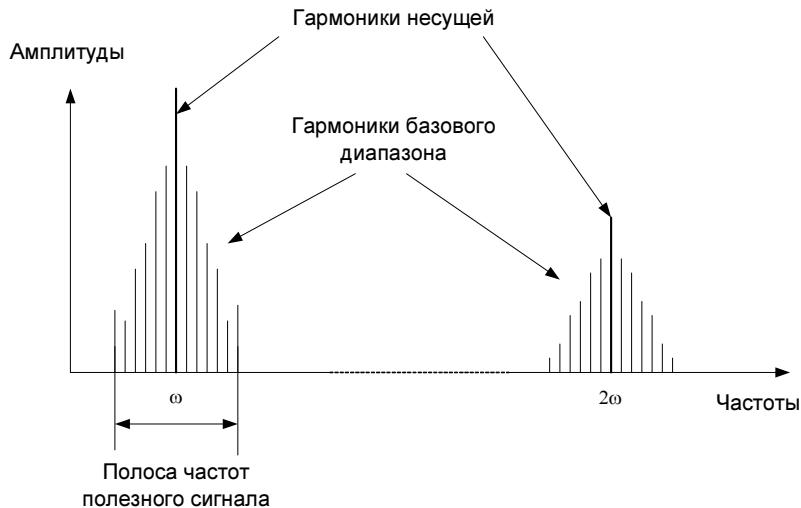


Рис. 7.5. Полоса частот полезного сигнала

Мы видим, что вокруг несущей и ее гармоник появилась "свита" из гармоник с частотами $\phi k \pm \psi l$ при этом часть спектра, которую эти гармоники занимают, равна полосе частот базового диапазона, умноженной на два.

Полоса частот полезного сигнала (или просто — *полоса частот сигнала, signal bandwidth*) — это полоса частот, равная полосе частот базового диапазона. В цифровом и аналоговом телевидении это 8 МГц.

Из каких соображений выбирается полоса частот полезного сигнала? Ранее мы говорили о том, что чем больше членов в разложении в ряд Фурье, тем точнее передается сигнал. Иными словами, чем больше гармоник, тем точнее передается сигнал. Однако на практике приходится серьезно задумываться об экономии радиочастотного спектра, поэтому экспериментальным путем определяется, сколько гармоник базового диапазона необходимо сохранить для того, чтобы сигнал передавался качественно. Для аналогового телевидения была определена полоса в 8 МГц, а цифровое телевидение разрабатывалось с учетом того, что придется пользоваться такой полосой.

7.3. Преобразование Фурье

Теперь рассмотрим "краеугольный камень" модуляции COFDM, на использовании которой основано цифровое телевидение — преобразование Фурье.

Заметим одну важную вещь — зная, что сигнал можно разложить в ряд Фурье, мы можем сконструировать сами любой сигнал, если будем знать коэффициенты преобразования Фурье.

Предположим, что у нас есть набор некоторых коэффициентов. Тогда, подставив их в формулу разложения в ряд Фурье, в левую ее часть, в правой части получим сигнал $S(t)$.

Преобразование сигнала в совокупность синусоид и косинусоид гармоник с разными коэффициентами a и b называется *прямым преобразованием Фурье*, конструирование итогового сигнала из коэффициентов — *обратным преобразованием Фурье*.

Сокращенно прямое преобразование Фурье называется *FFT* (Fast Fourier Transform), а обратное — *IFFT* (Inverse Fast Fourier Transform).

Удобнее всего использовать комплексную форму преобразования Фурье, тогда зная модуль и угол каждого коэффициента C_k (т. е. проще говоря, амплитуду и фазу каждой гармоники), мы можем выполнить обратное преобразование Фурье и "сконструировать" желаемый сигнал.

$$\sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos \omega k t + b_k \sin \omega k t) \rightarrow S(t)$$

или, в комплексной форме:

$$\sum_{k=-\infty}^{k=\infty} C_k e^{j k t} \rightarrow S(t).$$

Именно такого рода "конструирование" сигнала употребляется в DVB. При этом значения коэффициентов C_k выводятся из цифровых данных, содержащихся в транспортном потоке MPEG2, после того, как этот поток подвергается канальному кодированию с целью защиты от помех.

При этом сигнал COFDM отличается от того, что мы рассматривали в предыдущих разделах. В частности базовый диапазон содержит несколько тысяч модулированных колебаний на разных частотах, которые как бы представляют собой гармоники. Это именно "конструирование" сигнала при помощи IFFT, поскольку в COFDM гармоники никак не связаны друг с другом, а конструируются по-отдельности. В COFDM эти гармоники тоже называются несущими, поэтому нужно быть внимательнее, чтобы избежать путаницы.

Формирование сигнала COFDM в цифровом телевидении производится с использованием обратного преобразования Фурье. Формула этого преобразования приведена в разд. 4.4 стандарта ETSI 30744 "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television" ("Цифровое вещание видеинформации: структура кадров, каналь-

ное кодирование и модуляция для наземного телевидения"). Данная формула довольно сложна и будет нами вкратце обсуждаться далее в *этой главе*. Эта формула содержит разложение в ряд Фурье в комплексном виде.

Технически, преобразование Фурье выполняется специальными алгоритмами в процессорах модуляторов передатчиков цифрового телевидения, а также в процессорах абонентских приставок.

7.4. Что такое децибелы

Децибели — единица измерения отношения двух величин, имеющих одинаковые физические размерности. Сам децибел размерности не имеет. Децибели используются для сравнения двух величин, количественное значение которых очень велико.

Определение децибела, использующегося для сравнения двух величин A :

$$\text{Величина в децибелях} = 10 \lg \left(\frac{A_1}{A_2} \right).$$

Децибели обозначаются сокращенно дБ или dB.

Когда речь идет о децибелях, всегда важно понимать, что децибели — это относительная величина, т. е. всегда нужно понимать, относительно чего измеряются децибели. Например, когда говорят, что "уровень сигнала составляет 5 дБ", то всегда уместно спросить — относительно чего эти 5 дБ? Относительно вольт, микровольт?

В радиотехнике децибели используются повсюду. Чаще всего децибели используются для характеристики отношения мощностей или амплитуд сигналов.

Мощность сигнала относительно одного милливатта через децибели выражается следующим образом:

$$P(\text{dBm}) = 10 \lg \left(\frac{P}{1} \right),$$

где P — мощность, выраженная в милливаттах, dBm (дБмВт) — специальное обозначение, которое используется для мощности в децибелях относительно милливатта. Например, $P = 50$ дБ — это $P = 100$ Вт.

Амплитуда сигнала относительно одного микровольта выражается следующим образом:

$$A (\text{dBmкV}) = 20 \lg \left(\frac{A}{1} \right).$$

Здесь A выражена в микровольтах, dBmкV (дБмкВ) — специальное обозначение, которое подчеркивает, что отношение выражено относительно 1 мкВ. В формуле используется множитель 20, а не 10, поскольку отношение мощностей равно отношению квадратов амплитуд и степень 2 вынесена перед логарифмом в соответствии с правилами преобразования логарифмов.

Поскольку мощность сигнала зависит от его амплитуды, то возможно пересчитать dBm в dBmкV и наоборот (для волнового сопротивления 50 Ом):

$$1 \text{ dBm} = 1 \text{ dBmкV} - 107 \text{ dB}.$$

На практике чаще всего используются dBm. Для примера приведем таблицу пересчета dBm в безразмерные величины отношения мощностей (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Таблица децибел по мощности

Отношение (безразмерное)	Отношение в dBm
1,25	1
2	3
4	6
8	9
10	10
100	20
1000	30
100000	50

7.5. Характеристики антенн

Любая антенна может быть использована как на излучение, так и на прием.

Изотропный излучатель — это воображаемая антенна, которая излучает приводимую к ней энергию по всем возможным направлениям. Такую антенну создать невозможно, она существует только теоретически. Да и собственно, в такой антенне не было бы особого практического смысла. Зачем, предположим, излучать энергию вверх, если там нет абонентских устройств? *Половиновой вибратор* — это антенна, представляющая собой отрезок провода, равный половине длине волны телевизионной станции. Такая антенна практически реализуема и представляет собой простейший вариант антенны.

Важнейшая характеристика антенны — коэффициент ее усиления. *Коэффициент усиления антенны* зависит от направления, в котором излучается (или

принимается) сигнал. Коэффициент усиления антенны показывает, насколько больше (или меньше) сигнал, излучаемый (принимаемый) данной антенной, по сравнению с сигналом, излучаемым (принимаемым) в этой же точке изотропной антенной или полуволновым вибратором.

Усиление антенны относительно изотропного излучателя, выраженное в децибелах, обозначают dB_i , а относительно полуволнового вибратора — dB_d .

$$K_{\text{ПВ}}(\text{dBd}) = K_{\text{изо}}(\text{dBi}) + 2,15 \text{dB},$$

где

- $K_{\text{ПВ}}$ — коэффициент усиления антенны относительно полуволнового вибратора;
- $K_{\text{изо}}$ — коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя.

Каким образом излучает антenna, определяется диаграммой направленности антенны. *Диаграмма направленности антенны* — это график зависимости коэффициента усиления антенны от направления (в сферических координатах). Причем, как правило, в технической документации приводятся два таких графика: *диаграмма направленности в горизонтальной плоскости* (рис. 7.6, а) и *диаграмма направленности в вертикальной плоскости* (рис. 7.6, б).

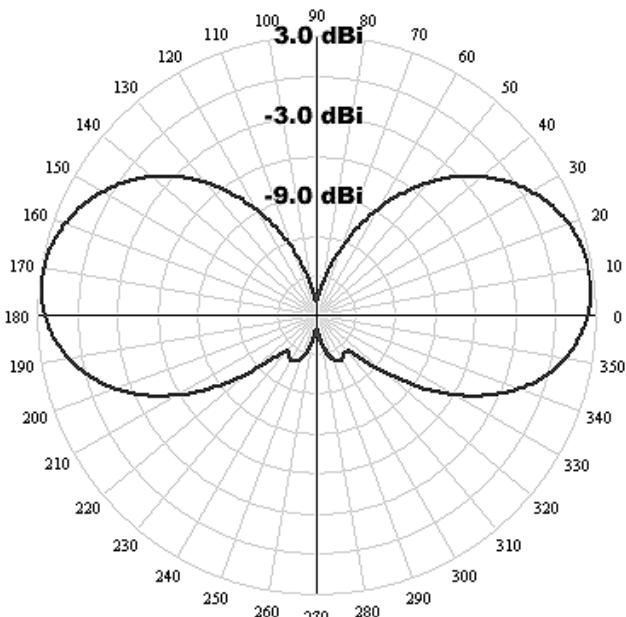


Рис. 7.6, а. Пример диаграммы направленности в горизонтальной плоскости

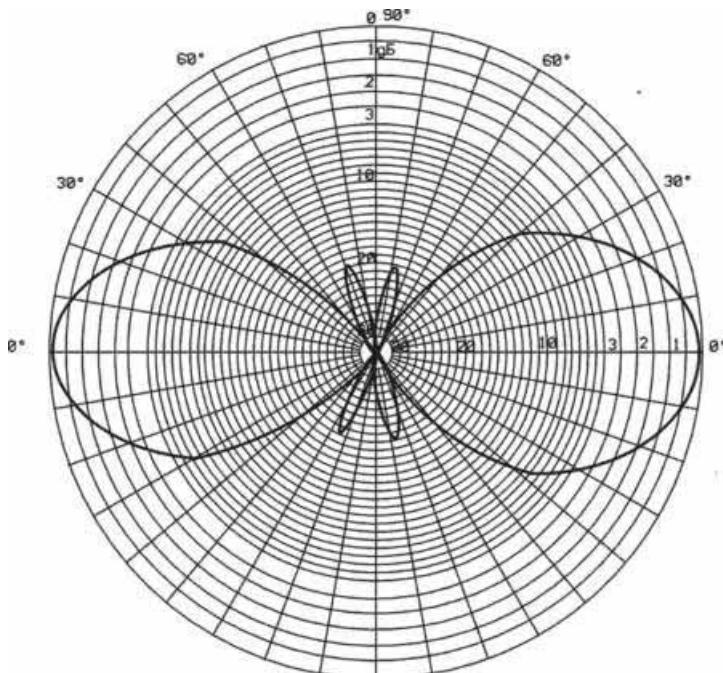


Рис. 7.6, б. Пример диаграммы направленности в вертикальной плоскости

Обратите внимание, что антенна является частотно-зависимым устройством. Таким образом, коэффициент усиления зависит не только от сферических координат, но и от частоты. Причем коэффициент усиления может быть и отрицательным — т. е. антенна может и ослаблять сигнал.

Кроме того, антенна способна принимать и излучать радиоволны, распространяющиеся только в определенной плоскости, т. е. радиоволны, имеющие *поляризацию*. В разд. 7.1 мы отмечали, что в технике используются электромагнитные колебания (радиоволны) горизонтальной и вертикальной поляризаций.

А зачем понадобилось использовать и ту и другую поляризацию на практике? Дело в том, что волны горизонтальной и вертикальной поляризации распространяются по-разному. Из законов физики следует, что, например, волны вертикальной поляризации лучше отражаются от вертикальных поверхностей, а горизонтальные — от горизонтальных. Поэтому, в частности, сигналы аналогового телевидения излучаются, как правило, с горизонтальной поляризацией — для того, чтобы снизить количество отраженных волн в городской среде, поскольку такие волны приводят к двоению и размытию изображения. Кроме этого вопрос горизонтальной и вертикальной поляризации важен для совместимости сетей связи. Например, если на одном телевизионном канале

передача ведется с использованием горизонтальной поляризации, а на соседнем с ним канале с вертикальной, то это позволяет снизить вредное влияние (помехи) одного канала на другой.

Дополнительные сведения о поляризации можно найти в разд. 8.11.

Итак, мы имеем цифровой телевизионный передатчик, имеем антенну. Для того чтобы соединить передатчик с антенной, используется *фидер* — специальный кабель, предназначенный для работы с электрическим сигналами высокой частоты. Важнейшая характеристика фидера — *затухание*. Затухание показывает, сколько энергии теряется при прохождении фидера. Затухание выражается в децибелах. Затухание, очевидно, зависит от длины фидера — чем длиннее фидер, тем больше затухание. Затухание также является частотно-зависимым, т. е. на разных частотах может быть разным.

Передатчик, фидер и антenna должны быть *согласованы* друг с другом, т. е. иметь одинаковое *волновое сопротивление*. Здесь мы не будем рассматривать волновое сопротивление, просто имейте в виду, что это фактор, который необходимо учитывать. Как правило, современное оборудование выпускается с волновым сопротивлением 50 Ом. Более подробную информацию об этих и других технических деталях вы можете найти в любой книге по радиопередающим устройствам. Все расчеты в данной книге (если не указано обратное) приводятся без учета волнового сопротивления, поэтому имеют приближенный характер (± 1 — 2 dB).

Также антenna характеризуется антенным фактором. *Антенный фактор* рассматривается в разд. 7.12.

7.6. Пиковая, средняя и эффективно излучаемая мощности

Различают пиковую и среднюю мощности сигналов. *Пиковая мощность* — это максимальная мощность за какой-либо период времени, измеренная в полосе полезного сигнала. *Средняя мощность* — это усредненная мощность за некоторый период времени, измеренная в полосе полезного сигнала. Отношение пиковой мощности к средней за один и тот же период времени сокращенно называется *PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)* и выражается в децибелах. Чем меньше значение PAPR, тем более эффективно передатчик расходует подводимую к нему электрическую энергию (имеет более высокий КПД) и тем меньше происходит искажений сигнала. В DVB-T (и особенно в DVB-T2) используются специальные методы для обработки сигнала COFDM с целью снижения PAPR.

В аналоговом телевидении важнейшей характеристикой излучаемого сигнала служит пиковая мощность несущей изображения, измеренная в полосе 120 кГц. Эта полоса была определена нормативно-техническими документами и не совпадает с полосой сигнала (8 МГц). Связано это с тем, что в более широкой полосе сигнал аналогового телевидения постоянно меняется, т. е. средняя мощность сигнала аналогового телевидения непостоянна (рис. 7.7).

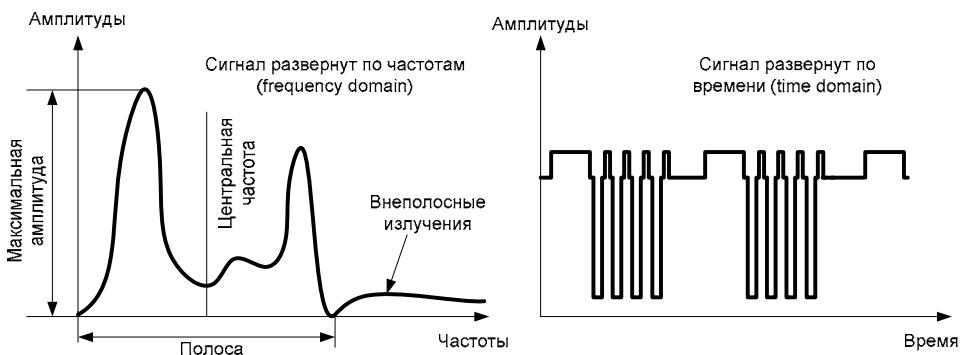


Рис. 7.7. Сигнал аналогового телевидения

В полосе частот аналогового телевидения постоянно присутствуют различные гармоники изображения, амплитуда которых зависит от передаваемого изображения. Максимальная средняя мощность аналогового телевизионного сигнала достигается тогда, когда передается черное поле. Это происходит потому, что в аналоговом телевидении используется *инверсная модуляция*, т. е. при максимальных уровнях изображения (белое поле) уровень излучающего сигнала минимален. Поэтому измерения мощности аналоговых передатчиков проводят, как правило, при выключенном источнике аналогового сигнала или отключенной модуляции. Средняя мощность сигнала аналогового телевидения составляет величину от 20 до 30% от пиковой мощности.

В цифровом телевидении для характеристики излучаемого сигнала используется средняя мощность. Разность между пиковой мощностью и средней мощностью сигнала цифрового телевидения (COFDM) составляет очень малую величину.

При сравнении мощностей аналогового и цифрового передатчика необходимо помнить, что сравниваются разные мощности: пиковая мощность для аналогового передатчика и средняя мощность для цифрового.

Для упрощенного сравнения можно мощность аналогового передатчика делить на 5 и после этого сравнивать ее с мощностью цифрового, т. е. средняя мощность 1 кВт цифрового сигнала COFDM соответствует примерно пиковой мощности 5 кВт аналогового сигнала.

Эффективная излучаемая мощность — ЭИМ (Effective Radiated Power — ERP) — это мощность передатчика с учетом коэффициента усиления антенны. Ее очень удобно применять на практике, поскольку именно от нее зависит размер территории, где можно принимать сигнал. Эффективная излучаемая мощность представляет собой сумму мощности передатчика относительно 1 Вт, выраженную в децибелах, и коэффициента усиления антенны в направлении азимута максимального излучения. При этом обратите внимание, что коэффициент усиления антенны может быть указан относительно изотропного излучателя или относительно полуволнового вибратора.

$$\text{ЭИМ (дБВт)} = P \text{ (дБВт)} + K_{изо} \text{ (дБ)},$$

где

- P — мощность передатчика в децибелах относительно одного ватта;
- $K_{изо}$ — коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя.

Эффективная излучаемая мощность, как правило, выражается в децибалах относительно одного ватта (дБВт). Предположим, что мощность нашего цифрового передатчика составляет 100 Ватт, что равно 20 dB относительно 1 Вт (или 50 dBm). И пусть коэффициент усиления антенны равен 11 dBi. Тогда ЭИМ = 31 dBm. Если пересчитать 31 dBm обратно в мощность, то получим 1,2 кВт. Таким образом, ЭИМ передатчика 100 Вт с антенной с коэффициентом усиления 11 dB составит 1,2 кВт.

7.7. Спектр сигнала цифрового телевидения

Кроме полезного сигнала, любое радиоэлектронное средство излучает мешающие сигналы — гармоники, шумы и т. п. Эти мешающие сигналы называются *побочными* или *внеполосными излучениями*.

Пример внеполосных излучений аналогового передатчика приведен на рис. 7.7 (слева).

Изготовители передатчиков стремятся свести эти мешающие сигналы к минимуму. Иногда для уменьшения побочных излучений между передатчиком и фидером устанавливаются специальные устройства — *фильтры внеполосных излучений*. Эти фильтры пропускают полезный сигнал и ослабляют побочные излучения.

В цифровом телевидении проблема внеполосных излучений стоит особенно остро, поскольку цифровой передатчик устроен таким образом, что внеполосные излучения могут иметь достаточно большую величину в широком диапазоне частот. Особенно это касается передатчиков, частоту излучения которых можно перестраивать программно.

Стандарт ETSI EN 300744 определяет форму сигнала, которая должна соблюдаться. Эта форма называется *маской сигнала COFDM*.

На рис. 7.8 приведена фотография экрана анализатора спектра с сигналом COFDM на 46ТВК. Ломаной более жирной линией обозначена маска сигнала. Видно, что в данном случае сигнал соответствует стандарту.

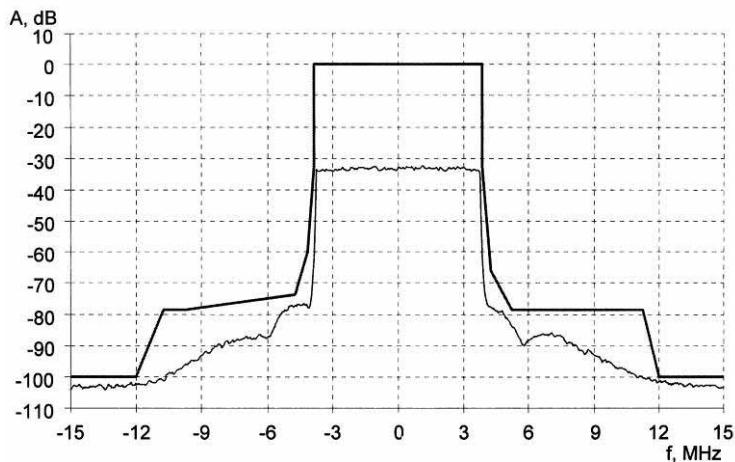


Рис. 7.8. Фотография экрана анализатора спектра с сигналом COFDM (некритическая маска)

Маска может быть критической и некритической. *Некритическая маска* — это маска для случая, когда на смежных каналах не работают другие передатчики, *критическая* — когда другие передатчики работают. Критическая маска накладывает более жесткие требования на уровень внеполосных излучений передатчика.

Вопрос соблюдения маски важен для совместимости сетей связи. Вопрос совместимости сетей связи будет подробнее рассмотрен в разд. 8.11 и 8.12.

Полоса частот COFDM цифрового телевидения составляет не ровно 8 МГц, а чуть меньше — около 7,5 МГц. Это связано с тем, что спектр COFDM имеет не строго прямоугольную форму (скорее трапециевидную), а значит, необходимо оставить небольшие "зазоры" в нижней и верхней частях участка 8 МГц, для того чтобы сигнал COFDM разместился в пределах маски.

По уровню -60 дБ полоса сигнала цифрового телевидения составляет с учетом погрешности измерений 7,5—7,7 МГц. Если при измерениях получилась большая величина, значит, имеются внеполосные излучения, которые могут служить помехой другим передатчикам.

7.8. Полезный сигнал и помехи

Сам принцип полезного сигнала и помех понять очень легко на следующем примере: представьте, что вы находитесь в институте в аудитории, где лектор читает лекцию. Вы стараетесь слушать лекцию, но студенты шумят и мешают слушать. При этом часть слов лектора вы разбираете, а часть вам непонятна. В этом примере голос лектора — это полезный сигнал, а голоса студентов — помехи, которые приводят к потере части информации, поскольку некоторые слова лектора вы разобрать не можете.

Важнейшая величина для любого канала связи — это *отношение сигнала к шуму* (SNR — Signal-to-Noise Ratio). Оно определяется следующей простой формулой:

$$SNR(\text{dB}) = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{сигнал}}}{P_{\text{шум}}} \right) = 20 \lg \left(\frac{A_{\text{сигнал}}}{A_{\text{шум}}} \right).$$

Обратите также внимание, что для вычисления отношения сигнал/шум вам не требуется знать антенный фактор — поскольку измерения сигнала и шума будут производиться на одну и ту же антенну, то антенный фактор сократится.

Для амплитуд использован множитель 20, поскольку отношение мощностей равно отношению квадратов амплитуд. В соответствии с правилами преобразования логарифмов степень 2 вынесена за знак логарифма.

7.9. Пропускная способность и формула Шеннона

В цифровых системах, одной из которых является цифровое телевидение, отношение сигнал — шум определяет, какой объем информации может быть передан в единицу времени. Этот объем называется *пропускной способностью* канала связи.

Максимальная теоретическая пропускная способность цифрового канала связи определяется формулой Шеннона:

$$C(\text{бит/сек}) = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right).$$

Здесь:

- C — скорость (битрейт) в битах в секунду;
- B — ширина полосы частот, в герцах;
- $\frac{S}{N}$ — отношение сигнал/шум по мощности (не в децибелах, а в "разах").

Эта формула дает максимальный теоретический предел на скорость цифрового потока (битрейт), в зависимости от полосы частот, используемой для передачи, и отношения сигнал/шум. Под полосой частот понимается полоса базового диапазона (baseband).

Давайте оценим, насколько эффективным является цифровое телевидение с точки зрения передачи информации. Иными словами, давайте рассчитаем, насколько цифровое телевидение приблизилось к максимальному значению, определяемому формулой Шеннона (иногда его называют *пределом Шеннона*).

Из стандарта ETSI EN 300744 для модуляции 16QAM, FEC = 5/6, в защитном интервале 1/32 при распространении в канале Гаусса в полосе 8 МГц имеем: скорость цифрового потока 20,11 Мбит/сек, отношение сигнал/шум — 13,5 dB или 22,4 раз.

Подставим в формулу Шеннона значения полосы частот и отношения сигнал/шум и получим для этого отношения сигнал/шум предельную скорость 36,38 Мбит/сек. DVB-T же позволяет передавать со скоростью 20,11 Мбит/сек. Таким образом, DVB-T для указанных параметров модуляции позволяет передавать цифровой поток, составляющий около 50% от теоретического максимального предела, что, на самом деле, очень неплохо.

7.10. Чувствительность приемника

Теперь рассмотрим радиоприемные устройства. Радиоприемным устройством (приемником) является абонентская приставка цифрового телевидения. Радиоприемное устройство — это как бы радиопередающее устройство "наоборот". Оно состоит из антенны, которая при помощи фидера соединяется с приемником. Характеристики приемной антенны совпадают с передающей, фидера — тоже. Единственная характеристика, которая отличается — чувствительность приемника вместо мощности передатчика.

Чувствительность приемника — это способность принимать как можно более слабые сигналы, а точнее — выделять как можно более слабые сигналы на уровне шумов. Чувствительность приемника выражается в децибелах относительно микровольта электродвижущей силы (ЭДС), наведенной на входе приемника электромагнитным колебанием принимаемой частоты. Чувствительность приемника частотно-зависима, т. е. для разных частот она разная.

Обратите внимание, что в случае приема радиоволн, коэффициент усиления антенны является характеристикой антенны, показывающей способность антенны принимать (а не излучать) сигналы с разных направлений. В действительности антенна ничего не усиливает. Просто с некоторых направлений она

более способна принимать сигналы, чем с других. Эта способность есть функция от сферических координат и также выражается диаграммой направленности.

Еще один важный параметр приемника — *избирательность* (см. разд. 8.11).

7.11. Расчет уровней сигналов в канале связи (пример)

Составим простую модель канала связи цифрового телевидения для того, чтобы выполнить расчет уровней. Все числовые данные на рис. 7.9 приведены только в качестве примера.

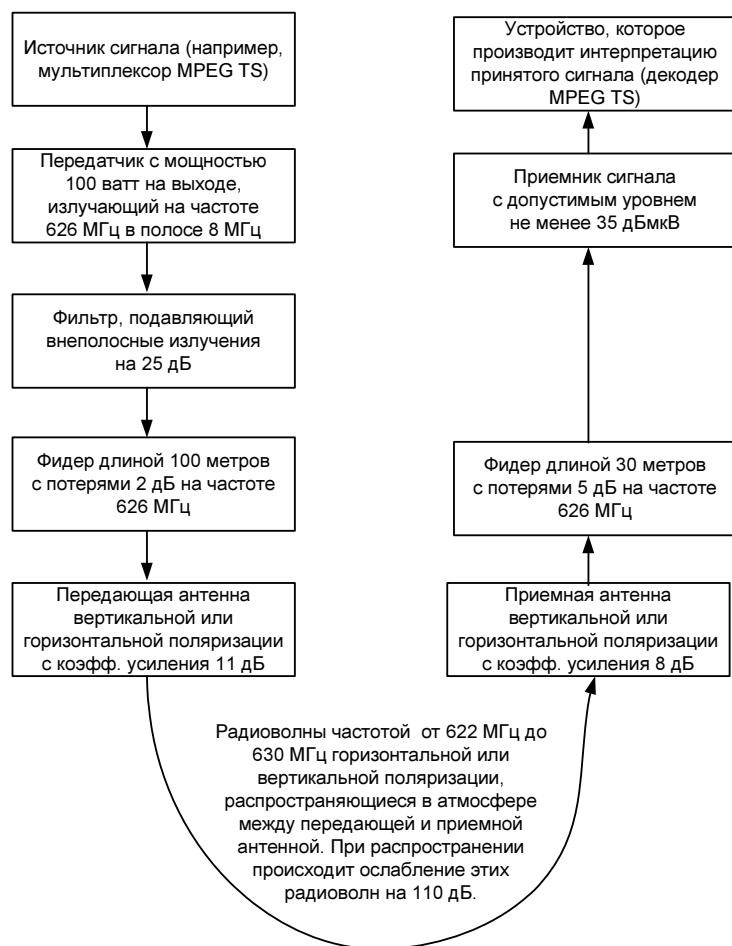


Рис. 7.9. Модель канала связи для расчета уровней сигнала

Рассчитаем, сколько энергии поступит на вход приемника. Для простоты будем считать, что передающая и приемная антенны "смотрят" прямо друг на друга. В противном случае, в расчет необходимо включить коэффициент усиления приемной и передающей антенн в соответствии с диаграммой направленности.

Ниже приводится цепочка рассуждений, которая приведет нас к результату.

100 Вт относительно одного милливатта — это 50 дБ относительно 1 мВт. Эффективная излучаемая мощность будет $50 + 11 = 61$ дБ относительно 1 мВт (или 31 дБ относительно 1 Вт). При передаче в атмосфере происходит ослабление на 60 дБ, т. е. $61 - 110 = -49$ дБ относительно 1 мВт имеют волны, которые добрались до приемной антенны. Приемная антенна усилила их на 8 дБ, т. е. получаем $-49 + 8 = -41$ дБ относительно 1 мВт. В фидере от приемной антенны до приемника сигнал ослаб на 5 дБ, т. е. на входе приемника будет $-41 - 5 = -46$ дБ относительно 1 мВт.

Теперь обратите внимание, что на входе приемника уровень сигнала измеряется в децибелах относительно микровольта, т. е. надо пересчитать децибелы относительно милливатта в децибели относительно микровольта. Из справочника находим, что 1 дБ относительно микровольта равен 1 дБ относительно милливатта плюс 107 дБ. Таким образом, приемник получит сигнал $-46 \text{ dBmVt} + 107 \text{ dB} = 61 \text{ dBmV}$. Это на 26 дБ выше минимального уровня приемника из нашего примера, т. е. приемник будет работать очень хорошо.

7.12. Распространение радиоволн в свободном пространстве

В предыдущем разделе мы рассмотрели пример расчета уровня сигнала на входе приемника. В том примере мы указали, что ослабление радиоволн при распространении от приемника к передатчику равно 110 дБ. Мы взяли это значение "с потолка" для иллюстрации.

Задача расчета распространения радиоволн — это задача максимально точного расчета подобной величины ослабления для конкретных случаев, с учетом различных условий окружающей среды и физических явлений.

Проще говоря, расчет распространения радиоволн — это расчет того, сколько в какую точку пространства попадет энергии, излученной передатчиком. В каких-то точках этой энергии будет много, в каких-то мало, а где-то не окажется совсем.

На распространение радиоволн влияет множество различных факторов: эффективная излучаемая мощность передатчика, высоты расположения приемной и передающей антенн, расстояние между приемником и передатчиком,

характеристики приемного оборудования, диэлектрическая проницаемость среды, форма земной поверхности, наличие посторонних шумов, различные физические эффекты (дифракция, интерференция), движение приемника или передатчика и, конечно, характеристики самого сигнала. Например, в цифровом телевидении DVB сам сигнал формируется таким образом, что влияние многих негативных эффектов на него снижено.

Характер распространения радиоволн в атмосфере зависит от частоты радиоволн. Радиоволны с частотами в сотни мегагерц (*дециметровые радиоволны*), которые отведены государством для работы цифровых телевизионных передатчиков, распространяются прямолинейно, не огибая препятствия и не отражаясь от верхних слоев атмосферы. Если такие волны встречают препятствие на своем пути, то на краю этих препятствий волны дифрагируют. Таким образом, за горой, заслоняющей передающую антенну, сигнал также может приниматься вследствие волны, претерпевшей дифракцию на поверхности горы. При этом такая волна будет значительно ослаблена. Помимо дифракции радиоволны могут отражаться от препятствий, чей размер больше длины волны.

Из самого названия волн — дециметровые — следует, что длина волны составляет десятки сантиметров. Таким образом, дециметровые волны будут отражаться от препятствий, размер которых составляет метр и больше. Если размер препятствия меньше, волны будут рассеиваться — т. е. отражаться хаотически.

Прямая и отраженная радиоволны могут складываться, что приводит к явлению интерференции. Рассеяние, отражение, дифракция и интерференция очень важны при распространении радиоволн в городской среде. Вследствие этих эффектов возникает явление *затухания*.

В этой главе мы будем говорить о распространении радиоволн в свободном пространстве, т. е. дифракцию, интерференцию, отражение и рассеяние рассматривать не будем. Соответственно результат, который мы получим, будет очень приблизительным. Тем не менее, его достаточно для большинства оценок размеров территорий приема телевизионных станций.

Сначала давайте рассмотрим, какая часть пространства участвует в распространении радиоволн. Эта часть пространства называется *первой зоной Френеля* и выглядит, как показано на рис. 7.10.

Если какое-либо препятствие попадает в первую зону Френеля, то сигнал значительно ослабляется (экранируется). Радиус первой зоны Френеля определяется формулой:

$$R_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}.$$

Здесь λ — длина волны.

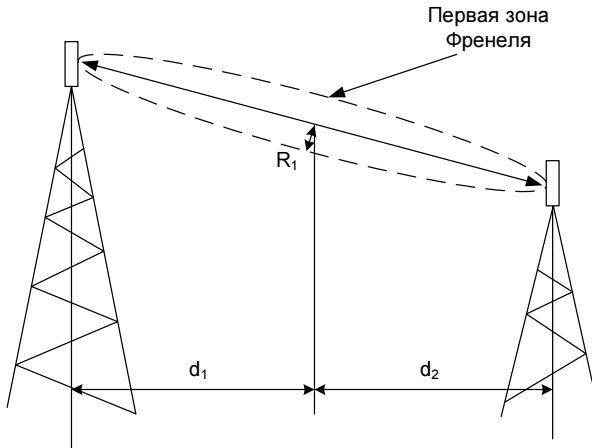


Рис. 7.10. Первая зона Френеля

В дальнейшем, мы будем обсуждать вопрос проведения замеров зон радиопокрытия и встретим требование проводить измерения с высоты не менее 10 м. Это требование как раз и связано с первой зоной Френеля. Если проводить измерения с поверхности земли с меньшей высоты, то поверхность земли будет экранировать первую зону Френеля и результаты измерений окажутся неверными.

Ранее мы указывали, что дециметровые волны в первом приближении распространяются прямолинейно, подобно световым лучам. Таким образом, зона их распространения будет ограничиваться выпуклостью земной поверхности. Размер этой зоны можно определить по формуле:

$$R_{\text{видимости}} = 3,57 \left(\sqrt{h_{\text{передатчика}}} + \sqrt{h_{\text{приемника}}} \right).$$

Здесь h — высота приемника и передатчика в метрах, при этом результат получаем в километрах.

Область прямолинейного беспрепятственного распространения радиоволн, ограниченная формой земной поверхности, строениями и иными препятствиями, называется зоной прямой видимости.

Для расчета уровня сигнала в точке приема в свободном пространстве (т. е. в зоне прямой видимости) используется следующая далее формула (*Формула Введенского*). Эта формула не учитывает интерференцию, поэтому дает лишь приблизительный результат. Фактически, формула будет работать только для среднего арифметического по некоторой площадке, находящейся на совершенно открытой местности. Однако в половине случаев для построения сетей телевидения этой формулы оказывается достаточно.

$$E = \frac{\sqrt{30PGh}}{R} K F_{\text{гор}} F_{\text{верт}}.$$

В этой формуле:

- E — напряженность электромагнитного поля в вольтах на метр;
- P — мощность передатчика в ваттах;
- G — коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя.

Обратите внимание, что в этой формуле коэффициент является безразмерным, т. е. его надо пересчитать из децибелов в "разы".

- h — высота передающей антенны над землей в метрах;
- K — коэффициент кривизны земли. Обычно принимается равным 1,3;
- $F_{\text{гор}}$ — ослабление передающей антенны в направлении на точку приема в горизонтальной плоскости относительно азимута максимального излучения. Если направление на точку приема совпадает с азимутом максимального излучения, то этот параметр равен 1;
- $F_{\text{верт}}$ — то же самое для вертикальной плоскости.

Проанализируем эту формулу. Из нее видно, что напряженность электромагнитного поля растет пропорционально корню квадратному из произведения высоты подвеса антенны на мощность. Если, например, мы хотим в два раза снизить мощность передатчика, то для сохранения прежней напряженности поля мы должны в два раза увеличить высоту подвеса антенны. Если мы увеличим мощность передатчика в два раза, то напряженность возрастет пропорционально $\sqrt{2}$.

Напряженность электромагнитного поля обычно измеряется не в вольтах на метр, а в децибелях на микровольт на метр, т. е. дБмкВ/м. Для того чтобы пересчитать вольты на метр в децибелы на микровольт на метр, можно использовать следующую формулу, которая вытекает из определения логарифма и свойств логарифма:

$$E(\text{дБмкВ/м}) = 20 \lg(E) + 120.$$

Итак, мы знаем, как вычислить напряженность электромагнитного поля в точке приема. Но как ее измерить напрямую, если при выполнении измерений мы всегда вынуждены использовать антенну, которая усиливает или ослабляет принимаемый сигнал.

Измерительные приборы, которые используются для измерений напряженности электромагнитного поля, измеряют не напряженность электромагнитного

поля, а амплитуду сигнала, который наведен этим полем в приемной антенне. Измерить напряженность электромагнитного поля напрямую — задача не из легких, гораздо проще измерить амплитуду сигнала в антенном кабеле. Таким образом, для того, чтобы наши расчеты имели практический смысл, нам надо уметь рассчитывать напряженность электромагнитного поля E в зависимости от измеренной амплитуды наведенного сигнала. Все современные приборы делают такой расчет автоматически, если в прибор ввести *антенный фактор*.

Антенный фактор — это множитель, который учитывает влияние антенны при пересчете напряженности электромагнитного поля в амплитуду сигнала в антенном кабеле, наведенном этим полем.

$$A_F = \frac{E}{V} .$$

Здесь:

- A_F — антенный фактор, его размерность 1/метр;
- E — напряженность электромагнитного поля в микровольтах/метр;
- V — амплитуда колебаний в антенном кабеле в микровольтах.

Если величины выражены в децибелях, то формула будет иметь другой вид. Приведем его для иллюстрации того, что децибелы гораздо удобнее на практике, поскольку позволяют заменить деление вычитанием, а умножение — сложением.

$$A_F = E - V .$$

Здесь:

- A_F — антенный фактор, его размерность 1/метр;
- E — напряженность электромагнитного поля в децибела на микровольт, деленных на метр (дБмкВ/м);
- V — амплитуда колебаний в антенном кабеле в децибела на микровольт (дБмкВ).

Зная эту формулу, мы сможем измерить прибором амплитуду, пересчитать ее в напряженность электромагнитного поля E и тем самым проверить результаты расчетов зоны радиопокрытия. Антенный фактор должен быть указан в инструкции к антенне. Повторюсь, что большинство современных приборов делает такой расчет автоматически, если указать антенный фактор или тип антенны, содержащийся в базе данных прибора.

Какую величину должна иметь напряженность электромагнитного поля E для того, чтобы приемник работал хорошо? Например, российский стандарт

ГОСТ 7845 определяет, что для приема телевизионных аналоговых передатчиков на наружную антенну с коэффициентом усиления 8 дБ относительно изотропного излучателя, установленную на высоте 10 м от земли, напряженность электромагнитного поля в дециметровом диапазоне длин волн должна составлять не менее 68 дБмкВ/м.

Это определение не так уж и удобно практически. Причина проста — помимо уровня полезного сигнала важен также уровень мешающих шумов (помех), которые всегда есть в эфире. Таким образом, правильнее было бы указывать в стандарте не только допустимый уровень E , но и необходимый уровень E относительно помех. В стандарте ETSI EN 300744 указывается минимальное отношение сигнал/шум, необходимое для устойчивого приема сигнала DVB-T для различных режимов модуляции COFDM. Мы будем подробнее обсуждать этот вопрос в последующих разделах.

7.13. Статистические модели распространения радиоволн

Многочисленные исследования показали, что сигнал телевизионного передатчика в некоторой точке приема не является постоянным во времени. Таким образом, очень сложно дать ответ на вопрос: "Какой уровень сигнала в точке X?", потому что этот сигнал может быть разным в разные моменты времени. Это зависит от множества разных причин. В числе основных назовем колебания температуры и уровень промышленных и бытовых шумов, которые не постоянны в течение суток, месяцев и времен года.

Кроме того, из-за явления интерференции (сложения радиоволн одной частоты), в пространстве уровень сигнала может сильно меняться при незначительном смещении антенны. Например, при проведении измерений зоны вещания цифровых передатчиков в Екатеринбурге колебания сигнала при подъеме измерительной антенны с высоты 2 м на высоту 10 м составляли 5—10 дБ.

Таким образом, задача оценки размеров зоны уверенного приема еще сложнее, чем казалось ранее, поскольку сигнал изменяется не только во времени, но также значительно колеблется в пределах небольшого объема пространства.

Как же быть? Ответ: *оценивать напряженность электромагнитного поля в точке приема методами математической статистики*.

К настоящему моменту в мире разработано большое количество статистических моделей распространения радиоволн. Эти модели получены эмпирически, т. е. путем проведения экспериментальных измерений и поиска формулы, которая с наибольшей точностью эти измерения описывала.

В этих моделях определяется *ослабление радиоволн (path loss)*, прошедших путь от передатчика до точки измерений. Зная это ослабление, вычислить уровень напряженности электромагнитного поля в точке измерений не составит особого труда:

$$E_d(\text{дБмВт}) = E_{TX}(\text{дБмВт}) - PL_d(\text{дБ}),$$

где

- E_d — уровень напряженности электромагнитного поля в точке d ;
- E_{TX} — уровень напряженности электромагнитного поля в точке излучения;
- PL_d — ослабление.

Модель Эрцега. Ослабление радиоволн на расстоянии d от передатчика вычисляется относительно ослабления на расстоянии d_0 (обычно — 1 км) в децибелах. Иными словами, зная ослабление радиоволн на расстоянии d_0 от передатчика, вы сможете вычислить ослабление на любом другом расстоянии, пользуясь следующей формулой:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right).$$

Здесь PL — ослабление в децибелах (дБ), а n — некоторый коэффициент от 1 до 5, который зависит от условий, в которых применяется формула. Для городской среды этот коэффициент равен примерно 3 и может меняться в зависимости от разных условий: например при измерении вдоль улиц он будет иметь одно значение, при измерении во дворах или внутри квартир — другое. Также этот коэффициент меняется в зависимости от условий внешней среды.

Модель Хаты-Окумуры. В этой модели ослабление в децибелах (дБ) определяется следующей формулой, полученной в результате анализа большого количества измерений, проведенных в условиях городской среды:

$$PL(d) = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg(h_t) + (44,9 - 6,55 \lg(h_r)) \lg(d).$$

В этой формуле:

- f — частота в мегагерцах (МГц) (от 150 до 1500 МГц);
- h_t — высота передающей антенны в метрах;
- h_r — высота приемной антенны в метрах;
- d — расстояние от передающей антенны до приемной антенны в километрах.

Если измерения проводятся в пригородной зоне, то в формулу вводится дополнительный член:

$$-2 \lg^2 \left(\frac{f}{28} \right) + 5,4 .$$

Статистические модели распространения радиоволн не требуют знания о рельефе местности, поэтому результат будет приближенным. Существуют методы расчета распространения с учетом рельефа, однако они требуют специальных знаний из области геодезии, и мы их рассматривать не будем.

7.14. Распространение радиоволн внутри помещений

Проникая в помещение, радиоволны испытывают ослабление. Наибольшее ослабление происходит при проникновении через стены, наименьшее — через окна. Ранее мы указывали, что радиоволны "не замечают" препятствий меньших, чем длина волн. То же правило будет действовать и относительно окон — если их размеры больше длины волны, то радиоволны не будут сильно ослабляться, проходя через такое окно (при этом мы пока не говорим о поглощении в стекле).

Еще один фактор, влияющий на распространение радиоволн, это количество стен, выходящих на улицу. Например, если помещение находится внутри здания, не имеет окон и окружено со всех сторон другими помещениями, то ослабление в нем будет максимальным.

На ослабление также влияет материал, из которого сделаны окна. В последнее время получили распространение оконные стекла с металлизацией поверхности. При прохождении таких стекол сигнал может ослабляться на величину до 10 дБ.

Как показывают проведенные исследования, внутри помещения напряженность электромагнитного поля может быть очень разной. Внутри любого помещения будут существовать зоны как идеального приема, так и почти полного отсутствия приема. В конечном счете, все зависит от уровня сигнала снаружи, материала окна и стен, а также расположения предметов внутри комнаты.

Разница сигнала снаружи здания (допустим, на крыше) и внутри помещения называется *ослаблением проникновения* (*penetration loss*). Ослабление проникновения, как показывают исследования, зависит от положения помещения внутри здания.

Согласно проведенным исследованиям ослабление проникновения для помещений на верхних этажах составляет 10—20 дБ, ослабление проникнове-

ния для помещений на нижних этажах здания составляет 20—30 дБ. Среднее ослабление проникновения для городской застройки составляет около 20 дБ. Ослабление проникновения через окно в условиях прямой видимости составляет 2—10 дБ. Внутри помещения в разных его частях напряженность колеблется в пределах 2—6 дБ.

Ослабление проникновения максимально для офисных зданий и минимально для загородных домов.

При проведении расчетов зон приема, уместно использовать величину напряженности электромагнитного поля, приведенную в стандартах для высоты 10 м и увеличенную на ослабление проникновения.

7.15. COFDM, QPSK, QAM

Аббревиатура COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) переводится как "кодированное ортогональное частотное мультиплексирование", т. е. COFDM представляет собой "гибрид" модуляции и мультиплексирования.

Термин "мультиплексирование" по отношению к COFDM означает "использование одной и той же полосы частот для передачи нескольких сигналов". Сигнал COFDM, использующийся в DVB-T/H, состоит из 1705, 3409 или 6817 тысяч отдельных несущих, в режимах $2k$, $4k$ и $8k$ соответственно. Каждая из несущих (за исключением пилот-сигналов) модулирована модуляциями QPSK или QAM.

Спектр базового диапазона COFDM показан на рис. 7.11, спектр COFDM в радиочастотном (ДМВ) диапазоне на рис. 7.12.

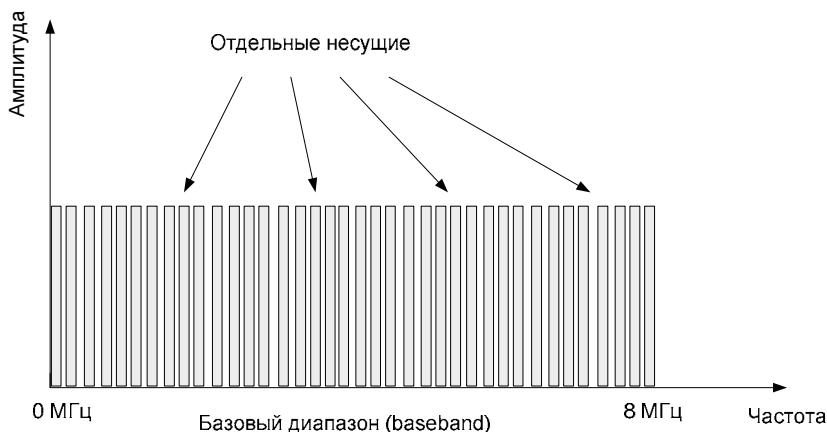


Рис. 7.11. COFDM в базовом диапазоне

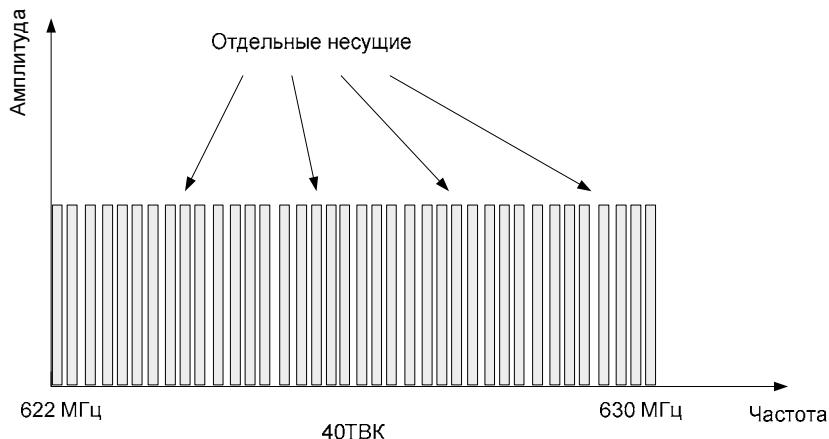


Рис. 7.12. COFDM в диапазоне 40ТВК (пример)

Напомним, что если при изменении состава передаваемой информации изменяется фаза несущей, то модуляция называется фазовой, если амплитуда — амплитудной, если частота — частотной. COFDM является амплитудно-фазовой модуляцией, т. е. при изменении передаваемой информации изменяется амплитуда и фаза передаваемых несущих.

В цифровой технике информация всегда кодируется набором дискретных значений, который конечен. Например, текст может быть закодирован байтом, который имеет 256 разных значений.

Приведем пример. Предположим, что информация кодируется двухбитными значениями: 00, 01, 10 и 11. Любой ряд нулей и единиц можно разбить на эти четыре пары. Поскольку модуляция — это зависимость передаваемого сигнала от передаваемой информации, то в данном примере функция зависимости амплитуды и фазы от времени $S(t)$ будет иметь 4 состояния: 1-е для передачи комбинации 00, 2-е для передачи комбинации 01 и т. п. Иными словами, несущая будет модулироваться сигналом, имеющим четыре состояния, т. е. вариантов несущей будет всего четыре. Каждый из таких вариантов называется *символом модуляции*.

Символ модуляции — это комбинация фаз, частот и амплитуд несущей, соответствующая одному конкретному значению числа, состоящего из некоторого фиксированного количества нулей и единиц. Количество знаков в этом числе зависит от типа модуляции (см. далее). Например, если мы передаем в каждый момент времени только 0 или 1, то у нас всего два символа модуляции — один для обозначения 0 и другой для обозначения 1. Если мы передаем одновременно 2 бита, то символов 4 и т. п.

Если информация является аналоговой, понятие символа неприменимо, поскольку передаваемая информация представлена непрерывной, а не дискретной функцией, которая может и не иметь определенных дискретных состояний.

В цифровом телевидении используется символ, который является комбинацией амплитуды и фазы несущей, поскольку COFDM — это амплитудно-фазовая модуляция. При этом символ COFDM — это комбинация состояний всех несущих, присутствующих в сигнале. В конце раздела мы рассчитаем, сколько у символа COFDM таких состояний.

Символы модуляции имеют определенную длительность во времени, т. е. передаются последовательно, один за другим, через некоторые короткие промежутки времени, называемые *защитными интервалами* (см. разд. 7.22).

Сигнал COFDM формируется при помощи обратного преобразования Фурье, где коэффициенты разложения в ряд Фурье получаются из битов цифрового потока по алгоритму, описанному в стандарте ETSI EN 300744. Формула, по которой производится преобразование, приведена в разд. 7.22.

Для получения сигнала из, допустим, 6817 синусоидальных несущих, необходимо рассчитать 6817 коэффициентов a_k и b_k разложения в ряд Фурье и использовать их в обратном преобразовании Фурье для получения сигнала в базовом диапазоне. Для расчета коэффициентов a_k и b_k разложения в ряд Фурье используются биты информации транспортного потока MPEG2, прошедшего канальное кодирование (о канальном кодировании рассказывается в разд. 7.21).

Подставляем рассчитанные коэффициенты в формулу IFFT и получаем на выходе искомый сигнал.

$$\sum_{k=1}^{8000} (a_k \cos \omega k t + b_k \sin \omega k t) \rightarrow S(t).$$

Обратите еще раз внимание, что ω должна находиться в пределах базового диапазона (т. е. до 8 МГц), поскольку формирование сигнала происходит в базовом диапазоне.

В связи с необходимостью поместить спектр в полосу 8 МГц (см. разд. 7.7) количество несущих в режиме $8k$ не равно в точности 8000, а меньше — 6817, при этом расстояние между несущими по частоте $\omega = 1116$ Гц, т. е. полоса, занимаемая несущими, составляет около 7,5 МГц.

Спектр одиночной несущей COFDM выглядит, как это показано на следующем рис. 7.13.

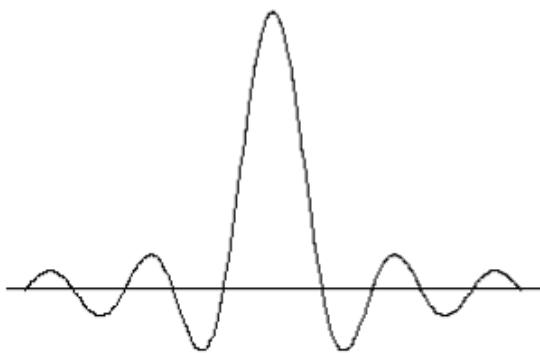


Рис. 7.13. Одна несущая COFDM

Суммарный спектр многих несущих будет выглядеть так, как на рис. 7.14.

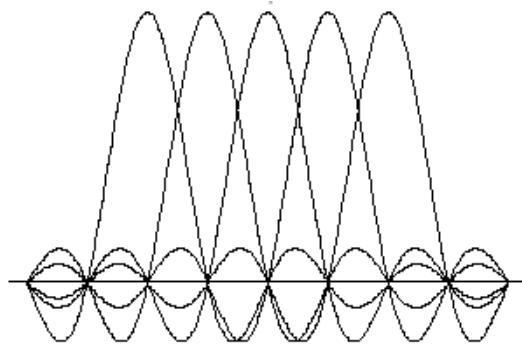


Рис. 7.14. Комбинация несущих COFDM

Пример сигнала COFDM на экране анализатора спектра мы приводили на рис. 7.8. Сейчас уместно еще раз взглянуть на это изображение.

COFDM-сигнал состоит из множества несущих, занимающих полосу сигнала 8 МГц. Наличие многих несущих в полосе сигнала — это как раз и есть "мультиплексионная составляющая" COFDM, поскольку мультиплексирование — это использование одной и той же полосы для нескольких сигналов. В нашем случае мы "упаковали" большое количество несущих в полосу 8 МГц — это есть мультиплексирование.

Теперь рассмотрим способы модулирования несущих, из которых состоит сигнал COFDM. Эти способы влияют на количество бит в символе модуляции и на то, какими будут коэффициенты преобразования Фурье, которые потребуются для синтеза готового сигнала цифрового телевидения.

Для модуляции несущих стандарт DVB-T ETSI 300744 предусматривает использование модуляции *QPSK*, *16QAM* и *64QAM*. Тип модуляции выбирается для всех несущих, т. е. не может быть так, что часть несущих модулирована одним типом модуляции, а другая часть — другим.

QPSK — это аббревиатура от *Quadro Phase Shift Keying* — квадратичное фазовое кодирование. В русскоязычной литературе можно так же встретить выражение "квадратурная фазовая манипуляция". Суть ее очень проста: несущая имеет постоянную амплитуду, а фаза имеет четыре фиксированных значения, которые кодируют пары бит 00, 01, 10 и 11. Таким образом, QPSK имеет 4 символа модуляции и передает "за один раз" два бита информации.

Таким образом, в QPSK коэффициент C_k может иметь четыре различных значения, соответствующие одной и той же амплитуде (модулю), но четырем разным фазам. Если мы представим все возможные варианты этого коэффициента в геометрической форме, как делали это ранее, то получим следующее очень наглядное представление, которое называется *созвездием* (*constellation*).

Созвездие — это изображение значений символов модуляции на плоскости комплексных чисел (рис. 7.15).

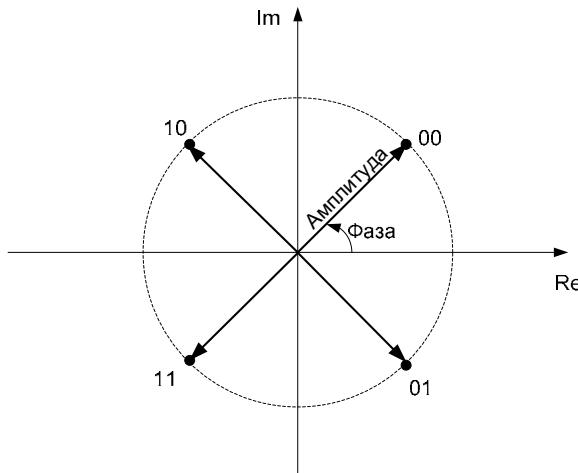


Рис. 7.15. Созвездие QPSK

Кроме QPSK для модуляции несущих могут быть использованы модуляции QAM-16 и QAM-64. *QAM* — это аббревиатура от *Quadrature Amplitude Modulation* — квадратурно-амплитудная модуляция. 16 и 64 означают количество значений, которые может принимать C_k .

Обратите внимание, что при использовании QAM амплитуда уже не постоянна. Каждое значение C_k в 16QAM кодирует не 2 бита, как в QPSK, а 4.

Пример реального вида созвездия 16QAM на экране анализатора спектра приведен на рис. 7.16. Обратите внимание, что размытость "точек" созвездия соответствует отношению сигнал/шум в тракте передачи. Чем более размыты "точки", тем отношение хуже.

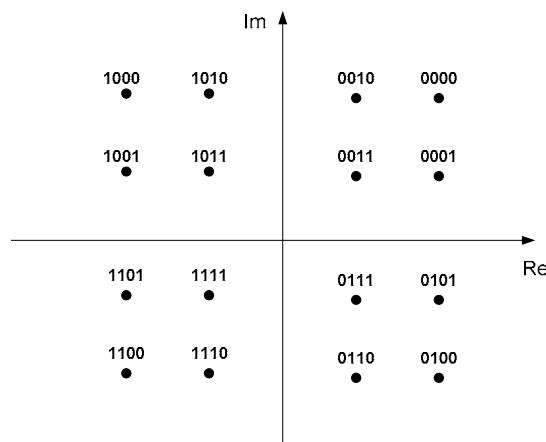


Рис. 7.16. Созвездие 16QAM

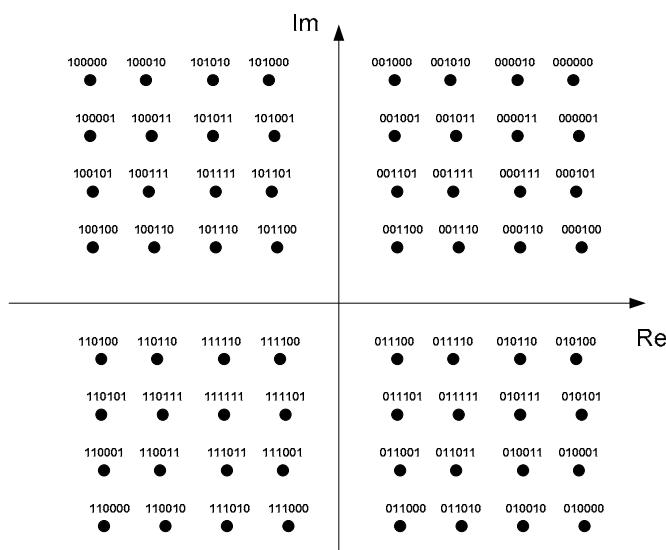


Рис. 7.17. Созвездие 64QAM

Если увеличить количество точек в созвездии (и соответственно символов модуляции) до 64-х, то получим 64QAM (рис. 7.17). Здесь также будет изменяться и амплитуда и фаза, а количество бит, задаваемых одним значением C_k , равно 6.

Такие же созвездия можно было бы составить, например, для 128QAM и для 256QAM, но мы их приводить здесь не будем из экономии места.

7.16. Символ COFDM

Совокупность модулированных несущих COFDM, передаваемых без изменений в течение определенного момента времени, называется *символом COFDM*, т. е. символ COFDM представляет собой объединение символов всех несущих.

На рис. 7.18 схематически показана связь символов несущих и символов COFDM на плоскости "время-частота" для базового диапазона. Обратите внимание, что никакие масштабы временных и частотных интервалов не соблюдены.

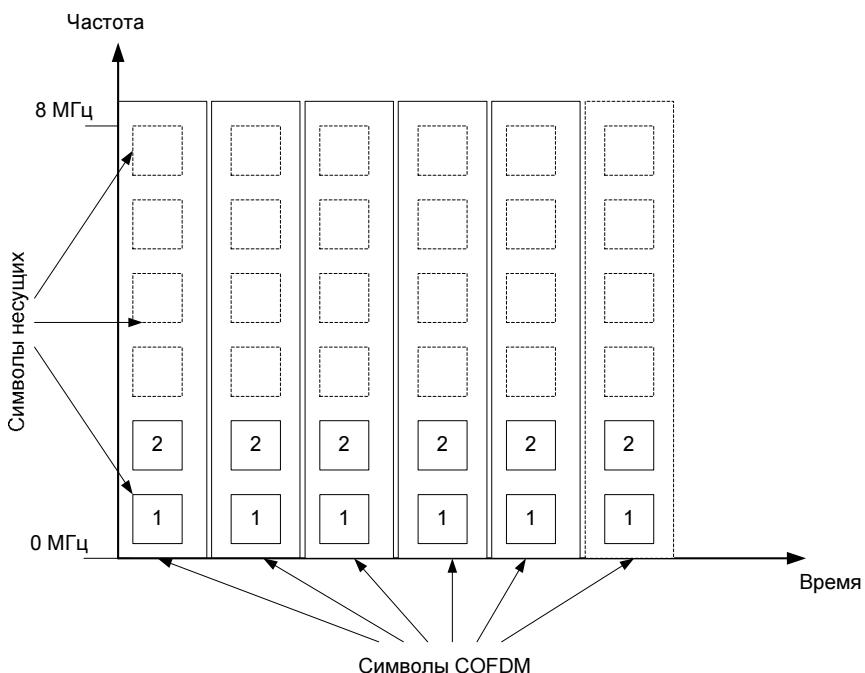


Рис. 7.18. Символы несущих и символы COFDM

Если символ QPSK при условии использования одной несущей имеет емкость 2 бита, 16QAM — 4 бита, а 64QAM — 6 бит, то какова же будет емкость одного символа COFDM с использованием режима 8k? В этом режиме используется 6817 несущих. Пусть для модулирования одной несущей используется 16QAM. Тогда получим: $4 \text{ бита} \times 6817 =$ примерно 27 Кбит на символ. Подробнее см. в разд. 7.22.

Обратите внимание на то, что итоговая скорость передачи информации, которую можно обеспечить при помощи COFDM, зависит не только от емкости одного символа, но и от длительности передачи каждого символа COFDM. Кроме того, не вся емкость символа используется для передачи полезной нагрузки. Некоторые несущие (и соответственно их символы) используются для передачи служебной информации.

7.17. Распространение радиоволн и затухание

В этом разделе пойдет речь об особенностях распространения радиоволн в городской среде. Рассмотрим несколько видов распространения радиоволн и эффектов, которые действуют на распространение радиоволн и в особенности — на затухание радиоволн. Мы будем рассматривать цифровые каналы связи, т. е. каналы, по которым передается дискретная информация. Такой канал упрощенно можно записать так:

$$Y = X + Z,$$

где

- Y — выходной цифровой сигнал (выход канала);
- X — входной цифровой сигнал (вход канала);
- Z — какое-то влияние на передаваемую информацию, которое всегда есть (шум, помехи и т. п.).

Обратите внимание, что X , Y и Z в этой формуле — величины, зависящие от времени. В идеальном случае $Z = 0$, а $Y = X$. Однако в реальности ситуация намного сложнее идеальной.

Например, итоговый сигнал Y может складываться не из одного начального сигнала X , а из него и нескольких отраженных сигналов. Тогда в этой формуле появятся добавочные члены X_1 , X_2 и т. п. Кроме того, шум Z может вести себя по-разному. Он может быть то сильнее, то меньше или быть постоянным. От величины шума зависит вероятность появления ошибки. Действительно, если величина Z будет слишком большой, то цифровой сигнал Y на выходе канала может так измениться, что абонентский декодер его просто "не узнает" или интерпретирует ошибочно.

Первый вид распространения радиоволн: распространение прямым сигналом (без отражений), т. е на antennu приемника приходит сигнал непосредственно с антенны, подключенной к передатчику. Канал связи, в котором присутствует такой способ распространения, называется *гауссовым каналом* (Gaussian channel) (рис. 7.19). Пример гауссова канала — сигнал спутникового телевидения с ИСЗ (искусственного спутника Земли). В городских условиях гауссов канал практически не встречается, это своеобразный "идеальный" канал распространения.

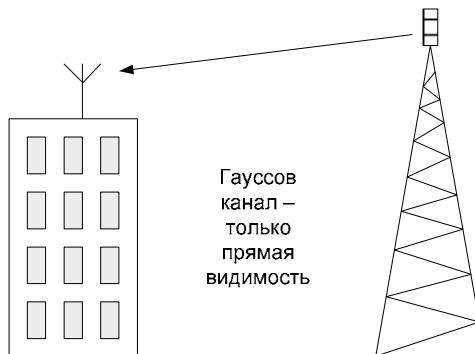


Рис. 7.19. Гауссов канал

В виде формулы мы можем записать гауссов канал следующим образом:

$$Y = X + Z,$$

где

- Y — выходной цифровой сигнал;
- X — входной цифровой сигнал;
- Z — шум одинакового уровня по всему каналу (белый шум).

Также данную ситуацию можно изобразить следующим образом (рис. 7.20):

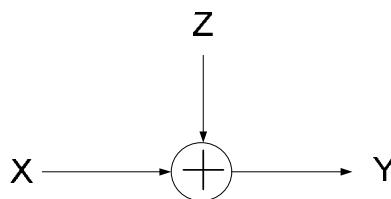


Рис. 7.20. Простейшая модель канала связи

Предположим, что через подобный канал передается последовательность битов информации. Тогда, из-за влияния шума, существует вероятность, что

какие-то из этих битов будут переданы искаженно. Эта вероятность будет распределена по закону Гаусса (по нормальному закону). Отсюда и происходит название канала — гауссов канал.

Сведения о распределении Гаусса (нормальном распределении) могут быть найдены в любом справочнике по математике, поскольку это распределение очень широко распространено в технике и науке. Суть распределения Гаусса состоит в идее, что поскольку шум равномерный по всему каналу, то ошибки происходят случайно. Вероятность, что произойдет одна ошибка, гораздо выше, чем вероятность того, что произойдет сразу две, а тем более — три ошибки. Таким образом, одна ошибка будет встречаться чаще, две — реже, три — еще реже и т. п. Графически эту ситуацию можно изобразить следующим образом (рис. 7.21).

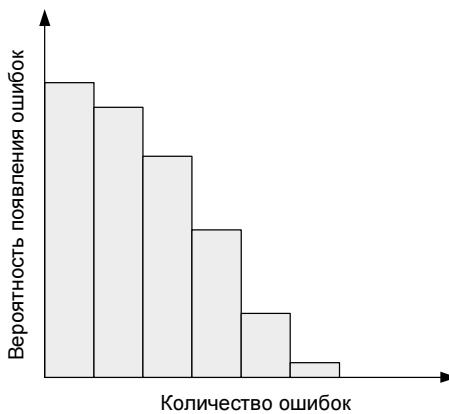


Рис. 7.21. Распределение количества ошибок

Обратите внимание — на этом рисунке по осям абсцисс и ординат не указаны никакие конкретные значения, поскольку эти значения зависят от характеристик канала связи и передаваемой информации. Этот рисунок приведен просто для наглядности.

Теперь рассмотрим случай взаимодействия прямого сигнала и отраженных сигналов. Предположим, что мы находимся возле большого здания, и на наш неподвижный приемник поступает сигнал как напрямую с передающей антенны, так и от большого здания. При этом отраженный сигнал претерпит следующие изменения: будет ослаблен по сравнению с прямым сигналом, кроме того, будет иметь задержку по сравнению с прямым сигналом, будет сдвинут на некоторую фазу. Мы знаем, что при отражении фаза должна меняться на 180° , однако это идеальный случай. При отражении, допустим, от

шероховатой бетонной стены или листвы деревьев, может произойти изменение фазы и отличное от 180° .

Отраженный сигнал или несколько отраженных сигналов будут взаимодействовать с прямым сигналом, и искажать его форму вследствие интерференции (сложения). В случае двух отраженных сигналов мы можем получить следующее искажение сигнала COFDM (на рис. 7.22 приведена упрощенная огибающая амплитуд раздельных несущих).

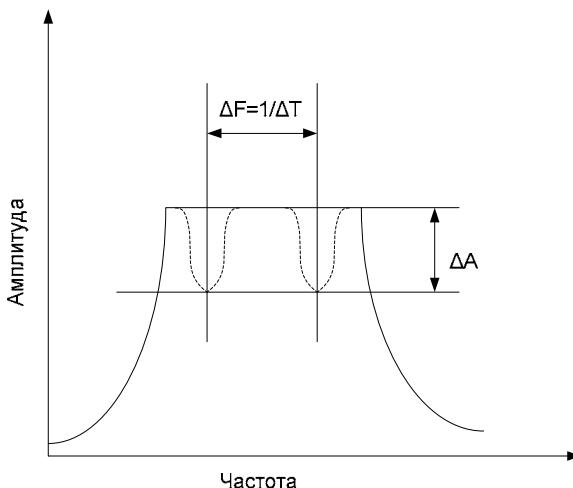


Рис. 7.22. Влияние интерференции на форму сигнала COFDM

На этом рисунке сплошной линией изображен спектр прямого сигнала в отсутствие отражений, а пунктирной — при наличии отражений. Видно, что отражения приводят к образованию "впадин" на сигнале COFDM. Причем эти впадины являются периодическими с периодом:

$$\Delta F = 1/\Delta T,$$

где ΔT — величина задержки отраженного сигнала.

Форма и размер впадин зависят от параметров отраженных сигналов. Например, если мы имеем два отраженных сигнала с одинаковым ослаблением, то результат их сложения с прямым сигналом теоретически приведет к бесконечно большой глубине впадины. Если же мы имеем два отраженных сигнала, ослабление одного из которых, допустим, 5 dB, а второго 10 dB, то глубина впадины будет составлять примерно 12—13 dB. Таким образом, эффект сложения прямой и отраженной волн будет иметь огромное влияние на COFDM-сигнал и приводить к его значительным искажениям.

Канал связи, в котором присутствуют как прямой, так и отраженные сигналы, называется *каналом Райса (Ricean channel)*. Пример канала Райса — прием на наружную антенну сигналов аналогового телевидения в зоне прямой видимости телевизионной башни (рис. 7.23).

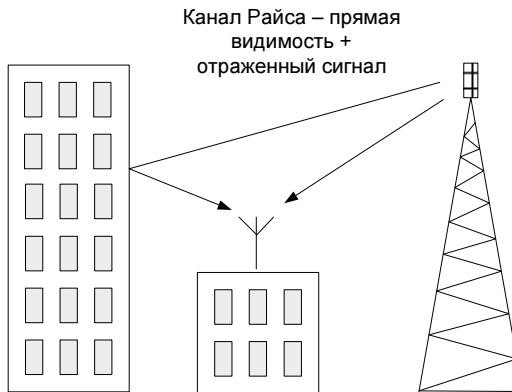


Рис. 7.23. Канал Райса

Еще один тип распространения — распространение только отраженными сигналами. В этом случае, на antennу приемника приходят только отраженные сигналы. Такой канал называется *каналом Рэлея (Rayleigh channel)* (рис. 7.24). Пример канала Рэлея — это прием мобильной телефонной связи или мобильного телевидения внутри здания, когда нет прямой видимости на передающую antennу. Очевидно, канал Рэлея наиболее распространен при радиоприеме в городских условиях.

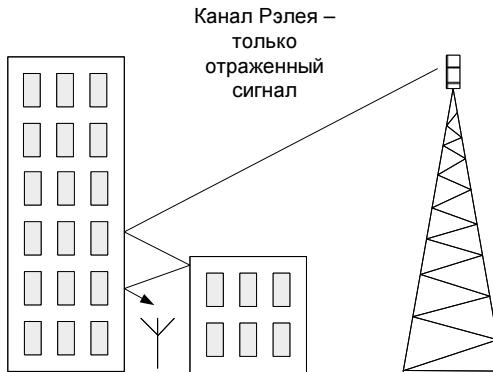


Рис. 7.24. Канал Рэлея

В канале Рэлея происходит так много различных наложений прямых, отраженных и переотраженных волн, что форма сигнала может значительно иска-

зиться: впадины становятся многочисленными, образуются впадины на впадинах, впадины становятся очень узкими и глубокими (до -40 дБ от уровня сигнала) и т. п. (рис. 7.25).

Важнейшей характеристикой канала связи является его *емкость*, т. е. скорость информации, которая может быть передана через канал при приемлемом уровне ошибок. Емкость канала связи зависит от отношения сигнал/шум в канале связи, т. е. от величины X/Z . Чем больше отношение сигнал/шум, тем меньше происходит ошибок и тем большую скорость передачи информации можно получить. Мы рассматривали этот вопрос в разд. 7.9.

Больше всего ошибок будет происходить в канале Рэлея, а меньше всего — в гауссовом канале, поскольку в канале Рэлея будет хуже отношение сигнал/шум из-за большого количества интерферирующих сигналов. Поэтому при проведении расчетов для сетей цифрового телевидения всегда необходимо принимать во внимание, какой именно канал будет являться основным для сервиса. Если предполагается оказывать услуги для движущихся зрителей, то необходимо учитывать канал Рэлея, а если для приема на наружные антенны, то канал Райса. В любом случае наиболее разумным будет использовать наихудший вариант.

В результате воздействия всех описанных ранее эффектов сигнал Y принимает следующую "некрасивую форму", которая все время меняется, поскольку условия распространения сигнала также постоянно меняются.

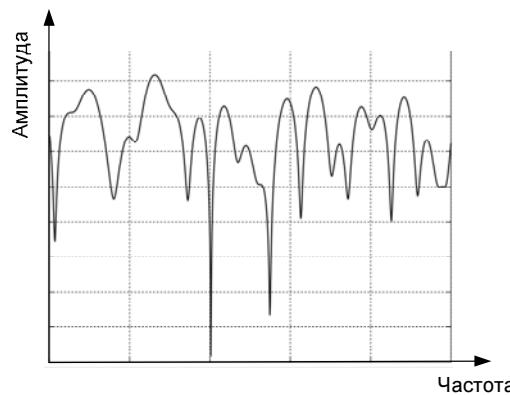


Рис. 7.25. Пример искаженной формы спектра COFDM

В современных радиоприемных устройствах COFDM могут применяться специальные меры для установления типа затухания (channel estimation) и последующей коррекции затухания путем обработки сигналов, например, пу-

тем выравнивания уровней. Однако ясно, что эти меры имеют ограниченные возможности. В частности, глубина впадины может оказаться настолько большой, что те несущие COFDM, которые в нее попали, окажутся ниже уровня шума, и информация, которую они переносят, будет потеряна. Для противодействия таким критическим случаям используется канальное кодирование, о котором мы будем говорить дальше.

7.18. Эффект Доплера

Для цифрового телевидения ситуация осложняется тем, что прием может осуществляться с движущегося объекта. А раз так — то сигнал будет менять свою частоту под воздействием *эффекта Доплера*.

Формула эффекта Доплера очень проста:

$$\Delta F = \frac{V \cdot F}{c} \cos(\phi).$$

Здесь:

- ΔF — изменение частоты несущей вследствие движения приемника;
- F — частота несущей;
- V — скорость движения приемника;
- c — скорость света;
- ϕ — угол между направлением движения приемника и направлением на передатчик.

Видно, что эффект Доплера имеет максимальное влияние, если приемник движется в направлении, перпендикулярном направлению на передатчик ($\cos(\phi) = 1$). При движении со скоростью 120 км/ч в DMB-диапазоне смещение будет составлять до сотни герц.

Если движущийся объект принимает один-единственный сигнал от телевизионной станции, то проблем нет — все несущие в спектре COFDM сдвигаются по частоте на одну и ту же величину и для их приема необходима только подстройка приемного устройства по частоте.

Иное дело, если принимается несколько сигналов от разных объектов, в том числе и движущихся. Тогда несколько отраженных сигналов могут быть смещены друг относительно друга по частоте и являться помехой друг для друга. Таким образом, эффект Доплера может ухудшать условия распространения сигналов в канале Райса или Рэлея.

7.19. Символ COFDM и защитный интервал

Поскольку каждый символ COFDM состоит из несущих, каждая из которых кодирует 2, 4 или 6 бит (QPSK, 16QAM или 64QAM), то символ COFDM имеет определенный конечный набор вариантов значений. Я говорю здесь об этом для того, чтобы подчеркнуть отличие от аналогового сигнала, который изменяется непрерывно и не имеет определенного конечного фиксированного набора значений.

Если смотреть с "точки зрения" времени, то сигнал COFDM представляет собой *последовательность символов COFDM*, разделенных *защитными интервалами*.

Данное обстоятельство может быть представлено на рис. 7.26 (обратите внимание, что по оси *X* отложено время).

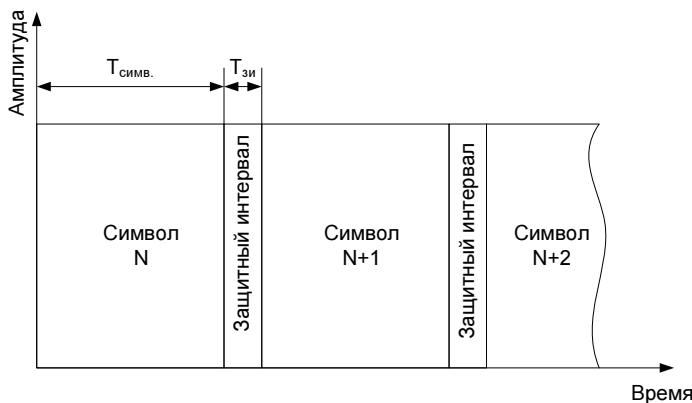


Рис. 7.26. Символ COFDM и защитный интервал

Таким образом, сигнал COFDM состоит из последовательности символов длительностью $T_{\text{симв.}}$, разделенных защитными интервалами длительностью $T_{\text{зи}}$. Несколько последовательных символов составляют *фрейм (frame)*, а несколько кадров — *суперфрейм (superframe)*. Подробнее о фреймах и суперфреймах см. разд. 7.22.

Длительность передачи символа определяется исходя из соображений ортогональности несущих, т. е., грубо говоря, влияние несущих друг на друга должно быть максимально исключено.

Как мы помним, одна несущая выглядит, как показано на рис. 7.27. При этом (это следует из теории) выполняется следующее соотношение:

$$\Delta F = 1/\Delta T,$$

где ΔT — длительность передачи символа (рис. 7.28).

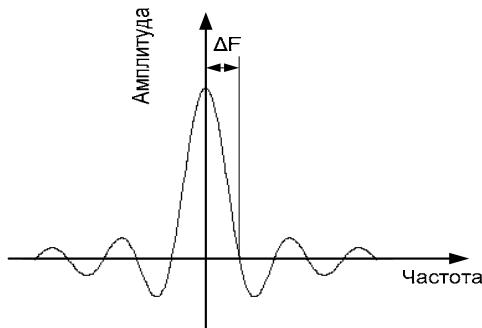


Рис. 7.27. Ширина полосы отдельной несущей

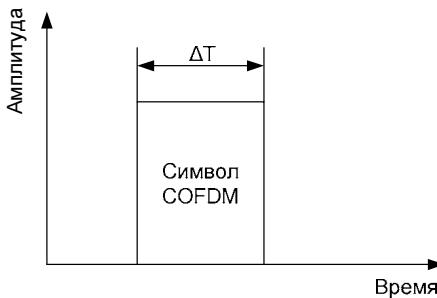


Рис. 7.28. Длительность символа COFDM

Таким образом, величина ΔT должна быть такой, чтобы несущие, составляющие COFDM-сигнал, не "залезали" друг на друга в спектре. Это условие будет выполняться, если расстояние между максимумами несущих при развертке по частоте (frequency domain) будет больше, чем ΔF (рис. 7.29).

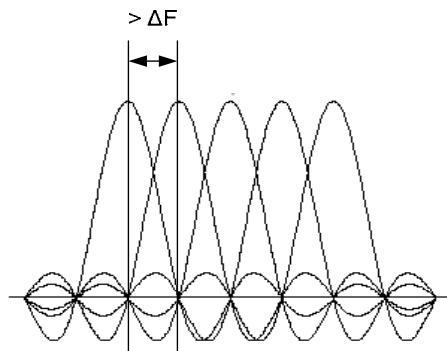


Рис. 7.29. Расстояние между несущими COFDM

Давайте вычислим, какова может быть минимальная длительность передачи символа, если используется 6817 несущих (т. е. режим $8k$) в стандартной полосе DMB-диапазона 8 МГц. Из стандарта ETSI EN 300744 разд. 4.4 имеем, что для этого режима расстояние между несущими равно 1116 Гц.

$$\Delta T = 1/1116 = 0,000896 \text{ сек или } 896 \text{ мкс}$$

Для режима $2k$ количество несущих равно 1705, расстояние между несущими по частоте — 4464 Гц и длительность символа равна 224 мкс. В мобильном телевидении DVB-H используется режим $4k$ с количеством несущих 3409 и длительностью символа 448 мкс.

Длительность защитного интервала обычно выражается в долях длительности символа. Например $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ и т. п. Защитный интервал требуется для того, чтобы до начала передачи следующего символа на вход приемного устройства успели поступить все возможные отраженные сигналы предыдущего символа. Если бы символы сменяли друг друга непрерывно, без использования защитных интервалов, то отраженные сигналы от первого символа накладывались бы на второй символ в самом начале передачи второго символа.

Когда сигналы от разных символов смешиваются друг с другом в результате отражений, говорят, что происходит *межсимвольная интерференция*. Таким образом, защитный интервал необходим для противодействия межсимвольной интерференции.

Из каких соображений нужно выбирать величину защитного интервала? Из величины задержки отраженных сигналов ΔT . При этом само количество отраженных сигналов не имеет большого значения, главное, чтобы они все успели поступить на вход приемного устройства в период защитного интервала (рис. 7.30).

Например, в случае, если при осуществлении вещания будет преобладать канал Рэлея, то длительность защитного интервала должна быть максимально возможной. В случае приема на наружные антенны можно использовать более короткие длительности защитного интервала.

Зная скорость распространения электромагнитных волн, можно рассчитать максимальную разность длин траекторий для прямого и отраженного сигналов для разных величин защитных интервалов в DVB-T. Приведем пример такого расчета для режима $8k$ (табл. 7.2).

Например, для защитного интервала $1/16$ разница путей может составлять до 16 км. Учитывая, что в худшем случае отраженный сигнал проходит путь до препятствия и обратно, расстояние до отражающей поверхности может быть $16/2 = 8$ км. Однако в реальности в канале Рэлея может происходить несколько десятков переотражений, прежде чем сигнал достигнет антенны приемника. В частности, как уже указывалось, интервал $1/32$ плохо подходит для

обеспечения качественного приема на комнатные антенны внутри помещений и для приема в движении.

Таблица 7.2. Максимальная разность длин путей прямого и отраженного сигналов для режима 8к

Длительность символа, сек	Скорость света в воздухе, км/сек	Защитный интервал (ЗИ)	Длит. ЗИ, сек	Разность путей, км
0,000896	298000	1/2	0,000448	133,504
0,000896	298000	1/4	0,000224	66,752
0,000896	298000	1/8	0,000112	33,376
0,000896	298000	1/16	0,000056	16,688
0,000896	298000	1/32	0,000028	8,344



Рис. 7.30. Отраженные сигналы в защитном интервале

Во время передачи защитного интервала излучение передатчика не прекращается. Это связано в первую очередь с необходимостью синхронизации работы передатчика и приемника. При пропадании излучения в защитном интервале приемнику придется настраиваться на каждом новом символе заново и заново определять параметры канала.

Вторая причина того, что излучение не прекращается, может быть менее понятной. Она связана с возможным нарушением ортогональности несущих. Дело в том, что если мы проинтегрируем значение амплитуды несущей по

времени по полному циклу (т. е. по 2π), то получим 0. Это вытекает из формы сигнала несущей. Если в защитном интервале ничего передаваться не будет, то такое интегрирование в принципе может и не дать 0, т. е. ортогональность будет нарушена и демодулятор может работать некорректно.

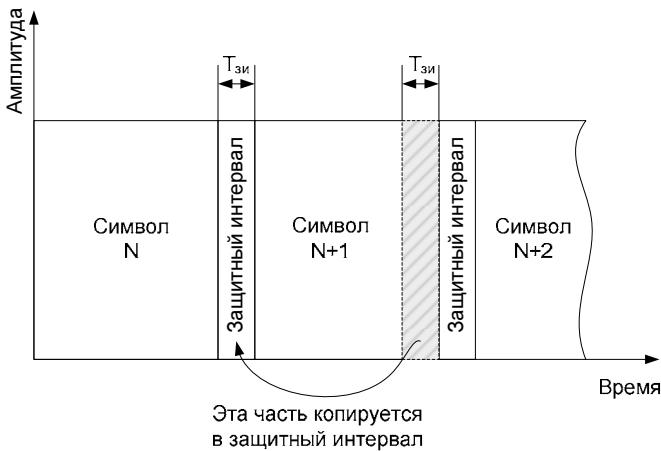


Рис. 7.31. Заполнение защитного интервала

В течение защитного интервала передается копия финальной части символа, следующего за этим защитным интервалом (рис. 7.31). Вообще, принято считать защитный интервал частью следующего за ним символа, т. е. длительность символа состоит из длительности передачи защитного интервала и следующей за ним полезной нагрузки. Пожалуйста, обратите на это внимание — защитный интервал идет перед полезной нагрузкой, а не за ней. В этом есть логика, поскольку защитный интервал защищает последующий символ от отражений предыдущего.

7.20. Иерархическая модуляция

Иерархическая модуляция — это технический прием, позволяющий "комбинировать" в одной полосе частот модуляции QPSK с 16QAM или 64QAM. Слово "комбинировать" взято в кавычки намеренно, поскольку фактически никакой реальной комбинации не происходит, а происходит просто раздельная обработка групп битов, передаваемых несущими, модулированными 64QAM.

Возможны две комбинации модуляций для иерархической модуляции: QPSK+16QAM и QPSK+64QAM. Рассмотрим для примера вариант QPSK+64QAM (рис. 7.32).

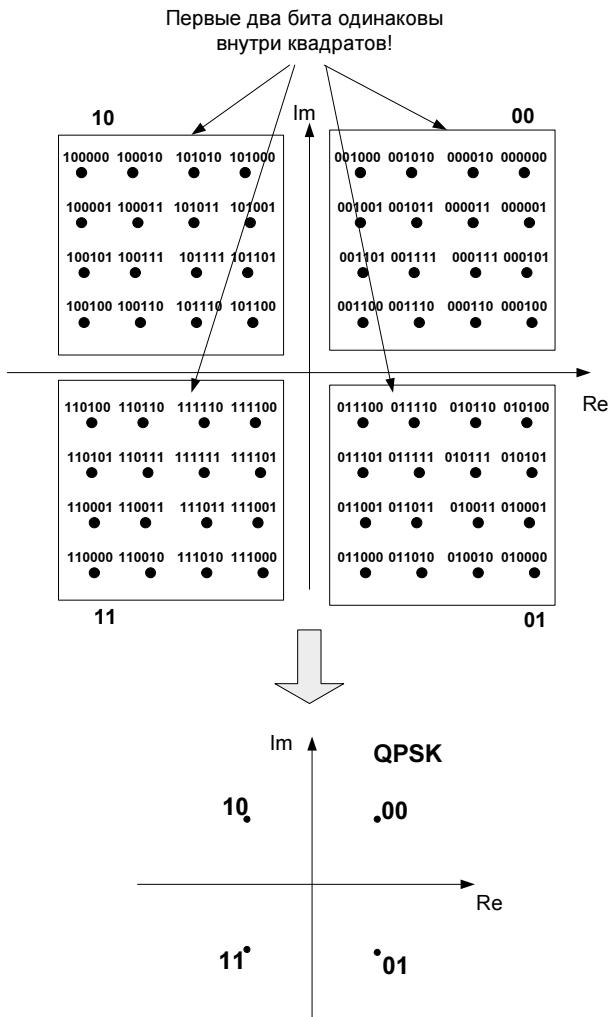


Рис. 7.32. Сочетание QPSK и 64QAM в иерархической модуляции

При использовании 64QAM для модуляции одной несущей мы получаем 64 символа такой модуляции, которые кодируют 6 бит. Давайте внимательно посмотрим на созвездие 64QAM.

Таким образом, мы можем представить 64QAM в виде комбинаций QPSK+64QAM. Разумеется, 64QAM от этого не перестанет быть 64QAM, т. е. иерархическая модуляция — это не новый вид модуляции. Это лишь режим раздельной обработки старших и младших бит из тех шести, что кодирует один символ 64QAM.

Если мы будем обрабатывать отдельно биты, то мы получим как бы два потока информации. Один поток будет состоять из 2 старших битов, а другой из 4 младших. Поток, состоящий из старших битов, называется *потоком высокого приоритета (high priority stream)*, а поток, состоящий из младших битов — *потоком низкого приоритета (low priority stream)*.

На модуляторах COFDM, которые поддерживают режим иерархической модуляции, обычно устанавливается два входных разъема ASI — один для потока высокого приоритета, другой — для потока низкого приоритета. Естественно разделять суммарный поток, формируемый 64QAM, на потоки высокого и низкого приоритетов должен также демодулятор абонентского устройства.

В данном контексте, слово приоритет не кажется слишком удачным, поскольку в действительности речь идет не о приоритете, а о надежности доставки, о помехоустойчивости потоков высокого и низкого приоритетов. Действительно, надежность в доставке этих потоков до абонентского устройства будет разной. У потока высокого приоритета надежность будет выше, чем у потока низкого.

Например, для случая QPSK+64QAM первые два бита являются одинаковыми внутри каждого из четырех квадрантов, а последующие 4 бита — разные внутри этих квадрантов. Предположим, при передаче произошла помеха, которая немного искажила амплитуду и фазу несущей.

В результате приемник получил вовсе не ту величину, которую передавал передатчик. Но при этом пострадали последние биты из шести, а первые два не изменились (рис. 7.33), поскольку в результате действия помехи квадрант не изменился. Таким образом, биты потока высокого приоритета были дос-

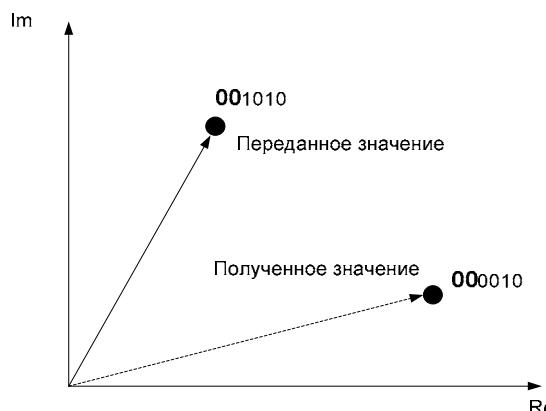


Рис. 7.33. Пример переданного и полученного значений при воздействии помех

тавлены без изменений, а биты потока низкого приоритета — с ошибкой. Данную ситуацию можно также понять, если заметить, что биты потока высокого приоритета кодируются несколькими символами 64QAM, а биты потока низкого приоритета — только одним символом. Если в результате действия помехи на приемник придет не тот символ, то в первую очередь "пострадают" биты потока низкого приоритета.

Также иерархическая модуляция бывает двух видов — *однородная (uniform)* и *неоднородная (non-uniform)*. Эти два вида модуляции отличаются друг от друга отношением расстояния между символами и расстоянием до осей X и Y на созвездии.

В созвездии однородной иерархической модуляции расстояния между символами и от крайних символов до осей равны. В неоднородной их отношение равно величине α (рис. 7.34), которая может принимать значения 2 и 4. Для однородной модуляции значение α всегда равно 1.

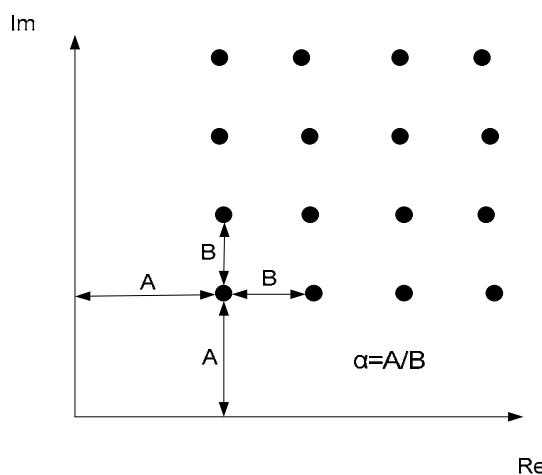


Рис. 7.34. Параметр α в иерархической модуляции

Изменение α позволяет перераспределить надежность доставки (подверженность помехам) между потоками высокого и низкого приоритетов. При увеличении α увеличивается надежность доставки (подверженность помехам) потока высокого приоритета и уменьшается низкого. Значение α больше 2 в цифровом телевидении не используется, поскольку при таком значении надежность доставки (подверженность помехам) потока низкого приоритета становится слишком плохой.

Для каких же целей нужна иерархическая модуляция? Она может использоваться, например, когда на одном частотном канале необходимо одновремен-

но передавать несколько телевизионных программ, предназначенных сразу для приема на абонентские устройства (гауссов канал или канал Райса) и на мобильные устройства (канал Рэлея). В этом случае, из "стационарных" программ можно сформировать поток низкого приоритета, а из "мобильных" программ — поток высокого приоритета.

Например, некоторый телеканал новостей может передаваться в двух вариантах — с высоким разрешением для стационарного приема и с низким — для мобильного. При этом для стационарного приема будет использоваться 64QAM и соответственно обеспечиваться низкая надежность, а для мобильного — QPSK и большая надежность.

Обратите внимание, что использование иерархической модуляции не ведет к увеличению емкости канала связи. Это всего лишь способ распределения ресурса надежности доставки между потоками высокого и низкого приоритетов.

Например, при использовании режима QPSK + 64QAM с $\alpha = 1$ (т. е. однородная модуляция) при величине защитного интервала 1/16 и FEC = 2/3 для высокого и низкого приоритетов (про FEC см. разд. 7.21) полезный битрейт цифрового потока, который можно передать, будет составлять 7,81 Мбит/сек для высокого приоритета и 15,61 Мбит/сек для низкого приоритета. В то же время, если мы будем использовать такой же защитный интервал и FEC просто для 64QAM, то мы сможем передать поток со скоростью 23,42 Мбит/сек: $7,81 + 15,61 = 23,42$, т. е. мы ничего не выиграли по скорости потока.

При использовании QPSK+64QAM с $\alpha = 1$ (при упомянутых остальных параметрах) мы получаем два потока с относительно хорошей и относительно плохой надежностью, по сравнению с просто 64QAM, где мы при этих параметрах имеем просто среднюю надежность. Если же мы используем здесь QPSK + 64QAM с $\alpha = 2$, то получаем два потока: один с хорошей надежностью, а другой с плохой, вместо одного со средней. Таким образом, при изменении α , как говорилось ранее, ресурс надежности перераспределяется между потоками высокого и низкого приоритетов (табл. 7.3).

Таблица 7.3. Сравнение скоростей потоков для обычной и иерархической COFDM

Модуляция	α	Приоритет	Скорость потока, Мбит/сек	Отношение сигнал/шум для канала Райса, дБ	Комментарий
QPSK ЗИ = 1/16, FEC=2/3	—	—	7,81	5,7	Высочайшая надежность, но низкая скорость потока

Таблица 7.3 (окончание)

Модуляция	α	Приоритет	Скорость потока, Мбит/сек	Отношение сигнал/шум для канала Райса, дБ	Комментарий
64QAM ЗИ = 1/16, FEC = 2/3	—	—	23,42	17,1	Средняя надежность и высокая скорость потока
Иерархическая, QPSK+64QAM ЗИ = 1/16, FEC = 2/3	1	Высокий	7,81	12,7	Относительно хорошая надежность и низкая скорость потока
		Низкий	15,61	17,6	Относительно плохая надежность и средняя скорость потока
Иерархическая, QPSK+64QAM ЗИ = 1/16, FEC = 2/3	2	Высокий	7,81	9,9	Высокая надежность и низкая скорость потока
		Низкий	15,61	19,5	Низкая надежность и средняя скорость потока

Подробные таблицы с указанием скоростей потоков для разных режимов модуляции и канального кодирования вы можете найти в стандарте ETSI EN 300744 на стр. 40—42 или в этой книге в разд. 7.22.

7.21. Общие сведения о канальном кодировании в DVB

Этот раздел содержит много технических деталей, и если у вас нет необходимости в том, чтобы разобраться, как применяется помехоустойчивое кодирование в цифровом телевидении, вы можете этот раздел пропустить.

После мультиплексора сигнал транспортного потока MPEG TS должен быть подготовлен для борьбы с помехами. В частности, ему должна быть передана информационная избыточность, которая позволит в дальнейшем корректировать ошибки, возникающие при передаче через каналы связи.

Часть ошибок, возникающих из-за затухания, может быть скорректирована демодулятором путем выравнивания уровней несущих COFDM полученного сигнала, но часть ошибок не может быть скорректирована никак, если не принять специальных мер. Выравнивание уровней позволяет компенсировать "провалы", которые получаются на спектре COFDM вследствие наложения прямого и отраженных сигналов (см. рис. 7.22 и 7.25). Однако ошибки, связанные с пропаданием части несущих из-за наложения отраженных сигналов или потери части сигнала из-за помех от транспорта или атмосферных помех

не могут быть легко скорректированы и требуют применения специальных методов. Перед использованием методов кодирования транспортный поток имеет структуру, показанную на рис. 7.35.

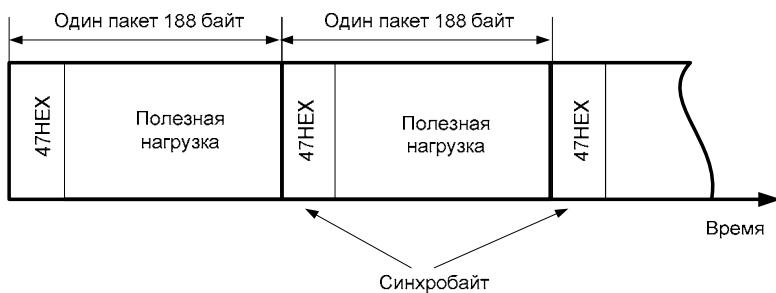


Рис. 7.35. Структура MPEG TS перед канальным кодированием

Применение методов кодирования сигнала, позволяющих впоследствии восстанавливать поврежденную при передаче информацию, называется *канальным кодированием* (рис. 7.36).

Сначала (стадия 1) транспортный поток MPEG2 TS подвергается так называемому *энтропийному перемешиванию* или "*адаптации*".

Адаптация состоит в том, что последовательность битов двоичного цифрового потока перемешивается по строго определенному закону при помощи сдвигового регистра с обратной связью с периодом 1503 байта. В результате этого действия получается последовательность битов, в которой снижена вероятность появления коротких периодических последовательностей нулей и единиц. Дело в том, что появление таких последовательностей в потоке может вызывать появление внеполосных излучений на выходе модулятора из-за особенностей COFDM.

При приеме абонентским устройством производится обратная "адаптации" операция и поток MPEG TS восстанавливается в первоначальном виде.

Начальным значением для работы регистра служит двоичное число 100101010000000. Чтобы для дальнейших процессов обработки было ясно, где в потоке содержится синхробайт пакета MPEG2, используется следующий алгоритм. Поток MPEG2 TS условно делится на группы, состоящие из 8 пакетов каждая. В группе из 8 пакетов MPEG2 TS синхробайт первого пакета инвертируется, т. е. принимает значение не 47hex, а B8hex. Первый бит начальной последовательности регистра должен применяться к первому биту транспортного потока, следующему за этим инвертированным синхробайтом, вплоть до последнего бита пакета.

За этим последним битом, очевидно, должен быть синхробайт следующего пакета. Этот синхробайт обрабатывается таким образом: во время его переда-

чи регистр продолжает работать, но вместо результатов работы регистра, данные с входа регистра передаются на выход без изменений, т. е. регистр продолжает работать, но его работа игнорируется. Таким образом, синхробайт не участвует в перемешивании.



Рис. 7.36. Порядок канального кодирования в DVB-T

После того как синхробайт передан на выход, выход регистра опять "включается". Таким образом, все синхробайты остаются неизмененными. Еще раз обратите внимание: во время передачи синхробайта регистр продолжает работать (т. е. сдвиг производится), но не используется, т. е. данные передаются с входа на выход без изменений. "Адаптированный" транспортный поток будет выглядеть так, как это показано на рис. 7.37.

В результате получается следующий "кусок" потока из восьми пакетов: инвертированный синхробайт, потом "адаптированный" пакет № 1, потом обычный синхробайт (т. е. 47hex), потом "адаптированный" пакет № 2 и т. д.

до последнего пакета в "восьмерке". Дальше алгоритм запускается сначала и повторяется для каждой последующей восьмерки пакетов MPEG2 TS.

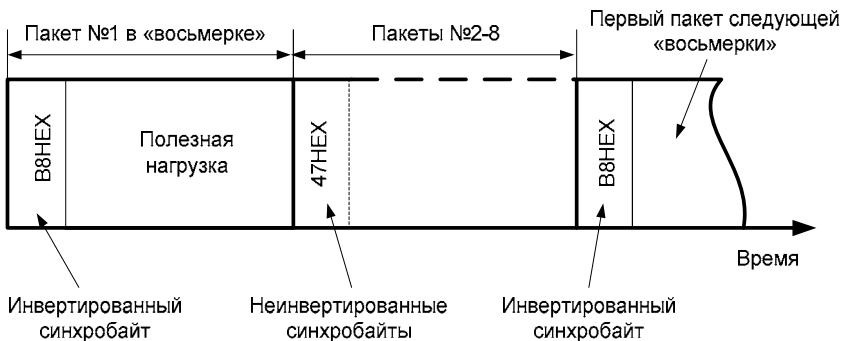


Рис. 7.37. MPEG TS после адаптации

После выполнения "адаптации" к "адаптированному" цифровому потоку применяется *каскадный код с перемежением* (или *интерлидингом*). Код называется *каскадным кодом*, потому что содержит комбинацию последовательно применяемых кодов разного типа. Операция применения каскадного кода с перемежением делится на четыре этапа:

1. Применение кодов Рида-Соломона (внешнее кодирование).
2. Внешнее перемежение (интерлидинг).
3. Применение сверточного кода (внутреннее кодирование).
4. Внутреннее перемежение (интерлидинг).

На первый взгляд кажется странным, зачем возникает необходимость использования такой сложной схемы — двойное кодирование и двойной интерлидинг. Тем не менее, именно такой способ канального кодирования является наиболее эффективным по результатам проведенных учеными компьютерного моделирования и лабораторных исследований.

Применение кодов Рида-Соломона позволяет декодеру исправить долговременные ошибки, а применение сверточного кода — кратковременные. Интерлидинг необходим для того, чтобы "разбросать" подвергшиеся кодированию байты по цифровому потоку, что позволит повысить эффективность коррекции ошибок. Интерлидинг в технической литературе также часто имеется *перемежением* или *перемешиванием*.

Итак, сначала применяются коды Рида-Соломона. Эта операция называется *внешним кодированием*. В случае наличия помех в канале связи, часть байтов цифрового потока может быть утеряна. В этом случае, использование кодов Рида-Соломона позволит восстановить некоторую часть потерянной информации.

мации. Суть метода состоит в том, что к цифровому потоку добавляется избыточная информация, предназначенная для коррекции ошибок. Общий объем информации при этом немного увеличивается, зато возрастает надежность передачи сигналов.

Коды Рида-Соломона относятся к разновидности недвоичных линейных циклических кодов. При применении кодов Рида-Соломона цифровой поток делится на группы по K байт в каждой. К каждой из таких групп добавляется избыточная информация, в результате чего длина слова увеличивается и становится равной N байтам. Такая измененная группа байт, состоящая из N байтов, называется кодовым словом, а само кодирование для краткости записывается в виде (K, N) . Идея лежащая в основе этого кода показана на рис. 7.38.

В DVB используются коды Рида-Соломона, которые можно записать в виде $(188, 204)$. Таким образом, группы байтов исходного потока содержат 188 байт, и к каждой из них добавляется 16 байт, которые позволяют исправить возможные ошибки передачи исходного цифрового потока. Группы байт потока называются *начальными группами*.

Код называется *циклическим*, поскольку в отличие от сверточных кодов, он применяется к последовательным группам цифрового потока, состоящим из K байтов. То, что код называется недвоичным, означает, что входящая битовая последовательность интерпретируется не как последовательность 0 и 1, т. е. битов, а как последовательность байтов, которые алгоритмом кодирования представляются в виде чисел (таким образом, первый байт равен, допустим 15, второй — 255 и т. п.).

Каждую начальную группу можно представить в виде вектора, координатами вершины которого являются K величин, составляющих кодовое слово.

$$V = (1\text{-й байт}, 2\text{-й байт}, 3\text{-й байт}, \dots, 188\text{-й байт})$$

Таким образом, пространство векторов имеет 188 измерений. Аналогично в виде вектора можно представить кодовое слово. Вершина вектора кодового слова будет определяться величинами, количество которых равно 204. Таким образом, пространство кодовых векторов имеет 204 измерения. То, что код называется линейным, означает, что множество начальных групп представляет собой 188-мерное линейное подпространство 204-мерного пространства кодовых слов.

Теория говорит также о том, что для корректировки одного ошибочного байта необходимы два байта "избыточной" информации. Таким образом, применимый в цифровом телевидении код Рида-Соломона способен помочь восстановить 8 байт информации:

$$(204 - 188)/2 = 8 \text{ байт.}$$

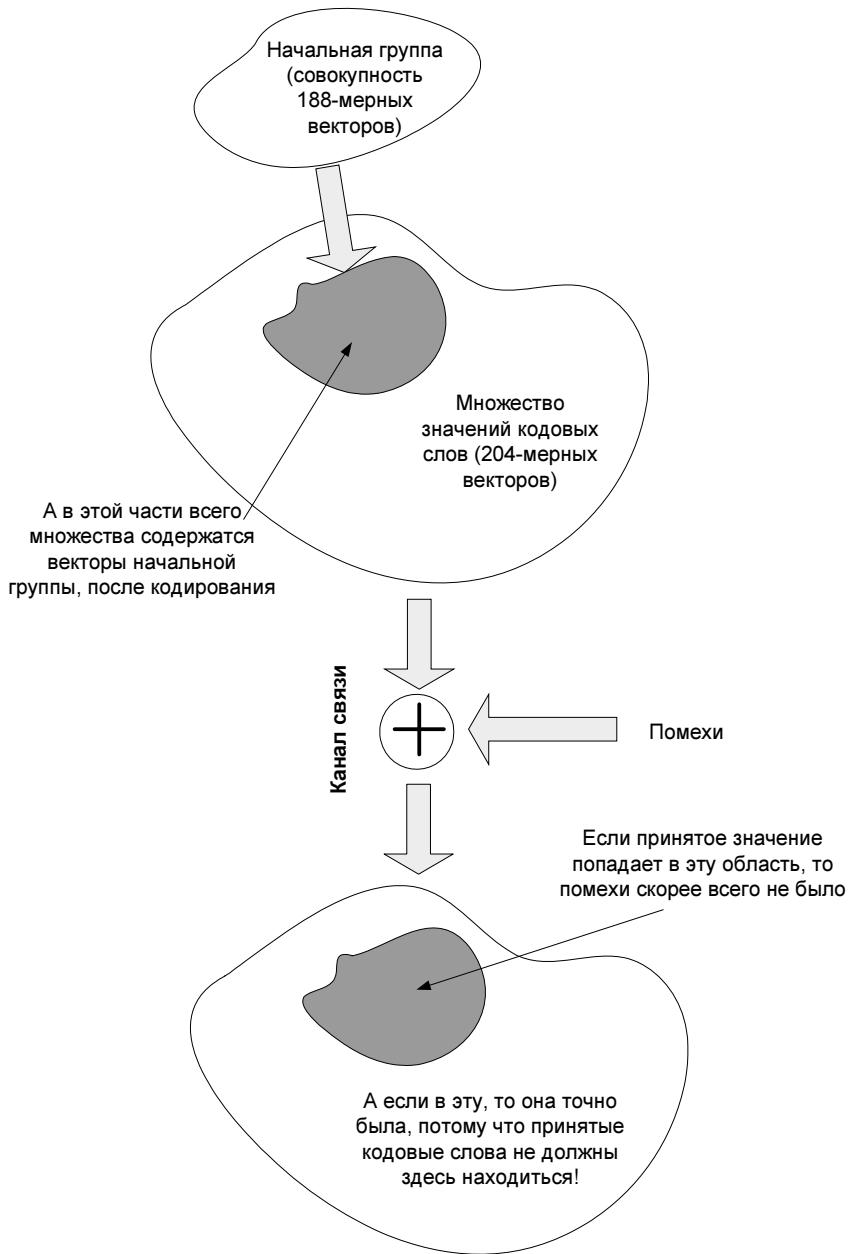


Рис. 7.38. Иллюстрация принципа кодов Рида-Соломона

Итак, в цифровом телевидении используется код Рида-Соломона, размер начальной группы равен 188 байт, размер кодового слова равен 204 байта, возможна коррекция до 8 последовательных ошибок включительно. Данное обстоятельство записывается следующим образом:

$$RS(204, 188, t = 8).$$

Коды Рида-Соломона применяются ко всем байтам "адаптированного" цифрового потока, включая синхробайты и инвертированные синхробайты.

После адаптации входного транспортного потока MPEG2 и внешнего кодирования выполняется операция, которая называется *внешним перемешиванием* или *внешним интерлидингом*.

Поясним на кратком примере, зачем необходимо это перемешивание. Предположим, что мы хотим передать через канал связи следующее словосочетание:

ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Но, увы, во время нашей передачи произошли ошибки, связанные с пропаданием сигнала и приемник принял следующий текст:

ЦИФРОВО ВИДЕНИЕ

Смысл этого словосочетания теперь неясен. О чем идет речь? О цифровом телевидении? Или может быть о цифровом предвидении? Или автор изобрел какое-то новое слово и пытается нам его объяснить?

А теперь давайте посмотрим, что произойдет, если мы применим к начальному словосочетанию операцию интерлидинга. Иными словами, перед передачей перемешаем буквы по некоторому определенному нами закону, так, чтобы буквы каждого слова были более-менее равномерно распределены по всему предложению. Мы можем получить, например, такой текст:

ЕТИОЕН ИИЕОЕВВЛЕДФЦ

Теперь передадим его и представим, что при передаче произошли те же самые пропадания сигнала, что и раньше. Наш текст примет такой вид:

ЕТИОЕН ЕВВЛЕДФЦ

А теперь перемешаем наше слово "обратно", т. е. переставим буквы по закону, обратному тому, по которому мы эти буквы перепутали:

ЦИФР ВОЕ ТЕЛЕВ Д Н Е

Согласитесь, что последнюю фразу понять легче, чем фразу, полученную без перемешивания. Исчезла неоднозначность, связанная с потерей первой части слова "телевидение". Теперь ясно, что в этом словосочетании речь идет о цифровом телевидении, а вовсе не о "предвидении".

Подобным же образом, после применения кодов Рида-Соломона перемешивается содержимое внутри получившихся 204 байтных блоков. При этом синхробайты транспортного потока и инвертированные синхробайты транспортного потока интерлидингу не подвергаются. Технические детали выполнения внешнего интерлидинга вы можете найти в стандарте ETSI EN 300744 разд. 4.3.2.

Из рис. 7.39 видно, что регистр имеет 17 байт, а "путей" только 11. Именно за счет этого и выполняется перемешивание байт входного потока по сравнению с выходным. Обратите внимание, что синхробайт всегда передается по пути с номером 0.

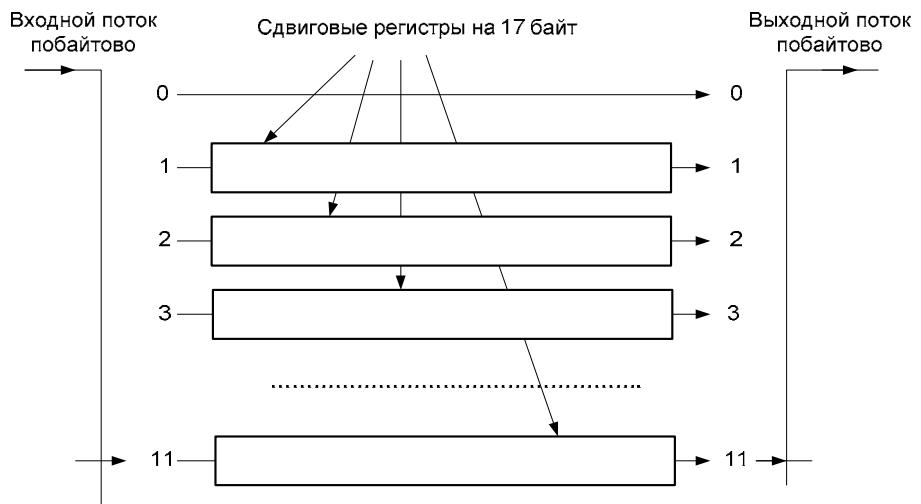


Рис. 7.39. Схема внешнего интерлидинга

После внешнего интерлидинга выполняется *внутреннее кодирование*. Это те самые FEC (Forward Error Correction, упреждающая коррекция ошибок), которые вы, наверное, неоднократно встречали в справочниках и журналах, посвященных цифровому спутниковому и наземному телевидению. Задача внутреннего кодирования — добавить дополнительную устойчивость к затуханию (fading).

Для внутреннего кодирования используется *пунктурный сверточный код* (*punctured convolutional code*). Декодер этого кода, размещенный в абонентском устройстве, называется *декодером Виттерби*.

В результате внутреннего кодирования объем информации увеличивается еще больше, добавляется дополнительная избыточность, которая поможет в дальнейшем еще более увеличить надежность передачи сигнала.

Насколько увеличивается объем информации, определяется режимом внутреннего кодирования. Стандартом предусмотрены следующие пять режимов: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8. Суть этих цифр достаточно проста. Например, 2/3 означает, что из двух битов начальной информации получается 3 бита, а 7/8 означает, что из 7 битов начальной информации получается 8. В первом случае один дополнительный бит генерируется на 2 исходных, во втором — на 7. Обратите внимание, что этот дополнительный генерируемый бит нельзя называть проверочным, как часто можно слышать.

Алгоритм внутреннего кодирования построен таким образом, что меняются все биты, т. е. "новый" бит не просто добавляется к начальным битам — начальные биты также преобразуются. Алгоритм преобразования информации при внутреннем кодировании описан в стандарте ETSI EN 300744 разд. 4.3.3. Этот алгоритм является довольно сложным, и тем, кто хочет изучить его, советую обратиться к литературе по помехоустойчивому кодированию.

Какой же из режимов внутреннего кодирования обеспечивает большую надежность? Тот, который наиболее увеличивает объем информации, т. е. 1/2. Соответственно, наименьшую надежность обеспечивает тот режим, где увеличение информации наименьшее, т. е. 7/8. Увеличение объема передаваемой информации — это плата за увеличение надежности. Это процесс обратный компрессии видеоизображения и звука. Компрессия позволяет нам уменьшить объем передаваемой информации, а канальное кодирование его снова увеличивает. К счастью, не намного.

И в последнюю очередь обратим внимание на то, что алгоритм внутреннего кодирования работает на очень малом масштабе — т. е. преобразует только "соседние" биты. Отсюда можно сделать вывод, что данный алгоритм нацелен на корректировку только очень коротких сбоев в канале передачи, только таких сбоев, которые приводят к ошибкам, затрагивающим единичные биты или очень небольшое количество последовательных битов.

После выполнения внутреннего кодирования, используется внутренний интерлидинг. *Внутренний интерлидинг* — сложный многоступенчатый процесс, описание которого можно найти в стандарте ETSI EN 300744 разд. 4.3.4. В DVB используется два вида интерлидинга — *обычный интерлидинг* (*native interleaving*) и *углубленный интерлидинг* (*in-depth interleaving*). Углубленный интерлидинг используется только в мобильном телевидении DVB-H.

Общая диаграмма, поясняющая процесс обычного внутреннего интерлидинга, следующая (рис. 7.40). Диаграмма приводится для случая иерархической модуляции. Обратите внимание, что на выходе внутреннего кодера первонаучальная последовательность битов превращается в две параллельные последовательности битов — X и Y. Это особенность алгоритма конволюционного кодирования.

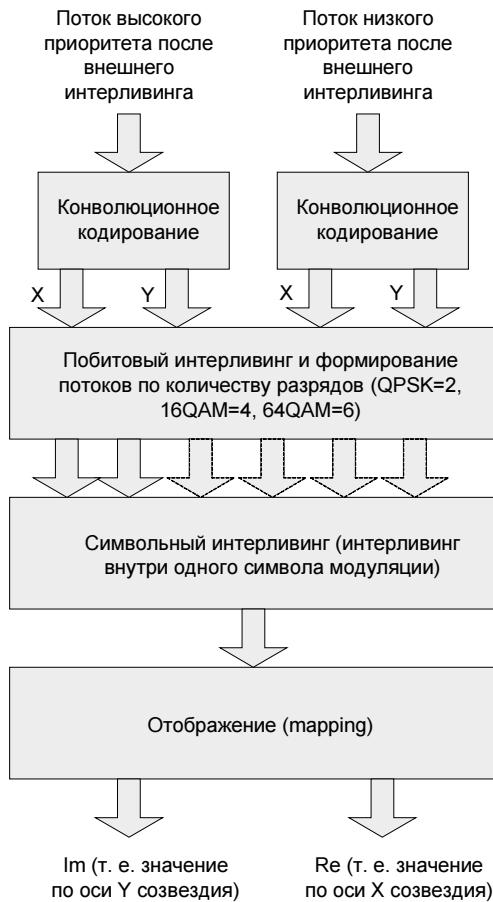


Рис. 7.40. Обычный внутренний интерлидинг при использовании иерархической модуляции

После того как канальное кодирование выполнено, мы получили последовательность пар чисел (Im , Re), которые являются "координатами" точек на созвездии. Эти пары являются мнимой и действительной частью комплексного числа C , т. е. каждой отдельной точке созвездия может быть сопоставлено комплексное число. Это комплексное число C используется в преобразовании Фурье при конструировании сигнала COFDM.

7.22. Фрейм, суперфрейм, формирование сигнала, скорость передачи

Фрейм (frame) — состоит из 68 символов COFDM. Четыре кадра составляют *суперфрейм (superframe)*. Каждый символ состоит из 6817 отдельных несу-

щих, предназначенных для передачи информации в режиме $8k$, и 1705 несущих в режиме $2k$ несущих. Фреймы нумеруются от 0 до 67. Нумерация несущих также начинается с 0.

Есть еще промежуточный режим $4k$, который вводится стандартом DVB-H (см. разд. 11.8).

Каждый символ помимо преобразованного транспортного потока содержит *пилот-сигналы* (*pilots*), необходимые для целей, которые будут ясны далее, а также *Сообщения о параметрах передачи* (*TPS — Transmission Parameters Signaling*).

Основные сведения о фрейме DVB приводятся в следующих таблицах (табл. 7.4 и 7.5).

Таблица 7.4. Параметры фрейма DVB

Параметр	Режим $8k$	Режим $2k$
Количество несущих	6817	1705
Длительность символа, мкс	896	224
Расстояние между несущими, Гц	1116	4464
Расстояние между первой и последней несущими, МГц	7,61	7,61

Таблица 7.5. Длительности символа для разных параметров модуляции

Режим	Защитный интервал	Длительность символа, мкс	Длительность защитного интервала, мкс	Суммарная длительность символа и защитного интервала, мкс
$8k$	1/4	896	224	1120
	1/8		112	1008
	1/16		56	952
	1/32		28	924
$2k$	1/4	224	56	280
	1/8		28	252
	1/16		14	238
	1/32		7	231

Один суперфрейм укладывается целое число пакетов с кодом Рида-Соломона для всех значений FEC. Таким образом, отпадает необходимость *набивки* (*stuffing*) нулевыми пакетами до целого значения пакетов.

Таблица 7.6. Количество пакетов Рида-Соломона в одном суперфреймце" (табл. 16 стандарта ETSI EN 300744)

FEC	QPSK		16QAM		64QAM	
	2k	8k	2k	8k	2k	8k
1/2	252	1008	504	2016	756	3024
2/3	336	1344	672	2688	1008	4032
3/4	378	1512	756	3024	1134	4536
5/6	420	1680	840	3360	1260	5040
7/8	441	1764	882	3528	1323	5292

Из табл. 7.6 легко можно посчитать, какова будет скорость канала связи для разных сочетаний защитного интервала и FEC. В следующей таблице (табл. 7.7) приводятся скорости для канала связи, не содержащего помех: т. е. любой бит, переданный передатчиком в целости и сохранности, достигает приемника. Конечно, это идеальная ситуация, которая не встречается в реальности.

Таблица 7.7. Скорость передачи (битрейт в мегабитах в секунду) для разных комбинаций FEC и защитного интервала для канала связи, не содержащего помех" (значения согласно табл. 17 стандарта ETSI EN 300744)

Модуляция	FEC	Защитный интервал			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	¾	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Для того чтобы обеспечить скорости передачи, приведенные в табл. 7.7, надо, чтобы в канале связи выполнялось необходимое отношение сигнал/шум.

В следующей таблице (табл. 7.8) приведены значения сигнала/шум для каждого FEC для того, чтобы получить максимальную теоретическую скорость потока для разных типов затухания для $BER = 2 \times 10^{-4}$ после декодера сверточного кода (декодера Виттерби). Напомню, что BER — это относительное количество ошибок (см. разд. 1.11), т. е. в данном случае, должно быть не более двух ошибочных бит на 10000 переданных без ошибок. Если такое условие выполняется, то мы считаем, что канал работает качественно.

Также предполагается, что межсимвольная интерференция отсутствует, т. е. отраженные сигналы "нейтрализуются" при помощи правильно выбранного защитного интервала. Соответственно требуемое отношение сигнал/шум от величины защитного интервала не зависит.

Таблица 7.8. Необходимые отношения сигнал/шум для достижения максимальной скорости потока при $BER = 2 \times 10^{-4}$ после декодера сверточного кода (декодера Виттерби)

Модуляция	FEC	Сигнал/шум, дБ		
		Канал Гаусса	Канал Райса	Канал Рэлея
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4
	2/3	4,9	5,7	8,4
	3/4	5,9	6,8	10,7
	5/6	6,9	8,0	13,1
	7/8	7,7	8,7	16,3
16QAM	1/2	8,8	9,6	11,2
	2/3	11,1	11,6	14,2
	3/4	12,5	13,0	16,7
	5/6	13,5	14,4	19,3
	7/8	13,9	15,0	22,8
64QAM	1/2	14,4	14,7	16,0
	2/3	16,5	17,1	19,3
	3/4	18,0	18,6	21,7
	5/6	19,3	20,0	25,3
	7/8	20,1	21,0	27,9

Таблица 7.8 является одной из самых важных в DVB. Значения, приведенные в этой таблице, были рассчитаны теоретически и затем подтверждены многочисленными исследованиями. На основании этой таблицы мы можем сделать такую важнейшую работу, как оценка зоны радиопокрытия (уверенного приема) для планирования сетей цифрового телевидения. Собственно зона радиопокрытия — это и есть территория, на которой соблюдаются отношения сигнал/шум для разных типов модуляции. Таким образом, зная, какого отношения сигнал/шум можно добиться, мы имеем возможность оценить, какие параметры модуляции можно использовать, какую скорость потока получить и, соответственно, сколько каналов передавать зрителю.

Итоговая формула обратного преобразования Фурье, которая применяется для конструирования сигнала COFDM, в соответствии со стандартом ETSI EN 300744 имеет следующий вид:

$$S(t) = \operatorname{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{67} \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} C_{m,l,k} \times \psi_{m,l,k}(t) \right\},$$

$$\text{где } \psi_{m,l,k} = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k'}{T_U} (t - \Delta - l \times T_S - 68 \times m \times T_S)} & \\ 0 & \end{cases}.$$

Первая строка определения функции Ψ используется в случае, если для t выполняется следующее двойное неравенство:

$$(l + 68 \times m) \times T_S \leq t \leq (l + 68 \times m + 1) \times T_S.$$

Во всех остальных случаях функция ψ равна 0.

В этой формуле применяются следующие условные обозначения:

- k — номер несущей;
- l — номер символа COFDM;
- m — номер фрейма;
- K — количество несущих;
- T_S — длительность символа;
- T_U — величина, обратная интервалу между несущими, т. е. равная 1, деленной на частоту;
- Δ — длительность защитного интервала;
- f_c — центральная частота;
- k' — индекс несущей по отношению к центральной частоте
 $k' = k - (K_{\max} + K_{\min}) / 2;$

□ $C_{m,l,k}$ — комплексный коэффициент для несущей k символа l , фрейма m . Не забываем, что нумерация несущих и фреймов начинается с 0.

$C_{m,l,k}$ — это как раз тот самый комплексный коэффициент, который получается после символьного интерликинга в результате работы алгоритма отображения. Также необходимо иметь в виду, что эти коэффициенты должны быть нормализованы до использования в формуле. Подробнее см. стандарт ETSI EN 300744 разд. 4.4.

Мы видим в этой формуле два компонента — $e^{j2\pi f_c t}$ и $\Psi_{m,l,k}$, которые представляют собой периодические функции. Первая из них — это центральная частота радиочастотного канала, а вторая — модулирующая функция (несущая). Эти две функции соответствуют функциям $S(t)$ и $M(t)$, которые мы рассматривали в разд. 7.2.

7.23. Пилот-сигналы (pilots)

Пилот-сигналы (pilots) — это специальным образом модулированные несущие, которые передаются среди несущих с полезной нагрузкой. Задача пилот-сигналов — облегчать работу декодера по определению параметров канала связи, настройке и синхронизации. В частности, они используются для выравнивания уровней несущих. Пилот-сигналы определяют реперы, по которым абонентское устройство может произвести настройку и демодулировать COFDM. Параметры несущих, которые используются для передачи сигнала транспортного потока, могут быть любыми — это зависит от передаваемого потока. Параметры пилот-сигналов всегда постоянны и подчиняются правилам, определенным в стандарте ETSI EN 300744.

Пилот-сигналы делятся на *непрерывные* (*continual pilots*) и *разрозненные* (*scattered pilots*) в соответствии с тем, какой номер несущей используется для их передачи.

И непрерывные и разрозненные пилот-сигналы представляют собой несущие, промодулированные в соответствии с рядом псевдослучайных чисел (*PRBS* — *Pseudo Random Binary Sequence*), определяемой полиномом:

$$X^{11} + X^2 + 1 \text{ с начальной последовательностью } 1111111111$$

Подробнее о подобных последовательностях вы можете узнать в любой литературе по цифровой электронике, поскольку они встречаются достаточно часто и реализованы на базе сдвигового регистра с линейной обратной связью (*LFSR* — *Linear Feedback Shift Register*). В частности, подобным образом создается PRBS для "адаптации" транспортного потока MPEG2 TS.

Начало работы генератора случайных чисел совпадает с генерацией первой несущей. Таким образом, число, которое передает пилотная несущая, являет-

ся функцией порядкового номера этой несущей. В результате генерации PRBS, получаются 12-разрядные числа w_k , где k — это номер несущей. Окончательные значения комплексных коэффициентов C , необходимых для создания итогового сигнала, получаются по формулам (мнимая часть всегда равна 0):

$$\operatorname{Re}\{C_{m,l,k}\} = 4/3 \times 2 (1/2 - w_k).$$

Пилот-сигналы передаются повышенной мощностью, что делает их более заметными для абонентских устройств. В системах управления модуляторами DVB, как правило, существует возможность отключения или включения пилот-сигналов, а также включение или выключение генерации случайной последовательности.

Теперь рассмотрим, как несущие с пилот-сигналами располагаются среди несущих, которые передают полезную нагрузку. Непрерывные пилот-сигналы передаются на несущих с фиксированными номерами: 0, 48, 54, 87 и т. п. Полный список несущих для режимов $2k$ и $8k$ можно найти в стандарте ETSI EN 300744 в разд. 4.5.4. Здесь отметим, что в режиме $2k$ используется 45 несущих для передачи непрерывных пилот-сигналов, а в режиме $8k$ — 177.

На рис. 7.41 черным кружком обозначена несущая с пилот-сигналом (разрозненным или непрерывным). Белыми кружками обозначены все остальные несущие. Видно, что первая несущая во всех символах всегда содержит непрерывный пилот-сигнал, в первом символе разрозненный пилот-сигнал следует на каждой 12-й несущей, а с каждым следующим символом положение несущих с разрозненными пилот-сигналами сдвигается на три позиции, т. е. разрозненные несущие как бы "бегут" по сигналу. Установив положение разрозненных пилот-сигналов в символе, декодер сможет вычислить, например, порядковый номер символа в фрейме.

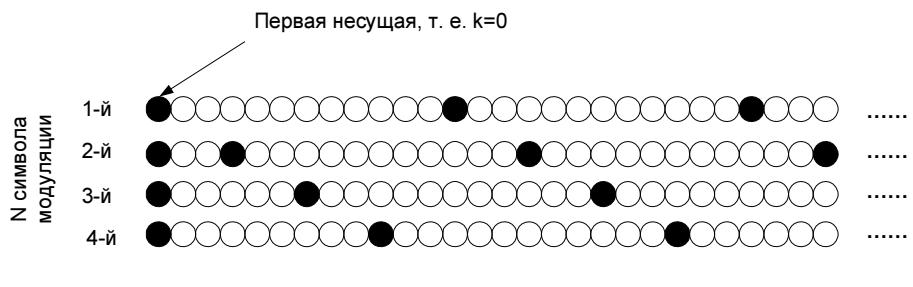


Рис. 7.41. Схема передачи пилот-сигналов

7.24. Сообщения о параметрах передачи (TPS)

Важнейшей частью DVB-сигнала являются *сообщения о параметрах передачи* (*Transmission Parameter Signalling* — TPS). TPS служит для передачи информации о режиме модуляции и канального кодирования, о том, используется или нет иерархическая модуляция и т. п. Приняв и расшифровав TPS, абонентское устройство сможет корректно произвести демодуляцию и декодирование принятого сигнала.

Сообщения TPS передаются на специально выделенных для них несущих. В режиме 8k используются 68 несущих, в режиме 2k — 17 несущих.

Каждая из этих несущих промодулирована модуляцией DBPSK, созвездие которой состоит только из двух положений вектора, соответствующих 0 и 1, т. е. DBPSK может передавать в течение длительности символа только один бит (рис. 7.42). Очевидно, что эта модуляция обладает еще большей помехоустойчивостью, чем QPSK. Таким образом, TPS всегда передается с наибольшей надежностью.

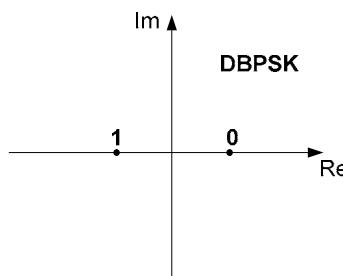


Рис. 7.42. Созвездие DBPSK

В течение длительности одного символа все несущие TPS, которые передаются в этом символе, имеют одинаковое значение — 0 или 1. В течение следующего символа они могут изменить свое значение. Таким образом, поскольку в фрейме COFDM всего 68 символов, в течение фрейма мы можем передать 68 бит TPS: в течение первого символа 1-й бит, в течение 2-го символа второй бит и т. д. до 68 бита в последнем 68-м символе текущего фрейма (рис. 7.43). Назначение битов TPS приведено в табл. 7.9.

На рис. 7.44 приведен вид экрана анализатора спектра с созвездием 16QAM, принятым с эфира. Это результат приема, накопленный за несколько секунд работы, поэтому точки, составляющие созвездие, выглядят размытыми. Отмечено положение векторов модуляции DBPSK, передающих TPS. Обратите

внимание, что степень "размытости" точек соответствует отношению сигнал/шум в канале связи. Чем выше размытость, тем отношение хуже (больше шумов).

Таблица 7.9. Назначение битов TPS

Биты	Значение
0	Бит инициализации DBPSK (см. стандарт ETSI EN 300744 разд. 4.6.2.1 и 4.6.3)
1—16	Синхропоследовательность: 0011010111101110 или 1100101000010001
17—22	Индикатор длины поля TPS, начиная с 17-го бита (и включая его). TPS может использовать не все биты, которые есть в наличии. Если передается информация о номере ячейки, то используется 31 бит, если не передается, то 23 бита. Неиспользуемые биты должны иметь нулевые значения
23—24	Номер фрейма (frame) в суперфрейме (superframe): 00 — первый фрейм в суперфрейме; 01 — второй фрейм в суперфрейме; 10 — третий фрейм в суперфрейме; 11 — четвертый фрейм в суперфрейме
25—26	Вид модуляции, используемый для кодирования несущих (т. е. вид созвездия): 00 — QPSK; 01 — 16-QAM; 10 — 64-QAM; 11 — не используется
27—29	Информация о иерархической модуляции: 000 — иерархическая модуляция не используется; 001 — $\alpha = 1$; 010 — $\alpha = 2$; 011 — $\alpha = 4$
30—32	FEC для потока высокого приоритета: 000 — 1/2; 001 — 2/3; 010 — 3/4; 011 — 5/6; 100 — 7/8
33—35	FEC для потока низкого приоритета. Используются те же самые значения, что и для высокого приоритета

Таблица 7.9 (окончание)

Биты	Значение
36—37	Защитный интервал: 00 — 1/32; 01 — 1/16; 10 — 1/8; 11 — 1/4
38—39	Режим передачи: 00 — 2k 01 — 8k 10 — 4k
40—47	Идентификатор ячейки. Данное поле не является обязательным. Оно предназначено для передачи номера ячейки ("соты") в сетях мобильного телевидения DVB-H. Подробнее см. в стандарте ETSI EN 300744 разд. 4.6.2.10
48—53	Все установлены в 0
54—67	ВСН-коды. Помехоустойчивые коды для защиты TPS

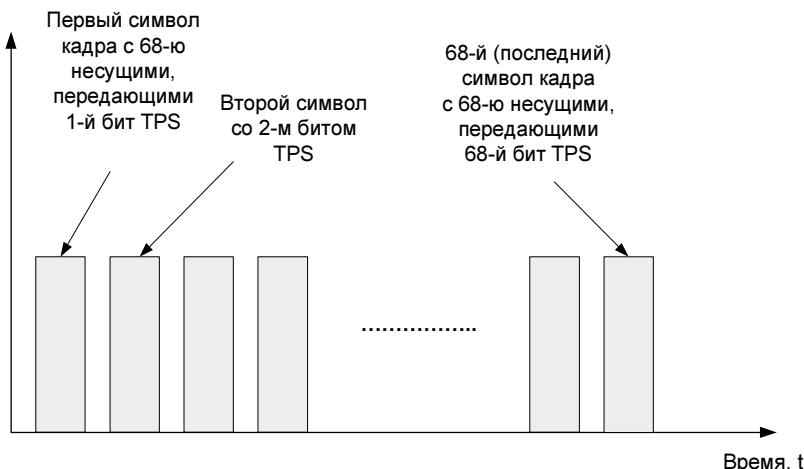


Рис. 7.43. Последовательность передачи TPS

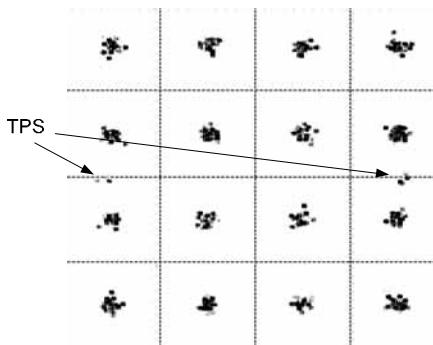


Рис. 7.44. Положение TPS на созвездии 16QAM
(накопленный результат за несколько секунд времени)

7.25. Оценка качества цифрового канала связи и COFDM

Для оценки качества работы аналогового канала связи используется измерение напряженности электромагнитного поля в точке приема в соответствии с ГОСТ 7845.

Для оценки качества работы цифрового канала связи предусмотрено несколько параметров, подлежащих мониторингу. Один из этих параметров — BER — мы вкратце рассматривали его в разд. 1.11.

Напомню, что BER — это отношение ошибочно переданных бит к общему количеству бит за единицу времени, т. е. например, если на 10000 бит передан 1 ошибочный, то $BER = 10^{-4}$.

В цифровом телевидении используется два значения BER: до конволовационного декодирования и после. Декодер конволовационных кодов называется декодером Витерби. Соответственно BER, измеряемый до декодера Витерби, называется *Pre-Viterbi BER* или *Pre-FEC BER*, а после декодера Витерби *Post-Viterbi BER* или *Post-FEC BER*, или сокращенно еще говорят *Pre-BER* или *Post-BER*.

Наблюдение за значениями Pre-BER (рис. 7.45) и Post-BER позволяет увидеть эффективность применения конволовационных кодов в цифровом телевидении. Если, допустим, Pre-BER обычно варьируется в переделах 10^{-3} — 10^{-5} , то Post-BER варьируется в переделах 10^{-7} — 10^{-9} , т. е. применение FEC позволяет уменьшить количество ошибок на несколько порядков. Канал связи работает качественно, если значение Post-BER не поднимается выше 2×10^{-4} , т. е. 2 ошибочных бит на 10000 переданных.

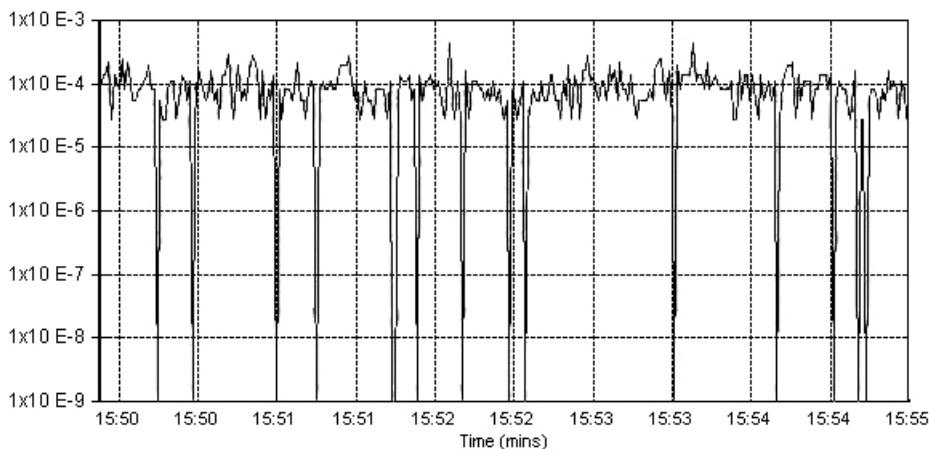


Рис. 7.45. Пример зависимости PreFEC-BER от времени
(получено при помощи прибора DTU-235 компании Dektec)

Для характеристики отношения сигнала/шум используется измерение количества ошибок модуляции *MER* (*Modulation Error Rate*). Количество ошибок модуляции выражается в децибелах и вычисляется как сумма абсолютных значений векторов созвездия, деленная на сумму их отклонений от заданных значений. Значение MER на выходе передатчика должно быть не хуже 35 дБ. При приеме значение MER может колебаться в широких пределах. Чем меньше значения MER, тем больше "размыто" принимаемое созвездие. Значение MER можно использовать вместо значения сигнал/шум.

Величина ошибки величины вектора *EVM* (*Error Vector Magnitude*) используется реже. EVM представляет собой сумму отклонений векторов созвездия от заданных значений, деленную на максимальную длину вектора созвездия. Таким образом, EVM показывает относительную ошибку длины вектора созвездия. EVM измеряется в децибелах.

Значения MER и EVM пропорциональны друг другу.

В измерительных приборах обычно есть возможность установить временной интервал, за который будет производиться измерение. Например, чтобы измерить Post-BER, необходимо несколько секунд или даже десятков секунд, поскольку его величина очень мала.



ГЛАВА 8

Сети цифрового телевидения

8.1. Сеть связи и частотно-территориальный план

Сетью связи называется совокупность технических средств, предназначенная для оказания услуг связи определенного рода. Например, телефонная сеть связи предназначена для предоставления услуг телефонной связи. Подобно этому, сеть связи цифрового телевидения, предназначена для оказания услуг связи с целью телевещания, т. е. распространения сигналов телекомпаний, с использованием технологий цифрового телевидения. Сеть связи в первую очередь характеризуется ресурсами, которые она использует.

Два наиболее главных ресурса для сети связи цифрового телевидения — *частотный ресурс* и *территориальный ресурс*.

Частотный ресурс — это совокупность радиочастот, которые используются для передачи сигнала, *территориальный ресурс* — территория, на которой распространяется сигнал. Часто говорят, что сеть работает в соответствии с *частотно-территориальным планом* — документом, который описывает оба этих ресурса, т. е. содержит перечень частот данной сети и указанием территории, на которой возможно распространение сигнала с использованием этих частот (рис. 8.1). В России частотно-территориальный план включен в документ, который называется *разрешением на использование радиочастот*. Этот документ необходим для работы сети связи, которая использует радиочастотный спектр. Название этого документа говорит само за себя. Частотно-территориальный план, содержащийся в этом разрешении, включает не территорию, а разрешенную *эффективную излучаемую мощность передатчика*, *класс излучения*, *поляризацию* и географические координаты передатчика. Сама территория оказания услуги, к сожалению, явно не указывается, но ее

можно вычислить, зная мощность и координаты. *Класс излучения* — это шифр характеристик излучения, согласно Регламенту радиосвязи.

3. Частотно-территориальный план РЭС

Тип РЭС РЭС телевизионного вещания DVB-T

Наименование, географические координаты пункта установки передатчика	Номер ТВ канала/ SFN	Мощность передатчика, кВт (в полосе 8 МГц)	ЭИМ макс, дБВт	Обозначение излучения	Поляризация антенны	Высота подвеса передающей антенны над уровнем земли, м
Арти Свердловская область 56N2453 58E3107	40 Sverdl_nizhnie_sergi_40	0,1	31	8M00X7FWX	Г	96

↑ Название населенного пункта и координаты установки передатчика ↑ Передатчики, с которыми возможна работа в одночастотной сети ↑ Эффективная излучаемая мощность ↑ Класс излучения согласно Регламенту радиосвязи

Рис. 8.1. Частотно-территориальный план разрешения на использование радиочастот

Определим по данному частотно-территориальному плану максимальный разрешенный коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя. Изотропного, поскольку в частотно-территориальном плане на иллюстрации не делается никаких предположений о диаграмме направленности антенны.

Разрешенная мощность передатчика составляет 100 Вт, в децибелах относительно 1 Вт это будет 20 дБ. Максимально разрешенная ЭИМ относительно 1 Вт составляет 31 дБ. Таким образом, коэффициент усиления антенны будет составлять $31 - 20 = 11$ дБ относительно изотропного излучателя.

Форма представления частотно-территориального плана определяется законодательно и может быть изменена. Для уточнения принятой на текущий момент формы частотно-территориального плана необходимо использовать действующие нормативно-правовые акты в области связи.

8.2. Сравнение аналогового и цифрового приема

Относительно аналогового телевидения в прежние годы употреблялись понятия *зона уверенного приема* и *зона неуверенного приема*. Четкого определения

этих понятий нет. Под зоной уверенного приема, как правило, подразумевалась зона, где уровень электромагнитного поля телевизионного сигнала выше установленного ГОСТом.

ГОСТ 7845 устанавливает норматив на напряженность электромагнитного поля для DMB в 68 дБмкВ/м при приеме на наружную антенну с коэффициентом усиления 8 дБ относительно изотропного излучается, установленную на высоте 10 м над землей.

Соответственно, зона неуверенного приема — это территория, где уровень аналогового сигнала меньше. Такое разделение стало возможным потому, что качество аналогового телеприема ухудшается постепенно по мере удаления от телевизионной передающей антенны.

В цифровом телевидении такого постепенного ухудшения не будет. Возможность принимать сигнал цифрового телевидения будет прекращаться после падения напряженности поля до некоторой величины, т. е. граница зоны приема будет достаточно резкой. Поэтому зоны неуверенного приема в цифровом телевидении не будет совсем: прием либо есть, либо его нет.

Проиллюстрируем сказанное следующим примером: предположим, есть башня, на которой установлены на одной высоте два передатчика средней мощностью 100 Вт — один аналоговый, а другой цифровой. От башни по прямой идет дорога.

Мы едем по этой дороге, имея в автомобиле два приемника — DVB и аналоговый приемник системы SECAM, подключенные к одной и той же антенне, установленной на мачте 10 м на крыше автомобиля. Будем останавливаться через каждый километр пути, делать измерения и субъективно оценивать качество изображения. Чтобы корректно сравнивать возможности, предоставляемые обеими технологиями, будем рассматривать для DVB модуляцию QPSK с FEC = 1/2, которая позволяет передавать одну телевизионную программу (потому что одну позволяет передавать аналоговый передатчик).

В течение первых нескольких километров качество аналогового телевидения и цифрового телевидения DVB будет примерно одинаковым, за исключением того, что на аналоговом сигнале время от времени будут появляться узкие горизонтальные полосы из-за кратковременных помех, а также периодически изображение на экране будет раздваиваться и становиться мутным из-за отраженных и рассеянных сигналов. Все это время "картинка" DVB будет чистой, поскольку отраженные сигналы и помехи будут исправляться благодаря канальному кодированию и модуляции COFDM.

Через 7—10 км на аналоговой "картинке" вдобавок к уже описанным помехам начнут появляться короткие горизонтальные искорки светлого цвета — так называемый "снег". Появление "снега" говорит о том, что мы постепенно покидаем зону уверенного приема. Чем дальше мы будем двигаться, тем

больше будет "снега" на экране, потом постепенно начнет пропадать цвет. Все это время "картинка" DVB будет оставаться качественной.

На расстоянии около 10 км от передатчика изображение аналогового телевизора станет уже достаточно плохим: из-за "снега" будут плохо видны контуры, вертикальные линии будут искажаться. Все это время цифровая "картинка" будет все такой же качественной, как и прежде, но время от времени вы будете замечать появление на экране "квадратиков" — это означает, что система защиты от помех стала хуже справляться со своей задачей.

Если мы будем продолжать двигаться вперед, то обнаружим, что аналоговый сигнал практически совсем пропадет и экран будет заполнен шумом. На расстоянии около 20 км, цифровой сигнал вдруг начнет сильно рассыпаться на "квадратики" и его невозможно будет смотреть. Это означает, что мы достигли границы зоны приема цифрового телевидения.

Эта картина будет справедливой только для модуляции QPSK с FEC = 1/2. При использовании других режимов модуляции, зона приема цифрового телевидения может быть и меньше, чем зона приема аналогового сигнала. Общее правило здесь следующее: чем больше телевизионных или радиоканалов мы передаем, тем меньше зона приема (см. разд. 8.9).

8.3. Рассуждения о надежности приема

Радиосигнал претерпевает значительные изменения не только в пространстве, но и во времени. Поэтому на вопрос, какова площадь территории надежного приема цифрового передатчика, уместно спросить: "А в какое время дня, сезона, года?", т. е. когда? Кроме того, внутри помещений и даже снаружи зданий из-за интерференции, отражения, дифракции, рассеяния электромагнитное поле будет слишком сложным. Условия распространения будут меняться при смещении на расстояния порядка половины длины волны. Поэтому на вопрос, принимается ли в данном квартале телевизионный сигнал, нужно задать большое количество уточняющих вопросов: а в каком доме, в какой квартире, в какой комнате и т. п.

Очевидно, что нет возможности рассчитать уровень электромагнитного поля вообще в каждой точке пространства. Гораздо удобнее рассматривать радиоприем как явление статистическое на некоторой территории и на некотором промежутке времени. Иными словами, уровень электромагнитного поля можно представить как некоторую псевдослучайную величину на данной территории.

В 40—50 годы XX века проводилось большое количество исследований, призванных вывести статистические зависимости для расчета зон распространения радиосигналов (см. разд. 7.13).

Какие параметры закладывались исследователями при выводе этих зависимостей? В каких местах и в течение какого времени возможен прием на данной территории для того, чтобы эта территория считалась зоной надежного приема радиосигнала? Это уже вопрос не математики или физики, а вопрос приемлемого качества, т. е. ответ на этот вопрос: "так, как вас (т. е. нас) устраивает".

Договорились территориями уверенного (т. е. надежного) телевизионного приема считать территории, на которых телевизионный сигнал может быть принят качественно в 50% мест и 50% времени.

Ранее мы неоднократно говорили о том, что по ГОСТ 7845 для качественного аналогового приема в DMB-диапазоне (на антенну на высоте 10 м над землей с усилением 8 дБ) напряженность электромагнитного поля должна быть 68 дБмкВ/м. Это значение соответствует надежному приему в 50% мест и 50% времени.

Теперь рассмотрим прием в движении. Понятие мобильного телевизионного приема подразумевает, что прием должен осуществляться в любом месте и в любое время. Таким образом, условие 50% мест и 50% времени является не-приемлемым.

Если при условии 50% мест и 50% времени вы можете провести какое-то время за настройкой вашей приемной антенны на хорошее качество сигнала (например, в квартире на комнатную антенну), то при движении вы должны постоянно видеть сигнал телепередачи, у вас нет времени на настройку. Таким образом, условие обеспечения мобильного приема — это 100% мест и 100% времени.

В реальности 100% мест и 100% времени является практически невыполнимым условием, требующим очень высоких уровней сигналов. Для практических нужд обычно используют величины 95% мест и 95% времени для мобильного приема.

Поскольку цифровое телевидение должно обеспечивать преимущество перед устаревшим аналоговым, то в требуемые уровни сигналов для стационарного телевизионного цифрового телевидения закладывается возможность приема также в 95% мест. Таким образом, при приеме цифрового сигнала DVB на комнатную антенну вероятность найти место, где сигнал будет приниматься, будет на 45% выше, чем в случае аналогового сигнала SECAM.

8.4. Виды абонентского приема (обзор)

Основными видами приема являются:

- фиксированный (fixed);
- портативный (portable);
- подвижный (mobile).

Фиксированный прием — это прием на наружную стационарную антенну большого размера, *портативный прием* — это прием на небольшую антенну, которая может располагаться внутри и снаружи помещения и не крепится стационарно (комнатная антенна). *Мобильный прием* — это прием на малогабаритное переносное устройство.

Три типа каналов (Гаусса, Райса и Рэлея) соответствуют разным типам приема и различным требуемым отношениям сигнал/шум для канала связи DVB, которые приведены в разд. 7.22.

Прием в помещениях от приема вне помещений отличается ослаблением проникновения. При производстве расчетов зон приема внутри помещений необходимо вводить поправки на ослабление проникновения (см. разд. 7.15).

Для каждого вида приема технический рапорт ETSI TR 101190 устанавливает рекомендуемые уровни напряженности электромагнитного поля, которые можно использовать для расчетов зоны приема.

8.5. Фиксированный прием

Фиксированный (fixed) прием — это прием на неподвижную, стационарную антенну, установленную на уровне крыши частного дома (высота от земли примерно 10 м). Во времена использования аналогового телевидения только фиксированный прием на наружную антенну мог обеспечить достаточное качество приема.

В городах фиксированный прием используется нечасто, в основном это прием на коллективную антенну. В сельской же местности наоборот — наиболее распространен именно фиксированный прием.

Норматив качества для фиксированного приема приводится в ГОСТ 7845. Требование ГОСТ 7845 размещать антенну для измерений на высоте 10 м говорит о том, что ГОСТ 7845 нормирует величину сигнала для фиксированного приема аналогового телевидения. ГОСТ 7845 не содержит никаких нормативов для остальных видов приема.

Канал распространения в случае фиксированного приема — это канал либо Гаусса (при благоприятных условиях) или Райса.

В соответствии с техническим паспортом ETSI TR 101190 хорошим условиям приема соответствует ситуация, когда прием обеспечен в 95% мест и 95% времени.

8.6. Портативный прием

Портативный (portable) прием — это прием на стационарно установленную малогабаритную антенну: комнатную или наружную. В зависимости от этого портативный прием делится на два класса: А и В.

Класс A — это прием на антенну внутри помещения (*indoor*), *класс B* — вне помещения (*outdoor*). Основное преимущество DVB перед аналоговым телевидением — это возможность портативного приема, что позволяет избежать затрат на размещение громоздкой наружной антенны. Портативный прием может обеспечиваться методами создания одночастотной сети с использованием заполнителей (*gap-filler*), о чём мы будем говорить в разд. 8.15. В аналоговом телевидении портативный прием был возможен только при определенном стечении обстоятельств — в зоне прямой видимости на передающую антенну, отсутствия вблизи антенны движущихся людей и т. п. Еще один всем знакомый пример портативного приема — прием FM-радиостанций на встроенную антенну музыкального центра.

Канал распространения в случае портативного приема — это каналы Райса или Рэлея. Прием в движении (мобильный прием) также относится к портативному приему. В случае мобильного приема канал распространения — канал Рэлея.

В соответствии с техническим паспортом ETSI TR 101190 хорошим условиям приема отвечает ситуация, когда прием обеспечен в 70% мест и 95% времени для внутреннего приема и 95% мест, 95% времени для наружного.

8.7. Мобильный прием

Как следует из названия, мобильный прием — это прием в движении. Мобильный прием осуществляется на малогабаритные устройства, имеющие антенну с малым коэффициентом усиления. Канал распространения в случае мобильного приема это всегда канал Рэлея.

В соответствии с техническим паспортом ETSI TR 101190 хорошим условиям приема отвечает ситуация, когда прием обеспечен в 95% мест и 95% времени.

8.8. Параметры сигнала для разных видов приема

Требования для радиоприемных устройств, а также уровней сигналов, которые обеспечивают необходимое качество (т. е. соответствующее значение BER), будут разными для разных видов приема. Рекомендуемые значения уровней получены на основании многочисленных исследований и приведены в ETSI TR 101190.

Эти уровни применимы при перечисленных ниже условиях (подробнее см. в ETSI TR 101190 разд. 9.2.2 "Signals levels for planning"). Эти условия

уже учтены при определении рекомендуемых уровней, т. е. никакой дополнительной коррекции приведенных в ETSI TR 101190 не требуется.

Коррекция потребуется, только если в каком-либо конкретном случае выяснится, что реальные условия другие. Коррекцию выполнить несложно, вычитая или прибавляя к рекомендуемому уровню соответствующее количество децибел. Например, если выясняется, что ослабление проникновения составляет 20 дБ, а не 8, как учитывалось в стандарте, то все рекомендуемые уровни должны быть увеличены на 12 дБ.

При вычислении рекомендуемых уровней считалось, что:

- усиление приемной антенны для фиксированного приема в ДМВ-диапазоне: 12 дБ, в МВ — 8 дБ;
- усиление приемной антенны для портативного приема в ДМВ- и МВ-диапазоне: около 0 дБ;
- чувствительность абонентского приемника: около 10 мкВ;
- входное волновое сопротивление приемника: 75 ом;
- потери в фидере: 3 дБ;
- температура воздуха: 18 °С (градусов Цельсия);
- ослабление проникновения при портативном приеме: 8 дБ. Как мы видели ранее, это величина очень оптимистичная. В реальности ослабление может быть значительно больше (до 20—30 дБ для первых этажей зданий);
- ослабление при уменьшении высоты: при портативном приеме используется высота 1,5 м над землей, вместо обычных 10 м. Поправка за такое изменение высоты составляет в соответствии с проведенными исследованиями около 12 дБ;
- коэффициент шума приемника (noise figure): 7 дБ. Данный коэффициент показывает, сколько приемник привносит собственных шумов и равен разности отношений сигнал/шум на входе и на выходе приемника.

Прием возможен в 95% мест и 100% времени, но в табл. 8.1 приведены цифры напряженности для расчета 50% мест и 50% времени, т. е. расчет можно проводить по формулам для 50% мест и 50% времени для указанного уровня. Например, в таблице указано, что величина 53 дБмкВ/м для 50% мест и 50% времени соответствует 95% мест и 100% времени для приема цифрового телевидения. Это сделано для удобства, чтобы для оценок можно было использовать сделанные ранее расчеты или таблицы.

Для портативного приема внутри зданий приведены значения для первого этажа. Если необходимо получить значения для второго этажа, то приведенные значения надо уменьшить на 6 дБ, если для этажей выше второго, то на 12 дБ.

Таблица 8.1. Рекомендуемые расчетные уровни электромагнитного поля сигнала DVB для различных видов абонентского приема (из ETSI TR 101190) и некоторых режимов модуляции

Вид приема	Рекомендуемое значение напряженности электромагнитного поля для обеспечения надежного приема (дБмкВ/м) для некоторых режимов модуляции COFDM для DVB				
	QPSK FEC = 1/2	QPSK FEC = 5/6	16QAM FEC = 5/6	64QAM FEC = 2/3	64QAM FEC = 7/8
Фиксированный прием МВ	28	34	40	46	52
Фиксированный прием ДМВ с 21 по 41 каналы	34	40	46	50	53
Фиксированный прием ДМВ с 41 по 69 каналы	38	44	50	54	57
Портативный прием МВ вне зданий	43	48	54	58	61
Портативный прием ДМВ с 21 по 41 каналы вне зданий	55	60	66	69	73
Портативный прием ДМВ с 41 по 69 каналы вне зданий	59	64	70	73	77
Портативный прием МВ внутри зданий (первый этаж)	54	57	65	65	77
Портативный прием ДМВ с 21 по 41 каналы внутри зданий (первый этаж)	68	77	83	83	92
Портативный прием ДМВ с 41 по 69 каналы внутри зданий (первый этаж)	74	81	87	87	95

Пример расчета зоны фиксированного приема для сельской местности со сложным рельефом для 64QAM FEC = 7/8 приведен на рис. 8.2).

8.9. Сравнение размеров зон приема аналогового и цифрового телевидения

Зная границу зоны уверенного приема для аналогового телевидения по ГОСТ 7845 (68 дБмкВ/м), мы можем сравнить размеры зон приема аналогового и цифрового телевидения. Отыщем значение 68 дБмкВ в табл. 8.1 и посмотрим, каким режимам модуляции и видам абонентского приема это значение соответствует. Также найдем в табл. 7.7, какие скорости соответствуют этим режимам. Зная эти скорости, мы сможем корректно сравнить объем

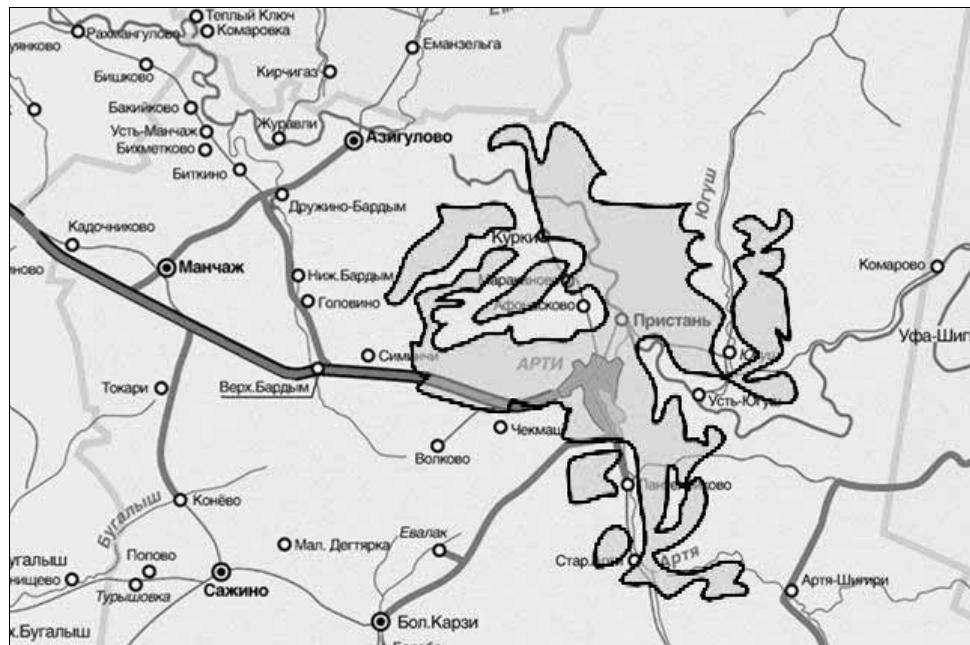


Рис. 8.2. Пример расчета зоны приема цифрового телевидения с учетом рельефа

услуг, предоставляемых аналоговым и цифровым телевидением при равенстве зон приема.

Обратим внимание, что ГОСТ 7845 нормирует только фиксированный прием для аналогового телевидения, поскольку это единственный вид приема, который возможен для аналогового телевидения. Соответственно с фиксированным приемом и будем проводить сравнение.

Мы получим следующие результаты (рис. 8.3).

- Для фиксированного приема цифровое телевидение DVB всегда превосходит аналоговое для всех режимов модуляции COFDM. Таким образом, для фиксированного приема цифровое телевидение всегда эффективнее аналогового и по количеству передаваемых каналов и по размеру зоны приема. При фиксированном приеме вполне возможно получать от 2 до 11 телевизионных каналов, т. е. при фиксированном приеме цифровое телевидение всегда эффективнее аналогового в 2—11 раз в зависимости от выбранного режима модуляции, который в свою очередь определяется оператором связи с учетом желаемой зоны приема.
- Для портативного приема для 21—41 каналов зона приема аналогового телевидения будет совпадать с зоной приема цифрового вне помещений

для модуляции 64QAM FEC = 2/3. Этот вид модуляции позволяет передавать цифровой поток со скоростью 19—24 Мбит/сек в зависимости от величины защитного интервала. Такая скорость потока соответствует 7—9 телевизионным каналам, компрессированным алгоритмом H.264. Таким образом, для данного вида приема на одной и той же площади приема цифровое телевидение позволяет передавать в 7—9 раз больше телевизионных каналов, чем аналоговое.

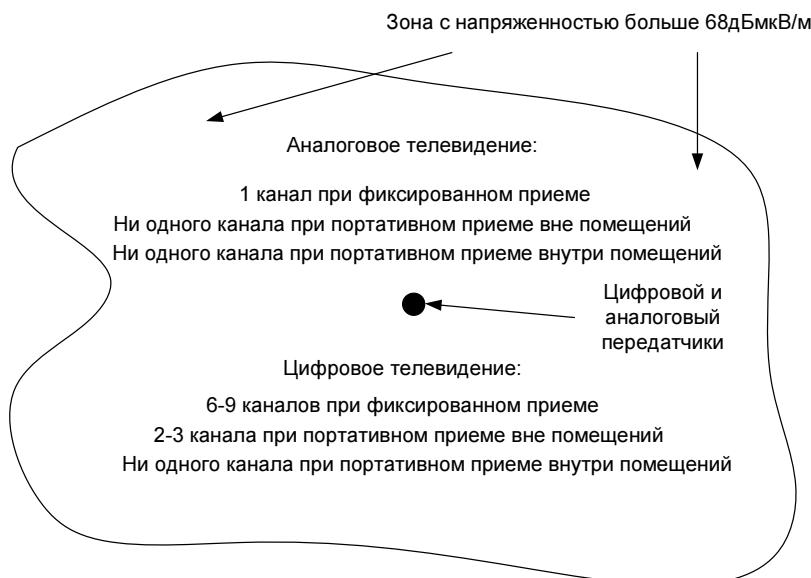


Рис. 8.3. Сравнение количества телепрограмм цифрового и аналогового телевидения (по ГОСТ 7845 без использования антенного усилителя)

- Для 41—69 каналов зона приема аналогового телевидения будет совпадать с зоной приема цифрового при портативном приеме вне помещений для модуляции 16QAM FEC = 5/6. Этот вид модуляции позволяет передавать цифровой поток со скоростью 16—20 Мбит/сек в зависимости от величины защитного интервала. Такая скорость потока соответствует 6—7 телевизионным каналам, компрессированным алгоритмом H.264. Таким образом, для данного вида приема на одной и той же площади приема цифровое телевидение позволяет передавать в 6—7 раз больше телевизионных каналов, чем аналоговое.
- Для 21—41 каналов зона приема аналогового телевидения при фиксированном приеме будет совпадать с зоной приема цифрового при портативном приеме на первых этажах зданий для модуляции QPSK FEC = 1/2. Этот вид модуляции позволяет передавать цифровой поток со скоростью

5—6 Мбит/сек в зависимости от величины защитного интервала. Такая скорость потока соответствует 2—3 телевизионным каналам, компрессированным алгоритмом H.264. Таким образом, для данного вида приема на одной и той же площади приема цифровое телевидение позволяет передавать в 2—3 раза больше телевизионных каналов, чем аналоговое.

- Для портативного приема внутри помещений 41—69 каналов на первом этаже, зона приема аналогового телевидения при фиксированном приеме будет всегда больше зоны приема цифрового телевидения. Таким образом, при данном виде приема, зона приема цифрового телевидения будет всегда меньше зоны приема аналогового.

Например, в Екатеринбурге, существующие аналоговые передатчики пиковой мощностью 1—5 кВт обеспечивают необходимый уровень сигнала для фиксированного приема на всей территории города. Но фиксированный прием в условиях города организовать не всегда легко: нужно быть подключенным к коллективной антенне на крыше здания. Поэтому часть потенциальных телезрителей лишена возможности принимать качественное телевидение — не у всех есть возможность использовать коллективный прием. Поэтому зачастую жители используют малогабаритные антенны в квартирах, принимая ими аналоговый сигнал с низким качеством. Выигрывают ли эти люди от появления цифрового телевидения? Безусловно, да.

Еще один вопрос больше не технического, а маркетингового плана. Если использование коллективной антенной является платным, смогут ли зрители, использующие фиксированный прием и оплачивающие коллективную антенну, отказаться от ее использования и принимать цифровое телевидение на комнатную антенну? Это позволило бы экономить деньги на оплату коллективной антенны. Да, смогут.

Отказ от фиксированного приема аналогового телевидения в пользу портативного приема цифрового в большинстве случаев будет эффективен при выборе параметров модуляции не выше, чем мы рассматривали. Таким образом, например, для замены фиксированного аналогового приема на портативный цифровой на 21—41 каналах внутри зданий (при условии сохранения той же самой территории приема) необходимо использовать модуляцию QPSK FEC = 1/2 и не выше.

Обратите еще раз внимание, как важен вопрос выбора параметров модуляции и, соответственно, количества транслируемых каналов, на размер зоны приема (рис. 8.4). Цифровое телевидение позволяет передавать больше телевизионных каналов, чем аналоговое, но площадь зоны приема не всегда может быть больше. Чем больше телевизионных каналов мы передаем при помощи цифрового телевидения, тем меньше зона их приема. Это легко понять из табл. 7.8 — чем больше каналов мы хотим передать, тем большее отношение сигнал/шум требуется.

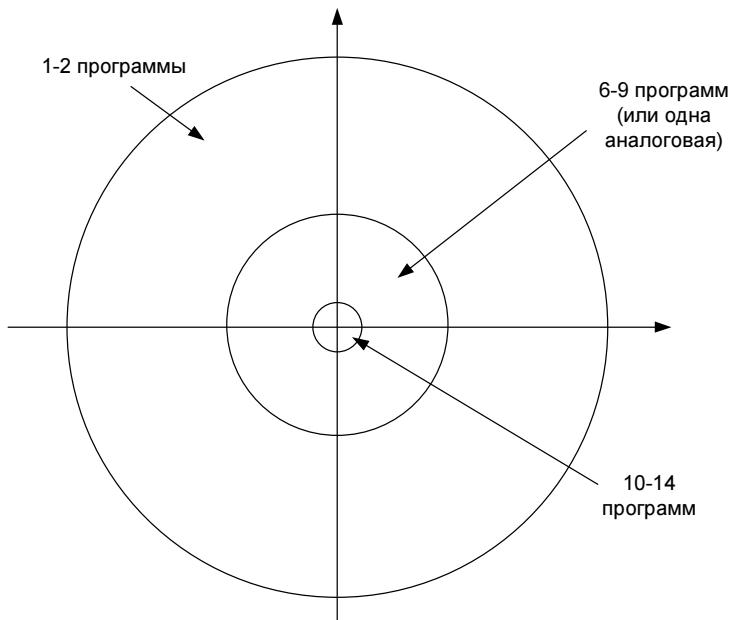


Рис. 8.4. Приблизительные отношения размеров зон приема в зависимости от количества программ в мультиплексе (средние мощности цифрового и аналогового передатчиков равны)

В случае если нужно передавать значительное количество каналов, уменьшения зоны по сравнению с аналоговым телевидением не избежать. Эта проблема решается установкой дополнительных передатчиков-повторителей, работающих синхронно с основным.

8.10. Измерение зоны приема цифрового телевидения

Измерение размеров зоны уверенного приема требуется для определения фактической территории оказания услуги цифрового телевидения. Частное лицо может выполнить подобные измерения для того, чтобы определить уровень сигнала, что поможет сориентироваться в приобретении оборудования (особенно передающей антенны). Кроме того, измерение размеров зоны приема необходимо для исследования совместимости различных сетей связи.

Измерения напряженности электромагнитного поля производятся при помощи анализатора спектра (spectrum analyzer), имеющего регулируемую полосу пропускания — т. е. диапазон (полосу) частот, в пределах которого произво-

дятся измерения. На рынке существует много подобного рода устройств различных компаний: Anritsu, Promax, Планар и др.

При измерениях уровня напряженности электромагнитного поля должна использоваться полоса частот 8 МГц и измерения должны проводиться усреднением за некоторый период времени. Период времени выбирается опытным путем. Как правило, минуты бывает достаточно.

Измеренный таким образом уровень в децибелах на микровольт на метр (дБмкВ/м) называется средним уровнем. Если пересчитать этот уровень в мощность в децибелах относительно одного милливатта (дБмВт) по следующей далее формуле, то мы получим среднюю мощность принятого сигнала в децибелах (дБ) относительно 1 мВт (для волнового сопротивления 50 Ом).

$$P(\text{дБмВт}) = E(\text{дБмкВ}) - 107 \text{ дБ},$$

где

- P — мощность относительно 1 мВт;
- E — напряженность электромагнитного поля относительно 1 мкВ.

Как правило, приборы делают такой пересчет автоматически, если это требуется.

При проведении измерений необходим учет антенного фактора. Сведения об антенном факторе могут быть получены из документации на используемую антенну. Антенный фактор зависит от частоты, на которой проводятся измерения, и может составлять несколько десятков децибел. Поэтому его учет совершенно необходим. Об антенном факторе см. разд. 7.12.

Измерения зоны необходимо начать с планирования, которое проводится по результатам расчетов. Здесь большое значение имеет, качество какого именно вида приема мы оцениваем: фиксированного, портативного внутри помещений и т. п.

Необходимо оценить, на какой территории проводить измерения. Например, нет смысла выполнять измерения зоны фиксированного приема за пределами населенных пунктов, если не ставится задача проведения технических исследований. Зачем осуществлять измерения там, где не будет абонентов?

Для планирования используются любые подходящие картографические материалы. Если нет каких-то специальных статистических требований, то достаточно проведение 1—3 измерений на 1 км² площади. Всегда необходимо принимать во внимание рельеф: на склонах гор и холмов, обращенных к телевизионной антенне, можно проводить меньше измерений, а в зоне радиотенниза холмами — больше.

На каждой из намеченных точек измерения выполняются следующим образом. Поскольку даже на небольшой площади вариации напряженности могут

достигать нескольких децибел, то необходимо в каждом пункте измерений провести не одно измерение, а несколько. Количество таких измерений должно зависеть от характера местности. Если местность открытая, то достаточно 1—3 измерений, если же вы находитесь в городской застройке, то необходимо выполнить не менее 10 измерений на площадке 100×100 м и использовать среднее из полученных значений с указанием значения разброса результатов (т. е. дисперсии).

Измерения, проведенные на высоте человеческого роста, имеют смысл только для измерения зоны портативного приема. Если же проводятся измерения зоны фиксированного приема, то необходимо увеличить измеренную величину на 12 дБ. В любом случае, это измерение будет недостаточно точным, поскольку при изменении высоты уровень может меняться в значительных пределах (5—15 дБ).

После того как измерения выполнены, они наносятся на карту, из анализа которой и можно судить о зоне приема.

В случае если необходимо как можно точнее определить границы зоны приема, точки (места), где проводятся измерения, лучше располагать на концентрических кругах, центром которых является передающая антенна. Разности радиусов кругов — 1—2 км. По результатам измерений интерполяцией ищем границы зоны по рекомендуемым уровням, см. разд. 8.8.

Следует помнить, что в течение года, при колебаниях температуры и т. п. границы зоны будут меняться, поскольку уровень сигнала будет меняться — поэтому, по большому счету, точное определение границ зоны приема невозможно. Давайте попытаемся оценить, а насколько вообще точны измерения напряженности электромагнитного поля и как точность этих измерений влияет на точность определения границ зоны приема.

Точность приборов составляет ± 2 дБ, столько же — точность калибровки измерительной антенны. Таким образом, получаем, что невозможно сделать измерения точнее, чем ± 4 дБ. В действительности, ситуация обстоит гораздо хуже, поскольку во времени уровень сигнала меняется и для определения максимально точного значения нам придется провести измерения при всех возможных погодных условиях во всех точках на площадке, где выполняются измерения. Практически осуществить это невозможно. Тем не менее, исследования этих вариаций проводились, и была получена величина таких вариаций ± 4 —6 дБ для измерений зоны портативного приема. Иными словами, если вы измеряете в городе, то на площадке 100×100 м вы можете обнаружить изменения уровня на ± 4 —6 дБ.

Будем считать, что наши измерения не подвержены вариациям. Таким образом, получим самую оптимистическую оценку точности измерений. Предпо-

ложим, мы получили измерение 53 дБмкВ/м, т. е. мы находимся прямо на границе зоны приема для цифрового телевидения с параметрами 64QAM FEC = 7/8 для фиксированного приема, т. е. с учетом точности измерений, реальное значение напряженности находится где-то в пределах 49—57 дБмкВ/м. Воспользуемся моделью распространения радиоволн Хаты-Окумуры (см. разд. 7.13).

Нам необходимо определить разность расстояний d_1 и d_2 для уровней 49 и 57 дБмкВ/м. Эта разность и даст нам представление о точности проводимых измерений. Вычтем выражение для d_2 из выражения для d_1 и избавимся от логарифма. Будем считать высоту приемной антенны равной 10 м. Получим следующее выражение:

$$\frac{d_2}{d_1} = 10^{\frac{57-49}{44,9-6,55\log(h_r)}} \approx 10^{0,2} \approx 1,6.$$

Где-то в этих пределах
располагается граница
зоны приема

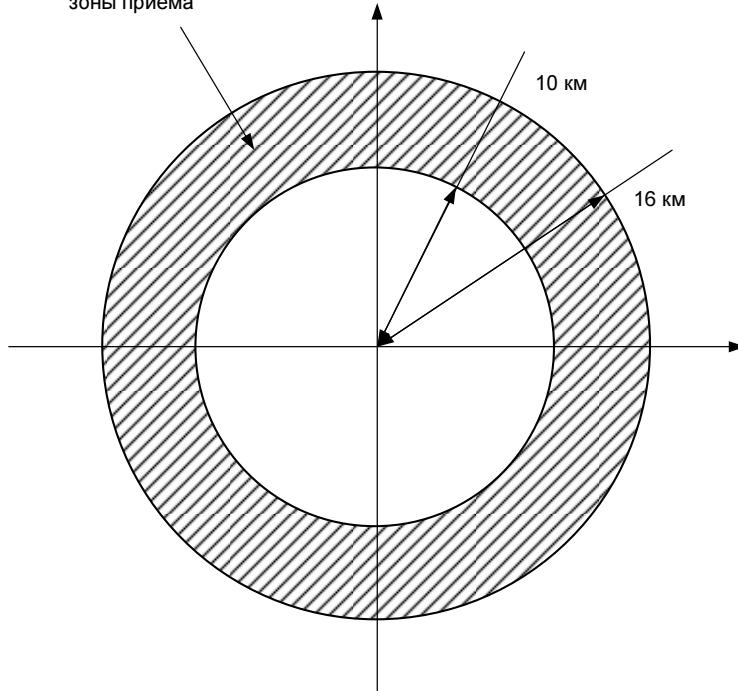


Рис. 8.5. Точность измерений зоны приема цифрового и аналогового телевидения (расстояния показаны для примера)

Таким образом, отношение расстояний для этих двух величин составляет около 1,6. То есть если $d_1 = 10$ км, то $d_2 = 16$ км (эти цифры являются реальными для мощности передатчика 100 Вт и высоты передающей антенны около 50 м). Мы видим, таким образом, что точность наших измерительных приборов ± 4 дБ приводит к очень низкой точности определения границ зон приема. На практике, невозможно определить границу этой зоны с точностью, лучше нескольких километров в радиальном направлении (т. е. по линии приемник-передатчик) (рис. 8.5).

Также для примера покажем расчетную карту зоны фиксированного приема, приведенную в разд. 8.9 для поселка Арти Свердловской области с нанесенными на нее результатами полевых измерений (рис. 8.6).

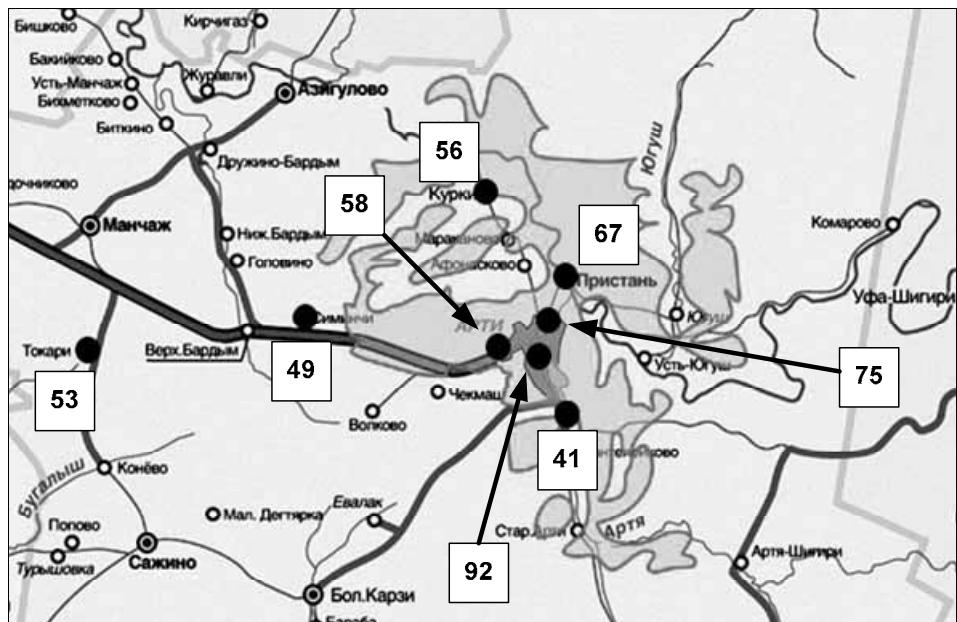


Рис. 8.6. Расчетная зона приема цифрового телевидения
и результаты измерений

Обратите внимание на некоторые несоответствия измеренных величин расчетными. В частности в населенных пунктах Токари и Симинчи сигнала не должно быть совсем — тем не менее, там прием возможен. А вот на южной окраине поселка Арти наоборот — должна быть зона приема, но измерения там показали только 41 дБмкВ/м, т. е. необходимо использовать антенну с усилителем не менее 53 — 41 = 12 дБ.

8.11. Защитные отношения

Любой приемник, в том числе и приемник цифрового телевидения, принимает сигнал не только из той полосы частот, на которую он настроен, но также из диапазона, который находится по частоте рядом с этой полосой, т. е. если приемник настроен на частоту 22ТВК, то он будет также принимать сигналы 21ТВК и 23ТВК. Правда, при этом сигналы 21ТВК и 23ТВК будут значительно (на несколько десятков децибел) ослаблены. Такая ситуация диктуется законами физики. Величина, на которую будет ослаблен сигнал 21ТВК и 23ТВК, называют *избирательностью приемника по соседнему каналу*.

Допустим, в некотором городе существуют две телекоммуникационные башни. На одной из них размещен передатчик 22ТВК, а на другой передатчик 23ТВК (рис. 8.7).

Допустим, приемник обладает избирательностью по соседнему каналу в 40 дБ. Это означает, что если приемник принимает сигнал 22 канала, то он также принимает и сигнал с 23 канала с ослаблением в 40 дБ. При этом сигналы смешиваются в приемнике, и сигнал 23 канала оказывается помехой сигналу 22 канала.

Пусть некий зритель живет возле башни 23ТВК. Этот зритель хочет посмотреть 22 канал. В этой ситуации, даже с учетом избирательности телевизионного приемника, сигнал 23 канала может оказаться настолько сильным, что прием 22-го канала окажется невозможным и зритель ничего не увидит.

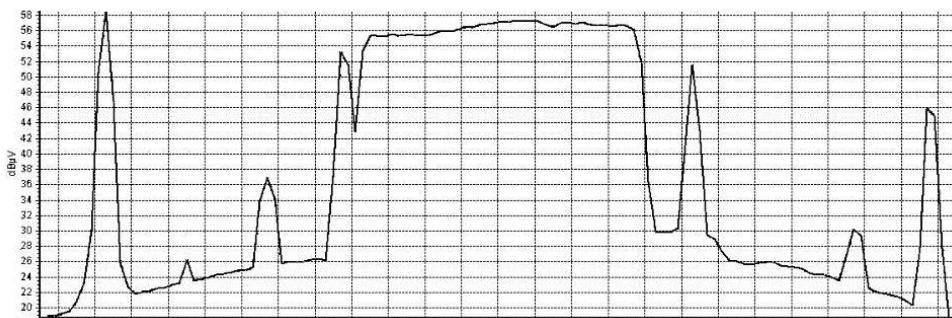


Рис. 8.7. Пример размещения сигнала DVB-T между двумя сигналами аналогового телевидения (получено при помощи прибора DTU-235 компании Dektec)

Данная проблема является одной из самых важных при обеспечении совместимости сетей аналогового и цифрового телевидения. Если аналоговые и цифровые станции располагаются на соседних каналах, то необходимо при-

нимать меры для того, чтобы они не мешали друг другу. Одна из этих мер — использование фильтра для критического случая, о чём мы говорили в разд. 7.7.

Если вы посмотрите частотный план телевизионных каналов, то увидите, что телеканалы расположены не в соседних частотных каналах, а через один или через несколько. Это сделано в том числе и для того, чтобы преодолеть влияние одного канала на другой.

Защитным отношением (protection ratio) называется минимально допустимая разница напряженностей электромагнитных полей двух мешающих друг другу телевизионных каналов. Мешать могут как каналы, работающие на смежных частотах (как в приведенном ранее примере), так и на одной частоте, но находящиеся в разных населенных пунктах.

Если мешающие друг другу телевизионные каналы работают на соседних частотах (рис. 8.8), то защитные отношения для них называются *защитными отношениями для смежных (adjacent) каналов*. Если мешающие каналы работают на одной частоте (рис. 8.9), но находятся в разных населенных пунктах, то эти защитные отношения называются *защитными отношениями для перекрывающихся (overlapping) каналов*.

Если защитные отношения соблюдаются в некоторой точке А, то считается, что в этой точке передатчики не мешают друг другу.

При этом защитные отношения рассматриваются не для всех точек вокруг передатчиков, а только для тех, где уровень сигнала, которому мешают, пре-

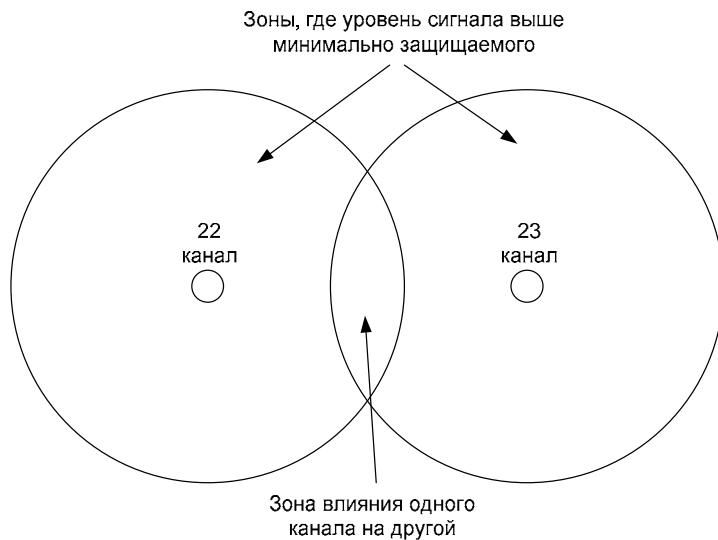


Рис. 8.8. Смежные каналы

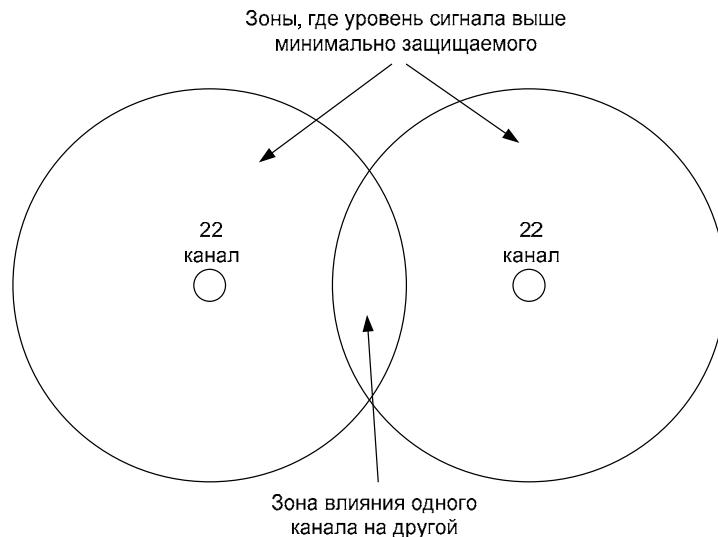


Рис. 8.9. Перекрывающиеся каналы

вышает *минимальный защищаемый уровень*, т. е. если величина напряженности электромагнитного поля канала в точке А меньше минимально защищаемого уровня, то, что называется, "претензии по помехам не принимаются".

Минимальный защищаемый уровень определяется государственными стандартами в области связи. Для аналогового телевидения в DMB-диапазоне этот уровень, как указывалось ранее, составляет 68 дБмкВ/м при приеме на антенну с коэффициентом усиления 8 дБ, установленную на высоте 10 м над поверхностью земли. Таким образом, если уровень ниже, то стандарт считает, что качественного прома нет, услуга связи не оказывается, следовательно, защитные отношения не применимы.

Для целей проверки совместимости сетей аналогового телевидения с сетями цифрового телевидения используются защитные отношения, приведенные в разд. 9.3 технического паспорта ETSI TR 101190, которые в свою очередь взяты из документа CEPT Chester 97: "The Chester 1997 Multilateral Coordination Agreement relating to Technical Criteria, Coordination Principles and Procedures for the introduction of Terrestrial Digital Video Broadcasting (DVB-T)".

Для сравнения измеряется мощность принимаемого сигнала передатчиков основного и "мешающего". Для цифрового передатчика проводится измерение средней мощности в полосе частот 8 МГц. Для аналогового передатчика выполняется измерение пиковой мощности несущей изображения в полосе 120 кГц (значение 120 кГц взято из инструкции по измерению зон радиопо-

крытия Государственной инспекции электросвязи, 1997). Далее под словом "сигнал" подразумевается мощность в указанном в предыдущем абзаце смысле. Напомним, что мощность и напряженность электромагнитного поля можно пересчитать одно в другое с использованием формулы, приведенной в разд. 7.4.

Итак, требования по совместимости следующие.

- Сигнал цифрового телевидения должен быть ниже по амплитуде сигнала аналогового телевидения, работающего в соседнем смежном канале ниже по частоте на 1 дБ.
- Сигнал цифрового телевидения должен быть ниже по амплитуде сигнала аналогового телевидения, работающего в соседнем смежном канале выше по частоте на -5 дБ.
- Сигнал цифрового телевидения, работающего в сопряженном канале, должен быть ниже по амплитуде сигнала аналогового телевидения, работающего в этом же канале на 41 дБ.

Отдельно следует рассмотреть влияние поляризации сигнала на совместимость сетей. Если одна сеть работает с вертикальной поляризацией, а вторая — с горизонтальной, то сети меньше влияют друг на друга. Уменьшение этого влияния определяется кросс-поляризационной развязкой приемной и передающей антенн. Никакая реальная антенна не может излучать стопроцентно поляризованный сигнал. *Кросс-поляризационная развязка* показывает, насколько ослаблен сигнал противоположной поляризации по отношению к основному. Обычно эта величина составляет десятки децибел.

Однако есть эффект, который работает в обратную сторону — ухудшая совместимость сетей, работающих в разных поляризациях. Этот эффект называется *деполяризация*, т. е. изменение поляризации излучения при рассеянии и отражении в городских условиях.

В некоторых случаях деполяризация может привести к значительному изменению поляризации и ухудшению отношения между сигналами разных поляризаций на 20—40 дБ, т. е. практически сводя на нет преимущества, даваемые поляризованной антенной (подробнее см. ETSI TR 101190 разд. 9.2.2.3.2 "Criteria for portable reception of digital TV").

Допустим для примера, что при отсутствии деполяризации сигнал вертикальной поляризации, принятый на антенну с горизонтальной поляризацией (или наоборот), равен 30 дБ, т. е. кросс-поляризационная развязка составит 30 дБ. Ясно, что эффект деполяризации может свести эту развязку к нулю и совместимость сетей будет плохой, несмотря на то, что сети работают с разными поляризациями. Поэтому влияние деполяризации на совместимость сетей необходимо исследовать отдельно в каждом конкретном случае.

8.12. Испытания совместимости сетей

Основная цель проведения испытаний совместимости сетей телевидения — определить, не составляет ли одна сеть помеху для другой. Возможна ли такая помеха, определяется при помощи измерения защитных отношений.

Если сеть спроектирована правильно, то защитные отношения должны соблюдаться на всей территории, где уровень напряженности поля сети, на которую предполагается помеха, составляет величину большую, чем минимально защищаемая.

При проектировании и испытаниях, "вредное" влияние сети №1 на сеть №2 должно соблюдаться не везде, а только там, где напряженность электромагнитного поля сети №2 больше или равна минимально защищаемой.

Сеть, на которую предполагается вредное влияние другой сети, называется *защищаемой*.

Испытания на совместимость сетей проводятся в два этапа: первый этап включает определение зоны приема защищаемой сети. Второй этап — собственно измерения защитных отношений.

Вопрос определения зоны приема мы уже рассмотрели в предыдущем разделе. Давайте более подробно рассмотрим вопрос измерения защитных отношений. Для этого нужно ответить на два главных вопроса: где измерять и сколько измерений необходимо.

Оценим количество точек измерения. Очевидно, что измерять нужно в той зоне, где уровень сети №1 выше минимально защищаемого, а сети №2 отличается от минимально защищаемого на величину защитного отношения.

Если передатчики обеих сетей располагаются на одной и той же башне или мачте, то задача определения зон, где необходимо измерять, сводится просто к вычислению отношения мощностей этих передатчиков с учетом диаграмм направленности антенн. Пусть имеются антенны со следующими диаграммами направленности (слева — "мешающая сеть", справа — защищаемая) (рис. 8.10).

Пусть также мощность защищаемого передатчика равна 1 кВт, а мощность мешающего — 100 ватт средней мощности. Изобразим обе диаграммы на одной с учетом разницы в мощностях передатчиков. На этой диаграмме (рис. 8.11) заштрихована область пересечения диаграмм направленности. Такова же будет и форма местности, на которой будет присутствовать сигнал обеих станций. Осталось только определиться с масштабом. Здесь нам поможет формула Хаты-Окумуры. Радиус зоны фиксированного приема для мощности 100 Вт (частоту примем равной 500 МГц, высоту приема — 10 м) составит около 4 км. Таким образом, мы определили не только геометрию, но и

размеры зоны, в пределах которой необходимо провести измерения на совместимость сетей.

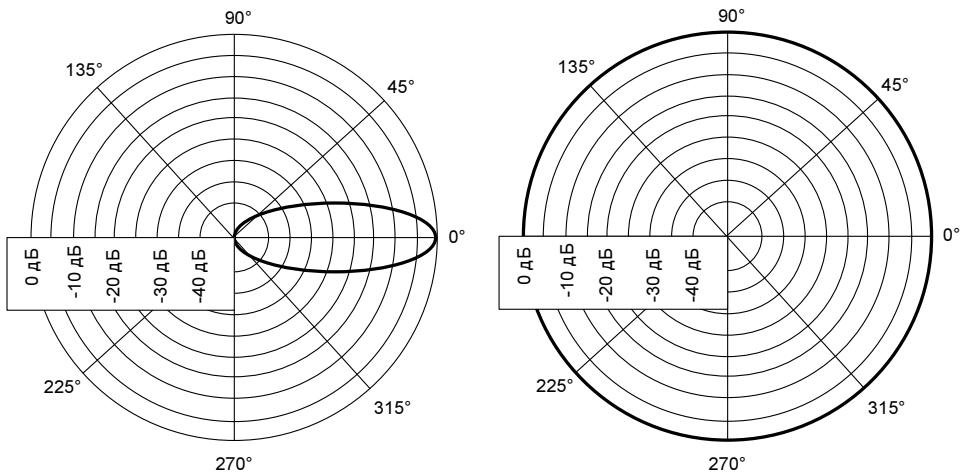


Рис. 8.10. Пример диаграмм направленности мешающих передатчиков

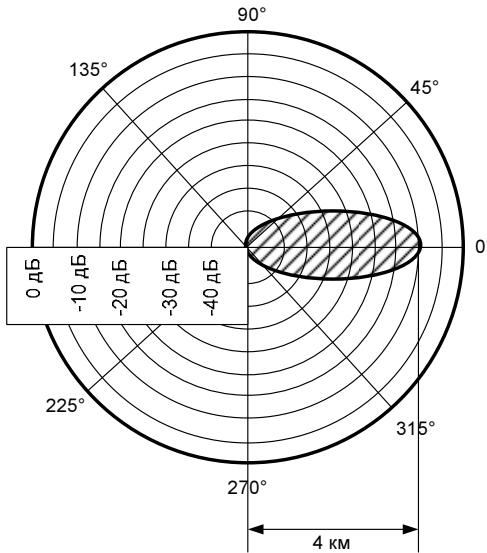


Рис. 8.11. Совмещение диаграмм мешающих передатчиков

Случай, когда антенны защищаемой и "мешающей" сети находятся на разных башнях, чуть более сложен за счет учета диаграммы направленности приемной антенны. Дело в том, что в точке приема можно путем ориентации при-

емной антенны абонента усиливать или уменьшать принимаемый сигнал "мешающей сети".

Оставив обоснование в стороне (читатель сам легко сможет его сделать), приведем результаты анализа этой ситуации на следующем рисунке (рис. 8.12). Два передатчика одинаковой средней мощности расположены на расстоянии d и на одинаковой высоте. Тогда зона, в которой будут приниматься сигналы обоих передатчиков, без возможности компенсации ориентацией антennы (т. е. как ни ориентируй антенну — она всегда будет направлена на оба передатчика) будет выглядеть, как показано на рисунке.

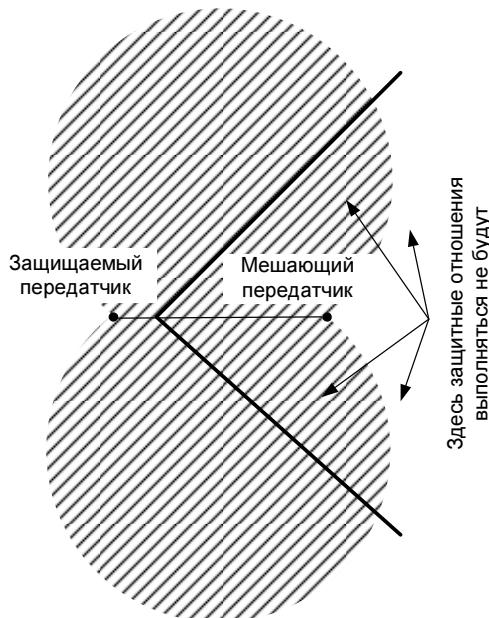


Рис. 8.12. Зоны взаимных помех двух передатчиков

Штриховкой показана область, где корректировка защитных отношений может быть сделана при помощи ориентировки антенны с полушириной диаграммы направленности 30° . За пределами заштрихованной области в диаграмму будут попадать обе передающие антенны. Жирным выделена линия, где отношение сигналов будет в точности равно защитному отношению (в данном примере: -5 дБ).

Давайте рассмотрим данную схему в приложении к реальным измерениям защитных отношений, произведенным в Екатеринбурге в 2007 году для оценки влияния сети DVB 40ТВК на сеть аналогового телевидения с передатчиком на 41ТВК (рис. 8.13).

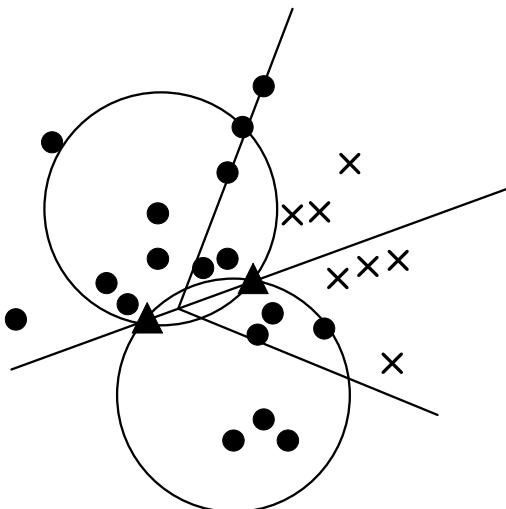


Рис. 8.13. Результаты измерений 40ТВК в Екатеринбурге

На этом рисунке треугольниками обозначены передатчики (справа — цифровой, слева — аналоговый). Расстояние между передатчиками составляет около 7 км. Кружками отмечены пункты, в которых измерения показали, что защитные отношения соблюдаются, крестиками, где не соблюдаются. Видно, что точки, где защитные отношения не соблюдаются, целиком находятся в области, где корректировка при помощи ориентации антенны невозможна. В данном случае, исправить ситуацию удалось, изменив диаграмму направленности антенны цифрового передатчика (исключив сектор в направлении "крестиков").

На участках местности, где предполагается наиболее худшая совместимость сетей в соответствии с описанными ранее случаями, необходимо выбирать большее количество точек измерения. После того как точки измерений намечены, дальнейшие измерения производятся подобно измерению зоны приема.

8.13. Одночастотные (SFN) и многочастотные (MFN) сети цифрового телевидения

Одночастотные сети (*Single Frequency Network — SFN*) — это сети из передатчиков, которые работают на одной частоте и синхронизированно передают один и тот же мультиплекс (рис. 8.14). Одночастотные сети могут быть использованы для создания зоны приема, в которой надежность приема сигнала абонентами будет более-менее одинакова по всей площади зоны. Второе

применение одночастотных сетей — доставка сигнала в зоны, где прием ухудшен или невозможен, например, за естественными препятствиями — горами, большими зданиями и т. п.



Рис. 8.14. Пример одночастотной сети

Одночастотные сети могут быть использованы в том случае, если нет возможности покрыть большую территорию одним передатчиком, если эта территория имеет сложный рельеф — например, извилистое горное ущелье.

Помимо одночастотных сетей, можно использовать сеть передатчиков (рис. 8.15), работающих на разных частотах — *многочастотные сети* (*Multiple Frequencies Network* — MFN). Попадая из зоны приема одного передатчика в зону другого, приемник либо вручную, либо автоматически настраивается на частоту другого передатчика и продолжает прием.



Рис. 8.15. Пример многочастотной сети

Возможно также создание комбинированных многочастотно-одночастотных сетей (рис. 8.16), когда вокруг передатчиков с разными частотами создаются сети, работающие на одной частоте.

Конфигурация сети выбирается исходя из конкретной задачи и территории, на которой нужно обеспечить прием. При этом если многочастотная сеть особых вопросов не вызывает, то одночастотную или смешанную сеть построить не так просто вследствие требования синхронизации передатчиков, работающих в такой сети.

Существует несколько способов синхронизировать такие передатчики. Первый способ — в качестве передатчиков использовать *гэпфиллеры* (*gap-filters*), которые представляют собой ретрансляторы и служат для усиления и переизлучения принятого сигнала. Второй способ — использовать обычные DVB-передатчики, адаптированные к работе в одночастотной сети. Адаптация заключается в возможности использовать МИР (мегафрейм) для синхронизации работы в сети. Подробнее о МИР далее в разд. 8.16.

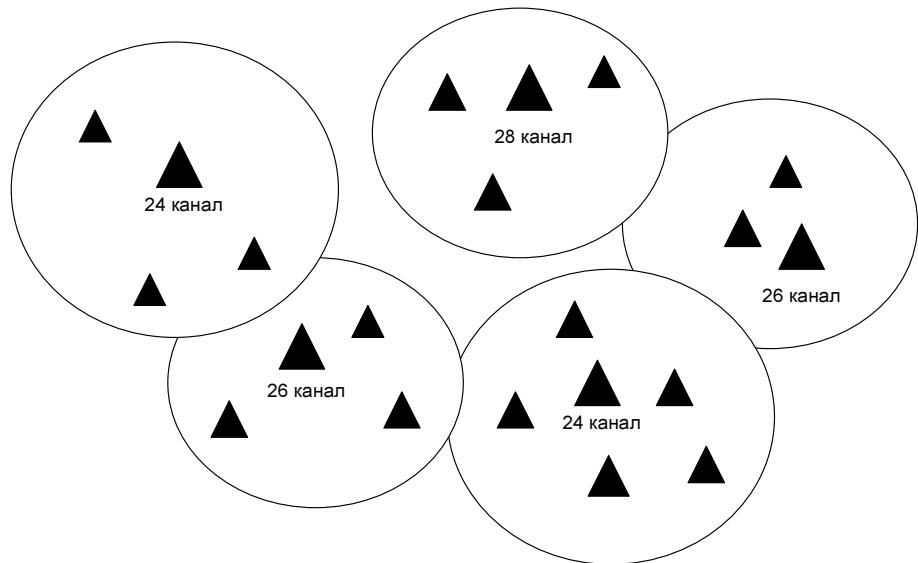


Рис. 8.16. Пример комбинированной одночастотно-многочастотной сети

COFDM-модуляция, использующаяся в DVB, предусматривает введение защитных интервалов для того, чтобы предотвращать влияние отраженных сигналов на излучаемый сигнал. При работе в одночастотной сети передатчики, работающие рядом, будут являться друг для друга как раз такой помехой. Поэтому существует ограничение на расстояние между передатчиками в зависимости от выбранного защитного интервала. Это расстояние равно скорости света в воздухе, умноженное на величину защитного интервала. Расчет расстояний для различных защитных интервалов можно найти в табл. 7.2.

При проектировании одночастотной сети очень большое значение имеет рельеф, поскольку он может порождать дополнительные отражения, которые будут создавать добавочные помехи, поэтому создание одночастотной сети требует расчетов зон приема с учетом рельефа местности.

Зачастую возникает ситуация, когда необходимо заполнить теневые зоны за крупными зданиями или восстановить качество сигнала в городских соору-

жениях — например, подземных переходах, крупных актовых залах, домах, находящихся в радиотени и т. п. Для выполнения таких задач не всегда возможно использовать одночастотную сеть, поскольку не удастся избежать мешающих отражений. В этом случае можно использовать *транспозеры* (*transposer*) — приемопередатчики с конвертацией принятого канала на другую частоту. Для организации работы транспозера в структуре сети выделяется субъячейка — см. следующий раздел.

Отдельные передатчики или группы передатчиков, работающие в сети, называют "ячейками" (cell). Номер ячейки передается посредством TPS (см. разд. 7.24). Использование ячеек особенно важно в случае, если сеть является многочастотной и используется для мобильного телевидения. В этом случае, при помощи дескрипторов транспортного потока на абонентское устройство можно передать информацию о частотах, используемых во всей сети.

8.14. Дескрипторы описания сети цифрового телевидения

В транспортном потоке MPEG TS используются специальные дескрипторы для описания сети цифрового телевидения. В общем случае, эти дескрипторы носят вспомогательный характер. Однако их использование является необходимым, например, в сетях мобильного телевидения. Подробную информацию о всех дескрипторах можно найти в стандарте ETSI EN 300 468 "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems".

Рассмотрим несколько наиболее важных дескрипторов, применяемых для описания технических характеристик сетей цифрового телевидения. Первый из них — *Terrestrial delivery system descriptor* (*Дескриптор наземной сети распространения*), использующийся в NIT (табл. 8.2).

**Таблица 8.2. Terrestrial delivery system descriptor
(Дескриптор наземной сети распространения)**

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x77
Длина дескриптора	Descriptor length	8	13 байт
Центральная частота	Centre frequency	32	Величина центральной частоты с шагом в 10 Гц. Минимальное значение 0x00000001 (10 Гц), максимальное значение 0xFFFFFFFF (42 949 672 950 Гц)
Полоса	Bandwidth	3	В России всегда равен 0, что соответствует 8 МГц

Таблица 8.2 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Приоритет	Priority	1	Приоритет равен 1, если данный поток является потоком высокого приоритета или иерархическая модуляция не используется, или же равен 0 в противном случае (см. раздел "Канальное кодирование и модуляция")
Индикатор таймслайсинга	Time slicing indicator	1	Индикатор равен 0, если хотя бы один элементарный поток использует таймслайсинг
Индикатор MPE-FEC	MPE-FEC-индикатор	1	Индикатор равен 0, если хотя бы один элементарный поток использует MPE-FEC
Зарезервировано	Reserved	2	—
Созвездие	Constellation	2	Поле имеет следующие значения: 00 — QPSK; 01 — 16QAM; 10 — 64QAM
Иерархическая модуляция	Hierarchy information	3	Поле имеет следующие значения: 000 — нет иерархической модуляции, используется обычный (native) интерликинг; 001 — $\alpha = 1$, используется обычный интерликинг; 010 — $\alpha = 2$, используется обычный интерликинг; 011 — $\alpha = 4$, используется обычный интерликинг; 100 — нет иерархической модуляции, используется углубленный (in-depth) интерликинг; 101 — $\alpha = 1$, используется углубленный интерликинг; 101 — $\alpha = 2$, используется углубленный интерликинг; 111 — $\alpha = 4$, используется углубленный интерликинг
FEC высокого приоритета	Code rate HP stream	3	Поле имеет следующие значения: 000, если FEC = 1/2; 001, если FEC = 2/3; 010, если FEC = 3/4; 011, если FEC = 5/6; 100, если FEC = 7/8

Таблица 8.2 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
FEC низкого приоритета	Code rate LP stream	3	См. предыдущее поле
Защитный интервал	Guard interval	2	Поле имеет следующие значения: 00, если GI = 1/32; 01, если GI = 1/16; 10, если GI = 1/8; 11, если GI = 1/4
Режим передачи	Transmission mode	2	Поле имеет следующие значения: 00, если передача ведется в режиме 2k; 01, если передача ведется в режиме 8k; 10, если передача ведется в режиме 4k
Флаг других частот	Other frequency flag	1	Поле равно 0, если для передачи данного транспортного потока не используется других частот (т. е. сеть одночастотная), и равно 1, если используется. Это поле играет важную роль в мобильном телевидении при переключении мобильного устройства со станции на станцию
Зарезервировано	Reserved	32	—

Следующий важный дескриптор — *Cell frequency link descriptor* (Дескриптор частот ячеек сети). Сведения о нем приведены в табл. 8.3. Он используется для передачи абонентскому устройству информации о частотах сети, что может сократить время настройки абонентского устройства в том случае, если этих частот несколько. Этот дескриптор также размещается в NIT.

Таблица 8.3. Дескриптор частот ячеек сети (*cell frequency link descriptor*)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x6D
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина дескриптора в байтах
Начало цикла по ячейкам (cells) сети			
Номер ячейки	Cell id	16	Уникальный номер ячейки (передатчика)

Таблица 8.3 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Частота	Frequency	32	Величина центральной частоты с шагом в 10 Гц. Минимальное значение 0x00000001 (10 Гц), максимальное значение 0xFFFFFFFF (42 949 672 950 Гц)
Начало цикла по субъячейкам (subcells)			
Расширение номера ячейки	Cell id extension	8	Номер субъячейки внутри текущей ячейки
Частота транспозера	Transposer frequency	32	Частота транспозера (transposer). Если в текущей ячейке выделяется субъячейка, то она имеет частоту, отличную от частоты ячейки, и, следовательно, используется транспозер. Не имеет смысла выделять субъячейки, работающие на той же частоте, что сама ячейка
Конец цикла по субъячейкам			
Конец цикла по ячейкам			

И последний из дескрипторов, употребляющихся в NIT для описания сетей, это *Дескриптор списка ячеек* (cell list descriptor). Он предназначен для передачи информации о местоположении ячеек сети и их зоне радиопокрытия (табл. 8.4).

Таблица 8.4. Дескриптор списка ячеек (cell list descriptor)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x6C
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина дескриптора в байтах
Начало цикла по ячейкам (cells) сети			
Номер ячейки	Cell id	16	Уникальный номер ячейки (передатчика)
Широта ячейки	Cell latitude	16	Широта угла (левого верхнего) сферического прямоугольника, который приблизительно описывает зону радиопокрытия данной ячейки. Значение выражено в единицах 1 ед. = 180/32768 (180° разделить на 2^{15}). Восточная долгота положительна
Долгота ячейки	Cell longitude	16	То же, что и широта ячейки, только долгота. Выражается в единицах 1 ед. = 90/32768

Таблица 8.4 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание	
Протяженность по широте	Cell extent of latitude	12	Выражена в единицах 1 ед. = 90/32768	
Протяженность по долготе	Cell extent of longitude	12	Выражена в единицах 1 ед. = 180/32768	
Длина цикла субъячеек	Subcell info loop length	8	Длина в байтах последующей секции с информацией о субъячееках	
Начало цикла по субъячеям (subcells)				
Расширение номера ячейки	Cell id extension	8	Номер субъячейки внутри текущей ячейки	
Широта ячейки	Subcell latitude	16	Эти поля имеют тот же смысл, что и поля ячеек, описанные ранее	
Долгота ячейки	Subcell longitude	16		
Протяженность по широте	Subcell extent of latitude	12		
Протяженность по долготе	Subcell extent of longitude	12		
Конец цикла по субъячеям				
Конец цикла по ячейкам				

8.15. Использование гэпфиллеров (gap-filler) для построения одночастотной сети

Гэпфиллеры представляют собой приемопередатчики, которые переизлучают принятый сигнал на той же самой частоте, на которой он был принят (рис. 8.17). Гэпфиллеры делятся на два вида — *профессиональные (professional gapfiller)* и *домашние (domestic gapfiller)*. Первые от вторых отличаются излучаемой мощностью.

Профессиональные гэпфиллеры используются для построения одночастотных сетей, а домашние для восстановления сигнала на небольших территориях — подъездах, дворах, квартирах и т. п. Домашние гэпфиллеры являются малогабаритными устройствами. Домашним может также быть и транспозер.

Гэпфиллер вносит минимальную задержку в переизлучаемый сигнал, в противном случае нарушилась бы синхронизация сигнала гэпфиллера и сигнала "ведущего" передатчика. Таким образом, дополнительной синхронизации не требуется.

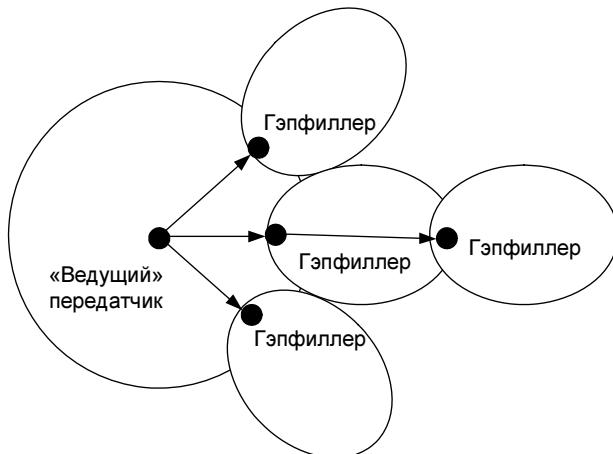


Рис. 8.17. Схема применения гэпфиллеров

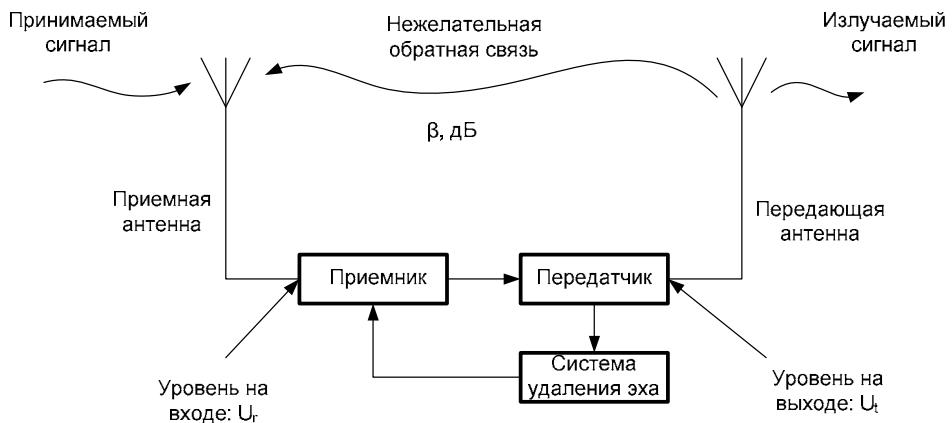


Рис. 8.18. Структурная схема гэпфиллера

Структурная схема профессионального гэпфиллера изображена на рис. 8.18.

Часть сигнала, излученного передающей антенной, будет попадать обратно в приемную антенну из-за переотражений от зданий, деревьев и т. п. Это может привести к появлению положительной обратной связи и самовозбуждению гэпфиллера.

Чтобы максимально снизить обратную связь, прибегают к экранировке приемной антенны, стараются максимально разнести приемную и передающую антенны в пространстве. Особенно важно, чтобы приемная и передающая антенны не находились на одной высоте, поскольку на высоте установки передающей антенны излучение максимальное. Кроме этого, диаграммы направ-

ленности приемной и передающей антенн должны быть выбраны таким образом, чтобы снизить до минимума нежелательную обратную связь.

Гэпфиллер может устойчиво работать в том случае, если уровень принимаемого сигнала на 5—10 дБ выше уровня сигнала, наведенного от передающей антенны. Величина β как раз и показывает "развязку" между приемной и передающей антеннами. Чем больше значение β , тем с большей мощностью может работать гэпфиллер и более слабые сигналы основной станции принимать.

Определить β можно следующим образом: отключить ведущий передатчик, а к передающей антенне гэпфиллера присоединить передатчик небольшой мощности M , который работает на той же частоте, что и ведущий. Включить этот передатчик и измерить прибором уровень сигнала U с выхода фидера приемной антенны. Тогда:

$$\beta(\text{dB}) = M(\text{dBm}) - U(\text{dBm}).$$

Развязка считается хорошей, если $\beta \geq 80$ дБ. На практике возможно достижение значений β в 100 дБ и выше.

От величины β и уровня принимаемого сигнала U_r зависит, с какой мощностью может работать гэпфиллер и, соответственно, какую территорию он может охватить своим излучением. Зная β легко вычислить эту мощность:

$$U_t(\text{dBm}) = U_r(\text{dBm}) + \beta(\text{dB}).$$

Например, мы принимаем сигнал от ведущего передатчика и уровень этого сигнала на входе гэпфиллера равен 70 дБмкВ или $70 - 108 = -38$ дБм. При этом $\beta = 80$ дБ. Из приведенной ранее формулы получаем: $-38 + 80 = 42$ дБм или 15 Вт. 15 Вт — это мощность небольшого профессионального гэпфиллера.

При проведении вычислений максимальной мощности не нужно забывать о возможности сезонных и суточных колебаний отраженного и принимаемого сигналов. Всегда нужно оставлять запас около 5 дБ для предотвращения возбуждения гэпфиллера вследствие этих колебаний.

Современные модели гэпфиллеров оборудуются специальной *схемой удаления эха (echo canceller)*, которая позволяет устойчиво работать, даже когда отраженный сигнал на 5 дБ превышает сигнал ведущего передатчика.

8.16. Мегафрейм и его использование для синхронизации одночастотной сети

В случае если одночастотная сеть строится без использования гэпфиллеров, передатчики необходимо синхронизировать. Как выполняется такая синхро-

низация, описывает спецификация ETSI TS 101191 "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization" (Цифровое телевидение: мегафрейм для синхронизации одночастотных сетей").

Мегафрейм — это логическая единица COFDM DVB, которая состоит из 8 фреймов (или 2 суперфреймов) COFDM для режима 8k и 32 фреймов (8 суперфреймов) для режима 2k. В течение передачи каждого мегафрейма в составе транспортного потока MPEG TS передается пакет, называемый *пакетом инициализации мегафрейма* (*Megaframe Initialization Packet — MIP*).

MIP — обычный пакет MPEG TS, имеющий PID 0x15. MIP, передаваемый в составе N -го мегафрейма, содержит информацию, необходимую для синхронизации мегафрейма с номером $N+1$, т. е. следующего мегафрейма. Начало мегафрейма совпадает с началом суперфрейма и первого инвертированного синхробайта транспортного потока.

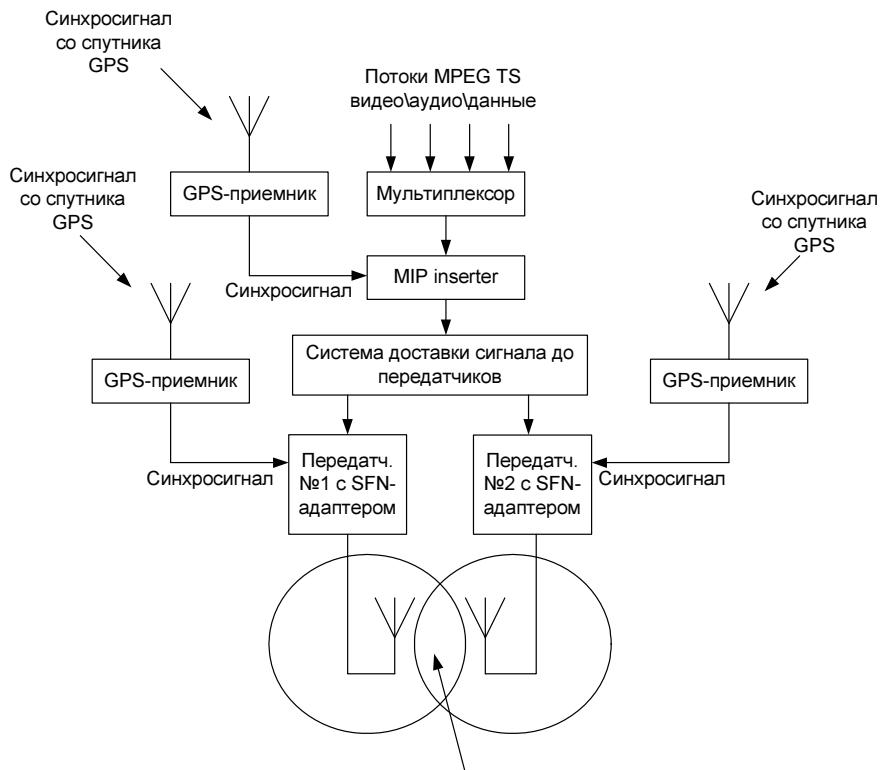


Рис. 8.19. Структура сети с использованием MIP для синхронизации

Общая идея проста: MIP-пакет указывает точное время, когда нужно передать в эфир следующий мегафрейм. Передатчики принимают мегафрейм и, дожидаясь указанного времени, передают мегафрейм в эфир.

Для того чтобы работать в одночастотной сети, передатчик должен быть оборудован одночастотным адаптером (*SFN-адаптер*). По сути дела это модуль синхронизации от сигнала GPS. Все современные передатчики DVB имеют встроенный SFN-адаптер, либо он приобретается как опция к модулятору.

Как видно из рис. 8.19, для синхронизации используется сигнал GPS. Система GPS широко известна как система определения координат. Однако помимо сигналов, позволяющих определять координаты, спутники GPS передают сигналы точного времени и эталон частоты 1 Гц с точностью 100 нсек. Именно этот синхросигнал и используются в одночастотных сетях для синхронизации. Импульсы с частотой 1 Гц одновременно достигают передатчики сети со спутников GPS и служат удобным опорным сигналом.

Далее рассмотрим обязательную структуру MIP (табл. 8.5). Полная структура описана в упоминавшейся спецификации ETSI TS 101191.

Таблица 8.5. Структура пакета инициализации мегафрейма

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Заголовок пакета транспортного потока	TS packet header	32	Заголовок пакета транспортного потока с PID 0x15. transport_priority должен быть = 1 payload_unit_start_indicator должен быть = 1 adaptation_field_control должен быть = 1
Идентификатор синхронизации	Synchronization ID	8	Должен быть равен 0
Длина секции	Section length	8	Количество байт, следующих сразу же после этого поля. Это поле используется, если MIP содержит дополнительную информацию за исключением байт набивки
Указатель	Pointer	16	Количество MIP-пакетов транспортного потока в одном мегафрейме. Это количество зависит от режима модуляции
Периодический флаг	Periodic flag	1	Флаг равен 0, если MIP размещается в транспортном потоке не постоянно. Если MIP размещается постоянно, то значение этого поля должно быть равно 1
Зарезервировано		15	Зарезервировано

Таблица 8.5 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Временная метка синхронизации	Synchronization timestamp	24	Временной интервал в условных единицах (1 ед. = 100 нсек) между ближайшим к началу мегафрейма всплеском 1-секундного синхро-сигнала GPS и требуемым началом передачи мегафрейма (первого бита первого пакета)
Максимальная задержка	Maximum delay	24	Временной интервал между временем излучения передающей антенны мегафрейма с номером $M + 1$ и временем передачи этого мегафрейма в SFN-адаптер. По сути дела, эта величина определяет задержку передачи сигнала в сети от мультиплексора до передающей антенны. Выражается в тех же условных единицах, что и предыдущее поле
TPS MIP	TPS MIP	32	Содержит информацию для TPS, которая будет передаваться в мегафрейме, следующим через один, т. е. в мегафрейме с номером $M + 2$, где M — номер текущего мегафрейма. Это поле позволяет передавать информацию для настройки передатчиков в одночастотной сети в автоматическом режиме
Длина поля индивидуальной адресации	Individual addressing length	8	Указывает длину последующего необязательного поля индивидуальной адресации. Если поле индивидуальной адресации отсутствует, то длина поля равна 0. Подробнее см. спецификацию ETSI TS 101191 гл. 6
CRC	CRC	32	Контрольная сумма

Рассмотрим подробнее "побочную" возможность дистанционно передавать на передатчик параметры для настройки, которую предоставляет поле TPS MIP. Каждый бит этого поля соответствует одному биту TPS.

Каким образом передатчик, получающий эту информацию, будет ее использовать — зависит от программного обеспечения передатчика. В современных передатчиках есть возможность производить настройку параметров модуляции на основании информации, передаваемой через MIP.

В табл. 8.6 приводятся сведения о соответствии параметров TPS по стандарту ETSI EN 300744 и TPS MIP. Не все параметры можно передавать через TPS MIP, поскольку не все параметры необходимо изменять дистанционно. Расшифровка комбинаций битов TPS MIP соответствует стандарту ETSI EN 300744. Дополнительную информацию о TPS см. в разд. 7.24.

В дополнительной информации могут быть переданы параметры, которые позволяют дистанционно: изменять мощность передатчика, пересыпать опре-

деляемые пользователем данные, пересылать частотное смещение (для коррекции частоты передатчика), изменять номер ячейки (cell).

Таблица 8.6. Соответствие значений поля TPS MIP и параметров TPS DVB

Номера битов TPS по стандарту ETSI EN 300744	Соответствующие номера битов TPS MIP	Пояснения
1—24	—	Не передаются. Данные биты содержат информацию, которую нет необходимости менять дистанционно: инициализирующую последовательность, синхрослово и т. п.
25—26	0—1	Созвездие
27—29	2—4	Информация о иерархической модуляции и интерлидинге
30—32	5—7	FEC для потока высокого приоритета
33—35	5—7	FEC для потока низкого приоритета
36—37	8—9	Защитный интервал
38—39	10—11	Режим передачи
40—47	—	Номер ячейки (cell). Не используется в этой структуре данных
48—49	15—16	Режимы DVB-H
50—53	17—31	Устанавливаются в 0. Зарезервировано на будущее
54—67	—	ВСН-коды (коды для канального кодирования). Не используются
—	12—13	Определяет полосу частот одного канала. В России эти биты всегда равны 01
—	14	Приоритет потока в иерархической модуляции. Бит равен 0, если приоритет низкий; и равен 1, если приоритет высокий

8.17. Использование RTP/UDP/IP для доставки MPEG TS до передатчиков

Рассмотрим кратко, каким образом может быть доставлен сигнал от центра формирования программ до передатчиков. Сеть передатчиков может быть достаточно обширной, и вопрос доставки сигнала является очень важным.

По сути дела возможностей таких две: наземные сети связи и сети связи с использованием космического сегмента. В некоторых случаях может быть применен вариант каскадирования гэпфиллеров, но этот вариант будет приводить к постепенной деградации сигнала, вследствие накопления ошибок.

Сначала рассмотрим использование наземных сетей (рис. 8.20). В случае использования наземных сетей наиболее рационально использовать сети передачи данных, способных передавать мультикастовые (multicast) потоки с использованием протоколов RTP/UDP или только UDP. Данные сети могут быть реализованы при помощи множества различных технических средств: при помощи релейных линий связи, при помощи различных технологий передачи данных (Ethernet, G.703 и т. п.).

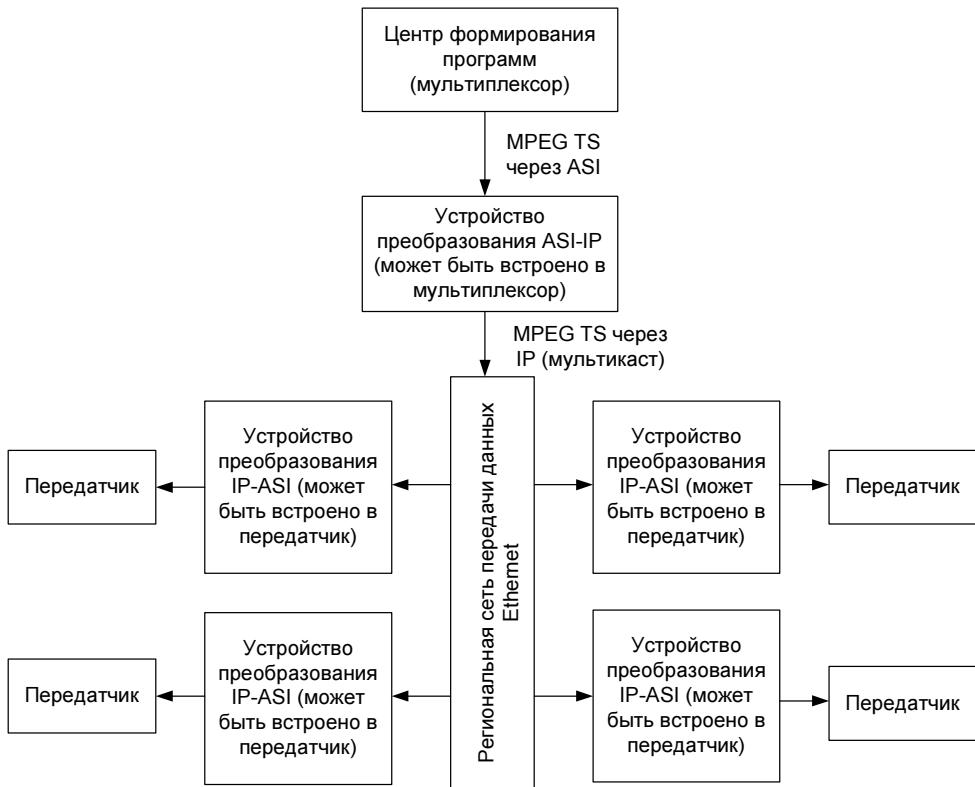


Рис. 8.20. Структура сети связи цифрового телевидения с использованием сети передачи данных для доставки распространяемого сигнала

Мы уже рассматривали возможность передачи MPEG TS по сетям передачи данных в разд. 1.12. Напомню, что передача MPEG TS по IP-сетям называется MPEG over IP.

С точки зрения данных, транспортный поток представляет собой поток байт и поэтому может быть легко помещен (говорят — инкапсулирован) в различные сетевые протоколы. Здесь в первую очередь следует обратить внимание на то, что сначала необходимо обеспечить передачу данных в реальном време-

ни, синхронно, что невозможно при помощи протоколов TCP/IP. Именно поэтому выбор UDP или RTP/UDP для использования в режиме мультикаста представляется наиболее рациональным.

Обратите внимание, что устройства формирования мультиастовых потоков, переносящих MPEG TS, могут быть встроенными в передатчики и мультиплексоры.

Какой протокол предпочтительнее для передачи: UDP или RTP? Во многом это зависит от того, какое окончное оборудование используется. Некоторые преобразователи IP-ASI могут не принимать UDP или RTP.

Протокол RTP по своей сути — это надстройка над протоколом UDP, содержащая несколько дополнительных полей данных, предназначенных для передачи информации о содержимом пакета. В частности, RTP позволяет передавать порядковый номер фрейма в видеопоследовательности (sequence) и временной штамп (timestamp), показывающий время, когда пакет был сгенерирован. Поле номера фрейма и поле временного штампа могут помочь в контроле целостности потока, а также при измерении вариацией скорости при передаче по сети. В частности, при нарушении последовательности нумерации пакетов протокол RTP будет сигнализировать о том, что один или несколько пакетов не были переданы.

В случае использования сетей передачи данных с использованием мультиастового трафика необходимо принять во внимание, что сеть всегда будет вносить некоторые задержки, причем задержки непостоянные. Напомним, что вариации этих задержек называются джиттерами.

Приемные устройства для того, чтобы обработать джиттер, выполняют буферизацию. Размер памяти, отводимой для буферизации, ограничен, поэтому в технических данных всегда указано, какой величины джиттер может обрабатывать то или иное устройство. Как правило, устройства могут обрабатывать джиттер величиной 100—200 мсек. Какой большой не кажется эта величина, в реальных сетях такой джиттер случается достаточно часто, если сеть неправильно настроена.

Временные штампы RTP генерируются с использованием внутренних часов устройства, производящего RTP-пакеты. Таким устройством может быть преобразователь ASI-IP или сам мультиплексор.

Стандартом RTP (RFC 3550) частота внутренних часов (timebase) устанавливается равной 90 кГц. Таким образом, временной штамп RTP равен базовой части PCR MPEG TS.

Однако не все производители следуют этому стандарту. Некоторые мультиплексоры генерируют временные штампы на базе 27-мегагерцовых часов, что принято для полных PCR (т. е. базовая часть плюс расширение). Если прием-

ному оборудованию необходимо наличие временных штампов RTP, сгенерированных часами определенной частоты, то нужно это принимать во внимание во избежание ошибок синхронизации. Подробнее о PCR см. разд. 5.2.

Проанализировать RTP-потоки можно при помощи любого сетевого снiffeра, умеющего понимать формат RTP-пакетов (например, бесплатного Wireshark).

При настройке оборудования преобразования ASI-IP необходимо учитывать изменение скорости цифрового потока за счет добавления заголовков сетевых пакетов. Поскольку транспортный поток MPEG TS размещается (инкапсулируется) внутри сетевых пакетов RTP/UDP/IP, то общая скорость цифрового потока будет больше. Поскольку размер полезной нагрузки Ethernet-фрейма равен 1518 байт, а размер пакета транспортного потока равен 188 байт, то в один Ethernet-фрейм может поместиться RTP-пакет, содержащий до 7 пакетов MPEG TS. Какое количество является оптимальным? От решения этого вопроса зависит, насколько увеличится скорость MPEG TS через IP по сравнению с MPEG TS. При инкапсуляции 7 пакетов изменение скорости будет минимальным. Поскольку доставка трафика к передатчикам всегда требует максимально надежного канала связи с минимальным количеством ошибок, то рационально выбирать количество инкапсулируемых пакетов максимальным, т. е. равным 7.

В противном случае, нужно принимать во внимание, что если один RTP-пакет не будет каким-либо образом доставлен, то "пропадут" все пакеты MPEG TS, которые в него инкапсулированы. Таким образом, если в сети существует вероятность пропадания пакетов RTP, то количество инкапсулированных пакетов MPEG TS следует выбирать минимальным (1—5). Однако еще раз обращу внимание, что в правильно настроенной сети доставка пакетов должна быть 100%. В противном случае, сеть просто непригодна для доставки сигнала до передатчиков.

Пересчитать скорость транспортного потока MPEG TS и MPEG TS через IP можно следующим образом:

$$S_{UDP} = S_{MPEGTS} \left(1 + \frac{224}{1504N} \right),$$

$$S_{RTP} = S_{MPEGTS} \left(1 + \frac{320}{1504N} \right).$$

Здесь:

- N — количество пакетов MPEG TS в одном RTP-пакете;
- 1054 — количество бит в одном пакете MPEG TS — $1054 = 188 \times 8$;

- 320 — размер заголовка RTP/UDP в битах;
- 224 — размер заголовка UDP в битах.

Вторая возможность доставки сигнала до локальных ретрансляторов — использование спутникового сегмента (рис. 8.21).

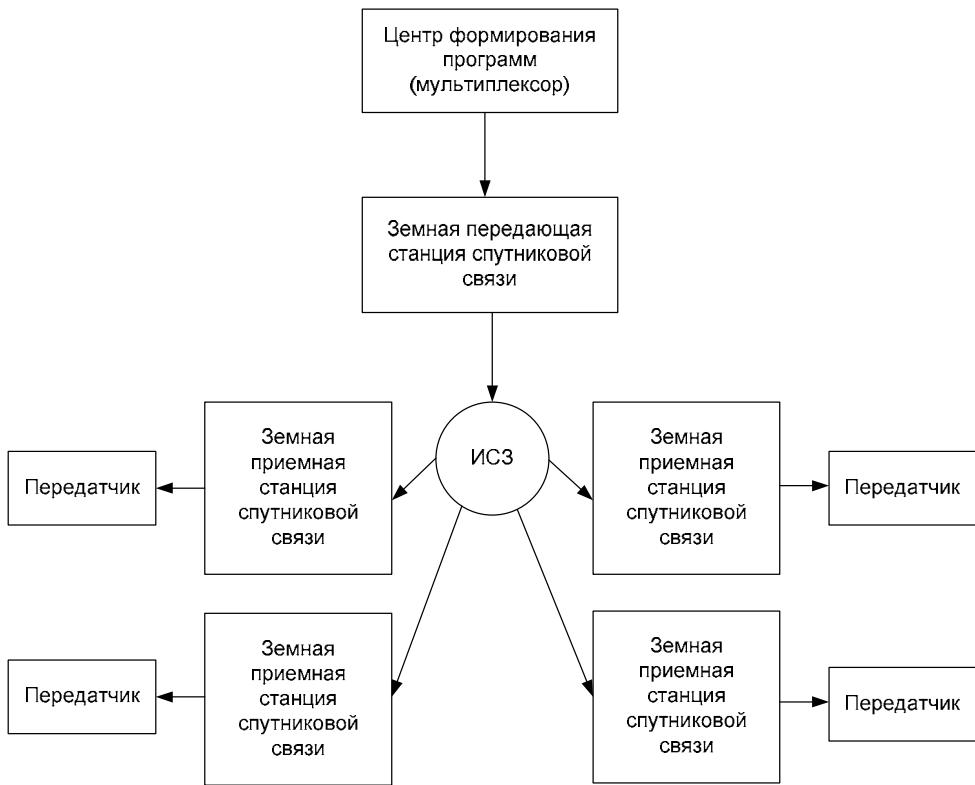


Рис. 8.21. Использование ИСЗ для доставки сигнала до ретрансляторов

Данная схема может оказаться более дорогостоящей, чем использование наземных сетей. Кроме того, эта схема может не подходить для организации сетей цифрового телевидения, ограниченных небольшими регионами, вследствие ограниченности орбитально-частотного ресурса.

Стандартная полоса частот транспондера телевизионного спутника составляет 32 МГц, что при использовании модуляции QPSK позволяет передавать цифровой поток со скоростью 32 Мбит/сек, что приблизительно равно максимальной скорости потока, который может обеспечить DVB (в режиме 64QAM с FEC = 7/8 и защитным интервалом 1/32). С одной стороны, это может позволить организовывать сети цифрового телевидения, не прибегая

к преобразованию транспортного потока на ретрансляторах. С другой стороны, такое преобразование, как правило, всегда требуется в рамках региона, вследствие разной вещательной политики каналов, размеров требуемых зон радиопокрытия, необходимостью использования систем условного доступа и т. п. В любом случае, использование тех или иных средств доставки — задача комплексная и должна решаться в рамках общей структуры сети.

8.18. Средства выделения программ из MPEG TS

В соответствии с вещательной политикой, не все телевизионные и радиопрограммы, доставляемые в транспортном потоке до передатчиков, подлежат трансляции. Ограничение такого характера также могут возникнуть, вследствие ограничений на выбор параметров модуляции. Например, необходимо охватить вещанием небольшой город с использованием передатчика мощностью 100 Вт. Использование режима 64QAM с FEC = 7/8 и защитным интервалом 1/32 в данной ситуации может оказаться невозможным, поскольку зона распространения не охватит весь город. Тогда если со спутника передается поток со скоростью 32 Мбит/сек, то придется избавляться от некоторых телевизионных каналов для уменьшения скорости потока и выбора более подходящего режима модуляции.

Для преобразования (реструктуризации) транспортного потока, связанной с добавлением (или удалением) в поток новых теле- или радиопрограмм, а также иной информации, используется ремультиплексирование.

Задача удаления из потока пакетов с программами и пересчетом PSI/SI является довольно распространенной и выполняется многими профессиональными приемниками, как спутниковыми, так и IP. Эта функция может называться по-разному у разных производителей, например *PID dropping* (выброс PID) и т. п. Выброс PID — это один из примеров ремультиплексирования.

При выполнении ремультиплексирования необходимо учитывать, что может быть потеряна какая-либо важная информация, например MIP, необходимый для синхронизации одночастотных сетей, или потоки ECM-EMM, использующиеся в системах условного доступа.

8.19. Общая структура сети цифрового телевидения

Существует понятие сети связи общего пользования. *Сеть связи общего пользования* — это сеть связи, предназначенная для оказания всемирных услуг связи на территории Российской Федерации.

Телевизионные сети связи являются сетями общего пользования. Проще говоря, пользоваться услугами этой сети может при наличии технической возможности любой желающий на территории действия данной сети. Сети цифрового телевидения являются частью сети общего пользования. Услуги в сети связи общего пользования оказываются на основании лицензии, которую выдает лицензирующий орган, устанавливаемый законодательством о связи.

Сеть связи общего пользования — это не единый конгломерат. Это множество соединенных друг с другом сетей. В частности, формирование телевизионных программ может происходить в одной сети связи, затем эти программы передаются в другую сеть, через комплекс технических средств, называемых *точкой присоединения*. Например, если одна сеть (говорят — присоединяющая) принимает сигналы другой сети (говорят — присоединяемая) через эфир, то точка присоединения — это эфирный приемник принимающей сети.

Сети цифрового телевидения делятся на несколько видов в соответствии с территорией оказания услуги:

- *Глобальная сеть* — сеть цифрового телевидения, охватывающая все субъекты Российской Федерации.
- *Региональная сеть* — сеть цифрового телевидения, действующая на территории одного или нескольких расположенных рядом субъектов Российской Федерации.
- *Местная сеть* — сеть цифрового телевидения, действующая на части территории субъекта Российской Федерации.

Данные сети могут быть присоединены одна к другой для обмена программами (рис. 8.22).

Связи между местными и глобальными сетями не должны казаться странными, поскольку местные вещатели могут осуществлять местные вставки в программы, транслирующиеся по глобальной сети. Каждая связь на этой диаграмме (см. рис. 8.22) определяется конкретной задачей, стоящей перед вещательной организацией или владельцем авторских прав на содержание телепередач (контент).

Необходимо помнить, что любое преобразование транспортного потока требует мультиплексирования, которое выполняется в центре формирования программ сети связи (или вещателя).

Таким образом, каждая сеть может включать центр формирования программ, где выполняется формирование транспортного потока, который затем передается на абонентские устройства. В принципе, может быть организована сеть цифрового телевидения, которая будет передавать транспортный поток другой сети без всяких изменений.

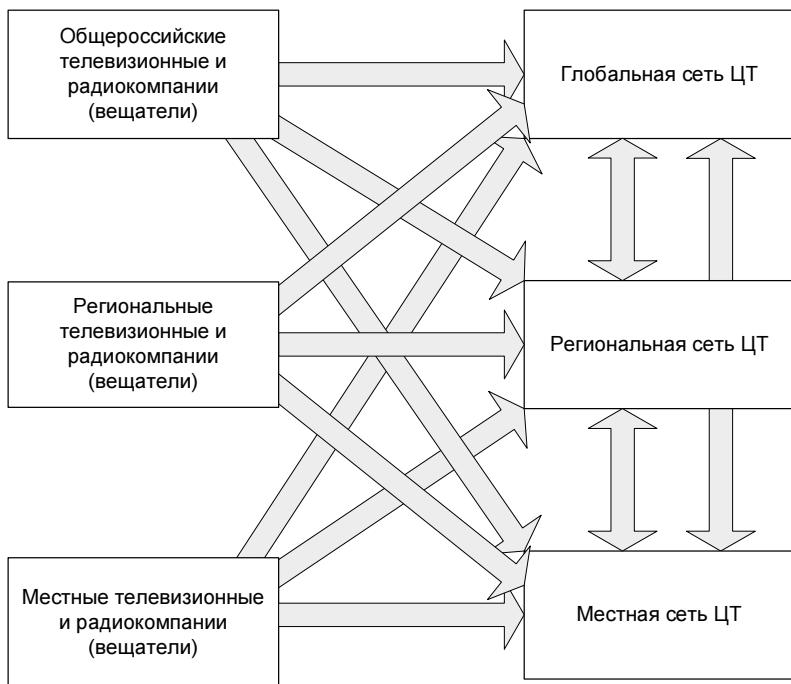


Рис. 8.22. Структура взаимодействия (присоединения) сетей цифрового телевидения и вещателей

Сложнее выглядит вопрос использования систем условного доступа в подобных взаимодействующих сетях, особенно систем отслеживания внесения абонентской платы. Такая система условного доступа всегда сопряжена с мультиплексором, т. е. внесением изменений в транспортный поток или потоки. Отношения между субъектами рынка в этом случае должны определяться договорами и действующими нормативно-правовыми актами.

8.20. Особенности планирования сетей цифрового телевидения

Прежде чем приступить к строительству сети цифрового телевидения, необходимо ответить на ряд принципиальных вопросов. При строительстве сетей аналогового телевидения многие из этих вопросов не имели значения, потому что речь шла о передаче абоненту одного-единственного телевизионного канала.

Сеть цифрового телевидения способна передавать не только несколько телевизионных или радиопрограмм, но и различную дополнительную информацию. Еще

одно принципиальное отличие — зона приема аналогового телевидения зависела только от мощности передатчика и характеристик антенны, поскольку режим модуляции использовался только один. В цифровом телевидении существует зависимость между зоной приема и количеством передаваемых каналов. Собственно в этом и состоит вопрос — от чего отталкиваться: от необходимой зоны приема и, исходя из этого, выбирать количество каналов, или исходя из количества каналов?

Скорее всего, сразу будет невозможно ответить на этот вопрос, не имея исходных данных. Поэтому начать процесс планирования необходимо с определения перечня населенных пунктов или регионов, которые необходимо охватить вещанием, и перечня каналов, которые планируется транслировать. В процессе дальнейшей работы, эти два перечня необходимо сбалансировать.

Как видно из схемы (рис. 8.23), процесс планирования является итеративным, когда последующие данные постоянно уточняются и корректируются по результатам анализа предыдущего набора данных. Очень важным при создании сети является вопрос инфраструктуры: в желаемом населенном пункте должна быть возможность для установки передатчика, наличие электрических сетей, возможность подачи сигнала на передатчик от центра формирования программ и т. п.

Сначала параллельно проводятся два вида работ: оценка количества возможных заказчиков (в том числе заказчиков дополнительных сервисов) и оценка размеров территории вещания. После оценки количества заказчиков уже возможно оценить объем передаваемой информации и, соответственно, определить, допустимо ли распространить этот объем на желаемой территории.

Если это возможно, то можно приступить к следующему этапу, если нет, то надо либо уменьшить территорию, и использовать более "скоростные" режимы модуляции, либо уменьшить количество сервисов. При планировании сервисов всегда нужно оставлять небольшой запас и не забывать учитывать передачу дополнительной информации — электронной программы передач, сообщений системы условного доступа и т. п.

Выбор потенциальных вещателей должен обязательно проводиться одновременно с анализом доступных средств доставки сигнала вещателя в центр формирования программ. Эта задача в итоге может оказаться слишком затратной и существенно повлиять на стоимость всего проекта.

Кроме этого, необходимо рассмотреть вопрос (на схеме это не отражено), каким образом будет осуществляться компрессирование сигнала. Кто будет компрессировать сигнал — вещатель или оператор? Если оператор, то какой интерфейс для подачи сигнала может быть предоставлен и может ли этот интерфейс обеспечить необходимое для кодирования качество.

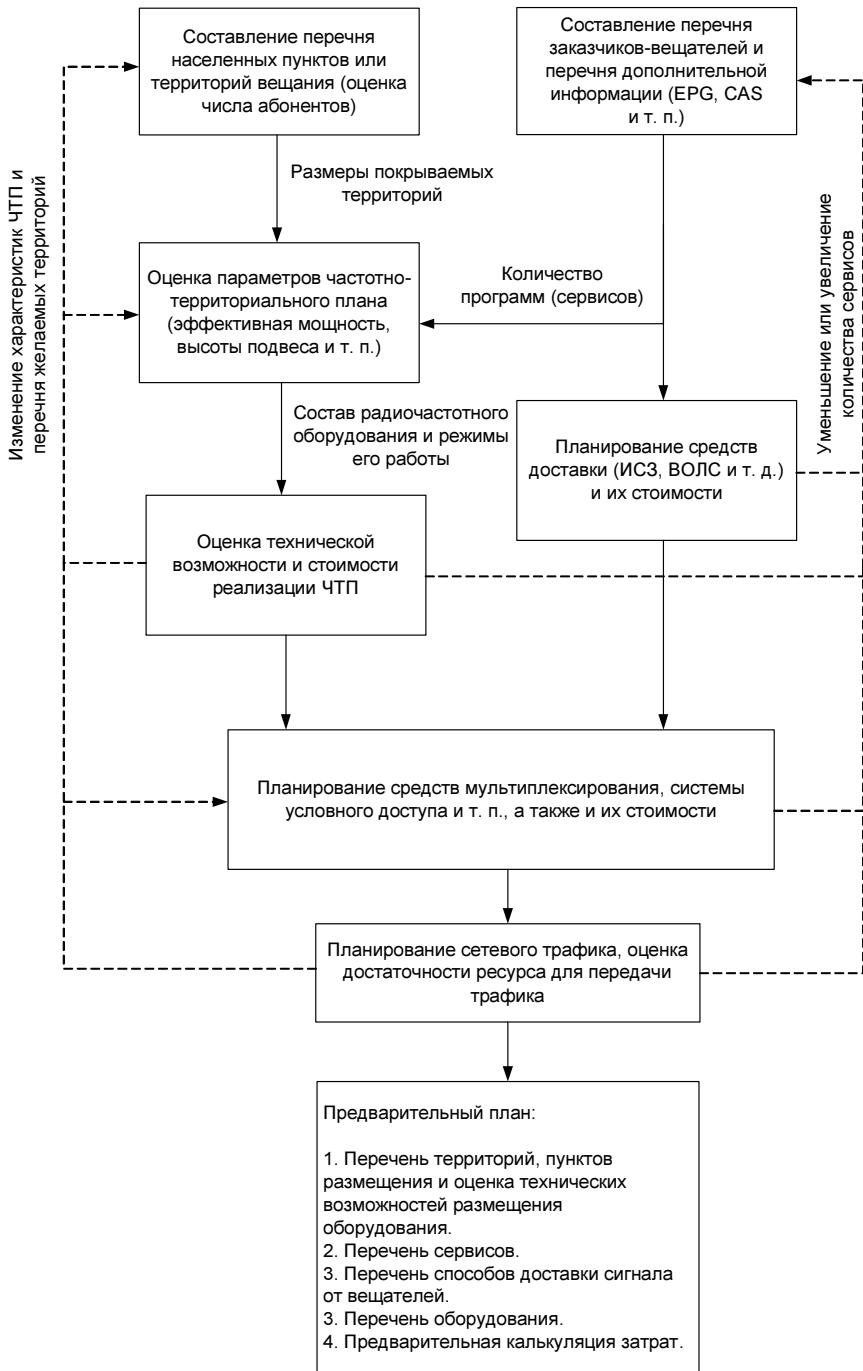


Рис. 8.23. Порядок работ по планированию строительства сети цифрового телевидения

После того как перечень территорий готов и режим модуляции понятен, можно оценить технические затраты на радиочастотное оборудование: стоимость антенн, передатчиков, фидеров и т. п., а также затрат на их установку, сроки поставки и т. п. Также необходимо оценить состав технических средств центра формирования программ, которые требуются для организации сервисов (кодирование, мультиплексирование, вставка МРР, серверы ОТА и электронной программы передач и т. п.).

После составления калькуляции, размер территории вещания и количество сервисов может быть снова откорректирован, теперь исходя из экономических соображений.

В последнюю очередь можно оценить объемы получающегося трафика с учетом использования выбранного оборудования. По сути дела, после подбора оборудования необходимо убедиться в том, что выбранных параметров модуляции, пропускной способности канала доставки транспортного потока до передатчиков будет достаточно. Если окажется, чего его недостаточно, то необходимо рассмотреть возможности увеличения пропускной способности либо снова пересматривать исходную информацию (список сервисов, площадь зоны приема и т. п.).

Особенного внимания требует система условного доступа, поскольку эта система будет непосредственно касаться денежных расчетов с абонентами. Если планируется сеть, осуществляющая передачу транспортных потоков без внесения изменений, то использование собственной системы условного доступа будет невозможной, ввиду отсутствия мультиплексора. Также необходимо учитывать объем EMM-сообщений в общем трафике. Этот объем может оказаться значительным (см. разд. 10.8).

После разработки примерного плана, можно приступать к анализу наличия свободных частот, получению необходимых лицензий и т. п. Рассмотрение данных работ выходит за рамки настоящей книги. Более подробную информацию можно получить из действующего законодательства в области связи.



ГЛАВА 9

Передача данных в сетях DVB

9.1. Стандарт DVB-DATA

ETSI принял стандарт, описывающий возможности передачи данных в составе транспортного потока MPEG TS по сетям DVB. Стандарт ETSI EN 301192 "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting" ("Цифровое телевидение: спецификация для передачи данных"). Данный стандарт для краткости называют DVB-DATA.

Этим стандартом предусматриваются следующие далее возможности для передачи данных (рис. 9.1). Объединим их в три группы, в зависимости от "места", в которое внедряется передаваемая информация.

Первая группа — используется полезная нагрузка пакета MPEG TS.

Конвейерная передача (data piping) — внедрение данных непосредственно в MPEG TS-пакеты. Как эти данные будут интерпретироваться, полностью зависит от разработчика.

Вторая группа — используется элементарный поток (PES), в состав которого внедряются данные.

Передача асинхронных данных (asynchronous data streaming) — передача данных в составе PES-пакетов (т. е. в составе элементарного потока MPEG) без каких-либо требований, касающихся времени обработки или воспроизведения этих данных.

Передача синхронных данных (synchronous data streaming) — передача данных в PES-пакетах, при этом имеются временные требования в том смысле, что передаваемые данные должны обрабатываться (воспроизводиться) синхронно с видео- или аудиопотоками.

Приложение (программа) в абонентском устройстве				
Информация, зависящая от приложения	Информация, зависящая от приложения	Информация, зависящая от приложения	Информация, зависящая от приложения	Информация, зависящая от приложения
		MPE	Карусель данных	Объект DVB
		DSM-CC пользоват. (private) данные	DSM-CC данные	Объект DSM-CC
Конвейерная передача данных	Элементарный поток (PES)	Секции MPEG (см. главу «Транспортный поток») в соотв. с 13818-1		
Транспортный поток MPEG				
Конвейерная передача Data broadcast id = 0x0001	Потоковая передача Data broadcast id = 0x0002, 0x0003, 0x0004	MPE Data broadcast id = 0x0005	Карусели данных Data broadcast id = 0x0006	Карусели объектов Data broadcast id = 0x0007

Рис. 9.1. Взаимоотношение (стек) различных технологий, спецификаций и стандартов при организации передачи данных через DVB

Протоколы высокого уровня, базирующиеся на асинхронной передаче (*higher protocol based on asynchronous data streaming*) — передача данных в PES-пакетах с использованием протоколов высокого уровня.

Третья группа — передача данных с использованием технологии DSM-CC, являющейся частью стандарта MPEG2 и описанной в документе ISO 13818-6.

DSM-CC (Digital Storage Media — Command & Control, т. е. цифровые устройства хранения — команды и управление) дает возможность не просто передавать данные, но и предоставляет механизм передачи команд управления этими данными. Таким образом, возможно не просто передавать данные абонентскому устройству, но и сообщить, когда передача этих данные начнется, когда закончится, будут ли данные повторяться и т. п. Кроме того, есть возможность описать сами передаваемые данные.

Именно эта третья группа является наиболее применяемой на практике, вследствие детальной разработки форматов данных, а следовательно — лучшей совместимости устройств и программного обеспечения разных компаний. Передаваемые данные размещаются в секции пользовательских данных MPEG TS. При этом формат этой секции — это формат секции датаграмм (datagram section), определяемый в DSM-CC (ISO 13818-6).

К третьей группе можно отнести ряд следующих методов:

- *Мультипротокольная инкапсуляция (Multiprotocol Encapsulation — MPE)* — потоковая передача данных с использованием DSM-CC. Возможно использование протоколов высокого уровня.
- *Карусели данных (data carousels)* — метод передачи данных, которые требуют периодического повторения. Данные разбиваются на блоки, и эти блоки периодически размещаются в транспортном потоке, вместе с информацией, описывающей эти блоки согласно DSM-CC.
- *Карусели объектов (object carousels)* — то же, что карусели данных, только передаваемая информация структурирована в виде объектов, которые периодически передаются вместе с описанием этих объектов.

Значения `data_broadcast_id` — идентификаторы способа передачи данных, использующиеся в дескрипторах. Они будут описаны *далее в этой главе*.

Обратите внимание на секции таблицы (см. рис. 9.1), заполненные серой заливкой. Содержание этих секций стандартами не определяется и остается "на совести" разработчика, что в конечном счете может стать следствием несовместимости различного оборудования между собой. С этой точки зрения, наиболее проработанными способами передачи являются карусели данных и мультипротокольная инкапсуляция (Multiprotocol Encapsulation — MPE).

Советую вернуться к этой таблице еще раз после прочтения всей главы.

9.2. Дескрипторы передачи данных

Как говорилось в гл. 5, дескрипторы — это структурированные данные, предназначенные для использования в PSI/SI и описывающие разные объекты транспортного потока.

Для описания передачи данных используются два дескриптора, определенные в стандарте ETSI EN 300468 "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems". Дескриптор передачи данных (Data broadcast descriptor), имеющий тег = 0x64 и Дескриптор идентификатора передачи данных (Data broadcast id descriptor), имеющий тег = 0x66.

Дескриптор передачи данных (табл. 9.1) предназначен для описания сервиса передачи данных и употребляется в таблице описания сервиса — SDT и таблице событий — EIT.

Таблица 9.1. Дескриптор передачи данных (Data broadcast descriptor)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x64
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина дескриптора в байтах
Идентификатор передачи данных	Data broadcast id	16	<p>Идентификатор технологии, использующейся при передаче данных. Возможны следующие основные его значения:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 — конвейерная передача; 2 — асинхронная передача; 3 или 4 — синхронная или синхронизированная передача; 5 — мультипротокольная инкапсуляция (MPE); 6 — карусели данных; 7 — карусели объектов; 8 — передача ATM через DVB; 9 — протоколы высокого уровня через асинхронные данные; 0x000B — элементарный поток, используемый для IP/MAC Notification Table (см. разд. 9.7); 0x00F0—0x00FF — зарезервировано для MHP. <p>Остальные значения либо не определены, либо зарезервированы. Полный список см. в стандарте ETSI EN 301192 табл. А.1</p>
Тег компонента	Component tag	8	Это поле должно иметь то же самое значение, что аналогичное поле в дескрипторе компонентов в таблице РМТ. Этот тег является как бы "этикеткой" или "кодовым номером" сервиса, которая используется в PSI/SI для удобства идентификации сервиса (см. разд. 6.17)

Таблица 9.1 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Длина селектора	Selector tag	8	Длина в байтах следующего поля
Селектор	Selector	В соотв. с указанной длиной	Данная информация является необязательной и зависит от используемой технологии передачи данных (см. далее в этой главе)
Код языка по ISO639	ISO639 language code	24	См. разд. 5.19
Длина текста	Text length	8	Длина последующего текста описания сервиса в байтах
Текст	Text	В соотв. с указанной длиной	Описание сервиса

Дескриптор идентификатора передачи данных (табл. 9.2) является сокращенной формой дескриптора передачи данных и предназначен для использования в таблице сборки программ (PMT).

Таблица 9.2. Дескриптор идентификатора передачи данных
(Data broadcast id descriptor)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x66
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина данного дескриптора в байтах
Идентификатор передачи данных	Data broadcast id	16	См. поле "Идентификатор передачи данных" дескриптора передачи данных
Селектор	Selector	В соответствии с длиной дескриптора	Данная информация является необязательной и зависит от используемой технологии передачи данных (см. далее в этой главе)

Обратите внимание, что связь между дескриптором передачи данных и непосредственно сервисом устанавливается через поле *тег компонента* (*component tag*), т. е. при формировании PSI/SI нужно, чтобы в PMT необходимый сервис был обозначен тегом (рис. 9.2) при помощи дескриптора компонентов (Component descriptor).

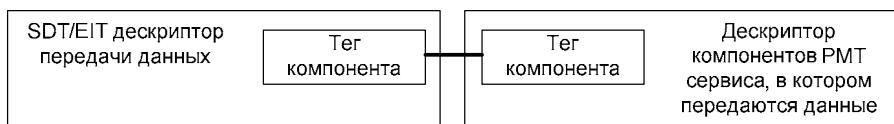


Рис. 9.2. Использование тега компонента

9.3. Конвейерная передача данных (data piping)

Конвейерная передача данных (data piping) — простейший способ передачи данных в транспортном потоке MPEG TS. При использовании такого способа данные помещаются непосредственно в полезную нагрузку пакетов транспортного потока под выбранным PID. При этом порядок использования такого пакета целиком зависит от программного обеспечения, которое размещает данные и которое будет эти данные использовать — т. е. от разработчика. Стандарты ETSI не дают никаких указаний по поводу того, как можно было использовать такие данные.

Поток, в котором находятся инкапсулированные данные, должен быть описан в PSI/SI при помощи дескриптора идентификатора передачи данных (*data broadcast id_descriptor*), который размещается в таблице РМТ того сервиса, которому принадлежит данный поток.

В дескрипторе передачи данных поле *data_broadcast_id* должно быть равно 0, для указания того, что передаются данные (см. подробнее в техническом паспорте ETSI TR 101162).

Данный способ передачи данных не нашел большого распространения именно потому, что стандарт не дает никаких предписаний насчет того, как обращаться с передаваемыми данными, поэтому велик риск несовместимости оборудования разных производителей.

Значение поля "Тип потока" в таблице сборки программ — РМТ для этого типа передачи данных стандартом не определяется.

9.4. Передача асинхронных данных

Как известно, асинхронные данные — это данные, к которым не предъявляются никаких жестких требований по времени или скорости их передачи. Пример асинхронных данных — телетекст. Ясно, что он должен быть принят абонентским устройством как можно быстрее, но когда точно — не имеет значения.

Передаваемые данные помещаются в элементарные потоки MPEG ES (PES), согласно стандарту ISO 13818-1. При этом, как и в случае с конвейерной передачей, не предполагается никаких механизмов описания данных.

Идентификатор PES (Stream ID) должен иметь значение 0xBF (пользовательские данные).

Описание сервиса в PSI/SI делается при помощи дескриптора передачи данных. Поле `data_broadcast_id` должно быть равно 2, для указания на асинхронный способ передачи данных.

Значение поля "Тип потока" в таблице сборки программ — РМТ для этого типа передачи данных должно быть установлено в значение 0x06.

9.5. Передача синхронных и синхронизированных данных

Синхронные данные (synchronous data) — это данные, к которым предъявляются требования по времени доставки. Пример таких данных: интерактивный опрос во время какой-либо телевизионной передачи. При использовании этих данных важно время, в которое они доставляются или показываются абоненту.

Синхронизированные данные (synchronized data) — это данные, обработка которых синхронизирована с видео или аудиопотоками. Пример таких данных — субтитры.

Синхронные и синхронизированные данные передаются в составе элементарного потока (PES). Передаваемые данные помещаются в специальную *Структуру данных PES (PES data structure)*, определенную в гл. 6.1 стандарта ETSI EN 301192. Структура данных PES (табл. 9.3) размещается непосредственно в пакетах транспортного потока, т. е. структура данных PES — это вариант синтаксиса PES, адаптированного для передачи данных.

Описание в PSI/SI выполняется аналогично конвейерному сервису и сервису асинхронных данных. Поле идентификатора передаваемых данных должно иметь значение 0x0003 для синхронных данных и 0x0004 для синхронизированных.

Значение поля "Тип потока" (stream type) в РМТ для этого типа передачи данных должно быть установлено в значение 0x06 или значение, установленное пользователем.

Таблица 9.3. Структура данных PES

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Идентификатор данных	Data identifier	8	Идентификатор имеет следующие значения: 0x00—0x0F — значения зарезервированы 0x10—0x1F — телетекст в соответствии со стандартом ETSI EN 300472 0x20 — субтитры в соответствии со стандартом ETSI EN 300743 0x21 — синхронный поток данных 0x22 — синхронизированный поток данных 0x23—0x7F — зарезервировано 0x80—0xFF — определяется пользователем
Идентификатор субпотока	Substream ID	8	Значение определяется пользователем
Флаг расширения PTS	PTS extension flag	1	Определяет, следует ли далее поле "Расширение PTS". Для синхронных данных флаг равен 1, что определяет наличие далее поля с расширением PTS (presentation timestamp). PTS определяет время, когда данные должны быть показаны абоненту. Для синхронизированных данных может иметь значения как 0, так и 1, в зависимости от необходимости использования PTS. О PTS см. разд. 4.3
Флаг скорости выходного потока	Output data rate flag	1	Определяет, следует ли далее поле Скорость выходного потока. Для синхронизированных данных флаг равен 0. Для синхронных данных равен 1
Зарезервировано	Reserved	2	Зарезервировано
Длина заголовка пакета данных PES	PES data packet header length	4	Размер дополнительного заголовка. Этот заголовок включает в себя три последующих поля
Расширение PTS	PTS extension	16	Первые 7 бит не используются. Оставшиеся 9 бит содержат расширение PCR. Подробнее о расширении PCR см. разд. 5.2. Расширение PCR позволяет использовать PTS для частот опорных часов 27 МГц, а не только 90 кГц
Скорость выходных данных	Output data rate	32	Первые 3 бита не используются. Оставшиеся 28 бит означают битрейт (бит в секунду) синхронного потока данных
Пользовательские данные	PES data private data	Вычисляется	Эти данные не определяются стандартом и могут использоваться разработчиком по своему усмотрению

Таблица 9.3 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Данные PES	PES data	Вычисляется	Здесь содержатся собственно передаваемые данные

9.6. Мультипротокольная инкапсуляция — MPE

Мультипротокольная инкапсуляция (*Multiprotocol Encapsulation — MPE*) описана в техническом паспорте ETSI TR 101202 "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for Data Broadcasting" (разд. 4.5) и в стандарте ETSI EN 301192 "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting" (гл. 7).

Этот способ передачи данных использует элементы спецификации DSM-CC (ISO 13818-6). На базе MPE построено мобильное телевидение DVB-H.

Протоколы, которые содержат передаваемую информацию (например, RTP/UDP/IP), инкапсулируются в секции датаграмм DSM-CC (табл. 9.4), которые в свою очередь размещаются в пакетах транспортного потока MPEG TS с PID, указанными в РМТ.

Значение поля "Тип потока" (stream_type) в таблице сборки программ — РМТ для этого типа передачи данных должно быть установлено в значение 0x0D или значение, установленное пользователем.

Таблица 9.4. Формат секции датаграмм (datagram section) DSM-CC

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Идентификатор таблицы	Table id	8	Идентификатор равен 0xE, т. е. в соответствии с ISO 13818-6 это секция DSM-CC с пользовательскими данными
Индикатор синтаксиса	Section syntax indicator	1	Индикатор равен 1
Пользовательский индикатор	Private indicator	1	Индикатор равен 0
Зарезервировано	Reserved	2	Поле всегда равно 11
Длина секции	Section length	12	Должен быть установлен в соответствии с ISO 13818-6

Таблица 9.4 (продолжение)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
MAC-адрес 6	MAC address 6	8	Это 48-битное поле (см. далее остальные 5 его частей) содержит MAC-адрес получателя. Номер поля (1...6) соответствует порядковому номеру байта в MAC-адресе
MAC адрес 5	MAC address 5	8	5 байт MAC-адреса получателя
Зарезервировано	Reserved	2	Зарезервировано
Шифрование нагрузки	Payload scrambling control	2	Поле равно 00, если нагрузка не зашифрована. Иначе значение определяется разработчиком, так же, как и алгоритм шифрования. Шифруется информация от поля, следующего за MAC-адрес 1 и до контрольной суммы
Адрес шифрования	Address scrambling control	2	Поле равно 00, если нагрузка не зашифрована. В противном случае значение определяется разработчиком
Флаг LLC/SNAP	LLC/SNAP flag	1	Флаг наличия заголовка LLC/SNAP (см. подробнее IEEE 802.2). Если флаг равен 0, значит, инкапсулирован чистый IP-пакет (оптимизация, предусмотренная стандартом DVB)
Индикатор текущий-следующий	Current/next indicator	1	Индикатор равен 1
Номер секции	Section number	8	Если датаграмма состоит из нескольких секций, то это номер текущей секции
Номер последней секции	Last section number	8	Номер последней секции
MAC-адрес 4	MAC address 4	8	4 байта MAC-адреса получателя. Может использоваться для передачи параметра delta-t при использовании таймслайсинга (см. разд. 9.9)
MAC-адрес 3	MAC address 3	8	3 байта MAC-адреса получателя. Может использоваться для передачи параметра delta-t при использовании таймслайсинга (см. разд. 9.9)
MAC-адрес 2	MAC address 2	8	2 байта MAC-адреса получателя. Может использоваться для передачи параметра delta-t при использовании таймслайсинга (см. разд. 9.9)
MAC-адрес 1	MAC address 1	8	1 байт MAC-адреса получателя. Может использоваться для передачи параметра delta-t при использовании таймслайсинга (см. разд. 9.9)

Таблица 9.4 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
LLC_SNAP	LLC_SNAP		См. ISO/IEC 8802-2 Logical Link Control (LLC) и ISO/IEC TR 8802-1
IP-данные	IP datagram data byte	8	Собственно передаваемые данные
Байты набивки	Stuffing bytes	8	Байты набивки. Используются для дополнения секции до нужного размера. Игнорируются при обработке
CRC	CRC	32	CRC

При помощи этой технологии можно передавать как юникастовые (unicast), так бродкастовый (broadcast) и мультикастовые (multicast) потоки. Например, DVB-H построена на передаче мультикастовых потоков через MPE.

DVB-стандарт не описывает, каким образом должны распределяться MAC-адреса между ресиверами, однако по их использованию есть несколько важных рекомендаций. В частности, MAC-адрес может быть использован для идентификации групп ресиверов. При этом рекомендуется помещать часть MAC-адреса, которая идентифицирует ресиверы в группе, в поля MAC-адреса 5 и 6. Обратите внимание, что MAC-адрес разбит на две части, и байты 5—6 размещены ближе к началу пакета. Это сделано для того, чтобы упростить для абонентского устройства фильтрацию по MAC-адресу с использованием аппаратных средств.

MAC-адрес возможно менять динамически, обеспечивая тем самым секретность передачи. Кроме того, при использовании шифрования MAC-адрес будет тоже зашифрован, что дополнительно повышает секретность. Обратите внимание, что в DVB MAC-адрес используется не так, как в компьютерных сетях. В DVB это просто адрес получателя информации (абонентского устройства). Но он сконструирован так, что "классическое" использование его также возможно.

Почему данный способ называется "мультипротокольным"? Потому что в описанную ранее структуру можно поместить любой протокол, снабдив его заголовком LLC/SNAP, описывающим, какой протокол инкапсулируется (об использовании LLC/SNAP см. подробнее стандарт IEEE 802.2).

Система описания MPE в PSI/SI аналогична описанным ранее способам, кроме того, что в поле "Селектор дескриптора передачи данных" передается специальная двухбайтовая структура "Информация о MPE" (MPE information structure). Формат этой структуры приведен в табл. 9.5.

Таблица 9.5. Формат структуры "Информация о MPE"

Название поля	Английское наименование поля	Размер, бит	Описание
Диапазон MAC-адресов	MAC address range	3	Показывает, какие байты MAC-адреса используются для адресации. Могут быть следующие значения: 0x01 — 6; 0x02 — 6, 5; 0x03 — 6, 5, 4; 0x04 — 6, 5, 4, 3; 0x05 — 6, 5, 4, 3, 2; 0x06 — все
Флаг IP-маппинга	MAC IP mapping flag	1	Флаг равен 1, если используется IP-маппинг в MAC-адреса согласно RFC 1112. Значение, равное 0, не оговаривается стандартом
Индикатор выравнивания	Alignment indicator	1	Показывает, к какому значению выполняется выравнивание, если индикатор равен: 0 — к байту; 1 — к двойному слову (4 байта)
Зарезервировано	Reserved	3	Поле равно 111
Максимальное количество секций	Max sections per datagram	8	Максимальное количество секций, которые используются для передачи одной датаграммы. Для IP всегда 1

9.7. Адресация абонентских устройств при помощи IP/MAC

Принцип адресации абонентских устройств описан в гл. 8 стандарта ETSI EN 301192 "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting". Этот принцип применим для способа передачи при помощи MPE, поскольку именно MPE предусматривает передачу данных, адресуемых при помощи IP/MAC-адресации. Принципиальной разницы между MAC и IP нет — в DVB они выполняют одинаковые функции. Далее мы не будем четко разделять IP и MAC.

Каждый изготовитель приставок имеет свой собственный номер (идентификатор) платформы (platform id), который размещается в 5 и 6 байтах MAC-адреса приставки. MAC-адреса назначаются каждым производителем пристав-

вок и уникальны для каждой приставки. MAC-адреса выглядят аналогично MAC-адресам, называемым сетевым устройствам. Поскольку 5 и 6 байт MAC располагаются первыми в датаграмме, то фильтрация по ним выполняется в первую очередь. Это означает, что быстрее всего в абонентском устройстве можно выполнить фильтрацию по номеру платформы.

Приставка не должна обрабатывать все IP-пакеты, которые она получает по сети, а только те, которые предназначены для нее, т. е. адресуются ее MAC-адресом или ее IP-адресом. Следовательно, приставка должна иметь программу, осуществляющую фильтрацию MAC- и IP-адресов.

Здесь надо обратить особое внимание, что подобного рода адресация не обеспечивает секретности передачи информации, поскольку на участке от передающей станции до абонента не выполняется никакая маршрутизация. Таким образом, все IP-пакеты, передаваемые в потоке DVB, принимаются любой приставкой, подключенной к этой сети. И только программа, находящаяся в приставке, определяет, какие пакеты обрабатывать, а какие — нет, в соответствии с MAC-адресом или IP-адресом. Если необходима секретность передаваемой информации, то IP/MAC-адресация должна использоваться совместно с системами условного доступа.

Для обозначения местонахождения и доступности потоков IP/MAC в транспортном потоке MPEG TS используется таблица INT (рис. 9.3), которая размещается в PSI/SI-секциях транспортного потока. Кроме этого, для указания положения INT используются некоторые дескрипторы, которые мы рассмотрим далее.

Таким образом, как видно из этой схемы, сначала при помощи *linkage descriptor* выполняется адресация таблицы бюджетов, затем из нее — PAT и PMT, которые указывают, где нам искать таблицу INT, а собственно из самой таблицы INT при помощи IP/MAC stream location descriptor адресуется PAT и PMT непосредственно самого потока данных и далее — сам этот поток. Эта схема может показаться громоздкой, но она имеет самый общий вид и может быть упрощена в зависимости от конкретной задачи.

Поговорим подробнее о *Дескрипторе присоединения* (*linkage descriptor*) для случая передачи данных. В действительности этот дескриптор является многофункциональным и может служить разным задачам, в основном связанным с адресацией какой-либо дополнительной информации или услуги, связанной с сервисом, который просматривает абонент. Подробное описание "Дескриптора присоединения" см. в стандарте ETSI EN 300468 (разд. 6.2.18) и в описании дескрипторов в данной книге (см. разд. 6.12).

В DVB-DATA используется два варианта "Дескриптора присоединения" (это хорошо видно из рис. 9.4): один дескриптор размещается в NIT и адресует

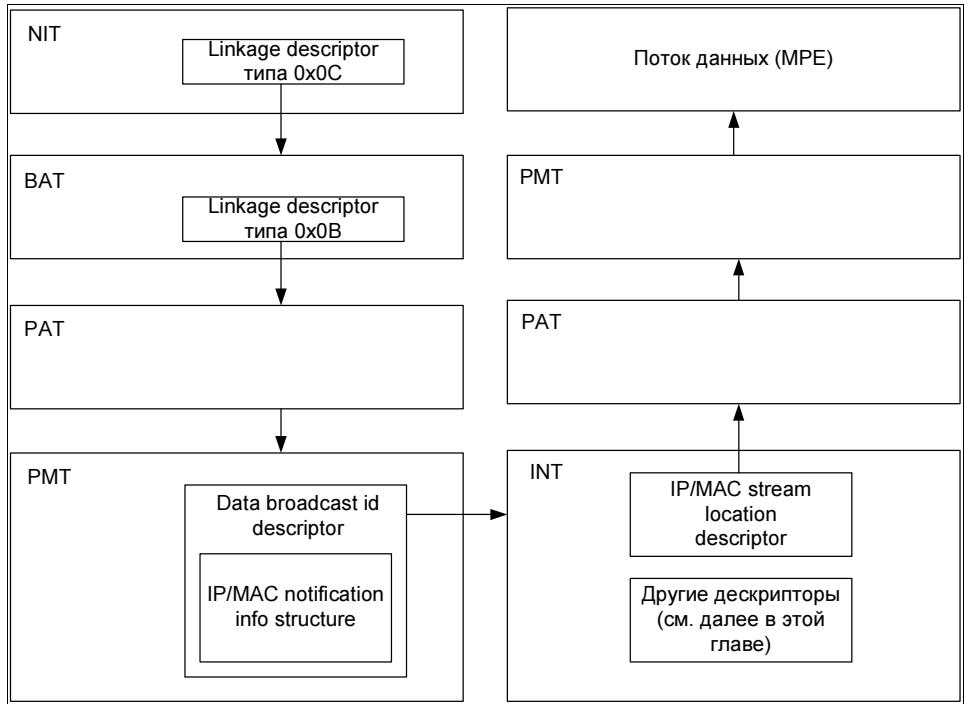


Рис. 9.3. Общий принцип адресации с использованием INT и дескрипторов (согласно разд. 8.4.2 стандарта ETSI EN 301192, с упрощениями)

BAT, а другой размещается в BAT или NIT и адресует PAT. Основным является дескриптор присоединения типа 0x0B. Именно он непосредственно указывает сервис, в котором содержится INT. В ряде случаев, дескриптор для нужного INT (нужной платформы) может оказаться не в текущем транспортном потоке, а в другом. Тогда для указания этого потока используется *Дескриптор присоединения типа 0x0C*.

Например, если мы передаем данные для апгрейда тюнеров компании N , то мы можем разместить эти данные в любом потоке, который может принять абонентское устройство в нашем населенном пункте. Пусть это будет транспортный поток № 1, передающийся на некоем частотном канале (номер канала не важен).

Тогда в NIT потока № 1 мы разместим "Дескриптор присоединения типа 0x0B", а в NIT остальных мультиплексов — "Дескриптор присоединения типа 0x0C", который будет указывать на поток № 1. Таким образом, "Дескриптор присоединения типа 0x0C" (табл. 9.6) сообщает абонентскому устройству компании N , где оно может поискать "Дескриптор присоединения типа 0x0B", чтобы найти апгрейд своего программного обеспечения.

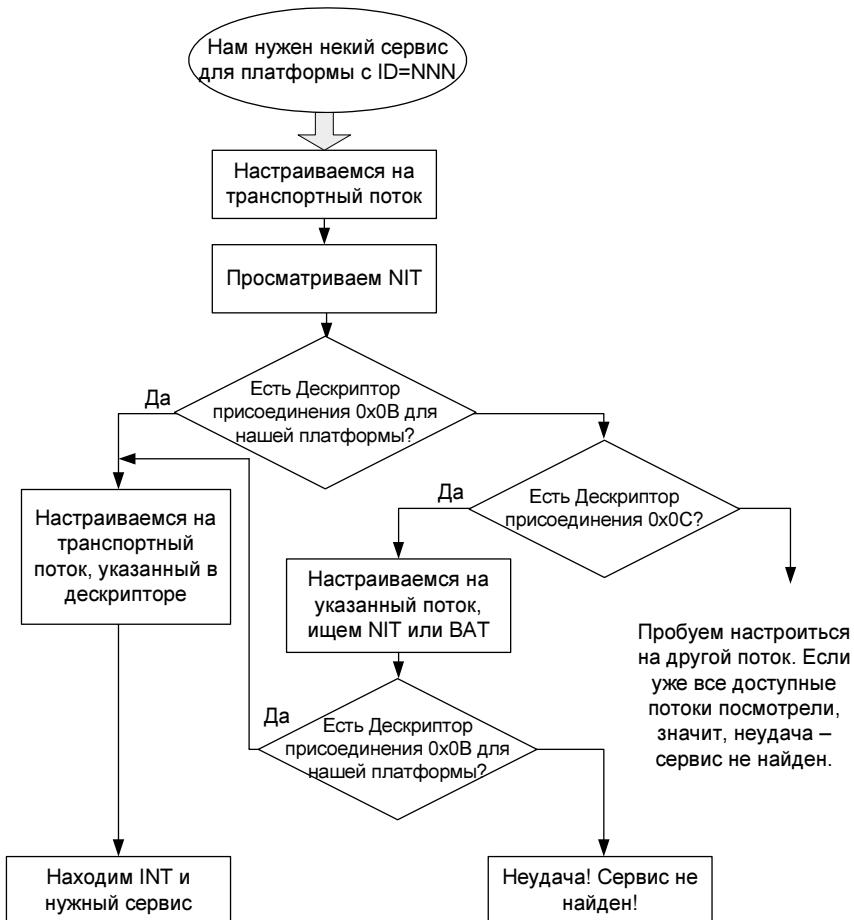


Рис. 9.4. Алгоритм поиска INT (согласно стандарту ETSI EN 301192 разд. 8.2, приведено с упрощениями)

Таблица 9.6. Дескриптор присоединения (Linkage descriptor) типа 0x0C

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x4A
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина данного дескриптора в байтах. На основании этого поля можно вычислить количество пользовательских данных
Идентификатор транспортного потока	Transport stream id	16	Идентификатор транспортного потока, который содержит таблицу INT

Таблица 9.6 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Идентификатор исходной сети	Original network id	16	Идентификатор сети, из которой взята информация для данной сети (возможно использовать при ретрансляции)
Идентификатор сервиса	Service id	16	То же самое, что номер сервиса (программы) в PMT
Тип присоединения	Linkage type	8	Поле равно 0x0C
Тип адресуемой таблицы	Table type	8	Поле может иметь следующие значения: 0x01 — адресуем NIT; 0x02 — адресуем BAT
Идентификатор букета	Bouquet id	16	Идентификатор букета. Это поле имеет место только в том случае, если дескриптор адресует BAT

Приведем описание "Дескриптора присоединения (linkage descriptor) типа 0x0B" для случая, когда он описывает одну-единственную платформу (табл. 9.7). В действительности один дескриптор может содержать данные о нескольких платформах в цикле. Подробнее см. в разд. 8.2.1 стандарта ETSI EN 301192.

Таблица 9.7. Дескриптор присоединения (Linkage descriptor) типа 0x0B

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x4A
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина данного дескриптора в байтах. На основании этого поля можно вычислить количество пользовательских данных
Идентификатор транспортного потока	Transport stream id	16	Идентификатор транспортного потока, который содержит таблицу INT
Идентификатор исходной сети	Original network id	16	Идентификатор сети, из которой взята информация для данной сети (возможно использовать при ретрансляции)
Идентификатор сервиса	Service id	16	То же самое, что номер сервиса (программы) в PMT
Тип присоединения	Linkage type	8	Поле равно 0x0B
Длина данных идентификатора платформы	Platform id data length	8	Длина данных в байтах последующей информации о платформе (в случае нескольких платформ — длина цикла)

Таблица 9.7 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Идентификатор платформы	Platform id	24	Идентификатор платформы. Согласно ETSI распределяется в соответствии с техническим паспортом ETSI TR 101162, который закрепляет идентификаторы за организациями, поставщиками услуг и производителями оборудования
Длина идентификатора имени платформы	Platform name loop length	8	Длина последующей информации о названии платформы
Код языка названия по ISO 639	ISO 639 language code	24	Код языка названия платформы в соответствии со стандартом ISO 639
Длина названия	Platform name length	8	Длина названия платформы в байтах
Название	Platform name	—	Название платформы

Теперь рассмотрим формат таблицы INT (табл. 9.8), содержащейся в одном из потоков, к которому мы так долго добирались при помощи "Дескриптора присоединения".

Таблица 9.8. Формат таблицы INT

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Идентификатор таблицы	Table id	8	Идентификатор таблицы. Для INT всегда равен 0x4C
Индикатор синтаксиса	Section syntax indicator	1	Индикатор равен 1
Зарезервировано	Reserved	1	Поле равно 1
Зарезервировано	Reserved	2	Поле равно 11
Длина секции	Section length	12	Количество байт полезной нагрузки, которые следуют непосредственно за этим полем. Первые два бита этого поля должны быть равны 0. Значение поля не должно превышать 0x3FD
Тип действия	Action type	8	Поле равно 0x01 (остальные значения не используются в DVB и зарезервированы)
Хэш идентификатора платформы	Platform id hash	8	Поле равно: [23–16] XOR [15–8] XOR [7–0], где числа в квадратных скобках обозначают порядковые номера байтов поля Platform id (идентификатора платформы)

Таблица 9.8 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Зарезервировано	Reserved	2	Поле равно 11
Номер версии	Version number	5	Номер версии таблицы. В процессе работы телевизионной станции в таблицу могут вноситься изменения прямо во время работы. В таком случае, этот идентификатор должен быть изменен (инкрементирован). Это должно произойти в тот момент, когда значение поля "Идентификатор последовательности обновления" установлено в 0
Индикатор текущий/следующий	Current/next indicator	1	Индикатор равен 1 в том случае, если передается таблица INT, которая актуальна в настоящий момент, и равен 0, когда передается новая версия таблицы
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции, если INT разбивается на секции. Номер первой секции 0. Номера последующих секций получаются инкрементированием предыдущих
Номер последней секции	Last section number	8	Номер последней секции, если INT разбита на секции
Идентификатор платформы	Platform id	24	Идентификатор платформы IP/MAC (см. начало данного раздела). Значение этого поля назначается согласно ETSI TR 101162 и является идентификатором производителя адресуемых устройств
Порядок обработки	Processing order	8	Порядок обработки в случае, если имеется несколько таблиц IP/MAC для одного идентификатора платформы. Поле равно 0, если текущую таблицу нужно обрабатывать первой, либо порядковый номер в последовательности обработки таблиц для одной платформы. Поле равно 0xFF, если порядок обработки не важен
Цикл дескрипторов платформы	Platform descriptor loop	—	Табл. 9.9
Начало цикла			
Цикл целевых дескрипторов	Target descriptor loop	—	Табл. 9.10
Цикл операционных дескрипторов	Operational descriptor loop	—	Табл. 9.11
Конец цикла			
CRC_32		32	Контрольная сумма

Таблица 9.9. Цикл дескрипторов платформы

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Зарезервировано	Reserved	4	Зарезервировано
Длина цикла	Platform descriptor loop length	12	Длина цикла в байтах
Дескрипторы	Platform descriptors	—	Собственно дескрипторы в соответствии с разд. 8.4 стандарта ETSI EN 301192 (см. далее описания некоторых из них)

Таблица 9.10. Цикл целевых дескрипторов

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Зарезервировано	Reserved	4	Зарезервировано
Длина цикла	Target descriptor loop length	12	Длина цикла в байтах
Дескрипторы	Target descriptors	—	Собственно дескрипторы в соответствии с разд. 8.4 стандарта ETSI EN 301192 (см. далее описания некоторых из них)

Таблица 9.11. Цикл операционных дескрипторов

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Зарезервировано	Reserved	4	Зарезервировано
Длина цикла	Operational descriptor loop length	12	Длина цикла в байтах
Дескрипторы	Operational descriptors	—	Собственно дескрипторы в соответствии с разд. 8.4 стандарта ETSI EN 301192 (см. далее описания некоторых из них)

Стандарт ETSI EN 301192 (разд. 8.4.5) определяет почти два десятка дескрипторов, применяющихся для описания платформы и использующихся в составе цикла дескрипторов платформы. Далее мы рассмотрим только наиболее важные из них (табл. 9.12).

Таблица 9.12. Дескрипторы, применяющиеся в INT (с сокращениями)

Название дескриптора (английское / русское)	Тег	В каких циклах употребляется	Краткое описание
Target smartcard descriptor / Дескриптор смарт-карты	0x06	Целевой	Определяет действие для абонентского устройства с указанным номером смарт-карты. Передает устройству последовательность байтов, которую устройство должно интерпретировать самостоятельно (т. е. функционал определяется разработчиком)
Target MAC address descriptor / Дескриптор MAC-адреса	0x07	Целевой	Адресует одно или несколько устройств по их MAC-адресу. Содержит маску MAC-адреса и собственно набор адресов
Target serial number descriptor / Дескриптор серийного номера	0x08	Целевой	Определяет действие для абонентского устройства с указанным номером. Передает устройству последовательность байтов, которую устройство должно интерпретировать самостоятельно
Target IP address descriptor / Дескриптор IP-адреса	0x08	Целевой	Адресует одно или несколько устройств по IP-адресу, передавая маску и набор IP-адресов
IP/MAC platform name descriptor / Дескриптор названия платформы	0x0C	Платформы	Содержит наименование платформы, для которой предназначена описываемая IP/MAC-платформа
IP/MAC platform provider name descriptor / Дескриптор провайдера платформы	0x0D	Платформы	Содержит наименование поставщика платформы
Target MAC address range descriptor / Дескриптор диапазона MAC-адресов	0x0E	Целевой	Адресует группу MAC-адресов. Содержит верхний и нижний адреса адресуемого диапазона
Target IP slash descriptor / Дескриптор IP-адреса, заданного через слэш	0x0F	Целевой	Адресует одно или группу устройств по их IP-адресам с использованием нотации XXXX.XXXX.XXXX.XXXX/NN
Target IP source slash descriptor / Дескриптор IP-адреса источника, заданного через слэш	0x10	Целевой	Адресует одно или группу устройств по их IP-адресам с использованием нотации XXXX.XXXX.XXXX.XXXX/NN. При этом передаются адреса источника (source) и назначения (destination)
IP/MAC stream location descriptor / Дескриптор местоположения IP/MAC-потока	0x13	Платформы Операционный	Важнейший дескриптор. Точным образом определяет местонахождение потока IP/MAC в DVB-сети (не обязательно в одном транспортном потоке, ведь в сети их может быть и несколько на разных частотных каналах). Адресация выполняется через указание идентификаторов сети, транспортного потока, сервиса и т. п.

Таблица 9.12 (окончание)

Название дескриптора (английское / русское)	Тег	В каких циклах употребляется	Краткое описание
ISP access mode descriptor / Дескриптор доступа к провайдеру	0x14	Платформы Операционный	Указывает способ доступа к поставщику услуг альтернативными путями, т. е. через Интернет, телефонную цифровую сеть и т. п. Может быть использован при организации несимметричного канала связи
Private data specifier descriptor / Дескриптор спецификации пользовательских данных	0x5F	Платформы Целевой Операционный	Используется для определения пользовательских дескрипторов и иных пользовательских данных

В качестве примера дескрипторов рассмотрим "Дескриптор местоположения IP/MAC-потока" (табл. 9.13), "Дескриптор описания MAC-адреса" (табл. 9.14) и "Дескриптор IP-адреса источника", заданного через слэш (табл. 9.15).

Описания всех дескрипторов вы можете найти в указанном стандарте DVB-DATA.

Таблица 9.13. Формат Дескриптора местоположения IP/MAC-потока (IP/MAC stream location descriptor)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Тег	Descriptor tag	8	Тег равен 0x13 (см. табл. 9.7 ранее в этом разделе)
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина дескриптора в байтах
Идентификатор сети	Network id	16	Идентификатор сети. Данные идентификаторы распределяются между операторами связи согласно техническому паспорту ETSI TR 101162
Идентификатор исходной сети	Original network id	16	Идентификатор сети, которая является источником информации для данной сети (например, при ретрансляции)
Идентификатор транспортного потока	Transport stream id	16	Идентификатор транспортного потока, указанный в PAT, в котором содержится искомый поток данных
Идентификатор сервиса	Service id	16	То же самое, что номер программы в PMT
Тег компонента	Component tag	8	Если в транспортном потоке используется "Дескриптор компонентов", то это поле может указывать метку сервиса, устанавливаемую этим "Дескриптором компонентов"

Таблица 9.14. Формат Дескриптора MAC-адреса (*Target MAC address descriptor*)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Ter	Descriptor tag	8	Ter равен 0x07
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина дескриптора (исходя из нее вычисляется, сколько MAC-адресов имеется в списке, указанном далее)
Маска MAC-адреса	MAC addr mask	48	Маска адреса
Список MAC-адресов	MAC addr	48	MAC-адреса

Родственный этому дескриптору "Дескриптор диапазона MAC-адресов" передает нижний и верхний MAC-адреса описываемого диапазона без маски.

Таблица 9.15. Формат Дескриптора IP-адреса источника, заданного через слэш (*Target IP source slash descriptor*)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Ter	Descriptor tag	8	Ter равен 0x07
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина дескриптора (исходя из нее вычисляется, сколько IP-адресов имеется в списке, указанном далее)
IPv4	IPv4 addr	48	IP-адрес (XXXX.XXXX.XXXX.XXXX)
IPv4-маска	IPv4 slash mask	48	Маска IP-адреса (/NN)

В DVB-DATA предусмотрено также и использование протокола IPv6. Дескрипторы для протокола IPv4 существуют в версии для IPv6. Подробнее см. стандарт ETSI EN 301192 (разд. 8.4.5).

PMT также должна содержать указание на сервис передачи данных, как обсуждалось ранее, при помощи размещения в PMT "Дескриптора описания данных" (Data Broadcast id descriptor) с полем "Идентификатор передачи данных" равного 0x000B. Это означает, что данная PMT и дескриптор описывают сервис, содержащий элементарный поток, использующийся для передачи INT. В этом случае "Дескриптор описания данных" (Data Broadcast id descriptor) в поле "Селектор" (Selector) должен содержать приведенную далее структуру IP/MAC notification info structure (табл. 9.16). Каждая такая структура может содержать сведения о нескольких идентификаторах платформ. Подробнее о структуре PMT см. разд. 5.7.

Таблица 9.16. Структура IP/MAC notification info structure для дескриптора Data Broadcast id descriptor в PMT

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Длина данных идентификатора платформы	Platform id data length	8	Длина в байтах последующего цикла (полная)
Цикл по идентификаторам платформ			
Идентификатор платформы	Platform id	24	Идентификатор платформы IP/MAC (см. начало данной главы). Значение этого поля назначается согласно техническому паспорту ETSI TR 101162 и является идентификатором производителя адресуемых устройств
Тип действия	Action type	8	Поле равно 0x01
Зарезервировано	Reserved	2	Зарезервировано. Значение не определено
Флаг версий INT	INT versioning flag	1	Флаг равен 1, если будут использоваться версии для INT. Флаг равен 0, если версии не будут использоваться. В этом случае значение следующего поля несущественно
Версия INT	INT version	5	Версия INT
Конец цикла по идентификаторам платформ			

9.8. Дополнительная защита MPE от помех (MPE-FEC)

Как мы могли видеть из предыдущего материала, MPEG TS не предоставляет никаких механизмов по защите данных. Если в модуляторе цифрового передатчика к передаваемому сигналу добавляется избыточная информация, необходимая для восстановления информации (FEC), то в транспортном потоке не происходит ничего подобного. А зря, поскольку добавление такой информации позволило бы повысить надежность передачи.

Однако, как обсуждалось в гл. 7, добавление "защитной" информации приводит к увеличению объема трафика и, таким образом, нежелательно. Тем не менее, в случае передачи данных надежность необходима и поэтому стандарт ETSI EN 301192 предусматривает введение специального FEC для данных, передаваемых при мультипротокольной инкапсуляции. Данный метод называется *MPE-FEC*. Использование MPE-FEC не является обязательным и остается на усмотрение инженеров оператора связи.

Для MPE-FEC используются коды Рида-Соломона (191, 255), т. е. исходные группы байтов состоят из 191 байта, к ним добавляется 64 байта "защитной" информации и получается 255 байт защищенной информации.

В отличие от канального кодирования DVB в случае MPE-FEC, добавленные "защитные" байты передаются отдельно от защищаемой информации. Таким образом, защищаемая информация остается прежней и к ней добавляется информация, необходимая для восстановления. Такой способ организации информации очень важен, поскольку дает возможность устройству, которое не умеет обрабатывать MPE-FEC, получать информацию, защищенную MPE-FEC — такое устройство будет просто игнорировать дополнительные байты, необходимые для восстановления.

Графически расположение защищаемой информации и кодов восстановления можно представить, как это показано на рис. 9.5 (такое представление называется *кадром MPE-FEC*).

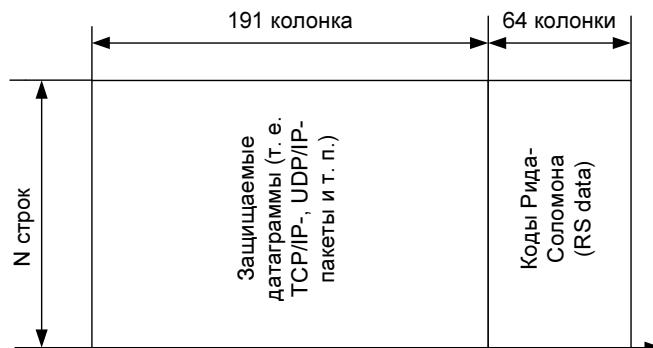


Рис. 9.5. Кадр MPE-FEC

Количество колонок в кадре всегда фиксировано и равно 191, количество рядов может изменяться. Конкретное количество рядов выбирается исходя из битрейта и указывается в "Дескрипторе таймслайсинга и MPE-FEC" (Time slice and FEC identifier descriptor), о котором подробнее будет сказано в следующем разд. 9.9.

Нумерация рядов и колонок начинается с 0 из левого верхнего угла кадра. Байты каждой датаграммы располагаются вдоль колонки сверху вниз. Если датаграмма не хватает для того, чтобы заполнить 191 колонку, то используется *пэддинг (padding)*, т. е. набивка нулевыми байтами до нужного размера. Пэддинг и встречавшийся ранее термин "страффинг" (stuffing) по сути означают одно и то же.

Датаграммы (защищаемые данные) переносятся в MPE-секциях как было описано в предыдущем разделе. Коды же Рида-Соломона к защищаемым

данным размещаются в отдельных секциях MPE, по одной колонке в одной MPE-секции (рис. 9.6). Формат этой секции (табл. 9.17) соответствует формату секции пользовательских (private) данных DSM-CC (ISO 13818-6).

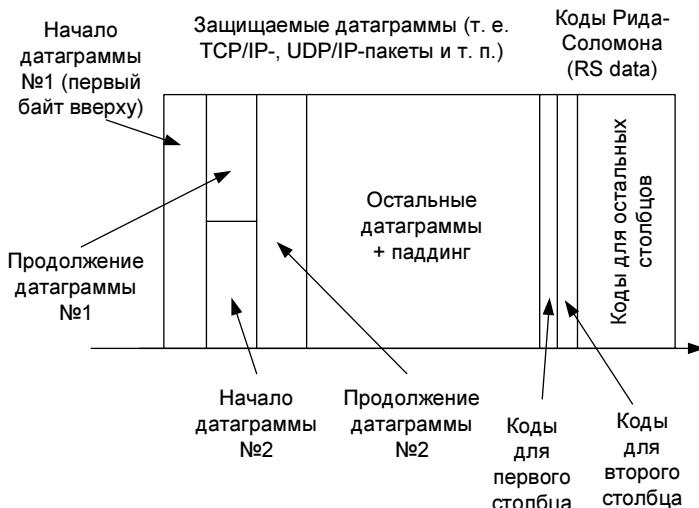


Рис. 9.6. Расположение датаграмм и кодов Рида-Соломона

Таблица 9.17. MPE-секция для передачи MPE-FEC (MPE-FEC section)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Идентификатор таблицы	Table id	8	Идентификатор равен 0x78
Идентификатор синтаксиса таблицы	Section syntax indicator	1	Идентификатор равен 1
Идентификатор пользовательских данных	Private indicator	1	Идентификатор равен 0
Зарезервировано	Reserved	2	Поле равно 11
Длина секции	Section length	12	Количество байт, следующих непосредственно после этого поля. На основании этого поля может быть вычислен размер кодов Рида-Соломона, содержащихся в конце этой секции
Колонки паддинга	Padding columns	8	Величина колонок паддинга (т. е. заполненных нулями) в данном кадре
Зарезервировано	Reserved	15	Поле равно 1111111111111111

Таблица 9.17 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Индикатор текущий/следующий	Current/next indicator	1	Индикатор равен 1
Номер секции	Section number	8	Номер текущей секции, содержащей коды Рида-Соломона для текущего кадра. Секции нумеруются с 0
Последний номер секции	Last section number	8	Номер последней секции, содержащей коды Рида-Соломона для текущего кадра
Параметры реального времени	Real time parameters	32	См. табл. 9.18 далее в этом разделе
Коды Рида-Соломона для одного столбца	RS data bytes	—	Собственно коды Рида-Соломона

Обратите внимание на поле "Параметры реального времени" (Real time parameters). Это поле имеет структуру, которая называется так же, как поле, и содержит очень важную информацию, в частности delta-t (см. разд. 9.9).

Эта структура должна содержаться как в секции MPE, так и в секции MPE-FEC. С MPE-FEC все понятно — описано ранее, а в MPE эта структура размещается в полях первых четырех байтов MAC-адреса. Таким образом, при использовании MPE-FEC адресация устройств возможна только по 5 и 6 байтам MAC-адреса. Это нас ничем не ограничивает, поскольку всегда возможна реализация адресации с использованием IP-адресов.

Таблица 9.18. Параметры реального времени (Real time parameters)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Delta-t	Delta-t	12	Используется в случае, если включен таймслайсинг (см. следующий разд. 9.9). Пример задания delta-t: 0xC00 = 3072 = 30,72 сек. В случае, если таймслайсинг не используется, а применяется только MPE-FEC, это поле используется как циклический счетчик наподобие счетчика continuity counter в транспортном потоке MPEG
Граница таблицы	Table boundary	1	Поле равно 1, когда текущая секция является последней секцией, содержащей коды Рида-Соломона для текущего кадра MPE-FEC
Граница кадра	Frame boundary	1	Поле равно 1, если текущая секция является последней во вспышке (о вспышках — см. следующий разд. 9.9) или в кадре MPE-FEC

Таблица 9.18 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, бит	Описание
Адрес	Address	18	Позиция первого байта текущей секции относительно первого байта кадра MPE-FEC

Обратите внимание, что каждый кадр MPE должен содержать целое число датаграмм, т. е. не допускается дробить датаграммы для передачи в разных кадрах. Кроме того, каждый кадр должен содержать хотя бы одну секцию MPE-FEC.

9.9. MPE и таймслайсинг (time-slice)

Таймслайсинг — это способ передачи цифровых потоков не с равномерной скоростью, а *вспышками* (*bursts*), что позволяет экономить источники питания мобильных устройств. Дело в том, что для небольших мобильных устройств, питающихся от батареи, наиболее сложная проблема — сделать так, чтобы батареи как можно дольше работали. Ради того, чтобы оптимизировать передачу цифрового телевидения DVB для таких устройств, была разработана технология таймслайсинга. Описание данной технологии можно найти в стандарте ETSI EN 301192 гл. 9.

Использование таймслайсинга не является обязательным и остается на усмотрение инженеров оператора связи.

Общая идея метода следующая: элементарный поток, который несет в себе видео- или аудиоинформацию, передается порциями — вспышками. В течение передачи вспышки мобильное устройство включено и работает. Во время между вспышками устройство находится в спящем режиме и энергия не тратится.

Для того чтобы понять, почему возможен такой режим передачи, необходимо принять во внимание, что для мобильных устройств изображение передается с низким разрешением, следовательно, общий битрейт транспортного потока MPEG TS низок и для его передачи можно выбирать наиболее помехозащищенные режимы COFDM, например QPSK (см. разд. 7.15).

Но даже такой выбор оказывается иногда избыточным, т. е. максимальная скорость, которую позволяет использовать выбранный режим модуляции, оказывается больше необходимой. Соответственно, если мы будем передавать поток с максимально возможной скоростью, то периодически будут возникать "простои" в передаче, во время которых приемник можно будет выключить.

Итак, при таймслайсинге поток передается вспышками с максимальной скоростью, которая позволяетться режимом модуляции, в остальное время приемник может быть выключен и не тратит электроэнергию батареи (рис. 9.7).

Не все элементарные потоки в транспортном потоке могут иметь синхронные вспышки — поскольку каждое абонентское устройство в один момент времени декодирует только один сервис.

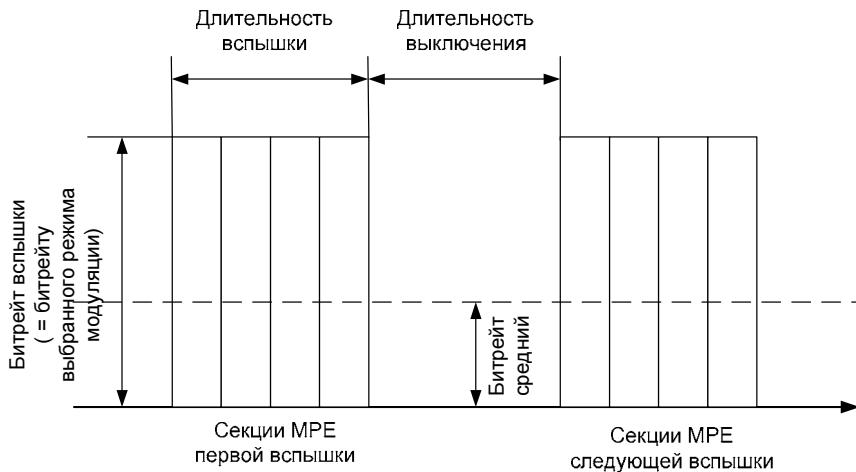


Рис. 9.7. Таймслайсинг — вспышки и выключения

Площадь вспышки представляет собой объем информации, переданной в течение вспышки. Длительность вспышки может составлять десятки—сотни миллисекунд, длительность выключения — несколько секунд.

Выбирая для потоков с небольшими скоростями менее экономичные параметры модуляции (например не QPSK, а 16QAM), можно добиться большей экономии батарей мобильных устройств, поскольку соотношение среднего битрейта и битрейта вспышки будет увеличиваться и, следовательно, будет увеличиваться длительность выключения.

Кроме того, в спящем режиме мобильное устройство способно выполнять функции мониторинга эфира для поиска других ячеек сети мобильного телевидения, сигнал которых может оказаться сильнее по уровню. Эта задача важна при движении мобильного устройства — устройство должно быть способно незаметно для абонента переключаться с приема от одной станции на прием с другой. В случае если есть таймслайсинг, устройство может переключаться в промежуток между вспышками. При отсутствии таймслайсинга для осуществления такого переключения понадобилось бы мобильное устройство с двумя приемниками.

Мобильное устройство принимает вспышку, во время которой в составе передаваемых данных PSI/SI присутствует дескриптор, в котором указан параметр *delta-t*. Этот параметр описывает, через какое время после окончания текущей вспышки начнется новая вспышка (рис. 9.8). Таким образом, устройство "знает", на какой период оно может выключиться.

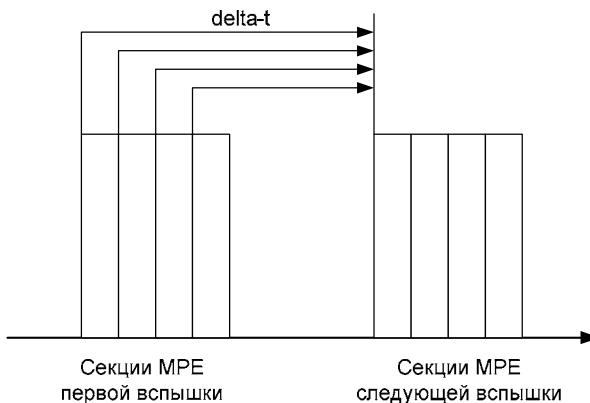


Рис. 9.8. Параметр *delta-t*

Для передачи параметра *delta-t* стандарт предлагает использовать младшие четыре байта MAC-адреса устройства. Дело в том, что в большинстве случаев эти байты не нужны — поскольку устройство отфильтровывает нужные ему пакеты по мультикастовому IP-адресу (или по идентификатору платформы, который передается в старших адресах). Кроме того, для передачи *delta-t* может быть использован "Дескриптор таймслайсинга и MPE-FEC", который будет описан далее.

Поскольку MAC-адрес передается в заголовке каждой MPE-секции (см. разд. 9.7), то и *delta-t* передается в начале каждой секции MPE. При этом всякий раз *delta-t* это время до начала следующей вспышки.

Обратите внимание, что таймслайсинг может использоваться только на потоках, где применяется MPE. При передаче информации PSI/SI таймслайсинг использоваться не может, поскольку PSI/SI не передается в секциях MPE. Таймслайсинг выполняется мультиплексором или модулятором (в системе управления есть соответствующие опции, если устройство поддерживает этот режим).

Обратите также внимание, что потоки, к которым применен таймслайсинг, могут быть легко применены в иерархической модуляции. Также таймслайсинг не препятствует использованию систем условного доступа и применению MPE-FEC.

Для описания таймслайсинга и MPE-FEC используется "Дескриптор таймслайсинга и MPE-FEC" (Time slice and FEC identifier descriptor). Этот дескриптор может быть размещен в NIT, INT или CAT в зависимости от того, к каким потокам применяется FEC или таймслайсинг. Формат дескриптора приведен в табл. 9.19. Подробнее об особенностях использования этого дескриптора см. стандарт ETSI EN 301192 разд. 9.5.

Таблица 9.19. Формат "Дескриптора таймслайсинга и FEC" (Time slice and FEC identifier descriptor)

Название поля	Английское на-звание поля	Размер, байт	Описание															
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x77															
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина дескриптора в байтах после данного поля															
Таймслайсинг	Time slicing	1	Поле равно 1, если в описываемом этим дескриптором элементарном потоке используется таймслайсинг, иначе — 0															
MPE FEC	MPE FEC	2	Поле равно 1, если MPE-FEC используется в описываемом этим дескриптором элементарном потоке. Иначе поле равно 0															
Зарезервировано	Reserved	2	Поле равно 11															
Размер кадра	Frame size	3	<p>Если поле "Идентификатор таймслайса и FEC" равно 0, то значение этого поля задает размер вспышки и количество рядов FEC в соответствии с таблицей:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Значение</th> <th>Размер вспышки, Кбит</th> <th>Количество рядов FEC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0x00</td> <td>512</td> <td>256</td> </tr> <tr> <td>0x01</td> <td>1024</td> <td>512</td> </tr> <tr> <td>0x02</td> <td>1536</td> <td>768</td> </tr> <tr> <td>0x03</td> <td>2048</td> <td>1024</td> </tr> </tbody> </table> <p>Величина размера вспышки может использоваться абонентским устройством, например, для резервирования памяти под буферизацию</p>	Значение	Размер вспышки, Кбит	Количество рядов FEC	0x00	512	256	0x01	1024	512	0x02	1536	768	0x03	2048	1024
Значение	Размер вспышки, Кбит	Количество рядов FEC																
0x00	512	256																
0x01	1024	512																
0x02	1536	768																
0x03	2048	1024																
Максимальная длительность вспышки	Max burst duration	8	Максимальная допускаемая длина вспышки в условных единицах. 1 ед. = 20 мсек															

Таблица 9.19 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Максимальная средняя скорость	Max average rate	4	<p>Это отношение между размером вспышки в байтах и временем между первыми байтами последовательных вспышек. Имеются следующие значения:</p> <p>0000 — 16 Кбит/сек; 0001 — 32 Кбит/сек; 0010 — 64 Кбит/сек; 0011 — 128 Кбит/сек; 0100 — 256 Кбит/сек; 0101 — 512 Кбит/сек; 0110 — 1024 Кбит/сек; 0111 — 2048 Кбит/сек.</p> <p>Остальные значения зарезервированы на будущее</p>
Идентификатор таймслайса и FEC	Time slice FEC id	4	Управляет использованием последующего поля. Однако стандарт не определяет каким образом. Если не предполагается использовать поле "Селектор", то значение этого поля должно быть 0x0
Селектор	Id selector	—	Стандартом не оговаривается. Поле может просто отсутствовать

Для вычисления эффективности таймслайсинга можно использовать следующую формулу, которая приводится в стандарте ETSI EN 101192 (разд. 9.2.3):

$$P(\%) = \left(1 - \frac{\left(B_d + S_t + CA + \frac{3}{4} D_j \right) C_b 0,96}{B_s} \right) \cdot 100\%.$$

Здесь:

- B_d — длительность вспышки в секундах (сек);
- S_t — время синхронизации в секундах. Время синхронизации — это время, которое проходит от момента включения абонентского устройства до начала приема первой МРЕ-секции потока;

- CA — время синхронизации EMM-сообщений в секундах. Это время, которое необходимо для принятия и обработки сообщений EMM-системы условного доступа;
- D_j — джиттер delta-t в секундах. Джиттер, влияющий на точность определения delta-t. По сути не отличается от обычного сетевого джиттера;
- C_b — средняя скорость потока (средний битрейт на рис. 9.7) в битах в секунду;
- B_s — количество информации, передаваемой за одну вспышку, в битах.

Как правило, эффективность P составляет около 90—95%, т. е. тамслайсинг прекрасно справляется со своей задачей. При этом наибольший вклад вносят параметры передачи, времена синхронизации — меньший. Джиттер вносит погрешность не более 2%, т. е. он практически не влияет на эффективность.

При использовании MPE-FEC совместно с таймслайсингом, необходимо, чтобы секции MPE не были распределены между вспышками, т. е. каждая вспышка должна содержать целое число MPE-секций, содержащих данные и коды Рида-Соломона к ним. Кроме того, каждая вспышка должна содержать хотя бы одну такую MPE-секцию.

Также, если необходимо, чтобы до включения абонентское устройство приняло хотя бы одно ECM-сообщение системы условного доступа (сообщение о возможности подписки на принимаемый сервис), устройство может включаться чуть раньше, чем предусмотрено параметром delta-t.

Для того чтобы указать, насколько раньше это включение должно произойти, используется *Дескриптор скорости повтора ECM* (*ECM repetition rate descriptor*), с тегом 0x78, который вставляется в РМТ после "Дескриптора системы условного доступа" (CA descriptor). Подробнее об этом дескрипторе см. в разд. 9.7 стандарта ETSI EN 301192.

9.10. Что такое DSM-CC?

DSM-CC является аббревиатурой Digital Storage Media — Command & Control, т. е. цифровые устройства хранения — команды и управление. DSM-CC — это стандартизированный в документе ISO 13818-6 набор процедур и протоколов.

DSM-CC разрабатывался для управления устройствами записи в абонентских приставках. Первоначально DSM-CC включал инструментарий для передачи команд записывающим устройствам: старт, останов, перемотка ленты и т. п.

Со временем, DSM-CC превратился в объемный набор средств, предназначенный для выбора, осуществления доступа и управления распространяемыми видеоматериалами в цифровом телевидении во всех его формах (IPTV, DVB-C, DVB-S, DVB-T), видео по запросу, конференцсвязи и т. п. В частности, DSM-CC предоставляет способы удаленного управления устройствами: серверами по запросу, плеерами и т. п.

DSM-CC является модульной и может быть приспособлена под приложения, действующие с минимумом ресурсов — таковыми являются, например, абонентские приставки. Функции DSM-CC объединены в условные "функциональные группы", которые разработчик может выбирать в зависимости от имеющихся в устройстве ресурсов и своих задач.

Две большие части DSM-CC составляют наборы средств "Пользователь-Сеть" и "Пользователь-Пользователь". Первый из них необходим для создания соединения пользователя с поставщиком услуг с необходимыми параметрами, второй — для создания таких соединений между абонентами (точка-точка).

К настоящему моменту издано несколько уточнений, корректировок и дополнений к ISO 13818-6. Сам документ достаточно объемен и сложен, поэтому в данной книге мы не будем его рассматривать — это потребовало бы объемов, сравнимых с изложением самого DVB. По возможности, мы будем давать ссылки на оригинальную документацию.

В DVB используются следующие части DSM-CC:

- протокол сессии "Пользователь-Сеть" (U-N);
- хранение файлов, управление потоками, доступ к файлам;
- загрузка контента в интерактивном и вещательном режиме (т. е. обычная "запись с эфира");
- передача данных (карусели данных и объектов).

9.11. Карусели данных

Все рассмотренные ранее способы были "поточными", т. е. информация передавалась при помощи потока данных только один раз, без повторения. А если нам необходимо, допустим, совершить апгрейд программного обеспечения абонентских устройств через эфир? Этих устройств могут быть сотни тысяч, и когда включено каждое из них, заранее неизвестно. Таким образом, существуют приложения, требующие многократной циклической передачи одних и тех же данных. Такие циклы называются *каруселями* (*carousels*).

Посредством каруселей можно передавать самую разнообразную информацию: телетексты, программы передач, коммерческую информацию, файлы или целые каталоги с файлами и т. п.

Для передачи посредством карусели, данные разбиваются на *модули*, согласно организации данных (например, один файл в одном модуле). Модули в свою очередь разбиваются на *блоки*. Блоки передаются внутри *сообщений DSM-CC*, которые, помимо передаваемой информации, содержат описания этой информации: начало или конец передачи блока или модуля, каким образом блоки организуются в модули и т. п.

"Карусель" заключается в том, что модули передаются последовательно и закольцованно, т. е. после последнего модуля опять начинается передача первого и т. д. Информация передается как бы "по кругу".

Модули могут объединяться в *группы*, а группы — в *супергруппы*.

Блок данных передается в составе сообщения *DownloadDataBlock* (DDB), передаваемые данные являются частью этого сообщения (табл. 9.20).

Таблица 9.20. Синтаксис DDB

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Заголовок загружаемых данных	Download data header	—	См. табл. 9.21
Идентификатор модуля	Module ID	2	Идентификатор модуля, которому принадлежит данный блок
Версия модуля	Module version	1	Версия модуля, которому принадлежит данный блок
Зарезервировано	Reserved	1	Должно иметь значение 0xFF
Номер блока	Block number	2	Позиция блока внутри модуля. Нумерация блоков начинается с 0
Блок данных	Block data bytes	—	Собственно блок данных

Таблица 9.21. Заголовок загружаемых данных для DDB

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Идентификатор протокола	Protocol Discriminator	1	Идентификатор равен 0x11
Тип сообщения	dsmccType	1	Поле равно 0x03, что указывает, что данное сообщение — это сообщение загрузки из сети "Пользователь-Сеть" (U-N)
Идентификатор сообщения	Messageid	2	Номер текущего сообщения. Значение этого поля должно быть в пределах 0x0300—0x03FF

Таблица 9.21 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Идентификатор транзакции	Transactionid	4	Это идентификатор DII, которому принадлежит данный DDB. См. описание DII далее
Зарезервировано	Reserved	1	Поле равно 0xFF
Длина адаптации	AdaptationLength	1	Длина в байтах заголовка адаптации (см. далее). Если заголовка адаптации нет, то поле равно 0
Длина сообщения	messageLength	2	Полная длина всего последующего сообщения, номер которого указан полем "Идентификатор сообщения"
Заголовок адаптации	dsmccAdaptation Header	Как указано в поле "Длина адаптации"	В DVB не используется. Заголовок адаптации (в соответствии с табл. 2—4 гл. 2.1 стандарта ISO 13818-6), если поле "Длина заголовка адаптации" ненулевая. В противном случае это поле отсутствует

Теперь мы знаем, как передать блок, но нам также необходимо описать, как блоки организованы в модули. Структура каждого модуля описывается сообщением *DownloadInfoIndication* — *DII*. Это сообщение необходимо для того, чтобы описать, из каких блоков состоит модуль (табл. 9.22).

Таблица 9.22. Синтаксис *DII*

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Заголовок сообщения	dsmccMessageHeader	—	См. таблицу далее
Идентификатор загрузки	downloadid	4	Идентификатор текущей загрузки. Используется в DDB (Идентификатор транзакции), DDR и DC для идентификации загрузки, к которой применяются команды. Этот идентификатор играет роль идентификатора самого сообщения DII. Значение этого идентификатора должно изменяться, если какая-то часть сообщения изменилась
Размер блока	blockSize	2	Длина в байтах каждого блока, который переносится в DDB (возможно, за исключением последнего, который может быть меньше)
Размер окна	windowSize	1	Поле равно 0. В DVB не используется
Период запроса	ackPeriod	1	Поле равно 0. В DVB не используется

Таблица 9.22 (окончание)

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Окно загрузки	tDownloadWindow	4	Поле равно 0. В DVB не используется
Сценарий загрузки	tDownloadScenario	4	Тайм-аут перед загрузкой в микросекундах
Дескриптор совместимости	Compatibility descriptor	—	Поле равно 0x0000. В DVB не используется
Количество модулей	numberOfModules	2	Количество модулей, описание которых следует в цикле далее
Цикл по модулям			
Идентификатор модуля	ModuleId	2	Уникальный номер модуля, который описывается далее в шаге цикла. Номер должен быть уникальным в течение одного и того же значения "Идентификатора загрузки" (downloadid)
Размер модуля	moduleSize	4	Длина модуля в байтах
Версия модуля	moduleVersion	1	Версия описываемого модуля
Длина информации о модуле	moduleInfoLength	1	Длина в байтах следующего поля
Информация о модуле	ModuleInfo	—	Данное поле содержит дескрипторы, описывающие модуль. См. подробнее стандарт ISO 13818-6 разд. 11.3.3.2, а также DVB Document A027 (может быть найден на сайте www.dvb.org). Дескрипторы служат для указания названия модулей, соединения модулей друг с другом и т. п. Дескриптор местоположения и дескриптор соединения описываются далее в этой главе
Конец цикла по модулям			
Длина пользовательских данных	privateDataLength	2	Длина в байтах следующего поля
Пользовательские данные	privateData	—	Содержимое этого поля определяется пользователем

Как видно из табл. 22, поле "Информация о модуле" содержит дескрипторы, которые предоставляют различную информацию о передаваемом модуле: название, время загрузки, информацию о соединении модулей между собой, информацию о PID-пакетов транспортного потока MPEG TS, в которых передаются эти данные и т. п. Обратите внимание, что эти дескрипторы имеют вспомогательное значение.

Дескриптор местоположения (location descriptor) служит для указания PID, на котором передаются описываемые модули, через тег компонента (т. е. через дескриптор компонента в PMT). Формат дескриптора приведен в табл. 9.23.

Таблица 9.23. Дескриптор местоположения для DII (*location descriptor*)

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	1	Тег равен 0x06. Обратите внимание! Теги дескрипторов DII определяются только внутри сообщений DII и не должны использоваться вне DII
Размер дескриптора	Descriptor length	1	Поле равно 1
Местоположение	Location tag	1	Содержит тег компонента, такой же как в дескрипторе компонентов в PMT для данного сервиса

Дескриптор соединения модулей (module link descriptor) служит для указания порядкового номера данного модуля в цепи модулей, содержащих последовательную информацию (табл. 9.24). Данный дескриптор введен для гибкости, поскольку, как мы указывали ранее, модуль содержит логически обособленную часть информации, которая делится на блоки. При помощи этого дескриптора возможно логически связывать различные модули.

Таблица 9.24. Дескриптор соединения модулей для DII (*module link descriptor*)

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	1	Тег равен 0x06. Обратите внимание! Теги дескрипторов DII определяются только внутри сообщений DII и не должны использоваться вне DII
Размер дескриптора	Descriptor length	1	Поле равно 1
Позиция	Position	1	Поле может иметь следующие значения: 0x00 — данный модуль первый в цепочке; 0x01 — данный модуль средний; 0x02 — данный модуль последний в цепочке
Идентификатор модуля	Module id	2	Идентификатор следующего модуля в цепочке. Для последнего модуля значение этого поля должно игнорироваться

Полный список дескрипторов можно найти в стандарте ISO 13818-6 разд. 11.3.3.2, а также в документе DVB Document A027 (доступен на сайте www.dvb.org).

Длина одного DSM-CC-сообщения ограничена 4 Кбайтами. Таким образом, каждое DII-сообщение может содержать описание не более 150 модулей. А если мы передаем файл большего размера? Для этого служит механизм объединения модулей в группы и супергруппы. Данное объединение выполняется при помощи сообщения *DownloadServerInitiate* — *DSI*, описание которого можно найти в стандарте ETSI EN 301192, а также техническом паспорте ETSI TR 101202. Карусели, имеющие более одного сообщения DII в своем составе, называются *двухуровневыми каруселями*, а одно сообщение DII — *одноуровневыми каруселями*.

Приведем примеры схем организации сообщений в одноуровневой и двухуровневой каруселях (рис. 9.9—9.11).

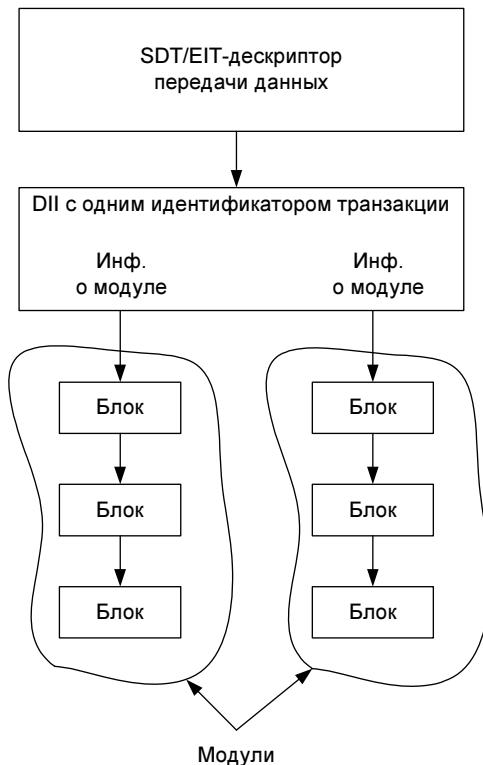


Рис. 9.9. Одноуровневая карусель

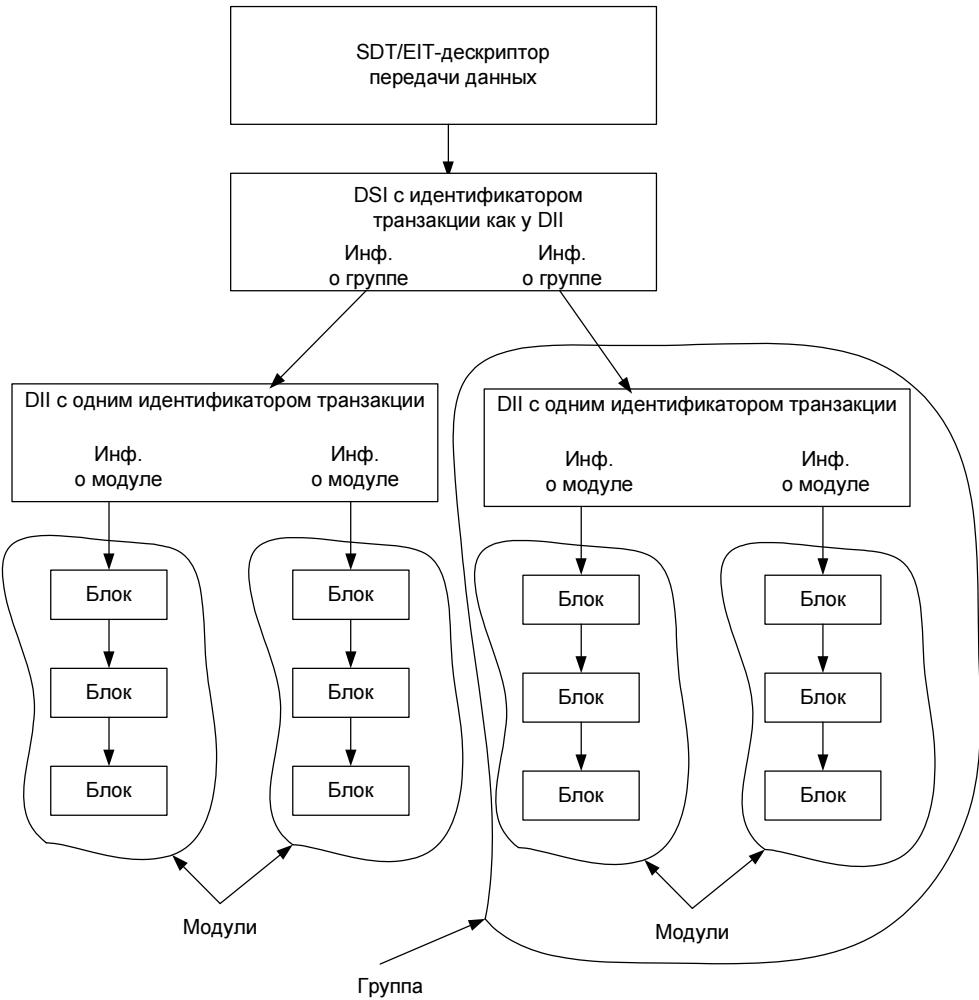


Рис. 9.10. Двухуровневая карусель

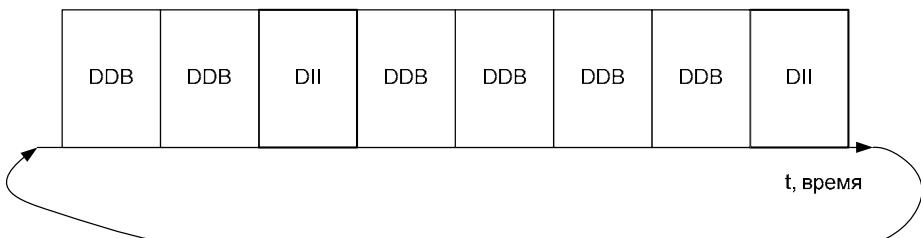


Рис. 9.11. Порядок передачи DDB- и DII-сообщений

Инкапсуляция сообщений DSM-CC в транспортный поток выполняется в соответствии со стандартом ISO 13818-6 в секции пользовательских данных (private section), предусмотренные стандартом транспортного потока MPEG.

Для указания на карусель в PSI/SI используется *дескриптор передачи данных* (см. разд. 9.2). При этом поле "Идентификатор передачи данных" должно иметь значение 0x0006, тег компонента должен соответствовать тегу компонента в дескрипторе компонентов (здесь нет отличия от других способов передачи данных). Длина селектора должна быть равна 0x10, а само поле "Селектор" — содержать *Структуру информации о карусели данных* (табл. 9.25).

Таблица 9.25. Структура информации о карусели данных
(*Data carousel info structure*)

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Идентификатор типа карусели	Carousel type ID	2	Идентификатор равен 01, если карусель одноуровневая, или равен 10, если карусель многоуровневая
Зарезервировано	Reserved	6	Поле равно 111111
Идентификатор транзакции	Transaction ID	32	Номер транзакции (верхнего уровня), DS1 или DII, которое необходимо принимать. Если поле равно 0xFFFFFFFF, значит, все сообщения DS1 и DII, которые есть в потоке, должны приниматься и обрабатываться абонентским устройством
Тайм-аут для DS1	Timeout value DS1	32	Тайм-аут для приема сообщений DS1 в миллисекундах
Тайм-аут для DII	Timeout value DII	32	Тайм-аут для приема сообщений DII в миллисекундах
Зарезервировано	Reserved	2	Поле равно 11
Скорость утечки	Leak rate	22	Скорость утечки байтов карусели из буфера стандартного декодера T-STD

Тип потока в РМТ должен быть установлен в значение 0x0B или в значение, установленное пользователем.

9.12. Карусели объектов

Карусели объектов достаточно сложная тема, требующая отдельной книги. Спецификация сообщений и структура информации в таких каруселях подпадает не только под стандарт DSM-CC, но и под другие стандарты, в частности

под спецификации консорциума OMG — Группа управления объектами (Object Management Group, www.omg.org).

Суть каруселей объектов проста. Это технология на базе каруселей данных, позволяющая осуществлять передачу файловой системы (т. е. файлы и каталоги) через односторонние каналы связи. По сути дела, карусели объектов позволяют создавать структуру данных, подобную файловой системе в режиме непрерывной передачи потока информации DVB, т. е. транспортного потока.

Давайте вспомним, что карусели данных передают данные в блоках сообщений DDB, но при этом не предъявляется никаких требований к самим данным — данные могут быть любыми и представленными в любом виде. Что делать с этими данными — вопрос разработчиков, что может ухудшать совместимость оборудования.

В каруселях объектов данные предстают в виде объектов, описанных определенным образом (в соответствии со спецификацией *CORBA* консорциума OMG). Сделано это опять же по причинам обеспечения совместимости с разработками различных производителей. CORBA предоставляет набор спецификаций для описания объектов, которые являются универсальными для разных способов передачи информации — не только для DVB.

Описания объектов и сами объекты передаются с использованием каруселей данных, т. е. в сообщениях DDB. Таким образом, карусели объектов представляют собой надстройку над каруселями данных.

Каждый объект внутри DDB-сообщения представлен в виде сообщения протокола *BIGOP* (Broadcast Inter-ORB Protocol), вид которого определяется спецификацией CORBA.

В каруселях данных DVB могут передаваться следующие объекты: файлы (сообщения *BIOP::FileMessage*), каталоги (сообщения *BIOP::DirectoryMessage*), потоки (сообщения *BIOP::StreamMessage*), события (сообщения *BIOP::StreamEventMessage*), сообщения доступа (gateway).

Файлы — это объекты, которые содержат полезную нагрузку. Подобно файлам в персональном компьютере.

Каталоги (директории, фолдеры) — объекты, содержащие ссылки на группу передаваемых файлов. Таким образом, функции этого объекта идентичны функциям каталога в файловой системе персонального компьютера.

Потоки — объект содержит ссылку на потоки MPEG, передаваемые в текущем транспортном потоке или иных транспортных потоках. Обратите внимание на важность этого объекта. Он позволяет программам адресовать сервисы в транспортном потоке.

Помимо объектов файловой системы, карусели объектов могут передавать события, т. е. некоторые сообщения для выполнения активных действий: переключения с канала на канал, вывода сообщений и т. п. Однако события не обязательно должны вызывать какие-то активные действия. Событием, например, может быть информация о точном времени.

9.13. Сервисы на базе каруселей (*middleware*)

Механизм каруселей дает возможность разработчикам создавать совместимые приложения для абонентских устройств. Чем же удобнее карусели, по сравнению с, допустим, конвейерной передачей? Ведь казалось бы, карусели, особенно карусели объектов, имеют сложную архитектуру. Да, способ организации карусели кажется сложным, но он стандартизирован. А это значит, что разработанное кем-либо программное обеспечение, использующее карусели, будет совместимо с большим количеством устройств, поддерживающих эти карусели. В случае же использования конвейерной передачи способ представления данных может быть разным у разных производителей, что будет угрожать совместимости.

Но использование каруселей все равно не даст полной совместимости. Карусели позволяют передавать файлы, каталоги, события — но какие файлы, какие каталоги, какие события? Как их использовать? Какая информация содержится в этих файлах? Карусели дают возможность передавать эти файлы, но не использовать ту информацию, которая в них содержится.

Чтобы определить порядок использования передаваемых файлов, были разработаны несколько решений, на базе которых строятся различные дополнительные услуги, представляющие особую ценность цифрового телевидения DVB — интерактивное телевидение, телемагазины, игры, видео по запросу и т. п.

Как мы хорошо знаем из компьютерной сферы, способ представления информации определяется программным обеспечением. Таким образом, задача дальнейшей стандартизации обмена данными — это задача стандартизации программного обеспечения абонентских устройств и серверов, а точнее говоря, стандартизация библиотек, которые могут быть использованы для разработки и исполнения программного обеспечения.

Разработки, которые давали бы возможность программистам писать совместимые программы для приставок, было выполнено не так уж и много. Самая известная из них, стандартизированная ETSI-технология — *мультимедийная платформа для дома (Multimedia Home Platform — MHP)*. Также широко известны *Java TV*, *MHEG* и др.

Подобного рода программный интерфейс API также называют *middleware*, подчеркивая его промежуточное положение между "железом" приставки и программой, которая выполняется этой приставкой. Приобретая приставку, в которой содержится middleware для МНР, вы, таким образом, получаете возможность пользоваться услугами поставщика услуг цифрового телевидения с использованием МНР. Конкретные программы и данные, которые необходимы для оказания услуг, могут быть загружены в абонентское устройство при помощи каруселей и выполнены при помощи "зашитого" в устройство middleware.

9.14. Мультимедийная платформа для дома или МНР (Multimedia Home Platform)

Мультимедийная платформа для дома (*Multimedia Home Platform* — *MHP*) это middleware, т. е. программное обеспечение, представляющее собой набор средств, необходимых для выполнения на абонентских устройствах DVB различного рода приложений. По сути своей МНР — это программный интерфейс (*Application Program Interface* — *API*) абонентского устройства.

Мультимедийная платформа для дома — МНР — определяется спецификацией ETSI TS 101812 "Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP)", которая составляет почти 800 страниц.

МНР позволяет разработчикам программного обеспечения создавать свои приложения, выполняемые приставкой. При этом данные, необходимые для работы приложения, могут быть переданы в составе транспортного потока MPEG при помощи любого из способов передачи данных по сетям DVB. Как правило, используются карусели объектов.

В первую очередь МНР описывает, каким образом может работать приложение, какие возможности использовать, какому "поведению" следовать, каким образом поставщик услуг может известить абонента о наличии тех или иных услуг и приложений и т. п.

МНР предоставляет доступ к различным функциям абонентского устройства, подобно тому, как системный API предоставляет доступ к "железу" компьютера, выводу информации на экран и другим функциям.

Приложения МНР могут быть написаны на языках Java или HTML. МНР вводит некоторые дополнения в каскадные стили CSS, а также в ECMAScript (базовый стандартизованный язык программирования, на основе которого разработан Javascript). Java, применяемая в DVB, называется DVB-J.

Грубо говоря, в этой архитектуре абонентское устройство представляет собой что-то подобное интернет-браузеру, а исполняемое приложение — апплету (applet).



Рис. 9.12. Структура мультимедийной платформы для дома — МНР

Из рис. 9.12 видно, что возможно расширение интерфейса API при помощи плагинов (plug-ins) двух типов — А и В. Функционал этих плагинов ясен из рис. 9.12. Сам формат плагинов в МНР не описывается, но предусматривается возможность их использования.

На данной иллюстрации (рис. 9.13) ресурсы — это любые ресурсы вообще, не только "железо" приставки. Некоторые ресурсы могут быть доступны через приставку (например, соединение с Интернетом).

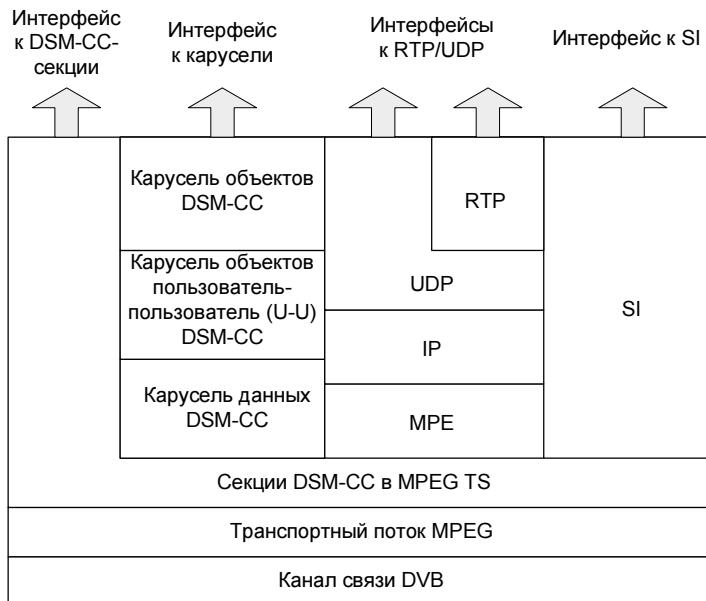


Рис. 9.13. Стек протоколов МНР

Если приложение пытается получить данные, закрытые системой условного доступа через эти протоколы, то приставка должна сама инициировать сессию для дескремблирования без специального запроса.

Для организации интерактивного телевидения необходим обратный канал. Независимо от того, каким образом он организован, стек протоколов обратного (интерактивного) канала выглядит, как показано на рис. 9.14.

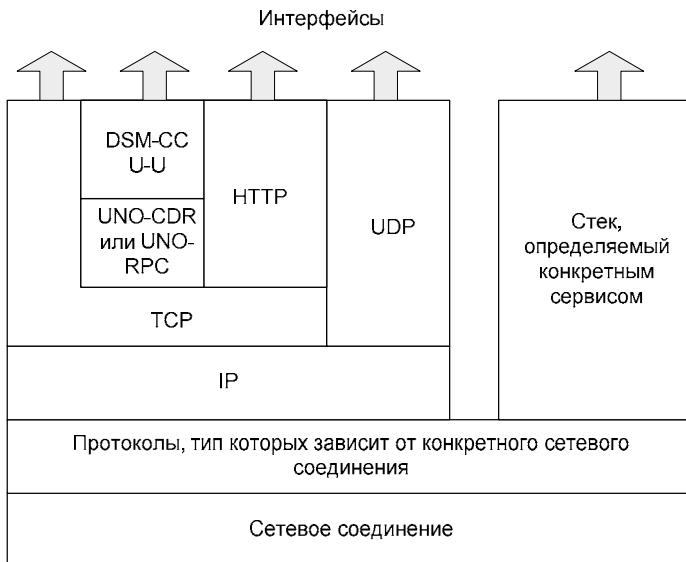


Рис. 9.14. Стек протоколов обратного канала MHP

Здесь:

- UNO-CDR — это общий формат представления данных (Common Data Representation), определенный упомянутой ранее спецификацией CORBA;
- UNO-RPC — соответственно протокол RPC (Remote Procedure Call, адаптированный той же CORBA);
- UNO — это аббревиатура от Universal Networked Object — универсальный объект, передаваемый по сети.

MHP определяет также множество типов данных, которые могут быть использованы приставками. Это всем известные графические форматы PNG, JPG и т. д., потоки MPEG, загружаемые шрифты. Как правило, сам MHP не определяет новых форматов данных, но предоставляет механизмы работы с распространенными форматами.



ГЛАВА 10

Системы условного доступа

10.1. Общие сведения

Система условного доступа (*Client Access System — CAS*) — это набор методов, позволяющих регулировать доступ зрителей к передаваемым программам: разрешать, запрещать или ограничивать.

Необходимость использования систем условного доступа напрямую связана с авторским правом, различными способами передачи права на просмотр. Например, владелец авторских прав на кинофильм может потребовать плату за его просмотр с каждого владельца абонентской приставки. В этом случае система условного доступа должна разрешить воспроизводить кинофильм только тем владельцам приставок, которые заплатили за просмотр.

Существует несколько моделей оплаты просмотра телевизионных программ и прослушивания радиопередач.

- Свободный доступ (*Free-to-air — FTA*) — т. е. бесплатно. Система условного доступа не используется.
- Подписка (*subscription*). Покупка просмотра на определенный продолжительный период времени одного или нескольких телевизионных каналов. Возможно проведение оплаты на периодическом базисе, т. е. ежемесячно, ежеквартально и т. п.
- Плата за просмотр (*pay-per view — PPV*). Плата за просмотр определенной программы. При этом возможны варианты предварительной оплаты (классический PPV) или помещения некоторого количества денег на баланс и просмотра передач с корректировкой баланса (побудительный или Impulsive PPV).
- Видео по запросу (*Video-on-Demand — VoD*). Когда в потоке по вашему заказу передается заранее оплаченный вами материал. Данная модель яв-

ляется универсальной и не относится исключительно к цифровому телевидению.

Ограничение доступа абонентов к просмотру производится путем шифрования (скремблирования, scrambling) передаваемых телевизионных программ. Для выполнения шифрования используется устройство, которое называется *скремблер*. Скремблер часто бывает частью мультиплексора.

Для доступа к скремблированной программе абонентской приставке необходимо иметь особый цифровой код (ключ) для расшифровки и дешифратор (*дескремблер*). Дешифратор представляет собой отдельное цифровое устройство, которое вмонтировано в абонентское устройство и принцип работы которого является секретным.

Цифровой код (ключ) передается на абонентское устройство только в том случае, если его владелец имеет соответствующие права на просмотр. Получив такой код, абонентское устройство становится способным начать воспроизведение телевизионной программы или радиопрограммы.

В действительности, передается не один код, а несколько особым образом организованных кодов, что делает возможность нелегального просмотра (взлома) практически неосуществимой. Мы подробнее поговорим об этом позже.

Система условного доступа может выборочно шифровать одну или несколько программ, а также элементарных потоков, которые входят в состав программ. Например, телевизионная передача может содержать звуковое сопровождение на нескольких языках, содержащихся в разных элементарных потоках, и вещание на дополнительном языке может предоставляться за отдельную плату. В этом случае шифруется только тот поток, за который владелец прав хочет получать отдельную плату.

Еще одна особенность систем условного доступа в DVB — *одновременное кодирование* (*Simulcrypt*). Одновременное кодирование — это принцип, в соответствии с которым на одном и том же сервисе могут использоваться системы условного доступа разных производителей, т. е. как бы выполняется одновременная кодировка разными системами одних и тех же телепрограмм. Далее мы также рассмотрим, за счет чего удается этого добиться.

Поскольку в процессе изготовления абонентского устройства, как правило, неизвестно, какая именно система условного доступа будет использоваться оператором связи, к которому будет подключен абонент, то дешифратор системы условного доступа обычно не встраивают непосредственно в приставку. Приставка оборудуется *модулем общего интерфейса* (*common interface module* — *CI-module*), в который помещается *смарт-карта* (*smartcard*). При этом CI-модуль имеет процессор, позволяющий выполнять дешифровку, а смарткарта содержит информацию, необходимую для дешифровки.

10.2. Общая структура системы условного доступа

Система условного доступа содержит несколько подсистем (рис. 10.1):

- Исходные потоки, которые необходимо скремблировать. Собственно, это исходный материал — те сервисы, которые необходимо сделать платными.

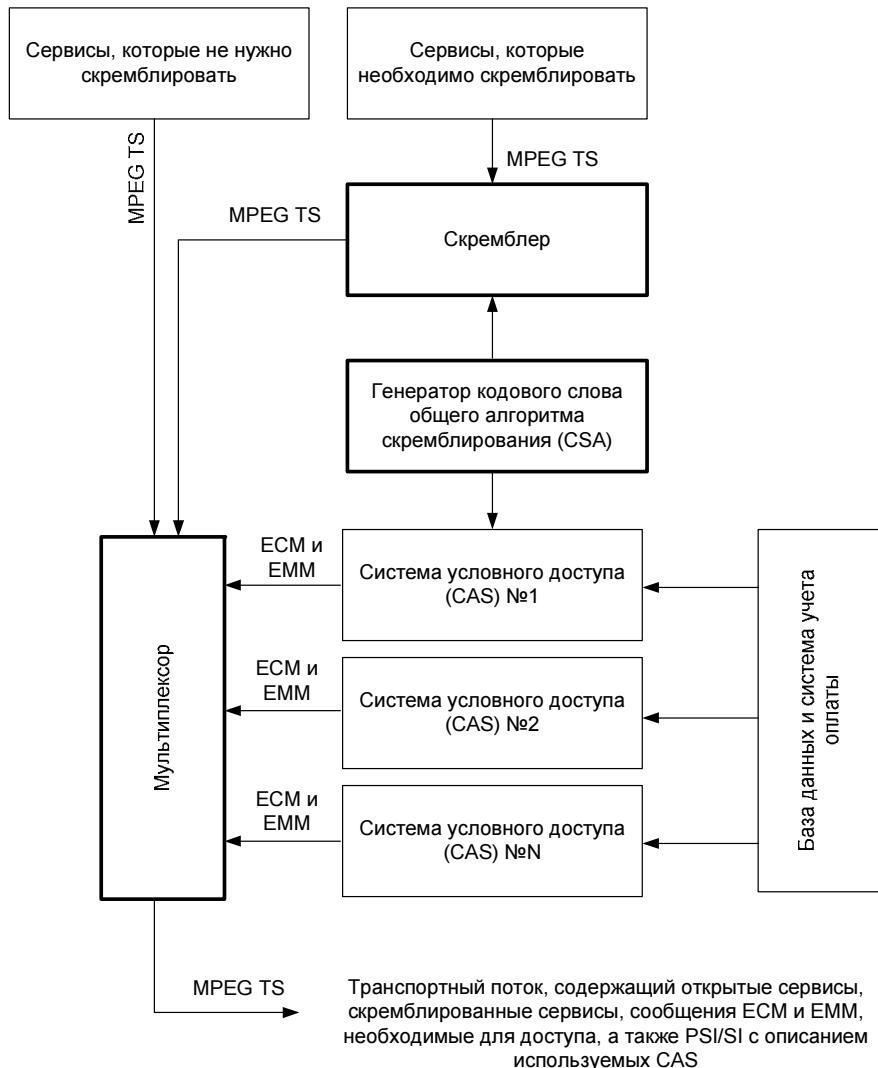


Рис. 10.1. Устройство хедэнда с системой условного доступа

- Система учета платежей абонентов: база данных, содержащая сведения об абонентах и их платежах. Стандарт DVB не рассматривает эту подсистему.
- Система выработки критериев доступа. Эта система на основании информации, предоставляемой системой учета платежей, генерирует *ЕММ-сообщения*. Эти сообщения передают на абонентские устройства сведения о правах, которые устройство получает. Например, о том, какие телепрограммы куплены абонентом и могут быть воспроизведены.
- Генератор кодового слова. Должен генерировать последовательность битов (слово), которое затем будет использовано для шифрования потока и генерации *ЕСМ-сообщений* системами условного доступа, которые использует оператор связи. Последовательность должна быть максимально случайной, т. е. такой, чтобы потенциальный взломщик не мог ее разгадать.
- Системы условного доступа различных производителей, используемые в режиме одновременного кодирования. Получают от генератора кодового слова кодовое слово, шифруют его собственным кодовым словом и формируют сообщение ЕСМ, которое затем передается на абонентское устройство.
- Мультиплексор — объединяет скремблированные сервисы, сообщения ЕСМ, ЕММ в один транспортный поток. Зачастую скремблер и генератор кодового слова могут являться частью мультиплексора.

Сервисы, которые необходимо скремблировать (видео, аудио), подаются на скремблер, который при помощи кодового слова шифрует их. На выходе скремблера выбранные сервисы невозможно будет воспроизвести без дешифрования.

Кодовое слово (codeword — CW) — это битовая последовательность, которая необходима скремблеру для шифрования. Каким образом осуществляется это шифрование — секрет. Хотя современные системы условного доступа организованы таким образом, что даже зная кодовое слово, будет нелегко расшифровать сервисы. В DVB для шифрования используется *общий алгоритм шифрования (Common Scrambling Algorithm — CSA)*. Хотя этот алгоритм не является общедоступным, основные принципы его известны. Тем не менее, до сих пор нет метода его взлома.

Основная сложность, которая встает на пути хакера при взломе CSA, это то, что кодовое слово часто изменяется (несколько раз в минуту). Таким образом, взломав систему один раз, через небольшой промежуток времени придется делать это снова.

После того как сервис зашифрован, необходимо каким-то образом передать кодовое слово дескремблеру, который находится в абонентской приставке,

для того, чтобы выполнить дешифрование сервиса, когда пользователь захочет им воспользоваться (т. е., например, посмотреть телепрограмму).

Кодовое слово передается также в зашифрованном виде. Для шифрования кодового слова используется метод, определяемый каждой конкретной системой условного доступа, т. е. для шифрования сервисов используется кодовое слово CSA, а для шифрования этого кодового слова — алгоритм конкретной системы условного доступа. За счет этого и удается совмещать несколько систем условного доступа на одном сервисе.

Система условного доступа шифрует кодовое слово при помощи своего собственного кодового слова, которое также часто изменяется. Это кодовое слово называется *сервисным ключом (service key)*. Собственное кодовое слово системы условного доступа также шифруется при помощи еще одного кодового слова, которое также может изменяться со временем. Это последнее кодовое слово называется *пользовательским ключом (user key)*. Оператор связи должен иметь базу данных пользовательских ключей всех своих абонентов.

Таким образом, задача несанкционированной расшифровки становится совсем непростой. По сути дела, для взлома сервиса необходимо узнать несколько кодовых слов, которые изменяются через короткие (и разные) промежутки времени.

Зашифрованное кодовое слово передается дескремблеру в абонентской приставке при помощи так называемых *ECM-сообщений (ECM — Entitlement Control Message)*. Если на мультиплексе установлено несколько систем условного доступа, то каждая из этих систем получает от скремблера кодовое слово, шифрует его при помощи сервисного ключа и посыпает в своем сообщении ECM. Сообщения ECM от каждой системы образуют элементарный поток (PES), который передается в составе транспортного потока в пакетах с определенным идентификатором PID. Сколько систем условного доступа работает в каждом транспортном потоке, столько будет потоков ECM-сообщений (каждый на своем отдельном PID). Схема генерации ECM сообщений показана на рис. 10.2.

Сервисные ключи, зашифрованные при помощи пользовательских ключей, передаются на абонентскую приставку при помощи EMM-сообщений (*EMM — Entitlement Management Message*). Эти сообщения передаются в элементарном потоке (PES), в транспортном потоке также на отдельном PID (рис. 10.3).

А каким образом приставка получает пользовательский ключ? Он содержится на смарт-карте, которую использует абонент, либо тюнер содержит встроенный пользовательский ключ в самом дескремблере.

Поток EMM-сообщений содержит зашифрованные сервисные ключи не для всех абонентов сети, а только для тех, которые оплатили использование сервиса. Значения пользовательских ключей должны содержаться в базе данных системы учета абонентов, которая находится у оператора связи.

Таким образом, злоумышленник, получивший кодовое слово, не сможет его расшифровать, не имея сервисного ключа. Получив сообщение EMM, он также не сможет его расшифровать, потому что не имеет пользовательского ключа. Взлом системы возможен только в случае, если злоумышленник будет знать пользовательский ключ и алгоритм применения этого ключа для расшифровки EMM-сообщения, а также алгоритм расшифровки кодового слова при помощи сервисного ключа. Таким образом, основное слабое место системы условного доступа — это алгоритм применения пользовательского ключа и само значение этого ключа. Если этот алгоритм реализуется с использованием специализированной микросхемы, то устойчивость к взлому становится выше.

Обратите внимание, что структура потоков ECM или EMM стандартом не определена. Эта структура определяется разработчиками систем условного доступа самостоятельно, что также положительно сказывается на секретности.

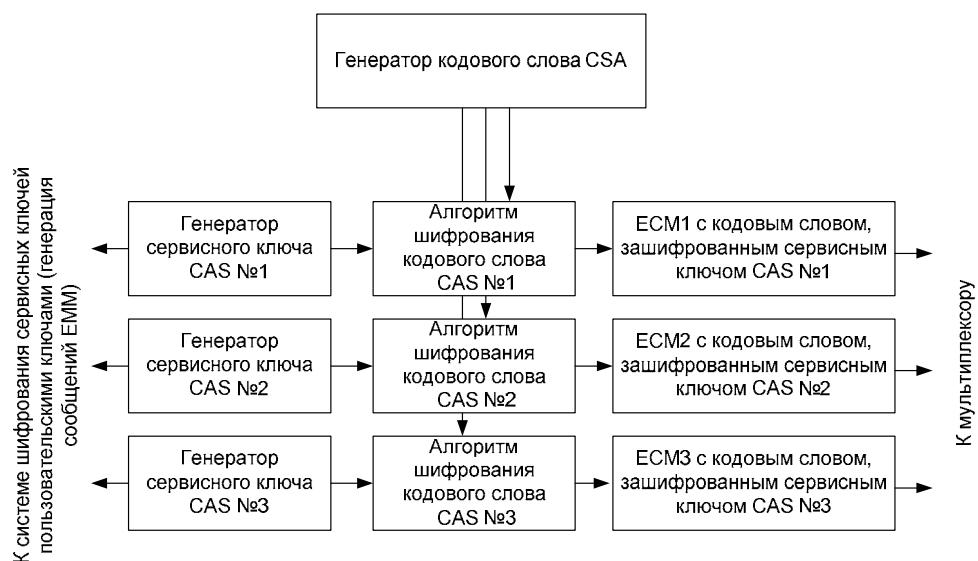


Рис. 10.2. Схема генерации ECM-сообщений

Получая значение сервисного ключа и значения пользовательских ключей тех абонентов, которые имеют доступ к скремблированным сервисам, система

ма условного доступа генерирует EMM-сообщения для каждой системы условного доступа.

Обратите внимание, что PSI/SI-информация об используемых системах CAS содержится в таблице CAT, содержащей дескриптор системы условного



Рис. 10.3. Схема генерации EMM-сообщений

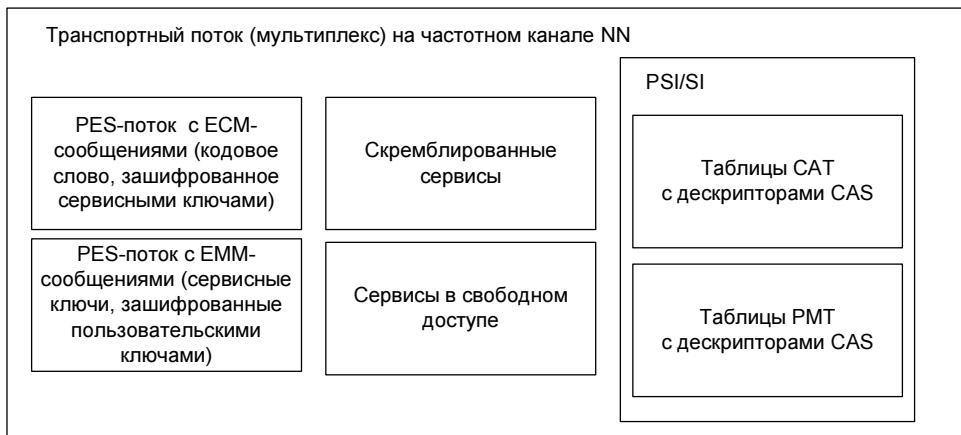


Рис. 10.4. Транспортный поток на выходе мультиплексора с CAS

доступа (рис. 10.4), а также в таблице РМТ, содержащей подобный же дескриптор. Об этом дескрипторе мы поговорим далее в этой главе.

10.3. Стандарты ETSI, касающиеся систем условного доступа

Сам общий алгоритм кодирования (CSA) запатентован и свободно не распространяется. Для получения описания этого алгоритма необходимо подписание соглашения с ETSI, которое предусматривает защиту алгоритма от распространения. Однако, как указывалось ранее, знание непосредственно алгоритма не означает возможность автоматически осуществлять декрембелирование.

Сообщения ECM и EMM не являются запатентованными, и их структура не оговаривается стандартами. Каждый производитель систем условного доступа определяет вид этих сообщений самостоятельно.

Стандартом ETSI TS 101197 "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB SimulCrypt; Head-end architecture and synchronization" ("Цифровое телевидение: Simulcrypt, архитектура и синхронизация" устанавливается схема взаимодействия различных функциональных частей (entity) оборудования системы условного доступа, работающего в режиме Simulcrypt. Развитие этой архитектуры описано в ETSI TR 102035 "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines of the DVB Simulcrypt Standard" ("Цифровое телевидение: Руководство по реализации стандарта Simulcrypt").

Консорциум DVB также выпустил собственные рекомендации по реализации Simulcrypt, которые приведены в документе (т. н. "Голубая книга" — bluebook) DVB A045 "Head-End Implementation of SimulCrypt". Этот документ дублирует упомянутые выше документы.

Основным образом эти стандарты описывают логическую организацию головной станции (headend) системы условного доступа и протоколы, которые используются для обмена данными внутри головной станции.

10.4. Размещение ECM и EMM в элементарном потоке

Стандарт ISO 13818-1 (см. табл. 2-17 этого стандарта и пояснения к таблице) указывает, что ECM- и EMM-сообщения передаются в элементарных потоках PES, и указывает синтаксис этих потоков (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Синтаксис элементарного потока ECM или EMM

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Префикс начала пакета	Packet start code prefix	24	Префикс равен 0x000001
Идентификатор потока	Stream_id	8	Значение поля Stream_id должно быть установлено в значение 11110000 (0xF0), в случае, если передается ECM, и 11110001 (0xF1), если передается EMM
Длина пакета PES	PES packet length	16	Длина текущего пакета в байтах
Сообщения ECM или EMM		—	Собственно, информация ECM или EMM

Кроме того, скремблировано содержимое пакета транспортного потока или нет, должно быть указано в заголовке этого пакета TS в поле *transport scrambling control*. Нулевое значение этого двухбитового поля означает, что пакет не скремблирован, отличное от нуля — определяется разработчиком системы условного доступа.

Также, скремблировано или нет содержимое элементарного потока PES, должно быть указано в заголовке пакета PES в двухбитовом поле "PES scrambling control". Значение этого поля равно 0, если содержимое текущего PES-пакета не скремблировано, в противном случае значение поля определяется разработчиком системы условного доступа.

10.5. Стандартная структура головной станции Simulcrypt

Функциональная структура головной станции системы условного доступа в соответствии со спецификацией ETSI TS 101197 приведена на рис. 10.5. Сравните ее со схемой на рис. 10.1.

Расписание событий (EIS — Event Information Scheduler) — функциональный блок, отвечающий за широкий спектр вопросов, связанных с распределением времени. Определяет, когда генерируются ECM-сообщения, и предоставляет генератору ECM всю необходимую информацию. Содержит базы данных информации, которая необходима для работы всей головной станции. Как видите, функции достаточно "расплывчатые".

Синхронизатор Simulcrypt (Simulcrypt synchronizer — SMS) — генерирует запросы, ответами на которые являются кодовое слово и сообщение ECM для

различных используемых систем. Осуществляет передачу ECM и кодового слова в мультиплексор и скремблер соответственно.

Генератор приватных данных (Private data generator — PDG) — генерирует пользовательскую информацию. На данной схеме этот генератор показан, чтобы проиллюстрировать возможность передачи пользовательских (приватных) данных.

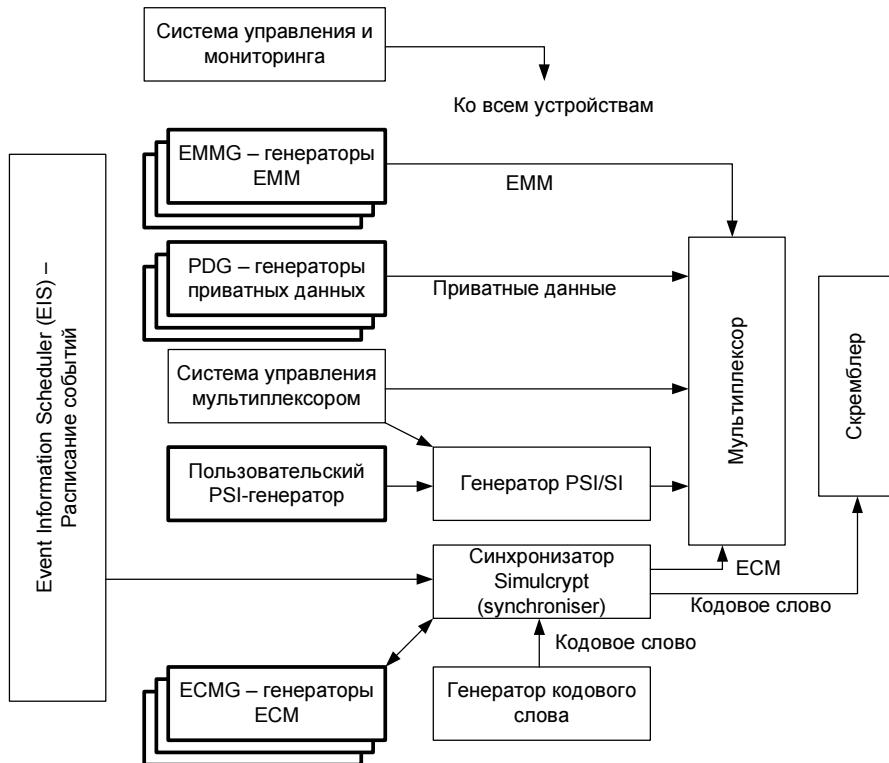


Рис. 10.5. Структура хедэнда Simulcrypt

Обратите внимание, что эта схема является функциональной, т. е. блоки, изображенные на ней, в конкретной реализации головной станции могут быть распределены между различными устройствами.

Стандарты ETSI определяют протоколы, при помощи которых функциональные блоки контактируют друг с другом, а также сообщения, которыми эти блоки обмениваются в процессе работы. Также определяется последовательность посылки сообщений (взаимодействия устройств). Более подробную информацию интересующиеся могут найти в стандартах и спецификациях, перечисленных в предыдущем разделе.

10.6. PSI/SI для систем условного доступа

Использование систем условного доступа соответствующим образом должно быть отображено в PSI/SI. Во-первых, должна быть сделана индикация того, что поток зашифрован в заголовках пакетов транспортного потока и элементарного потока.

Кроме того, в состав PSI/SI должна быть включена таблица CAT, указывающая, где искать EMM- или ECM-сообщения для данного идентификатора системы условного доступа. Напомним, что поле `table_id` таблицы CAT всегда равно 0x01. Подробнее о структуре таблице CAT рассказано в разд. 5.8.

Транспортный поток может содержать столько таблиц CAT, сколько систем условного доступа используется. При этом совершенно не важно, работают ли эти системы в режиме Simulcrypt — количество таблиц CAT равно количеству систем.

Собственно, структура CAT очень проста: стандартный заголовок плюс *дескриптор условного доступа* (*conditional access descriptor*). Этот дескриптор (табл. 10.2) может быть использован также и в таблице PMT. В случае если дескриптор условного доступа используется в таблице PMT, он указывает на сообщение ECM, если в CAT, то на сообщение EMM. Очевидно, он должен использоваться и там и там, поскольку и ECM и EMM необходимы декодеру абонентской приставки.

Таблица 10.2. Дескриптор условного доступа

Название поля	Английское название поля	Размер, байт	Описание
Тег дескриптора	Descriptor tag	8	Тег равен 0x09
Длина дескриптора	Descriptor length	8	Длина дескриптора в байтах
Идентификатор условного доступа	CA system ID	16	Идентификатор системы условного доступа. Значение определяется консорциумом DVB.org (табл. 10.3)
Зарезервировано	Reserved	3	—
PID условного доступа	CA PID	13	PID пакетов транспортного потока, содержащих или ECM- или EMM-сообщения
Приватные данные	Private data bytes		Данные, определяемые разработчиком системы условного доступа

Таблица 10.3. Некоторые значения поля CA system ID, распределенные консорциумом DVB.org

Значение	Организация (или фирма) или система условного доступа, за которыми закреплено значение
0x0000	Не используется
0x0001—0x0002	Система защиты от копирования, разработанная ETSI и описанная в документе ETSI TS 102474. Предназначена для защиты передачи данных в мобильном телевидении. Кратко именуется IPDC CPP
0x0003	DVB-CPCM, система, разработанная консорциумом DVB.org
0x0004—0x0006	Распределены под различные технологии защиты ОМА BCAST (передача телевидения по сетям мобильной связи)
0x0600—0x06FF	Irdeto
0x0A00—0x0AFF	Nokia
0x0D00—0x0DFF	CryptoWorks (Irdeto), на этот раз идентификаторы распределены конкретному продукту компании Irdeto — CAS CryptoWorks
0x0E00—0x0EFF	Scientific Atlanta
0x0F00—0x0FFF	Sony
0x1000—0x10FF	Tandberg Television
0x1100—0x11FF	Thomson
0x2200—0x22FF	Scopus Network Technologies
0x4A70—0x4A7F	Dreamcrypt
0x4AA0—0x4AAF	SIDSA

10.7. Дескремблирование в абонентском устройстве

Ранее мы указывали, что каждое абонентское устройство должно "знать" пользовательский ключ для того, чтобы расшифровать EMM-сообщение и получить сервисный ключ, при помощи которого расшифровать ECM-сообщение и, получив кодовое слово, дескремблировать поток.

Если абонентское устройство не отыщет в потоке EMM-сообщений сообщения, закодированного при помощи его пользовательского ключа, значит, этому абонентскому устройству доступ к скремблированному сервису не разрешен.

Каким образом в абонентском устройстве хранится пользовательский ключ? Могут использоваться разные способы: например, этот ключ может нахо-

диться на смарт-карте (см. далее) или быть "встроенным" в код дескремблера (в ПЗУ специализированной микросхемы).

Для повышения надежности пользовательский код может быть "привязан" к серийному номеру приставки или каким-либо другим ее идентификаторам. При дескремблировании доступ пользователя к сервису разрешается только в том случае, если соответствие не нарушается. Такая проверка позволит предотвратить так называемый *code sharing* (совместное использование кодов), когда одним и тем же пользовательским кодом могут пользоваться многие зрители, что лишает правообладателя на телепрограмму части платы за просмотр.

Когда абонент переключается на сервис, абонентское устройство находит таблицу РМТ данного сервиса, в котором содержится дескриптор условного доступа, и по идентификатору PID, указанному в этом дескрипторе, находит поток EMM, в котором содержится необходимое EMM-сообщение. Если такого сообщения нет, значит, абонент не получил права на просмотр сервиса. Кроме того, из этого дескриптора абонентское устройство узнает идентификатор системы условного доступа, которой скремблирован сервис.

Полученное EMM-сообщение расшифровывается при помощи пользовательского ключа и из него извлекается сервисный ключ системы условного доступа, который потребуется далее для расшифровки сообщения ECM.

Пакеты элементарного и транспортного потоков должны быть маркованы как скремблированные, как мы рассматривали ранее. Далее, абонентское устройство находит таблицу САТ (анализируя все имеющиеся и выбирая нужную по уже известному идентификатору системы условного доступа) и определяет идентификатор PID потока, содержащего зашифрованное сервисным ключом кодовое слово (т. е. потока ECM), настраивается на этот поток и получает ECM. При помощи сервисного ключа, полученного из сообщения EMM, дескремблер расшифровывает сообщение ECM и получает кодовое слово.

После всех описанных действий у дескремблера есть вся необходимая информация — ECM, EMM и пользовательский ключ. Дескремблер при помощи пользовательского ключа расшифровывает предназначеннное для него EMM-сообщение и достает из него сервисный ключ. Далее, при помощи этого сервисного ключа, дескремблер расшифровывает ECM-сообщение и достает из него кодовое слово. При помощи кодового слова дескремблер декодирует сервис, делая его доступным для просмотра.

Сам дескремблер при этом представляет, как правило, "черный ящик" в виде специализированной микросхемы, на вход которой подается зашифрованный PES, EMM и ECM, а на выходе получается расшифрованный PES. Структура

этой микросхемы и есть основной секрет разработчиков систем условного доступа.

На практике абонентское устройство приступает к поиску ECM и EMM не в тот момент, когда пользователь захотел просмотреть сервис, а раньше. Абонентское устройство постоянно "мониторит" транспортный поток на предмет нужных сообщений EMM и ECM для того, чтобы сократить время ожидания абонента при доступе к сервису. Таким образом, абонент не ждет, когда абонентское устройство найдет нужное сообщение EMM в потоке (это может занять много времени), а сразу получает доступ к желаемому сервису.

10.8. Оценки объема EMM-потока

При планировании использования систем условного доступа важно оценить объемы ECM- и EMM-потоков, поскольку эти объемы существенно влияют на загрузку мультиплекса и скорость доступа абонента к сервисам. От объемов этих потоков зависит в частности, какой вид модуляции необходимо выбрать.

Объем ECM-потоков невелик, поскольку информация, передаваемая в нем, одинакова для всех сервисов, использующих одну и ту же систему кодирования. Иное дело — EMM.

Дело здесь вот в чем: мы помним, что каждое EMM-сообщение закодировано пользовательским ключом той приставки, для которой оно предназначено. Таким образом, количество сообщений в потоке EMM равно количеству абонентов, оплативших просмотр сервиса (количеству приставок).

Второй крайне важный вопрос, напрямую связанный с первым — это время доступа к оплаченному сервису. Представим себе картину: абонентов много, сервисов много, и для того, чтобы не расходовать "полезную нагрузку" транспортного потока, оператор связи уменьшает битрейт потока EMM. Это может привести к тому, что необходимое приставке EMM-сообщение будет передаваться слишком редко (допустим, раз в несколько минут) и все это время абоненту придется сидеть и ждать, когда же начнется воспроизведение сервиса, которое он оплатил. Поэтому, например, при использовании оператором оплаты за просмотр (PPV), битрейт потока EMM может быть большим, чем обычно.

Конечно, абонентское устройство начинает искать сообщения EMM и ECM не в тот момент, когда они нужны для расшифровки сервиса, абонентское устройство делает это постоянно. Но представьте ситуацию, если абонент включил устройство за несколько минут до начала оплаченной передачи — успеет ли абонентская приставка получить необходимое сообщение EMM? Таким образом, оператор связи всегда должен стремиться к тому, чтобы скорость потока EMM была максимальной.

Давайте приблизительно рассчитаем скорость ЕММ-потока для миллиона абонентов. Поскольку ЕММ-сообщения не стандартизированы, можно лишь приблизительно представить объем потока ЕММ: он состоит из сервисного ключа, зашифрованного пользовательским ключом, и идентификатора приставки (абонента или группы абонентов). Зашифрованный сервисный ключ — это 64 бита информации, идентификатор приставки, допустим, 24 бита (нужно закодировать около миллиона абонентов). Таким образом, ЕММ-сообщение будет составлять 88 бит. В сообщении ЕММ может передаваться и другая информация, предусмотренная разработчиками конкретной системы CAS, но поскольку мы занимаемся грубой оценкой, мы не будем делать об этой информации никаких предположений.

Итак, общий объем сообщения ЕММ составит: $88 \text{ бит} \times 1\,000\,000 = 88 \text{ Мбит}$. Как мы помним, максимальная скорость транспортного потока в DVB составляет около 32 Мбит/сек. Таким образом, величина 88 Мбит выглядит угрожающе. Допустим, ради возможности получать оплату от абонентов мы пожертвуем одной телепрограммой — при сжатии H.264 это около 3 Мбит/сек. В таком случае, передача сообщения ЕММ для всех абонентов (вместо пожертвованной телепрограммы) составит около 30 сек. Таким образом, в худшем случае, наш абонент будет ждать 30 сек, прежде чем начнет просматривать программу. И такая ситуация будет встречаться достаточно часто, поскольку многие включают абонентское устройство непосредственно перед началом телевизионной программы и, соответственно, приставке понадобится в худшем случае все 30 сек для того, чтобы дождаться нужного сообщения ЕММ.

Разработчик CAS должен предусмотреть решение этих проблем для того, чтобы система условного доступа работала без задержек и не требовала больших скоростей потоков для сообщений ЕММ. То же самое можно сказать и про разработчиков абонентских приставок. Например, приставка, оборудованная встроенным дескремблером, может в "спящем" режиме проводить мониторинг транспортного потока и вылавливать из него необходимые ЕММ-сообщения.

10.9. DVB-CI — интерфейс общего назначения для CAS

Интерфейс общего назначения (CI — Common Interface) широко используется для присоединения к абонентскому устройству модулей, содержащих пользовательские ключи и дескремблеры.

Интерфейс общего назначения, как следует из названия, предназначен не только для присоединения таких модулей. Он может использоваться в част-

ности для присоединения транскодирующих модулей (например, транскодеров из MPEG2 в MPEG4). Тем не менее, исторически сложилось, что интерфейс общего назначения используется в основном для подключения модулей, содержащих дескремблеры и пользовательские ключи.

Этот интерфейс физически представляет собой небольшой прямоугольный щелевой разъем, устанавливаемый обычно на лицевой стороне абонентской приставки, в который вставляется CAM-модуль. Разъем интерфейса соответствует разъему PCMCIA, используемый и в компьютерах.

CAM-модуль (CAM — Conditional Access Module или модуль условного доступа), это устройство, присоединяемое к абонентской приставке при помощи интерфейса общего назначения, содержащее дескремблер и разъем для смарт-карты. Подробнее мы поговорим о них в следующем разд. 10.10.

Интерфейс общего назначения определяется стандартом EN50221, а также спецификацией ETSI TS 101699, дополняющей стандарт EN50221 для целей использования в цифровом телевидении. Сокращенно интерфейс общего назначения, применяемый в DVB, называется *DVB-CI*.

Помимо физического интерфейса стандарт EN50221 и ETSI TS 101699 определяют программный интерфейс, позволяющий взаимодействовать с подключаемыми модулями. В основу программного интерфейса положена схема "клиент-сервер", где сервером является абонентская приставка. Интерфейс является объектно-ориентированным.

Физический уровень (рис. 10.6) обеспечивает, во-первых, возможность присоединения и отсоединения CAM-модуля в любой момент, а кроме того, каскадирование модулей, т. е. возможность использовать на одной приставке несколько модулей, помещенных каждый в свой разъем DVB-CI.

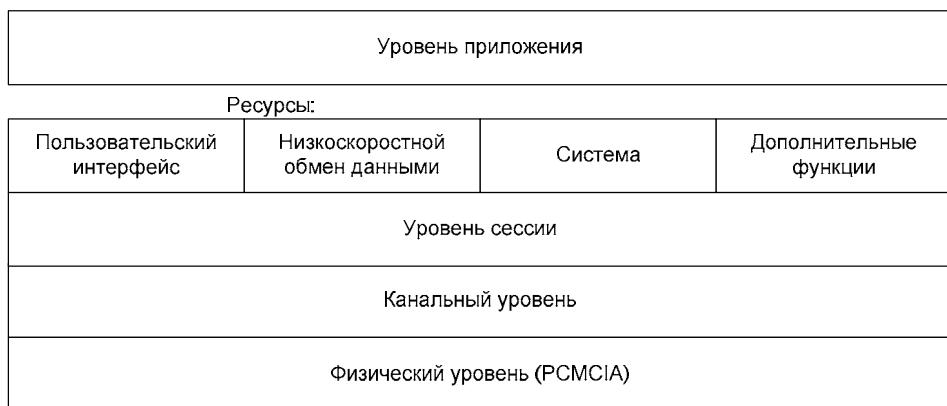


Рис. 10.6. Структура DVB-CI

На канальном уровне передача сигналов, предназначенных для декодирования, реализована на базе транспортных потоков MPEG2. Абонентское устройство передает приложению принятый MPEG2 транспортный поток, а приложение непосредственно из этого потока получает всю информацию, необходимую для декодирования (ECM, EMM).

Кроме транспортных потоков через интерфейс передается также командная информация — команды инициализации, описание сервисов, предоставляемых приставкой и т. п.

Работу на уровне сессии обеспечивает набор команд, необходимых для доступа к ресурсам приставки. Обратите внимание, что ресурсы, которые запрашивает приложение на модуле, могут предоставляться не только программным обеспечением самой приставки, но и программным обеспечением других модулей, подключенных к интерфейсу DVB-CI. Доступом к ресурсам управляет менеджер ресурсов, входящий в состав программного обеспечения приставки.

Обратите также внимание, что информация между САМ-модулем и абонентским устройством передается в открытом виде, без шифрования, что теоретически снижает секретность.

Для доступа к ресурсам, на уровне приложения стандарт определяет набор протоколов. Рассмотрение этих протоколов выходит за рамки данной книги, интересующиеся могут получить полную информацию из ранее указанных стандартов.

10.10. САМ-модули и смарт-карты

Смарт-карта — это небольшая карта, содержащая модуль памяти с записанным на нем критерием доступа, например, пользовательским ключом, идентификатором пользователя или сервиса, оплаченного пользователем и т. п.

Смарт-карта вставляется в предназначенный для нее разъем на САМ-модуле, благодаря чему декодер в САМ-модуле получает информацию, необходимую для декодирования.

Обратите внимание, что САМ-модуль некоторых систем условного доступа не содержит разъема для смарт-карты. Как правило, в таких системах, код доступа (например, пользовательский ключ) записан в памяти САМ-модуля постоянно.

На рис. 10.7 приведена абонентская приставка с модулем условного доступа и интерфейсом общего назначения.

САМ-модуль имеет свой собственный встроенный процессор, на базе которого и выполняются функции декодирования. Как указывалось ранее,

этот процессор может использоваться и для других целей, например, для транскодирования из MPEG2 в H.264 для тех моделей телевизоров, которые не имеют декодера H.264.



Рис. 10.7. Абонентское устройство с CAM-модулем

Радиочастотный сигнал демодулируется в приставке, и демодулированный транспортный поток попадает в CAM-модуль, где из него извлекается PSI/SI и находятся потоки ECM и EMM (рис. 10.8). Далее со смарт-карты читается пользовательский ключ (или из чипа на самом CAM-модуле) и производится дескремблирование сервиса, который в данный момент необходим пользователю.

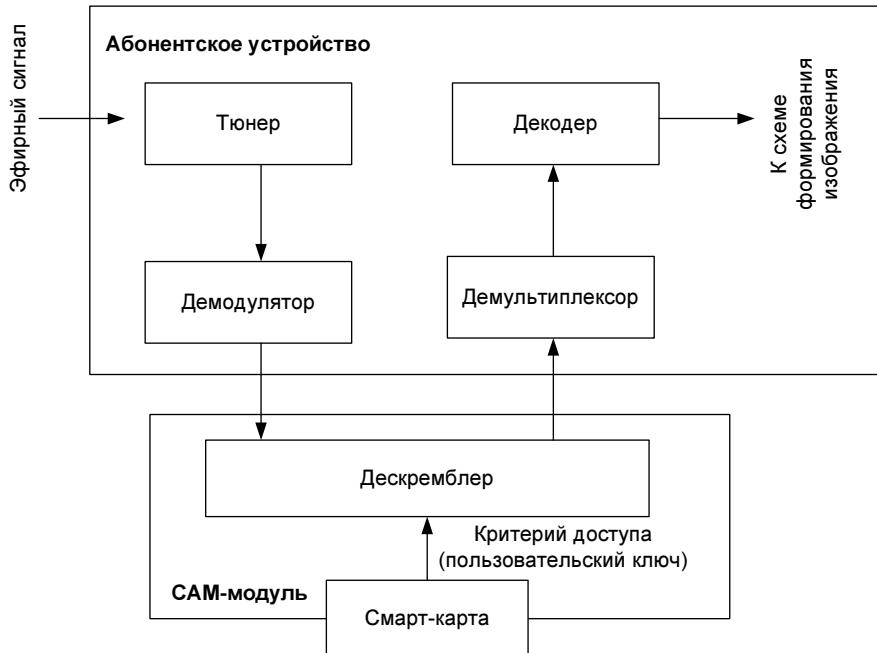


Рис. 10.8. Упрощенная функциональная схема CAM-модуля, смарт-карты и приставки

Системы условного доступа, не предусматривающие использование смарт-карт, хранят пользовательский ключ в чипе на самом САМ-модуле. При этом реализация дескремблера может быть как одиночной (single chip solution), так и содержащей несколько чипов (multiple chip solution). Поскольку все интерфейсы обмена данными внутри модуля в одиночном варианте скрыты, такое решение считается наиболее надежным.

Также обратите внимание, что САМ-модуль может быть встроен в само абонентское устройство. В этом случае устройство рассчитано на работу одной определенной системы условного доступа. Это приемлемо, если абонентские устройства распространяются оператором связи для своих абонентов. В этом случае нет необходимости переплачивать за дополнительные интерфейсы и возможности, которые не используются в сети связи этого оператора.

Смарт-карты, которые используются для хранения пользовательских ключей и иной информации, необходимой для обеспечения доступа, хорошо всем знакомы — подобные карты используются повсеместно для оплаты товаров и услуг, получения скидок и т. п. Смарт-карта содержит микрочип, в составе которого есть память типа EEPROM (ЭСППЗУ), в котором и содержится необходимая информация. Разумеется, эта информация содержится не в открытом виде, что было бы слишком просто для взлома.

10.11. CI Plus — развитие интерфейса общего назначения

В 2008 году появилась новая спецификация интерфейса общего назначения, которая называется *CI Plus*. По сути, она является дополнением стандартов DVB-CI.

Главное, что предлагается этой спецификацией, это взаимная авторизация САМ-модуля и приставки. Действительно, поскольку в DVB обратный канал используется далеко не всегда, процесс авторизации затруднен. Например, в сотовой связи такая проблема отсутствует, поскольку легитимность использования сим-карты всегда легко проверить, обратившись к оператору связи по действующему каналу.

В DVB же обратный канал не является обязательным, поэтому требуется принимать дополнительные меры к тому, чтобы САМ-модуль мог "убедиться", что он работает с легальной приставкой, а приставка должна "убедиться", что к ней подключен легальный САМ-модуль.

Эти дополнительные меры состоят в введении *Системы управления контентом* (*Content Control System* — *CC System*). При использовании этой системы в архитектуре абонентского устройства и САМ-модуля появляется дополнитель-

тельное звено — криптование информации, передаваемой через интерфейс CI (рис. 10.9). В "классическом" интерфейсе CI транспортные потоки и команды между абонентским устройством и CAM-модулем передавались в открытом виде, что снижало устойчивость системы к взлому.

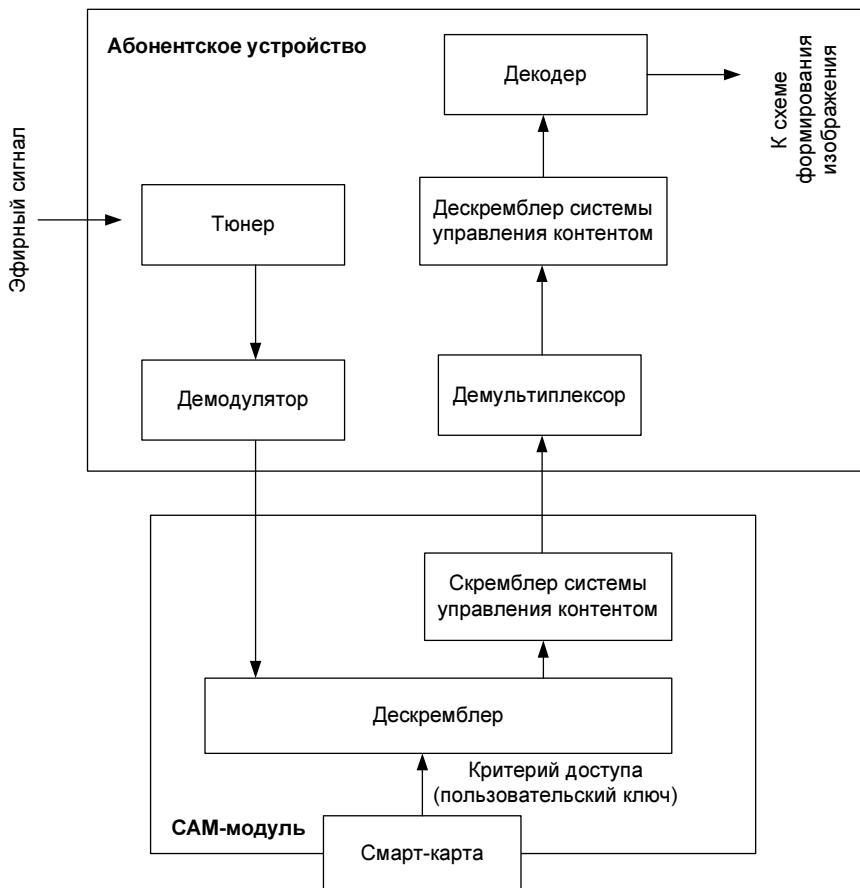


Рис. 10.9. CI Plus и система управления контентом

Авторизация CAM-модуля и абонентского устройства производится путем обмена сертификатами, содержащими цифровые подписи. При этом CAM-модуль анализирует полученную от абонентского устройства информацию и авторизует устройство либо на основании информации, уже содержащейся в CAM-модуле (*Basic Service Mode*), или на основании информации, полученной от оператора связи каким-либо путем (*Registered Service Mode*).



ГЛАВА 11

Мобильное телевидение

11.1. Общие сведения

Сразу следует обратить внимание, что рассматривать мобильное телевидение необходимо с двух позиций: "каким способом передается" (т. е. модуляция, канальное кодирование, транспорт) и "что передается" (т. е. протоколы, контент и т. п.).

DVB-H — это технология передачи, т. е. "каким способом передается". Спецификация DVB-H включает в себя описание режимов модуляции, которые необходимо использовать, как инкапсулировать данные в транспортные потоки, как должны быть устроены мобильные сети связи и т. п.

То, "что передается", т. е. сама информационная архитектура, называется *DVB-IPDC* (IP datacast — вещание данных посредством DVB-H). Спецификация IPDC была разработана группой консорциума DVB, которая называется *DVB-CBMS* (*CBMS* — Convergence of Broadcast and Mobile Services). Иногда спецификацию IPDC называли по названию рабочей группы — *CBMS*.

IPDC определяет, каким образом должна быть организована информация: какой стек протоколов должен использоваться, как различные устройства должны взаимодействовать друг с другом на логическом уровне и т. п.

Существует также еще одна технология вещания видео- и аудиопрограмм в мобильных сетях, которая называется *OMA BCAST* (Open Mobile Alliance — OMA, Mobile Broadcast Services Enabler Suite — BCAST). Эту технологию разрабатывает консорциум OMA. BCAST может быть также применим в DVB-H, т. е. IPDC и BCAST являются конкурирующими решениями.

Рассмотрение BCAST выходит за рамки этой книги, в которой мы рассмотрим только то, что разработал консорциум DVB и что называется DVB-H и "IPDC в DVB-H".

Далее для краткости мы будем говорить "DVB-H" или "мобильное телевидение", имея в виду DVB-H и IPDC.

11.2. Что такое мобильное телевидение?

Мобильное телевидение, как следует из самого названия — это телевидение, сигнал которого возможно принимать в движении. Примером мобильной телефонной связи служит всем известная сотовая связь — сотовым телефоном можно пользоваться повсюду. Аналогично и мобильное телевидение разрабатывалось для того, чтобы обеспечить прием телевидения в движении.

Здесь важно понимать, что термин "мобильное телевидение" применяется к дополнительным технологиям в рамках цифрового телевидения DVB, которое мы рассматриваем в этой книге. Важно понимать, что "мобильное телевидение" — это не какая-то отдельная технология, кардинально отличная от DVB-T.

Сигнал DVB-T, рассмотренный в разделах о канальном кодировании и сетях цифрового телевидения, также возможно принимать в движении. Таким образом, "обычное" DVB также является мобильным.

Однако DVB-T не обеспечивает 100% высокой надежности приема сигнала в движении, вследствие чего потребовалась разработка дополнений, повышающих эту надежность.

Кроме того, мобильное телевидение рассчитано на иной рынок услуг. Если DVB-T ориентировано в основном на стационарный прием с наилучшим качеством, то мобильное телевидение рассчитано на передачу коротких информационных или музыкальных материалов в низкой разрешающей способности, а также на информационно-коммерческие сервисы, включая продажи товаров и услуг.

Мобильное телевидение — это показ телевизионных изображений на экранах носимых устройств. Следовательно, сигнал мобильного телевидения должен быть доступен в 100% мест и в 100% времени на территории, где предоставляется услуга. Это требование налагает дополнительные условия на различные характеристики передаваемого сигнала.

Поскольку в процессе движения абонент может покинуть зону радиопокрытия одного передатчика и попасть в зону другого, то работа сети и мобильного устройства должна быть организована таким образом, чтобы устройство при движении абонента могло переключаться (*switchover*) с одного передатчика на другой без перерывов в демонстрации телепрограмм.

Мобильное устройство питается от аккумуляторов, поэтому вопросы снижения энергопотребления также являются очень важными. В DVB-H используются специальные меры для снижения энергопотребления (таймслайсинг).

11.3. Стек протоколов, используемых в IPDC

Подобно тому, как это делается в компьютерных сетях, маркировка сервисов в мобильном телевидении выполняется мультикастовыми IP-адресами.

Без использования обратного канала нет никакого механизма обратной связи, т. е. заранее никогда не известно, сколько человек на каждом участке сети какие потоки смотрят. Если бы это было известно, то можно было бы подавать на каждый передатчик в сети DVB только те программы, которые в данный момент желают смотреть абоненты. А оставшиеся ресурсы использовать под передачу, например, Интернета. Но поскольку этой информации нет, то в стеке протоколов отсутствуют протоколы, осуществляющие подписку (IGMP, PIM).

Передача потоков в мобильном телевидении — это вещание (broadcast) с использованием мультикастовой адресации, т. е. все мобильные устройства в сети принимают все передаваемые программы. В этой ситуации подписка не используется. Вместо нее используется передача прав на просмотр с применением систем условного доступа.

Стек протоколов, используемых для передачи сигналов телевизионных программ и различного рода данных, выглядит, как показано на рис. 11.1 (согласно гл. 6 ETSI TR 102469 "Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Architecture").

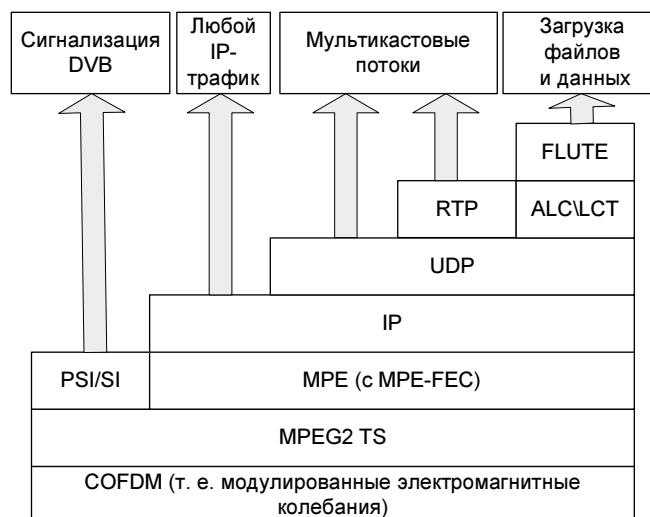


Рис. 11.1. Стек протоколов IPDC

Самый нижний уровень — COFDM, т. е. электромагнитные колебания, модулированные COFDM. При помощи этих модулированных колебаний передается цифровая информация, представляющая собой транспортный поток MPEG2. Этот транспортный поток содержит информацию PSI/SI и MPE — секции с данными. Информация PSI/SI нужна для того, чтобы указать демультиплексору абонентской приставки, где искать данные (см. гл. 9, посвященную передаче данных по сетям DVB).

Секции MPE содержат пакеты IP, в которых могут иметься пакеты UDP или какие-либо иные пакеты (другие варианты, кроме UDP в стандарте не предусмотрены, но теоретически их можно использовать).

Протокол UDP может содержать мультикастовый поток, мультикастовый поток с заголовком RTP или стек ALC/LCT/FLUTE, который во многом еще остается экспериментальным. Насколько он найдет применение у разработчиков — покажет время.

FLUTE — это протокол управления передачей данных через одностороннюю среду, т. е. такой канал связи, которые позволяет передавать данные только от источника к приемнику. Спецификация FLUTE дается в документе RFC 3926 "FLUTE: File Delivery over Unidirectional Transport". *ALC/LCT* —

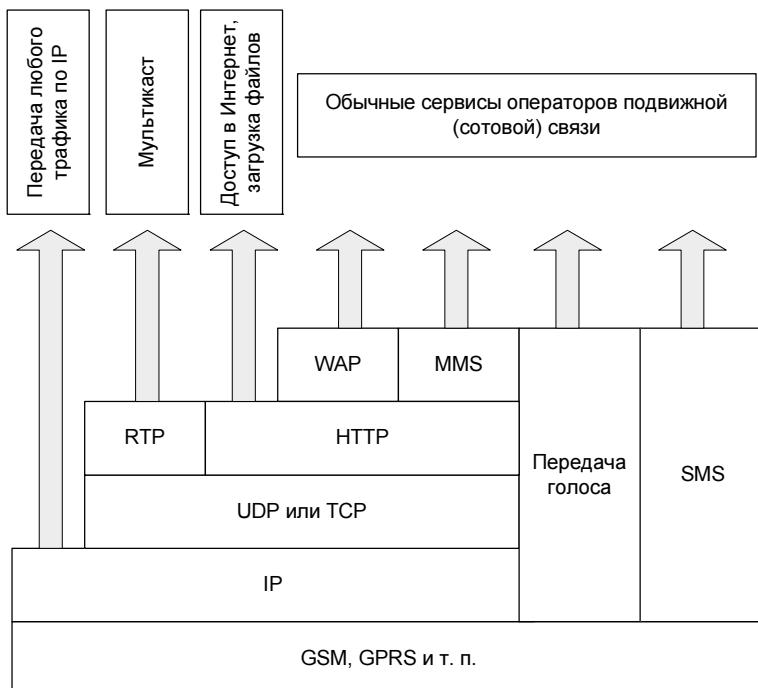


Рис. 11.2. Стек протоколов при использовании GSM

экспериментальный протокол, определяющий транспорт для передачи по однонаправленным сетям, который определен в документе RFC 3450 "Asynchronous Layered Coding (ALC) Protocol Instantiation".

Таким образом, в связи ALC/LCT с FLUTE, первый из них занимается собственно "упаковкой" передаваемых файлов (поскольку он транспорт), а второй — передачей данных, необходимых для приема этих файлов (signaling, mapping и т. п.). Всех интересующихся этими протоколами отсылаем к указанным RFC, которые свободно доступны в Интернете.

Для примера приведем стек протоколов, который может использоваться в случае, если абонентское устройство может принимать GSM (рис. 11.2).

Приведенные реализации стеков являются приблизительными. В конечном счете, все зависит от реализации конкретного программного обеспечения и от фантазии его разработчиков. Самое главное, что в сетях DVB-H передается IP — и поверх него мы можем передавать все, что нам нужно. Это ключевой момент.

11.4. Использование транспортных потоков

Сигналы передаваемых телевизионных программ передаются в виде мультикастового IP-трафика, который инкапсулирован в транспортный поток MPEG2. Помимо мультикастового трафика в IP передается дополнительная информация, касающаяся различных услуг (продаж и т. п.), а также описание передаваемой информации. Информация PSI/SI в описании трафика не участвует — поскольку используется мультикалст, то в этом нет необходимости. Таким образом, общий принцип DVB не нарушается — в мобильном телевидении тоже используются транспортные потоки MPEG TS.

Передаваемая информация (IP-мультикалст и дополнительная информация) инкапсулируются при помощи MPE в транспортный поток MPEG2. О том, как именно это делается, мы говорили в разделе про мультипротокольную инкапсуляцию (см. разд. 9.6). Устройство, которое производит инкапсуляцию (рис. 11.3), называется *инкапсулятор* (*encapsulator*). Инкапсулятор генерирует транспортный поток с MPE-секциями, который заполняет данными. Этот поток затем может быть мультиплексирован в транспортный поток мультиплекса.

В PSI/SI описание сервиса производится так, как было рассмотрено в гл. 9 "Передача данных в сетях DVB", т. е. через таблицы INT. Таблица INT используется для установления связи между IP-устройств и идентификаторами транспортных потоков, сервисов и т. п.

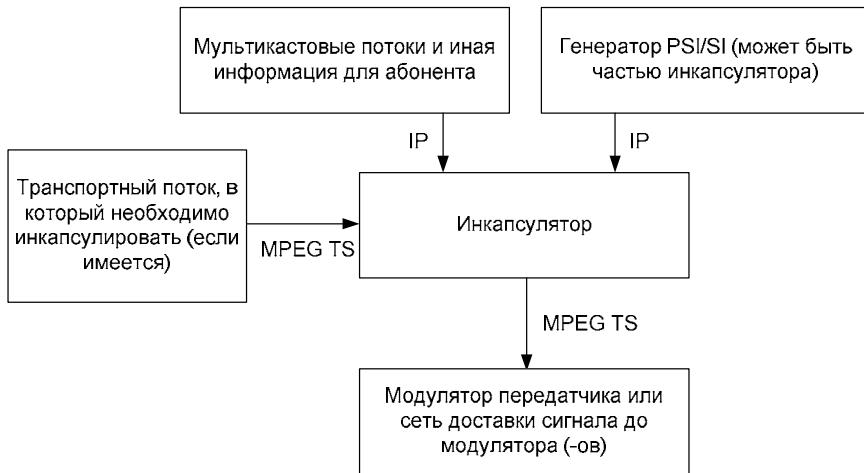


Рис. 11.3. Инкапсуляция

Информация PSI/SI в части, касающейся мобильного телевидения, может быть статической, т. е. содержание таблиц INT и NIT не изменяется, если меняется передаваемая информация. Это и логично, поскольку, как мы говорили чуть ранее, описание передаваемой информации содержится в самом потоке передаваемых данных. Каким образом это описание выполняется, зависит от конкретной реализации программного обеспечения. Мы вкратце поговорим об этом далее.

Поскольку таблицы NIT и INT являются статическими, абонентское устройства могут не читать их все время при обращении к сервисам, а лишь контролировать, изменились они или нет, а читать только в случае, если изменения произошли.

11.5. Архитектура IPDC

Архитектура IPDC приведена в ETSI TR 102469 "Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Architecture". Она включает в себя укрупненные компоненты сети, как производителя контента, так и абонента (рис. 11.4).

На этом рисунке пунктиром отмечены связи, которые выходят за рамки стандартов, разработанных группой DVB-CBMS (т. е. они не являются частью DVB-H и DVB-IPDC). Жирными стрелками обозначены связи, которые входят в DVB-H и IPDC, а обычными стрелками — в DVB-IPDC. Как говорилось в начале этой главы, часть архитектуры, обозначенной жирными стрелками, может также использоваться в OMA BCAST. Функции блоков архитектуры IPDC описаны в табл. 11.1, а связи между блоками в табл. 11.2.

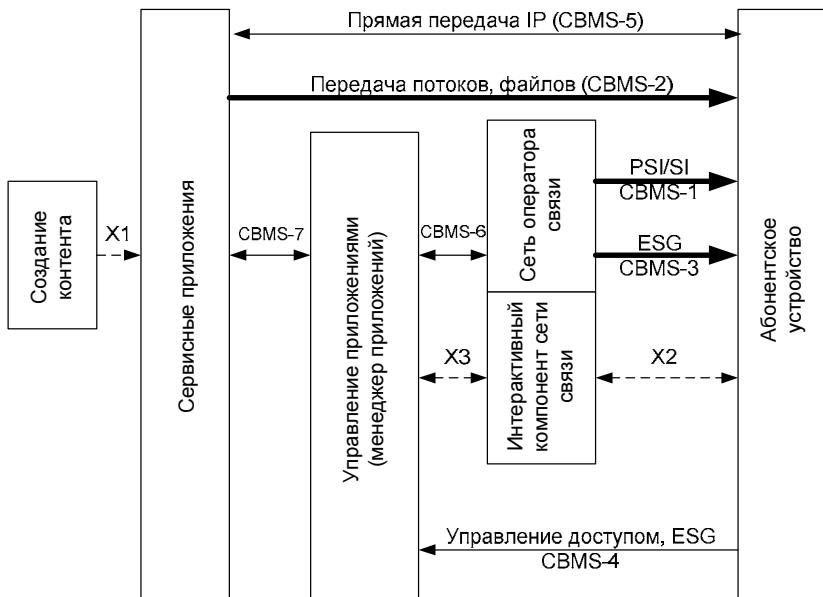


Рис. 11.4. Архитектура IPDC

Таблица 11.1. Функциональные блоки архитектуры IPDC

Название блока	Описание блока
Создание контента (content creation)	Не рассматривается в рамках DVB-H. Этот функциональный блок отвечает за производство тех материалов, которые будут предоставлены пользователю для просмотра или прослушивания. Также предоставляет основные сведения для описаний этих материалов, которые будут использоваться другими функциональными блоками (пример такого описания: название фильма, длительность программы, информация об авторах и т. п.)
Сервисное приложение	Собирает контент от различных источников и метаданные, описывающие этот контент. Отвечает за предоставление контента в виде, понятном абонентскому устройству. Генерирует описание предоставляемых сервисов для ESG (электронного сервисного гида). Отвечает за обеспечение условного доступа. Может существовать отдельно для каждого приложения, работающего в сети (на абонентском устройстве)
Управление приложениями	Этот блок состоит из 4 субблоков, которые могут быть установлены вместе или раздельно. Субблок № 1. Конфигурация сервисов и распределение ресурсов. В его функции входит регистрация приложения, которое должно быть передано по сети, поскольку в отличие от DVB-T, состав сервисов в DVB-H может постоянно меняться. Составление и исполнение расписаний передачи сервисов. Распределение ресурсов сети для сервисов. При постоянных параметрах модуляции пропускная способность канала связи постоянна и необходимо следить, чтобы всем сервисам хватило места. Имеется один экземпляр этого субблока на один мультиплекс

Таблица 11.1 (окончание)

Название блока	Описание блока
	<p>Субблок № 2. Электронный гид сервисов (Electronic service guide). Составление электронного гида по сервисам, присутствующим у оператора связи. Таких гидов может быть несколько.</p> <p>Субблок № 3. Система условного доступа.</p> <p>Субблок № 4. Различные местные сервисы (например, предоставление интерактивного обратного канала или GPS)</p>
Сеть оператора связи	Вещательная сеть оператора связи, DVB-H. Мультиплексирование сервисов на уровне IP, организация таймслайсинга, передача через эфир с использованием DVB-H
Абонентское устройство ("терминал")	На абонентском устройстве выполняются клиентские приложения сервисных приложений
Интерактивный компонент сети связи	Спецификация интерактивного компонента сети не разрабатывалась группой CBMS и не входит в состав документации по DVB-H и IPDC. Функционально этот канал служит для обмена информацией в обратном направлении — от клиента в абонентском устройстве к менеджеру сервисов и от него — к сервисному приложению

Таблица 11.2. Связи в архитектуре IPDC

Обозначение на схеме	Описание связи
CBMS-1	PSI/SI и сигнализация (signalling) при использовании COFDM. Описывается в спецификации ETSI TS 102470 "IP Datacast over DVB-H: Program Specific Information (PSI)/Service Information (SI)" ("Информация о программах и сервисах")
CBMS-2	Поток контента: аудио и видео, дополнительные данные, файлы. Описывается в спецификации ETSI TS 102472 "IP Datacast over DVB-H: Content Delivery Protocols" ("Протоколы доставки контента")
CBMS-3	Электронный сервисный гид (Electronic Service Guide — ESG) в части доставки метаданных, описывающих сервисы и доставки по схеме один-к-многим (например, доставка описаний телепрограмм и времени выхода их в эфир). Описывается в спецификации ETSI TS 102471 "Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG)", а также в упомянутой ранее спецификации ETSI TS 102472 (в части использования протокола FLUTE)
CBMS-4	Управление доступом к программам и приложениям. ESG в части доставки по схеме точка-точка (например, какой-то информации, которую заказал конкретный клиент). Для схемы точка-точка необходим обратный канал, поэтому данная связь будет актуальна только при его наличии. Спецификация в настоящий момент находится в разработке
CBMS-5	Транспорт по схеме точка-точка, например SMS, MMS или соединение по IP. Для схемы точка-точка необходим обратный канал, поэтому данная связь будет актуальна только при его наличии. Спецификация разрабатывается

Таблица 11.2 (окончание)

Обозначение на схеме	Описание связи
CBMS-6	Конфигурация DVB-H (количество сервисов, распределение ресурсов и т. п.). Описание этой связи не входит в состав стандарта DVB-H. Спецификация разрабатывается
CBMS-7	Описание контента и декларирование сервисов. Описание этой связи не входит в состав стандарта DVB-IPDC. Спецификация разрабатывается
X1	Передача контента к сервисному приложению. Описание этой связи не входит в состав стандарта DVB-IPDC
X2	Действия в интерактивной сети: авторизация, сервисы и т. п. Описание этой связи не входит в состав стандарта DVB-IPDC
X3	Специальные функции в интерактивной сети, например, биллинг. Описание этой связи не входит в состав стандарта DVB-IPDC

11.6. Порядок конфигурации сервисов

В DVB-T состав сервисов в мультиплексе обычно постоянен и стоит из набора телевизионных и радиопрограмм, которые регулярно получает пользователь. В мобильном телевидении сервисы, предоставляемые пользователю, могут часто меняться. Например, может предоставляться постоянно пополняемая база коротких видеоматериалов, подкастов и т. п. Это требует постоянно работающего механизма регистрации в системе новых сервисов, сбор и предоставление описаний этих сервисов и т. п.

На приведенном рис. 11.5 показан порядок отправки сообщений при конфигурации сервисов, передаваемых через DVB-H при помощи DVB-IPDC. На рисунке показаны дополнительные функциональные блоки, входящие в состав рассмотренных ранее. Описание назначения каждого сообщения приведены далее в табл. 11.3.

Таблица 11.3. Сообщения конфигурации сервисов в IPDC

Сообщение	Описание сообщения
Сообщение № 1	Запрос ресурсов. Производит первоначальную регистрацию сервиса в системе управления сервисами и позволяет этому сервису запросить ресурсы (например, место на диске или место в транспортном потоке). Приложение обращается к менеджеру с указанием ресурсов, которые ему нужны (полоса пропускания, IP-источника и приемника, протоколы, график предоставления и т. п.) и получает ответ с количеством ресурсов, которые могут быть распределены
Сообщение № 2	Это сообщение — трансляция предыдущего в "терминологии" DVB-H. Ответ на это сообщение потом транслируется как часть ответа на сообщение № 1 в части вопросов DVB-H (например, какой битрейт для передачи можно использовать)

Таблица 11.3 (окончание)

Сообщение	Описание сообщения
Сообщение № 3	Параметры IP-потока. Какой мультикастовый адрес будет использоваться для маркировки, как используется таймслайсинг и т. п.
Сообщение № 4	Генерация информации PSI/SI, отсылка ее на абонентское устройство и обработка там

Из приведенной ранее схемы видно, что сообщения закольцованы, т. е. любой сервис может перерегистрироваться или изменить какие-либо свои параметры в любой момент.

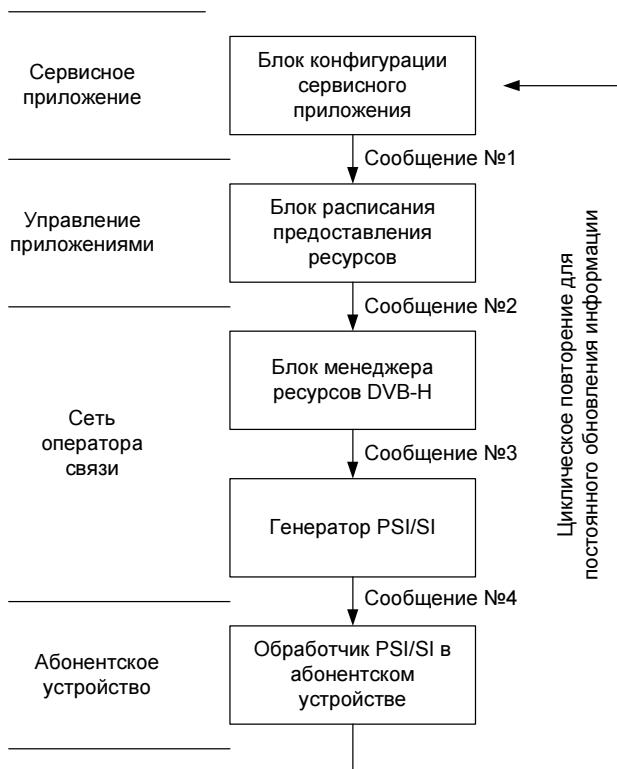


Рис. 11.5. Порядок конфигурации сервисов

11.7. Доступ к сервисам при помощи SDP, CDP и ESG

Для описания сервисов (теле- и радиопрограмм) в IPDC используется протокол *SDP* (*Session Description Protocol* — *Протокол описания сессий*). Протокол SDP — это анонсы сервисов, которые передаются в потоке. Протокол SDP дает краткое текстовое описание сервиса и указывает его мультикастовый адрес и порт, а также другие параметры (например, скорость потока, время работы сервиса и т. п.). Спецификация SDP приведена в открытом документе RFC 2327 "SDP: Session Description Protocol".

Для описания сервисов в IP-потоке вместо описанного ранее механизма может использоваться протокол *CDP* (*Content Delivery Protocol*) (вместе с механизмом *ESG* (*Electronic Service Guide*)), описанный в спецификации ETSI TS 102591 "Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Content Delivery Protocols (CDP) Implementation Guidelines". В настоящий момент протокол CDP широкого распространения не получил.

Иными словами, в IPDC имеется множество возможностей для описания сервисов. Как именно будут использованы эти возможности — зависит от разработчика оборудования. Еще один способ дать удобный доступ к сервисам и описание сервисов — электронный гид сервисов (*Electronic Service Guide* — ESG). Его преимущество в том, что он универсален и подходит не только для описания мультикастовых сервисов. В то же время, использование ESG нисколько не противоречит использованию протоколов SDP или CDP. Например, через ESG может передаваться перечень адресов, на которых транслируются SDP для сервисов и т. п.

Пользователю электронный гид сервисов может показаться самой главной частью мобильного телевидения. И в чем-то он будет прав — поскольку именно ESG предоставляет основу для конечного интерфейса: сведения о том, что можно смотреть, слушать или купить при помощи мобильного телевидения.

Как только абонентское устройство начало получать DVB-H, переносящий транспортный поток с информацией IPDC, устройство извлекает из этого потока PSI/SI. Информация PSI/SI описывает, на каком PID искать поток IPDC.

Отыскав этот поток, абонентское устройство ищет поток, который называется *загрузчик ESG* (*ESG bootstrap*). Этот поток содержит информацию о том, сколько ESG доступно в данном транспортном потоке. IP-адрес загрузчика обычно указывается в меню абонентского устройства (сотового телефона или переносного телевизора).

Каждый ESG, которые передаются в потоке, может адресовать какой-либо из сервисов либо все сервисы.

В примере на рис. 11.6 загрузчик ESG адресует два электронных гида ESG. Первый из них передает пользователю список телевизионных и радиопрограмм, второй — текстовых и интерактивных сервисов.

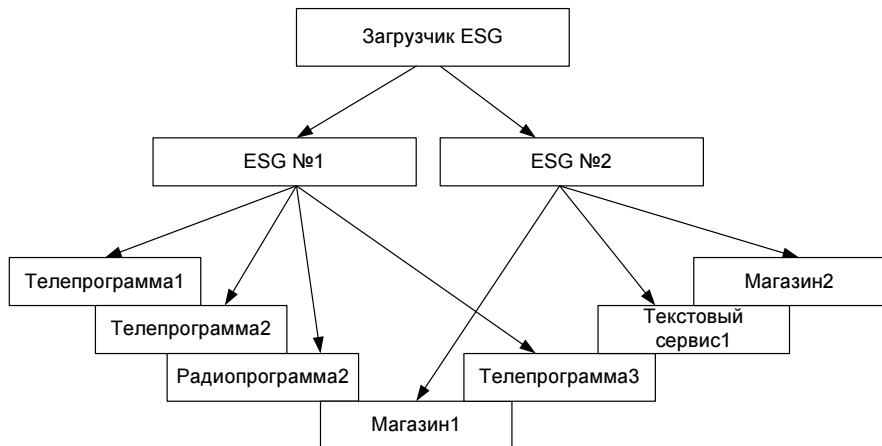


Рис. 11.6. Адресация в ESG

Описание сервисов производится с использованием XML. Таким образом, файл, который передается в потоке ESG, это файл XML. Модель данных, использующаяся для описания ESG при помощи XML (с примерами), может быть найдена в гл. 5 документа ETSI TS 102471 "Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG)".

Порядок посылки сообщений внутри IPDC (аналогичный тому, который мы приводили в предыдущей главе для сервисов) может быть найден в разд. 5.2.4 документа ETSI TR 102469 "Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Architecture".

Напомним, что файл ESG передается с использованием протокола FLUTE.

Конкретный дизайн ESG зависит от разработчика программного обеспечения ESG со стороны сервера и со стороны клиента (абонентского устройства). Как правило, для оператора связь работы с ESG сводится к общению с сервером ESG и описанию при помощи интерфейса этого сервера тех сервисов, которые передает оператор.

11.8. Модуляция и канальное кодирование в мобильном телевидении (DVB-H)

Канальное кодирование и модуляция для мобильного телевидения DVB-H определяется дополнением F (Annex F) стандарта ETSI EN 300744, а также отдельным стандартом ETSI EN 302304.

Модуляция и канальное кодирование в DVB-H отличается от DVB-T немногим, а именно:

- Вводится режим модуляции $4k$ (3409 несущих).
- Может использоваться MPE-FEC.
- Может использоваться таймсласинг (time slicing).
- Может использоваться углубленный интерлидинг (in-depth interleaving).

Использование всех этих четырех нововведений не является обязательным, но если их не использовать, то возможно снижение эффективности работы системы связи. В частности, режим $4k$ является промежуточным между $8k$ и $2k$. Он необходим для придания большей гибкости при создании одночастотных сетей. Как мы помним, максимальное расстояние между передатчиками зависит от длительности защитного интервала, а тот, в свою очередь, зависит от длительности фрейма. Длительность же фрейма зависит от количества несущих. Таким образом, максимальное расстояние между станциями в одночастотной сети зависит от количества несущих: при использовании режима $2k$ это расстояние не может быть больше 17 км, $4k$ — 33 км и $8k$ — 67 км.

При этом режим $8k$ обладает худшими параметрами, чем $2k$ при работе в канале Рэлея с эффектом Доплера, что необходимо для приема в движении. Таким образом, режим $4k$ представляет собой компромиссный вариант между плюсами и минусами режимов $2k$ и $8k$. Приведем заново табл. 7.4 из разд. 7.22, включив в нее сведения о режиме $4k$ (табл. 11.4). Длительности защитных интервалов читатель при желании сможет легко рассчитать сам.

Таблица 11.4. Режимы $8k$, $4k$ и $2k$

Параметр	Режим $8k$	Режим $4k$	Режим $2k$
Количество несущих	6817	3409	1705
Длительность символа, мкс	896	448	224
Расстояние между несущими, Гц	1116	2232	4464
Расстояние между первой и последней несущими, МГц	7,61	7,61	7,61

Поскольку в DVB-H используется мультипротокольная инкапсуляция, то для дополнительной защиты передаваемых данных логично использовать MPE-FEC. Проведенные исследования показали, что применение этого дополнительного способа коррекции ошибок FEC позволяет увеличить надежность канала связи. Однако MPE-FEC можно и не использовать, если предполагается, что канал связи будет работать надежно.

Возможно также применение таймслайсинга. Таймслайсинг, как мы уже рассматривали ранее, позволяет экономить ресурс батареи мобильного абонента-

ского устройства. Достигается это за счет того, что информация на абонентское устройство поступает всплесками (bursts), между которыми устройство переходит в режим экономии электроэнергии.

Углубленный интерлидинг позволяет производить более качественное энтропийное перемешивание. В случае использования этого режима, производится перемешивание внутри нескольких символов COFDM. Количество символов определяется размером буфера, используемого для интерлидинга. В этот буфер помещается 1 фрейм в режиме $8k$, 2 фрейма в режиме $4k$ и 4 фрейма в режиме $2k$. Использование углубленного интерлидинга дает небольшое увеличение надежности для режимов $4k$ и $2k$. Для режима $8k$ улучшения надежности не будет по сравнению с обычным (native) режимом интерлидинга, поскольку, как и в случае с обычным интерлидингом, перемешивание производится в пределах одного символа COFDM. Более совершенный механизм межсимвольного интерлидинга реализован в DVB-T2 (см. гл. 12).

Кроме того, вводятся изменения в информацию TPS для того, чтобы была возможность обозначать вновь введенные режимы. В частности бит 27 TPS должен быть равен 0, если используется стандартный (native) интерливер, и 1, если используется углубленный интерливер. Биты 48 и 49 показывают, используется ли разбивка по времени и MPE-FEC соответственно. Подробнее о TPS см. в разд. 7.24.

11.9. Использование иерархической модуляции

Преимущества иерархической модуляции для передачи сервисов с разной степенью надежности доставки можно продемонстрировать на примере одновременной передачи мобильного телевидения DVB-H и "обычного" DVB-T при помощи одного передатчика.

Мобильное телевидение должно приниматься в 100% мест и 100% времени, что и подразумевает мобильность. DVB с фиксированным приемом достаточно обеспечить в 50% мест и 50% времени. Таким образом, получается, что для передачи сигналов мобильного телевидения необходима более высокая надежность, чем для сетей фиксированного цифрового телевидения. Передавать такие сервисы при помощи одного передатчика возможно с использованием иерархической модуляции: при этом транспортный поток мобильного телевидения должен быть потоком высокого приоритета (High priority — HP), а транспортный поток фиксированного DVB-T — низкого приоритета (Low priority — LP).

Таблицы скоростей для различных режимов приведены в документе ETSI EN 300744 (стр. 40—42) и частично в разд. 7.20 данной книги.

Например, для случая наибольшей помехозащищенности потока высокого приоритета можно выбрать $\alpha = 2$ QPSK, FEC = 1/2, защитный интервал равен 1/4. В этом случае скорость потока составит 4,98 Мбит/сек, что вполне достаточно для передачи двух десятков каналов мобильного телевидения. При использовании такого режима для низкого приоритета используется 64QAM с такими же значениями FEC и защитного интервала, что соответствует скорости также 4,98, что позволит передавать два канала полноэкранного DVB-T или один канал HD (все — со сжатием H.264).

Если использовать все те же характеристики, но $\alpha = 1$, то из указанных таблиц мы получим скорости 4,98 и 9,95 Мбит/сек для потоков высокого и низкого приоритетов соответственно, но меньшую надежность для потока низкого приоритета.

11.10. Дескрипторы MPEG TS для DVB-H

Для описания сети мобильного телевидения в таблице NIT используются дескрипторы, рассмотренные в разд. 8.14. Детальное описание всех дескрипторов можно найти в стандарте ETSI EN 300468 "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems". Также некоторые из дескрипторов, употребляемых в IPDC и DVB-H, мы уже рассматривали в гл. 9 "Передача данных в сетях DVB", в частности дескриптор, описывающий таймслайсинг и MPE-FEC, приводится в разд. 9.9.

11.11. Обеспечение мобильности

Основные аспекты, касающиеся обеспечения мобильности, рассмотрены в документе ETSI TS 102611 "Digital Video Broadcasting (DVB); IP Datacast over DVB-H: Implementation Guidelines for Mobility" ("Цифровое телевидение: IPDC. Руководство по реализации мобильности").

Сети DVB-H должны обеспечить максимально высокую надежность доставки сигнала (100% мест и 100% времени) на значительной территории, в том числе в крупных городах. Одним передатчиком перекрыть обширную область затруднительно, поэтому сети мобильного телевидения строятся по принципу одночастотных сетей.

Каждая станция, использующаяся в сети, имеет свой номер (cell_id), который передается в TPS (биты 40—47). Номер ячейки должен быть уникален в пределах действия идентификатора сети (Network_ID).

Должна обеспечиваться синхронизация сетей (посредством MIP) и возможность переключения (handover) мобильного устройства с одной станции на другую во время движения с сохранением качества передаваемого материала.

При движении станции может возникнуть пять различных вариантов, в каждом из которых поведение мобильного абонентского устройства отличается (табл. 11.5).

Таблица 11.5. Варианты изменения параметров сети при движении

№	Изменяется исходный network_id	Изменяется Transport stream id	Изменяется network_id	Изменяется cell_id
1				+
2			+	+
3		+		+
4		+	+	+
5	+	+	+	+

Случай № 2—4 довольно экзотические и на практике вряд ли будут иметь место. Например, случай № 3 может происходить, если сервис в пределах одной сети передается на разных станциях с разными идентификаторами транспортных потоков. Ясно, что такая ситуация крайне нежелательна и более того, в случае использования единого центра формирования программ (одного инкапсулятора и мультиплексора), невозможна. Традиции таковы, что каждый сервис передается в пределах одной сети и при въезде в зону действия другой сети, этот сервис необходимо приобретать заново.

В качестве примера рассмотрим поведение устройства в самом распространенном случае — случае № 1, который происходит при движении абонента в пределах одной многочастотной сети. При этом не меняются никакие идентификаторы, кроме номера ячейки. В этом случае спецификация ETSI TS 102611 предлагает использовать следующее поведение абонентского устройства:

- *Шаг первый:* абонентское устройство проверяет флаг other frequency flag в дескрипторе terrestrial delivery system descriptor в таблице NIT. Если значение этого флага равно true, то сеть использует несколько частот, а не одну-единственную.
- *Шаг второй:* устройство находит дескриптор cell frequency link descriptor в таблице NIT и находит в нем информацию о том, какие ячейки (cells) на каких частотах работают. Эта информация может быть использована для поиска по частотам соседних станций сети, т. е. для предотвращения сканирования всех частот. Если текущая станция, допустим, имеет идентификатор ID, равный 100, то логично, что станции 99 и 101 находятся где-то неподалеку и в первую очередь нужно проверить их частоты.

- *Шаг третий:* устройство может найти дескриптор cell list descriptor в таблице NIT и получить информацию о географических координатах станций. Если устройство имеет встроенный GPS, то оно может использовать полученную информацию для определения частоты и номера ближайшей ячейки сети.
- Далее устройство производит сканирование и выбирает сервис, на который необходимо произвести переключение. Может оказаться так, что устройство обнаружит сигналы нескольких станций — тогда появится возможность выбирать станцию с более сильным сигналом.

Похожая процедура может выполняться и первоначальном включении устройства.

Поскольку для передачи сигналов DVB-H, как правило, используется тайм-слайсинг, для мониторинга условий приема подходит промежуток времени между всплесками (bursts), когда устройство находится в режиме с небольшим энергопотреблением. В этот промежуток устройство может производить сканирование эфира с целью поиска станций, на которые можно произвести переключение.



ГЛАВА 12

DVB-T2 — цифровое телевидение второго поколения (обзор)

В 2008—2009 годах консорциум DVB (www.dvb.org) выпустил новую спецификацию наземного эфирного цифрового телевидения, которая называется *DVB-T2* и позволяет получить больший полезный битрейт в полосе телевизионных частот в среднем на 30—60% по сравнению с DVB-T. Какой именно выигрыш можно получить, зависит от применяемых режимов модуляции и построения сети. Максимальным такой выигрыш будет в одночастотных сетях.

Спецификация DVB-T2 содержится в "голубых книгах" (blue book) консорциума DVB и свободно доступна на сайте консорциума. На настоящий момент выпущено три "голубые книги":

- A122 — модуляция и канальное кодирование;
- A133 — руководство по использованию;
- A136 — новый интерфейс модулятора DVB-T2.

Основные отличия DVB-T2 от DVB-T следующие.

Для инкапсуляции информации может использоваться не только транспортный поток MPEG2, но и транспортный поток общего назначения (generic transport stream). В транспортном потоке общего назначения используется переменный размер пакета, а не фиксированный, как в MPEG2. Это позволяет снизить объем передаваемых служебных данных и сделать адаптацию транспорта к сети более гибкой. Кроме транспортных потоков могут также передаваться любые битовые потоки. Таким образом, по сравнению с DVB-T, привязки к какой-либо структуре данных на уровне транспорта более не существует.

Введено распределение несущих COFDM между логическими потоками информации, так называемыми physical layer pipes (PLP). В DVB-T вся полоса

использовалась для передачи одного транспортного потока. В DVB-T2 возможна одновременная передача нескольких транспортных потоков, каждый из которых помещается в свою PLP (рис. 12.1). Возможны два режима работы "Режим А" — с передачей одной PLP и "Режим В" — с передачей нескольких.



Рис. 12.1. Пример использования трех PLP

Использование такого механизма может, в частности, позволить уменьшить энергопотребление абонентского устройства, поскольку устройство может выключаться в тот момент, когда передаются PLP, не нужные абоненту. Похожий механизм энергосбережения использовался в DVB-H (отключение абонентского устройства между "вспышками").

Для одночастотных сетей введен режим MISO (Multiple Input Single Output — "много входов, один выход"), который позволяет достичь до 70% выигрыша в возможном битрейте. Опыт эксплуатации одночастотных сетей показал, что даже при сложении синхронизированных сигналов, результирующий спектр COFDM претерпевает искажения (в форме "провалов" огибающей несущих COFDM). В результате, для компенсации этих "провалов", т. е. сохранения требуемого отношения сигнал/шум, необходима более высокая мощность передатчиков. Режим MISO позволяет избежать этой неприятности. Основная идея здесь состоит в том, что передатчики в одночастотной сети в режиме MISO излучают не в точности один и тот же сигнал. В результате, при сложении сигналов с разных передатчиков, "провалов" огибающей не возникает и умножения передатчиков не требуется.

Введены изменения в систему пилот-сигналов, т. е. специально выделенных несущих в спектре COFDM, предназначенных для определения параметров канала передачи. В DVB-T использовалась одна и та же схема размещения

несущих в спектре для всех видов модуляции. В DVB-T2 определено 8 различных способов размещения: PP1...8 (PP от "pilot pattern"). Выбор оптимального способа позволяет уменьшить количество передаваемой служебной информации на 1—2%.

В канальном кодировании в DVB-T использовались сверточные коды совместно с кодами Рида-Соломона. В DVB-T2 предлагается использование более эффективных (и более сложных) кодов LDPC вместо сверточных кодов и кодов BCH вместо кодов Рида-Соломона. Эффективность этих кодов была известна давно, но ранее не удавалось создать дешевую реализацию на базе микроэлектроники. При использовании LDPC+BCH удается достичь выигрыша в несколько децибел в отношении сигнал/шум для достижения $BER = 10^{-4}$.

Введен режим модуляции 256QAM, т. е. передача 8 бит на несущей. Это позволяет увеличить емкость канала на треть. Казалось бы, такой режим потребует гораздо более жестких требований на отношение сигнал/шум. Однако помехоустойчивость LDPC-кодов настолько высока, что они справляются с компенсацией ошибок, возникающих при использовании режима 256QAM без увеличения отношения сигнал/шум.

Еще одно любопытное нововведение — вращающиеся созвездия (rotated constellation). После того как сигнал COFDM сформирован, производится "вращение" созвездия в комплексной плоскости (рис. 12.2). Чтобы продемонстрировать принцип, изобразим упрощенно эту схему только для 4 точек комплексной плоскости созвездия (т. е. режима QPSK).

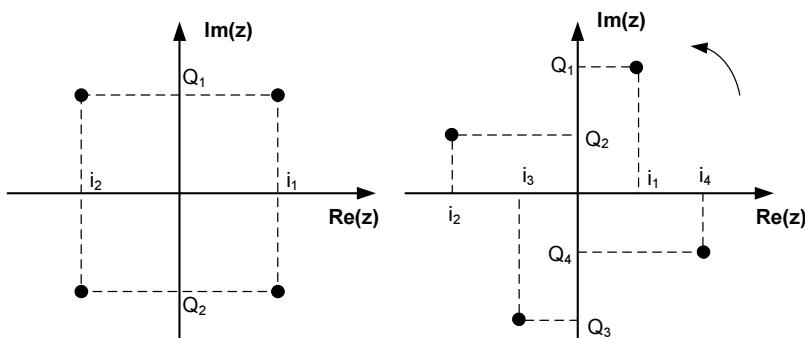


Рис. 12.2. Вращающееся созвездие

На левом рисунке изображено созвездие QPSK и показаны проекции векторов на оси. На правом рисунке это созвездие повернуто против часовой стрелки и также показаны проекции векторов на оси. Видно, что в результате

поворота каждый вектор стал кодироваться уникальной комбинацией проекций, в то время как на левом рисунке значения проекций для пар векторов совпадали.

Допустим, при передаче возникла помеха, и информация о компоненте Im была утеряна и осталась только информация о компоненте Re (т. е. осталась только проекция на ось X). По этой проекции невозможно будет восстановить, в какой полуплоскости — верхней или нижней — находится вектор. На правом же рисунке каждому вектору соответствует уникальное значение по оси X и восстановить утерянную информацию возможно. Кроме того, при использовании интерликинга, компоненты Im и Re передаются раздельно, т. е. их одновременная потеря менее вероятна. Использование врачающихся созвездий может дать выигрыш в несколько децибел в отношении сигнал/шум.

Введены режимы FFT с количеством несущих $16k$ и $32k$ в дополнение к имеющимся в DVB-T $2k$, $4k$, $8k$ и новые значения защитных интервалов, что позволяет увеличить емкость канала связи. Поскольку количество несущих возрастает в той же самой полосе частот, то возрастает вероятность межсимметричной интерференции. Для того чтобы эта вероятность не была слишком большой, необходимо соответственно увеличить длительность символа модуляции. Казалось бы, это не позволит увеличить скорость передачи данных: мы увеличиваем количество несущих, но и одновременно увеличиваем время их передачи. Однако требования на абсолютную длительность защитного интервала при этом не меняются, т. к. время прихода отраженного сигнала от длительности символа никак не зависит. Поэтому для использования с режимами $16k$ и $32k$ в DVB-T2 предусмотрены старые значения защитных интервалов и несколько новых, которые существенно не меняют продолжительность защитного интервала: $1/128$, $19/128$, $19/256$ (табл. 12.1).

Таблица 12.1. Максимальные расстояния между станциями в одночастотной сети DVB-T2 для разных значений FFT и защитного интервала

Режимы FFT	Максимальное расстояние между станциями в одночастотной сети для соответствующего значения защитного интервала, км						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	8,4	33,6	67,2	79,8	134,4	159,6	—
16k	4,2	16,8	33,6	39,9	67,2	79,8	134,4
8k	2,1	8,4	16,8	19,9	33,6	39,9	67,2
4k	—	4,2	8,4	—	16,8	—	33,6
2k	—	—	2,1	—	4,2	—	8,4

Защитный интервал 1/128 в режиме $32k$ будет иметь такую же абсолютную длительность ($t = 28$ мсек), как 1/32 в режиме $8k$, а значит, обеспечивать точно такую же защиту от отраженных сигналов. Использование новых защитных интервалов вместе с новыми значениями FFT позволяет получить выигрыш от 2 до 17% в емкости канала.

Введен "расширенный" режим для количества несущих $8k$, $16k$ и $32k$. Он заключается в том, что в случае, когда нет строгих требований по совместимости со станциями в соседнем канале, возможно добавить дополнительные несущие "с боков" спектра COFDM. При большем количестве несущих спектр имеет более крутой спад на краях и добавление несущих не приводит к выходу за пределы допустимой маски формы спектра. Добавление дополнительных несущих позволяет выиграть 1—2% емкости канала (битрейта).

Вводятся также изменения в схему интерлидинга. Практическое использование DVB-T показало недостаточно хорошую устойчивость к импульсным помехам. В частности, в городской среде, использование режима 64QAM с малыми значениями FEC может оказаться более эффективным, чем использование 16QAM с большими значениями FEC. Для противодействия импульсным помехам в DVB-T2 дополнительно вводится интерлидинг по времени — т. е. различные компоненты информации "перемешиваются" во временной шкале в масштабе около 70 мсек. Таким образом, информация, потерянная в один период времени, может быть восстановлена с использованием информации, передаваемой в другой период времени. Схему интерлидинга в DVB-T2 мы рассмотрим чуть подробнее далее.

Для уменьшения отношения пиковой мощности к средней (PAPR) предлагаются использовать два способа:

- Active Constellation Extension (ACE);
- Tone Reservation (TR).

Чем меньше значение PAPR, тем выше КПД передатчика по мощности. Оба способа могут использоваться одновременно, однако первый из них предпочтительнее для созвездий с меньшим количеством векторов (QPSK), второй — с большим (QAM). Использование каждого способа обладает и своими недостатками, например использование ACE приведет к снижению отношения сигнал/шум на входе приемного устройства, а использование TR приведет к небольшому уменьшению емкости канала, поскольку предполагает использование части несущих для передачи специальных корректирующих сигналов.

Структура DVB-T2 на физическом уровне показана на рис. 12.3.

Для того чтобы зарезервировать место для информации, которая может появиться в будущем и передаваться в COFDM, в DVB-T2 наравне с фреймами собственно DVB-T2 вводятся фреймы FEF (future extension frames). Для этих

фреймов определена только структура заголовка, содержимое не регламентируется.

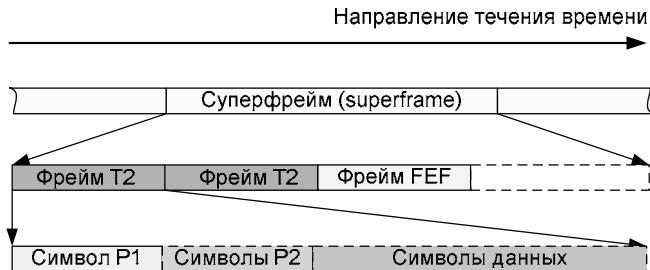


Рис. 12.3. Структура сигнала DVB-T2 (физический уровень)

Рассмотрим подробнее (рис. 12.4) структуру сигнала DVB-T2 (так называемую "систему T2"). Сигнал DVB-T2 на физическом уровне состоит из суперфрейма (рис. 12.5), который включает в себя фреймы T2 и(или) FEF-фреймы. Фреймы T2 в свою очередь содержат символы P1 и P2 и данные. "Символы" здесь и далее необходимо понимать в смысле "символы COFDM".

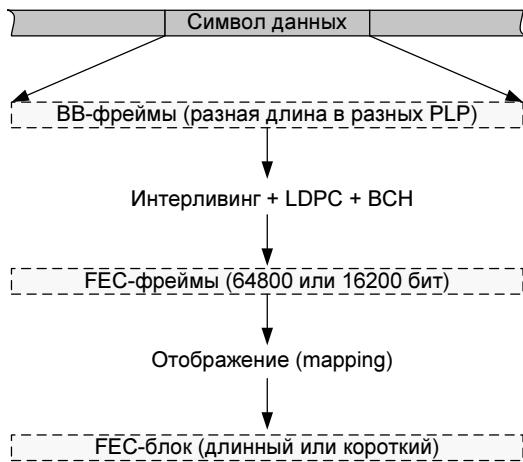


Рис. 12.4. BB- и FEC-фреймы, FEC-блоки

Символы P1 и P2 служат для передачи различной служебной информации. В одном суперфрейме может содержаться до 255 T2-фреймов. Длительность фрейма T2 определяется тем, какой выбран режим FFT, какой выбран защитный интервал и сколько символов COFDM будет использоваться.

Символы данных состоят из фреймов нескольких типов: BB-фрейм (BB — сокращение от baseband), FEC-фреймов и FEC-блоков. BB-фрейм является

контейнером для передаваемого потока данных: транспортного потока MPEG или любого другого. В одном BB-фрейме располагается целое число пакетов транспортного потока. BB-фрейм может иметь в общем случае переменную длину, которая зависит от выбранной схемы канального кодирования. В рамках одной PLP BB-фрейм должен иметь фиксированную длину.

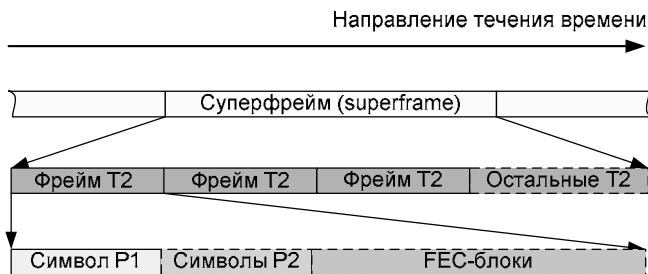


Рис. 12.5. "Свернутый" состав суперфрейма

BB-фрейм, вместе со своим заголовком и содержимым, рассматривается как слово, к которому применяются коды LDPC и BCN. В результате применения LDPC и BCN получается FEC-фрейм, который может иметь длину только или 64 800 или 16 200 бит.

После того как FEC-фрейм сформирован, он подвергается интерливингу (перемешиванию) и разбивается на слова, соответствующие выбранному созвездию (для 64QAM, например, в таком слове будет 6 бит). Затем выполняется отображение (mapping) этих слов, в результате чего получаются ячейки COFDM (cells). По сути, ячейка COFDM это совокупность элементов $Re(z)$ и $Im(z)$, определяющих положение векторов для каждого компонента отображаемого слова.

Последовательность ячеек COFDM, соответствующих одному FEC-фрейму, и называется FEC-блоком. FEC-блоки, соответствующие длине FEC-фрейма в 64 800 бит, называются *длинными*, а 16 200 бит — *короткими*. Первые из них удобнее для осуществления передачи в более надежных каналах связи при постоянном битрейте, вторые дают "гибкость" в битрейте, но зато больше трафика уходит на передачу заголовков пакетов.

Пожалуйста, обратите внимание, что приведенные иллюстрации структуры суперфрейма и фреймов (рис. 12.3—12.5) не отражают последовательности передаваемых данных, т. е. то, что FEC-блоки идут последовательно друг за другом на рисунке, вовсе не означает, что эти блоки передают последовательные части транспортного потока. Поэтому на иллюстрациях не использованы порядковые номера фреймов и блоков. Эти рисунки приведены только для того, чтобы показать иерархию.

В действительности, последовательность передачи информации внутри суперфрейма значительно нарушена вследствие применения энтропийного перемешивания — интерлидинга. Поэтому последовательные части транспортного потока, инкапсулированные в ВВ-фреймы, могут, вообще говоря, оказаться в разных частях одного суперфрейма.

В DVB-T интерлидинг осуществлялся только в пределах одного символа модуляции, и, следовательно, в пределах только того момента времени, пока этот символ передавался. Если информация вследствие помех в канале связи была потеряна в какой-то момент времени, то ее невозможно было восстановить на основании информации, переданной в другой момент времени.

В DVB-T2 система интерлидинга усложнена, вводится интерлидинг по времени, что позволяет увеличить устойчивость передачи к импульсным помехам, которые очень характерны для больших городов, т. е. информация перемещивается не только внутри одного символа модуляции, но и внутри одного суперфрейма. Конечно, это требует для абонентского устройства наличия большой оперативной памяти, где при де-интерлидинге необходимо будет хранить блок временного интерлидинга, или Т1-блок (см. далее), а не один символ, как в DVB-T.

В DVB-T2 вводятся две новые структуры, которые "отвечают" за интерлидинг — фрейм интерлидинга и блок временного интерлидинга (Т1-блок). По сути, эти структуры определяют границы, в которых будет производиться интерлидинг.

Фрейм интерлидинга (рис. 12.6) состоит из целого числа Т1-блоков. Число это можно изменять. Однако рекомендуется использовать комбинацию одного фрейма интерлидинга и одного Т1-блока, поскольку именно в этом случае интерлидинг будет выполняться на большем промежутке времени. Количество FEC-блоков в одном Т1-блоке может не быть постоянным. Каждый фрейм интерлидинга проецируется на один или несколько Т2-фреймов.

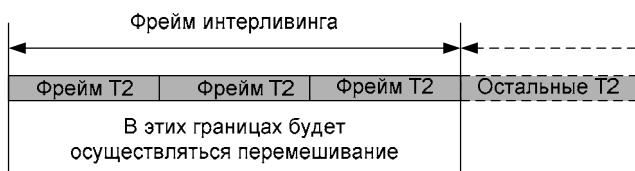


Рис. 12.6. Фрейм интерлидинга и Т2-фреймы

Теперь рассмотрим вопрос вычисления доступной емкости канала, которую можно использовать для передачи полезных данных. В стандарте DVB-T ETSI EN 300744 была приведена таблица, показывающая производительность для разных режимов модуляции. В DVB-T2 невозможно представить расчет в

Таблица 12.2. Битрейт для расширенного режима 32k, защитного интервала 1/128 и пилот-сигналов PP7

Модуляция	FEC	Битрейт, Мбит/сек
QPSK	1/2	7,4
	3/5	8,9
	2/3	9,9
	3/4	11,1
	4/5	11,9
	5/6	12,5
16QAM	1/2	15,0
	3/5	18,1
	2/3	20,1
	3/4	22,6
	4/5	24,1
	5/6	25,2
64QAM	1/2	22,3
	3/5	27,0
	2/3	30,1
	3/4	33,8
	4/5	36,1
	5/6	37,6
256QAM	1/2	30,1
	3/5	36,1
	2/3	40,2
	3/4	45,2
	4/5	48,3
	5/6	50,3

таком наглядном виде, поскольку расчет включает очень много различных факторов, определяемых оператором связи исходя из конкретных условий работы. Для расчета емкости канала DVB-T2 используется достаточно громоздкая формула, которую мы не будем здесь приводить, поскольку для ее применения потребуются более глубокие сведения о DVB-T2. Отметим только некоторые факторы, которые влияют на допустимый битрейт: тип модуля-

ции, количество несущих, параметры LDPC и BCH кодов, схема пилот-сигналов, режим интерлидинга, расширенный режим модуляции используется или обычный, какой тип FEC-блока используется и некоторые другие факторы.

Наибольшая производительность достигается в режиме $32k$, при защитном интервале 1/128 и использовании схемы пилот-сигналов PP7 (см. табл. 12.2).

Очевидно, что алгоритмы, предлагаемые стандартом, должны быть легко реализуемы в массовом производстве и не приводить к появлению слишком дорогого абонентского оборудования. Выбор решений, приведенных в стандарте, по заверению его разработчиков, диктовался как раз соображениями эффективности и дешевизны их реализации при массовом производстве. Время покажет, удастся ли этого достичь.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Краткий толковый словарь английских аббревиатур, используемых в цифровом телевидении

В этом примечании приведены расшифровки аббревиатур, которые могут встретиться в англоязычной литературе по цифровому телевидению или в инструкциях по эксплуатации на оборудование цифрового телевидения. Разумеется, данные перечень является далеко не полным. Из перечня исключены специализированные компьютерные аббревиатуры и аббревиатуры, не имеющие прямого отношения к DVB.

В случае отсутствия приемлемого перевода на русский язык, дается объяснение термина без перевода.

Следует также иметь в виду, что среди инженеров существует определенная мода на ввод новых аббревиатур. Поэтому, если в каком-либо документе вы встретили незнакомую аббревиатуру, постараитесь найти ее расшифровку либо в словаре, которые обычно входят в состав технических документов, либо на сайте организации или предприятия, сотрудники которого создали этот документ.

0...9

16APSK (16-ary Amplitude and Phase Shift Keying) — 16-позиционная амплитудно-фазовая модуляция, используемая в DVB-S2 (спутниковое цифровое телевидение второго поколения).

32APSK (32-ary Amplitude and Phase Shift Keying) — 32-позиционная амплитудно-фазовая модуляция, используемая в DVB-S2 (спутниковое цифровое телевидение второго поколения).

3G (3rd Generation) — технологии мобильной связи 3-го поколения. Предполагают, в том числе, и передачу цифрового телевидения.

3GPP (3rd Generation Partnership Project) — консорциум, разрабатывающий технологии 3G.

8PSK (8-ary Phase Shift Keying) — 8-позиционная амплитудно-фазовая модуляция, используемая в DVB-S2 (спутниковое цифровое телевидение второго поколения).

A

a.g.l. (above ground level) — высота над уровнем моря (антенны).

AAC (Advanced Audio Coding) — усовершенствованное аудиокодирование. Технология кодирования, определенная в документе ISO/IEC 13818-7, часто для краткости именуется "звук в стандарте MPEG2". Считается более совершенным, чем mp3.

AAC LC (Advanced Audio Coding Low Complexity) — усовершенствованное аудиокодирование низкой сложности. Наиболее простой и распространенный профиль кодирования стандарта AAC.

ABNF (Augmented Backus-Naur Form) — метаязык, который может быть использован для описания ESG или интерактивных сервисов, особенно при передаче через IP-сети.

AC (Access Criteria) — критерий доступа. В системах условного доступа — некий критерий, по которому осуществляется доступ абонента к просмотру программы.

AC-3 Dolby (AC-3 audio coding system) — система кодирования звука, кратко именуемая AC-3. Разработана компанией Dolby. Описана в спецификации ETSI TS 102366.

ACG (Access Criteria Generator) — генератор критериев доступа. В системах условного доступа — устройство или программа, отвечающая за выработку критериев доступа (AC).

ACI (Adjacent Channel Interference) — помеха на соседний канал. Помеха от телевизионного передатчика, работающего на частоте канала с номером N , на каналы с номерами $N - 1$ и $N + 1$.

ACM (Adaptive Coding and Modulation) — адаптивное кодирование и модуляция. Канальное кодирование и модуляция, параметры которых могут изменяться в зависимости от состояния канала связи для поддержания необходимого качества связи (используется в DVB-S2).

AES (Advanced Encryption Standard) — усовершенствованный стандарт шифрования (см., например, документ RFC 3565).

AFC (Automatic Frequency Control) — автоматическая подстройка частоты.

AFD (Active Format Description) — набор кодов для передачи в транспортном потоке MPEG или в сигнале SDI, которые содержат информацию о пропорциях размеров изображения (aspect ratio). См. спецификацию ETSI TS 101154.

AGC (Automatic Gain Control) — автоматическая регулировка усиления.

AI (Amplitude Imbalance) — несоответствие амплитуд. Эффект, возникающий в модуляторе COFDM, когда масштабы по осям X и Y искажены, что приводит к искажению формы созвездия.

AID (Application Identifier) — идентификатор приложения (в мобильном или интерактивном телевидении).

AL-FEC (Application Layer-FEC) — сверточное кодирование на уровне приложения, дающее дополнительную устойчивость к потерям данных (в DVB-IPI).

AOT (Audio Object Type) — тип кодирования аудио в соответствии со стандартом ISO/IEC 14496-3 (например, AAC LC).

APDU (Application Protocol Data Units) — протокол обмена информацией между смарт-картой и устройством чтения этой смарт-карты (см. стандарт ISO 7816).

ASO (Arbitrary Slice Ordering) — произвольный порядок слайсов. Используется в стандарте H.264 для улучшения компрессии и повышения устойчивости к потерям информации.

ATSC (Advanced Television Systems Committee of the USA) — стандарт цифрового телевидения, принятый в США. Несовместим с DVB.

AU (Access Unit) — единица доступа. Логическая единица структуры информационного потока, которая может быть адресуема и к которой может осуществляться доступ. Наличие AU делает возможным доступ к произвольным частям потока.

AUX Data (AUXiliary Data) — дополнительные данные (в широком смысле слова).

AV или A/V (Audio/Visual) — аудио- и видеинформация.

AVC (Advanced Video Coding) — стандарт видеокомпрессии. То же самое, что H.264 и MPEG4 part10.

AVP (Audio Video Profile) — аудиовидеопрофиль. Данные в протоколе SDP (тип полезной нагрузки — payload type), содержащие описание передаваемой по протоколу RTP видео- и аудиоинформации. См. документ RFC 3551.

AWGN (Additive White Gaussian Noise) — аддитивный белый шум (или гауссов шум).

B

BAT (Bouquet Association Table) — таблица букета (набора сервисов) в PSI/SI MPEG TS.

BB (Baseband) — базовый диапазон частот, т. е. диапазон частот модулирующей функции. Например, для эфирного телевидения базовый диапазон находится в пределах от 0 до 8 МГц.

BC (Backwards-Compatible) — обратно-совместимый (например, способ кодирования).

BCD (Binary Coded Decimal) — двоично-десятичный код или число.

BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) — код Бозе-Чоудхури-Хоквингема. Используется в канальном кодировании для увеличения помехоустойчивости. Используется в цифровом телевидении второго поколения.

BEP (Bit Error Probability) — то же, что BER.

BER (Bit Error Rate) — относительное количество ошибок в цифровом потоке.

BISS (Basic Interoperable Scrambling System) — один из способов шифрования сигнала с целью организации условного доступа.

BPSK (Binary Phase Shift Keying) — 2-позиционная амплитудно-фазовая модуляция, используемая в DVB-S/S2.

BS (Broadcast Service) — вещательный сервис (телепрограмма, радиопрограмма и т. п.).

BW (BandWidth) — диапазон частот, полоса пропускания.

BWE (BandWidth Extension) — расширение диапазона. Способ обработки сигнала с целью увеличения его информационной емкости при сохранении диапазона частот.

C

C(P)SIG (Custom PSI/SI Generator) — генератор PSI/SI, в котором могут присутствовать функции, определяемые пользователем (в рамках стандарта).

C/I (Carrier to Interference ratio) — отношение несущая/помеха (по мощности или уровню).

C/N (Carrier to Noise ratio) — отношение сигнал/шум (по мощности или уровню), см. также SNR.

CA (Access Control) — управление доступом. Комплекс мер по запрету или разрешению доступа пользователей к передаваемым сервисам.

CA (Conditional Access) — условный доступ. Доступ пользователей к передаваемым сервисам в зависимости от каких-либо условий (например, от произведенной платы за просмотр).

CABAC (Context Adaptive Binary Arithmetic Coding) — способ энтропийного кодирования, который применяется в стандарте H.264.

CAS (Conditional Access System) — система условного доступа (конкретная). Например, BISS, Irdeto, Conax и т. п.

CAT (Conditional Access Table) — таблица PSI/SI MPEG TS, описывающая применяемую систему условного доступа (CAS).

CATV (Community Area TV) — кабельное телевидение.

CBMS (Convergence of Broadcast and Mobile Services) — название рабочей группы, разрабатывавшей технологию IPDC. Иногда (особенно несколько лет назад) саму технологию IPDC называли CBMS.

CBR (Constant Bit Rate) — постоянный битрейт.

CCI (Co-Channel Interference) — помеха в смежном канале. Например, в городе "А" действует передатчик на 22ТВК, а в соседнем городе "Б" другой передатчик на этом же канале. CCI характеризует их взаимное негативное влияние.

CCM (Constant Coding and Modulation) — постоянное кодирование и модуляция (см. также ACM). Параметры кодирования и модуляции постоянны и не зависят от свойств канала связи.

CDP (Content Delivery Protocol) — протокол доставки контента в мобильном телевидении.

CEK (Content Encryption Key) — ключ шифрования контента (в AES).

CENC (Content ENCoding) — шифрование контента.

CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) — европейский комитет по стандартизации в области электротехники.

CI (Common Interface) — общий интерфейс. Часто используется для целей подключения модулей условного доступа (CAM-модулей) к абонентским устройствам.

CID (Content ID) — идентификатор контента.

CIF (Common Interchange Format) — стандарт размера цифрового изображения графических и видеофайлов (352×288 точек).

COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) — кодированное ортогональное мультиплексирование с частотным разделением. Модуляция, использующаяся в цифровом телевидении.

CP (Crypto Period) — период действия какого-либо ключа шифрования.

CPB (Coded Picture Buffer) — буфер в модели HRD, в котором хранится кодированное изображение (см. также HRD, VBV).

CPCM (Content Protection and Copy Management) — технология защиты от копирования, применяемая в DVB. Является частью стандарта DVB (см. DVB-CPCM).

CS (Carrier Suppression) — подавление несущей.

CSA (Common Scrambling Algorithm) — общий алгоритм шифрования. Лежит в основе систем шифрования, применяемых в DVB с использованием технологии Simulcrypt.

CTR (CounTeR) — счетчик.

CW (Control Word) — кодовое слово, при помощи которого осуществляется шифрование с помощью CSA.

CWG (Control Word Generator) — генератор CW (кодового слова), входящий в состав CAS.

D

DAB (Digital Audio Broadcasting) — стандарт цифрового радио.

DAGC (Digital AGC) — цифровая регулировка усиления.

DAR (Display Aspect Ratio) — соотношение сторон кадра изображения на отображающем устройстве (см. также SAR).

DAVIC (Digital Audio VIIsual Council) — консорциум (www.davic.org), ставящий своей целью разработку различных спецификаций для интерактивных сервисов, в том числе и в цифровом телевидении.

DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) — разновидность BPSK, используемая, в частности, для передачи служебной информации в DVB (см. TPS).

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) — усовершенствованный стандарт цифровой беспроводной связи. Может использоваться для организации обратного канала в интерактивном телевидении.

DEMUX (DeMuItipleXer) — демультиплексор.

DFT (Discrete Fourier Transform) — дискретное преобразование Фурье.

DIT (Discontinuity Information Table) — таблица информации о прерывании. Таблица PSI/SI, использующаяся для обозначения причины прерывания передачи транспортного потока MPEG TS.

DNP (Deleted Null Packets) — нулевые пакеты MPEG TS, которые были удалены.

DRC (Dynamic Range Control) — регулировка (управление) динамического диапазона.

DRD (Device Registration Data) — данные, использующиеся для регистрации устройства в системе.

DRM (Digital Rights Management) — общий термин, обозначающий управление авторскими правами, лицензиями на прослушивание и просмотр распространяемых материалов в цифровом виде.

DRM (Digital Radio Mondiale) — стандарт цифрового радио.

DSM-CC (Digital Storage Media — Command Control) — часть стандарта MPEG2 (ISO 13818-6), описывающая технологию передачи данных в транспортном потоке MPEG2.

DSNG (Digital Satellite News Gathering) — видеопроизводственный термин. Обозначает сбор новостной (и любой другой) информации, организации прямых трансляций и включений при помощи спутниковой связи.

DTT (Digital Terrestrial Television) — общий термин, означающий наземное цифровое телевидение (независимо от применяемого стандарта).

DTV (Digital TeleVision) — общий термин, обозначающий цифровое телевидение.

DVB (Digital Video Broadcasting) — "цифровое вещание видео", европейский стандарт цифрового телевидения. Стандартизирован ETSI, разрабатывается консорциумом DVB (www.dvb.org).

DVB-C — стандарт цифрового кабельного телевидения на базе DVB.

DVB-CPCM — аббревиатура, применяемая для обозначения технологии защиты от копирования, применяемой в DVB.

DVB-CSA — стандарт, описывающий использование алгоритма шифрования CSA в цифровом телевидении.

DVB-DATA — несколько стандартов, описывающих передачу данных по сетям цифрового телевидения.

DVB-GSE — стандарт, описывающий применение в цифровом телевидении транспортного потока общего назначения (generic transport stream), см. также GSE.

DVB-H — мобильное телевидение на базе DVB-T.

DVB-IPDC — технология передачи данных по IP-протоколу в сетях DVB.

DVB-IPTV — технология передачи DVB-сервисов по IP-сетям.

DVB-IRDI — стандарт, описывающий интерфейсы абонентского устройства DVB (см. также IRD).

DVB-M — несколько стандартов, описывающих измерения в сетях DVB.

DVB-MPEG — стандарты, описывающие применения транспортных потоков MPEG2 в сетях DVB.

DVB-MUX (Digital Video Broadcasting — MultipleX) — мультиплексор транспортных потоков цифрового телевидения.

DVB-NIP — стандарты, описывающие протоколы передачи данных, независимые от сети.

DVB-PI — стандарты, описывающие профессиональные интерфейсы, использующиеся в цифровом телевидении.

DVB-RCC — стандарты, описывающие интерактивный канал для кабельного цифрового телевидения (DVB-C/C2).

DVB-RCG — стандарт, описывающий организацию обратного канала интерактивного телевидения через GSM.

DVB-RCGPRS — стандарт, описывающий организацию обратного канала интерактивного телевидения через GPRS.

DVB-RCT — спецификация для интерактивного канала эфирного цифрового телевидения (в том числе для систем OFDM с многопользовательским доступом).

DVB-S — стандарт цифрового спутникового телевидения.

DVB-S2 — "второе поколение" стандарта DVB-S.

DVB-SI — стандарты использования системной информации (SI) транспортных потоков MPEG2 в цифровом телевидении.

DVB-SIM — Simulcrypt, технология одновременного использования нескольких систем скремблирования на базе общего алгоритма скремблирования (см. CSA).

DVB-SSU — технология апгрейда оборудования через эфир (см. также OTA).

DVB-SUB — технология использования субтитров в цифровом телевидении.

DVB-T — стандарт наземного цифрового телевидения (принят в Европе и в России).

E

EB (Errored Block) — блок данных, содержащий какие-либо ошибки (например, возникшие при передаче через канал связи).

EBU (European Broadcasting Union) — Европейская ассоциация вещателей (www.ebu.ch).

ECB (Electronic Code Book) — один из простых методов скремблирования ("электронная кодовая книга").

ECM (Entitlement Control Message) — в системах условного доступа (CAS): сообщение, передающее пользователю зашифрованное кодовое слово (CW).

ECMG (Entitlement Control Message Generator) — в системах условного доступа (CAS): генератор сообщений ECM.

EIS (Event Information Scheduler) — в системах условного доступа (CAS): составная часть архитектуры хедэнда Simulcrypt, ведающая вопросами синхронизации различных событий.

EIT (Event Information Table) — "Таблица событий". Таблица PSI/SI MPEG TS, содержащая информацию о событиях. При помощи этой таблицы может быть организована электронная программа передач (см. EPG).

EMM (Entitlement Management Message) — в системах условного доступа (CAS): сообщение, передающее абонентскому устройству сервисный ключ для расшифровки кодового слова (CW), передаваемого при помощи ECM-сообщения.

EMMG (Entitlement Management Message Generator) — в системах условного доступа (CAS): генератор сообщений EMM.

ENB (Equivalent Noise Bandwidth) — эквивалентная ширина шумовой полосы частот.

END (Equivalent Noise Degradation) — эквивалентные шумовые потери.

EPG (Electronic Program Guide) — электронная программа передач. Как правило, создается с использованием Таблицы событий (см. EIT).

ERP (Effective Radiated Power) — эффективная излучаемая мощность.

ES (Elementary Stream) — элементарный поток MPEG2 (ISO 13818-2). Структура данных для составных частей какого-либо сервиса (звука, видео или данных). Несколько элементарных потоков представляют собой один сервис.

ESCR (Elementary Stream Clock Reference) — временные штампы, передаваемые в элементарном потоке MPEG2, предназначенные для синхронизации работы буферов кодера и декодера.

ESG (Electronic Service Guide) — электронный гид по сервисам, предоставляемым абоненту.

ETR (ETSI Technical Report) — технический рапорт ETSI, имеющий рекомендательный или справочный характер.

ETS (European Telecommunication Standard) — европейский стандарт в области телекоммуникаций.

EVM (Error Vector Magnitude) — величина вектора ошибки (в модуляции COFDM).

F

FDM (Frequency Division Multiplex) — мультиплексирование с частотным разделением (вид модуляции).

FDT (File Delivery Table) — компонент протокола FLUTE (см. документ RFC 3926).

FEC (Forward Error Correction) — упреждающая коррекция ошибок. Способ коррекции ошибок, при котором не требуется повторная передача информации.

FER (Frame Error Rate) — скорость ошибок приема фреймов. Используется для оценки качества работы приемника.

FFT (Fast Fourier Transform) — быстрое преобразование Фурье.

FIFO (First-In, First-Out) — сдвиговый регистр ("первым вошел — первым вышел").

FLUTE (File deLivery over Unidirectional Transport) — протокол передачи файлов через односторонний транспорт (каковым является транспортный поток MPEG2 в DVB).

FM (Frequency Modulation) — частотная модуляция.

FMO (Flexible Macroblock Ordering) — режим работы кодера H.264, позволяющий менять положение макроблоков в потоке с целью улучшения качества компрессии и повышения помехоустойчивости.

FPGA (Field Programmable Gate Array) — программируемая матрица (микросхема).

FRext (Fidelity Range extension) — добавление к H.264, предназначенное для кодирования сигналов высокого качества (например, в цифровом кинематографе). В этом дополнении вводятся новые профили кодирования: Hi10P, H422P и др.

G

GI (Guard Interval) — защитный интервал (параметр модуляции COFDM).

GOP (Group of Picture) — в компрессии видеоизображений: группа кадров (видеопоследовательность), для предсказания которых используется один и тот же ключевой кадр, количество кадров между двумя ключевыми кадрами.

GPRS (General Packet Radio Service) — стандарт передачи данных по сетям GSM.

GPS (Global Positioning System) — глобальная система позиционирования: группировка искусственных спутников Земли, использующаяся для определения координат и точного времени при помощи малогабаритных абонентских устройств.

GS (Generic Stream) — транспортный поток общего назначения.

GSE (Generic transport Stream Encapsulation) — использование транспортного потока общего назначения, инкапсуляция данных в такой поток.

GSM (Global System for Mobile communications) — стандарт мобильной телефонной связи.

H

H.264/AVC — стандарт видеокомпрессии.

HD (High Definition) — видео высокой четкости (см. также HDTV).

HDTV (High Definition TeleVision) — телевидение высокой четкости. Термин, неоднократно использовавшийся в истории телевидения для обозначения более высокого качества телевизионного изображения, чем реализованное на настоящий момент. Например, в середине XX века этим термином называли принятое сейчас телевидение стандартной четкости.

HE AAC (High-Efficiency Advanced Audio Coding) — способ видеокомпрессии (часть стандартов MPEG4).

HE (High Efficiency) — высокоэффективный (прилагательное).

HFC (Hybrid Fibre Coax) — гибридная кабельная сеть (волоконно-оптическая линия плюс коаксиальный кабель).

HP (High Priority bit stream) — транспортный поток высокого приоритета в иерархической модуляции.

HPA (High Power Amplifier) — усилитель мощности телевизионного передатчика.

HPF (High Pass Filter) — фильтр высоких частот (ФВЧ).

HRD (Hypothetical Reference Decoder) — теоретическая модель декодера в стандарте H.264 (см. также CPB и VBV). Этой аббревиатурой также обозначаются параметры этой модели, передаваемой от кодера к декодеру и служащие для выбора режима работы декодера.

I

IBO (Input Back Off) — потери входной мощности.

ICI (Inter-Carrier Interference) — интерференция между несущими в сигнале OFDM.

ID (Identifier) — идентификатор.

IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform) — обратное дискретное преобразование Фурье.

IEC (International Electrotechnical Commission) — международная электротехническая комиссия.

IF (Intermediate Frequency) — промежуточная частота.

IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) — обратное быстрое преобразование Фурье.

I-frame (Intra-coded frame) — кадр, компрессированный при помощи внутрикадрового кодирования (т. е. без ссылок на другие кадры), ключевой кадр.

IMUX (Input MULTipleXer) — обратный мультиплексор (разделяющий входной сигнал на составляющие).

INT (IP/MAC Notification Table) — (иначе таблица INT) — таблица PSI/SI, использующаяся в технологии IPDC для адресации устройств по их IP/MAC-адресам.

IPDC (IP Data Casting) — технология передачи данных по сетям цифрового телевидения с использованием протокола IP.

IPE (IP Encapsulator) — IP-инкапсулятор — устройство, "помещающее" данные IP в транспортный поток MPEG2. Используется в IPDC. См. также MPE и MPD.

IPPV (Impulse Pay Per View) — способ покупки телепрограммы, когда зритель покупает просмотры со своего депозита у поставщика услуг по мере необходимости.

IPsec (IP Security) — набор протоколов для обеспечения защиты данных, передаваемых по протоколу IP.

IQ (In-phase/Quadrature components) — компоненты созвездия OFDM.

IRD (Integrated Receiver-Decoder) — интегрированный приемник-декодер. Абонентское декодирующее устройство ("приемник", "ресивер", "set-top-box" и т. п.).

IS (Interactive Service) — интерактивный сервис (услуга).

ISI (InterSymbol Interference) — межсимвольная интерференция в OFDM.

ISO (International Organization for Standardization) — международная организация по стандартизации.

ITU (International Telecommunication Union) — международный союз электросвязи.

IV (Initialization Vector) — вектор инициализации (в системах шифрования, в системах CAS).

L

LAT (Link Available Time) — время доступности связи (в спутниковой связи).

LATM (Low overhead Audio Transport Multiplex) — один из вариантов контейнеров для компрессированного аудио в стандарте AAC. Дает возможность объединения нескольких аудиопотоков.

LC (Low Complexity) — пониженной (низкой) сложности.

LCT (Layered Coding Transport) — спецификация транспорта для мультикастового вещания (описывается в документе RFC 3451).

LDPC (Low Density Parity Check) — так называемый "низкоплотностный код", один из кодов коррекции ошибок, использующихся в DVB.

LF (Low Frequency) — низкие частоты.

LFE (Low Frequency Effects) — низкочастотные эффекты (в технологии Dolby).

LG (Low Gain) — с низким усилением.

LL (Low Level) — с низким уровнем.

LMDS (Local Multipoint Distribution System) — местная система распределения. Сеть связи, работающая на высоких частотах на небольшой территории.

LNB (Low Noise Block) — "спутниковый конвертер", приемник и первый преобразователь частоты при спутниковом приеме, размещаемый в фокусе приемной антенны.

LO (Local Oscillator) — генератор частоты, гетеродин.

LP (Low Priority bit stream) — транспортный поток низкого приоритета при иерархической модуляции.

LPF (Low Pass Filter) — фильтр низких частот (ФНЧ).

LSB (Least Significant Bit) — наименьший значащий бит.

M

MAC (Media Access Control) — протокол доступа к среде (второй уровень OSI-модели). MAC-адреса используются для адресации устройств на канальном уровне. Используются для адресации абонентских устройств в DVB.

MBMS (Multimedia Broadcast/Multicast Service) — вещательный сервис через GSM- или UMTS-сети (как правило).

MDB (Multiprotocol Decapsulation Buffer) — буфер декапсулятора (при использовании протокола CDP).

MER (Modulation Error Ratio) — коэффициент ошибок модуляции OFDM.

MFER (MPE-FEC Frame Error Ratio) — коэффициент ошибок фреймов (блоков) MPE-FEC.

MFN (Multi Frequency Network) — многочастотная сеть DVB-T/H.

MHEG (Multimedia and Hypermedia Experts Group) — совместная рабочая группа ISO и IEC, разрабатывающая стандарты в области кодированного представления различных информационных объектов. Этой же аббревиатурой обозначается спецификация middleware, разработанная MHEG, на базе которой возможно построение интерактивных сервисов (см. также MHEG-5).

MHEG-5 — клиент/серверная архитектура для распространения интерактивных мультимедийных приложений, разработанная группой MHEG. Используется в интерактивном телевидении.

MIB (Management Information Base) — база управляющей информации. База данных параметров, использующихся для диагностики и управления при помощи протокола SNMP.

MIP (Mega-frame Initialization Packet) — пакет инициализации мегафрейма. Используется для синхронизации передатчиков в одночастотной сети (см. SFN).

MJD (Modified Julian Date) — модифицированная юлианская дата. Система непрерывного счета дней, начиная с 17 ноября 1858 года.

ML (Medium Level) — средний уровень (например, в системе уровней MPEG2).

MMDS (Microwave Multipoint Distribution System) — микроволновая система передачи телевизионных и радиопрограмм.

MMI (Man Machine Interface) — интерфейс человек-машина.

MPD (MultiProtocol Decapsulation) — мультипротокольный декапсулатор или просто — декапсулатор. Устройство, выполняющее действие, обратное инкапсулатору (см. IPE), т. е. "извлекающее" данные из секций MPE (см. MPE) транспортного потока MPEG2.

MPE (Multi-Protocol Encapsulation) — технология передачи данных в составе транспортного потока MPEG2.

MPE-FEC (MultiProtocol Encapsulation — Forward Error Correction) — дополнительная упреждающая коррекция ошибок (см. FEC) для MPE.

MPEG (Moving Pictures Experts Group) — рабочая группа ISO и IEC, занимающаяся разработкой стандартов компрессии и передачи телевизионного изображения и звука.

MPEG-2 TS (MPEG-2 Transport Stream) — транспортный поток MPEG2 — способ организации информации, предназначенный для передачи. Используется в DVB.

MSB (Most Significant Bit) — наиболее значащий бит.

MSS (Multimedia Streaming Service) — потоковый сервис.

MTU (Maximum Transmission Unit) — максимальный размер передаваемого блока данных.

MUX (Multiplex) — мультиплексор (устройство) или "мультиплекс" (т. е. несколько мультиplexированных сервисов).

MVDS (Multi-point Video Distribution Systems) — высокочастотная сеть связи, предназначенная для распространения видео.

N

NA (Not Applicable) — "не применимо".

NAL (Network Abstraction Layer) — сетевой абстрактный уровень. В стандарте H.264 — часть алгоритма, отвечающая за организацию (структуроирование) компрессированной информации для передачи по какой-либо сети связи. См. также VCL.

NBC (Non-Backwards-Compatible) — обратная несовместимость (т. е. несовместимость с более ранними версиями оборудования, программного обеспечения, стандарта и т. п.).

NBC-BS (Non Backwards Compatible — Broadcast Services) — сервисы DVB-S2, которые невозможно принимать при помощи оборудования DVB-S.

NCO (Numerically Controlled Oscillator) — цифровой синтезатор частоты.

NG (Nominal Gain) — номинальное (расчетное) усиление.

NICAM (Near-Instantaneous Companded Audio Multiplex) — один из ранних стандартов аудиокомпрессии.

NIT (Network Information Table) — таблица сетевой информации в PSI/SI транспортного потока MPEG2.

NMS (Network Management System) — система управления сетью (например, связи).

NP (Null Packets) — нулевые пакеты. Пакеты данных, содержащие балластную (stuffing) информацию.

NTP (Network Time Protocol) — протокол синхронизации часов различных устройств с серверами точного времени в Интернете или локальных сетях.

NVOD (Near Video On Demand) — "почти видео-по-запросу". Организация трансляции сервиса таким образом, чтобы зритель, заказавший сервис, получил его в пределах десятков минут или быстрее. NVOD может быть организован, например, в виде нескольких каналов, транслирующих сервис циклически со сдвигом один относительно другого.

O

OBEX (Object Exchange Protocol) — протокол обмена двоичными объектами.

OBO (Output Back Off) — потери выходной мощности.

OTA (Over The Air) — передача через эфир. В частности — апгрейд программного обеспечения устройств через эфир.

P

PA (Power Amplifier) — усилитель мощности.

PAL (Phase Alternation Line) — система передачи аналогового телевизионного изображения.

PAT (Program Association Table) — таблица размещения программ. Входит в состав PSI/SI транспортного потока MPEG2. Содержит информацию о таблицах PMT, имеющихся в транспортном потоке (см. PMT).

PCM (Pulse-Code Modulation) — импульсно-кодовая модуляция.

PCR (Program Clock Reference) — временной штамп в транспортном потоке MPEG2. Необходим для синхронизации работы буферов кодера и декодера.

PD (Private Data) — "частные" (т. е. определяемые пользователем) данные.

PDC (Program Delivery Control) — сигналы, передаваемые в потоке телетекста, обозначающие начало или конец передаваемой программы.

PDG (Private Data Generator) — функциональный блок хедэнда, отвечающий за генерацию данных, определяемых пользователем.

PE (Phase Error) — фазовая ошибка.

PER (Packet Error Rate) — коэффициент ошибок передачи пакетов в транспортном потоке MPEG2.

PES (Packetized Elementary Stream) — пакетизированный элементарный поток.

PFA (Probability of False Alarm) — вероятность ложного сообщения об ошибке.

PID (Packet Identifier) — идентификатор группы пакетов транспортного потока, содержащих один и тот же элемент сервиса, одну и ту же таблицу PSI/SI и т. п.

PJ (Phase Jitter) — фазовый джиттер.

PL (Physical Layer) — физический уровень в модели взаимодействия открытых систем.

PLL (Phase Locked Loop) — фазовая автоматическая подстройка частоты (ФАПЧ).

PLS (Physical Layer Signalling) — сигнализация (т. е. сведения о передаваемом сигнале) физического уровня (см. PL).

PMT (Program Map Table) — таблица сборки программ PSI/SI транспортного потока MPEG2. Содержит информацию о том, из каких элементарных потоков состоит какой-либо сервис.

pps (pulse per second) — колебаний в секунду.

PPV (Pay Per View) — плата за (каждый) просмотр. Способ оплаты телевизионных сервисов.

PR (Protection Ratios) — защитные отношения (в планировании сетей DVB-T).

PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) — псевдослучайная двоичная последовательность. Последовательность, которой модулируются проверочные несущие в спектре COFDM.

PSD (Power Spectral Density) — спектральная плотность.

PSI (Program Specific Information) — информация о программах. Информация в транспортном потоке о передаваемых сервисах. Структурирована в таблицы (SDT и т. п.).

PSIG (Program Specific Information Generator) — генератор PSI в хэдэнде Simulcrypt (см. PSI и SIG).

PSI/SI (Program Specific Information/Service Information) — информация о сервисах, передаваемых в транспортном потоке, а также о составе этого потока (См. PSI и SI). Структурирована в таблицы (PAT, PMT и т. п.).

PSK (Phase Shift Keying) — фазовая модуляция.

PSS (Packet switched Streaming Service) — потоковый сервис с переключением пакетов (в 3GPP).

PTS (Presentation Time Stamps) — презентационный временной штамп. Временной штамп в элементарном потоке (см. ES и PES), указывающий время показа кадра зрителю (т. е. передачи декодированного кадра для показа зрителю).

Q

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) — квадратурная амплитудная модуляция. Используется в DVB-T/H/T2 и DVB-C/C2.

QCIF (Quarter Common Interchange Format) — формат цифрового изображения с размером кадра 176×144 точки.

QEФ (Quasi Error Free) — цифровой носитель (любой) или способ передачи цифровой информации с очень низким возможным уровнем ошибок переда-

чи. Обычно этот "очень низкий" уровень определяют по договоренности. Например, в DVB условились считать, что этот уровень соответствует $\text{BER} = 2 \times 10^{-4}$.

QEFP (Quasi Error Free IP-stream) — IP-поток с очень низким уровнем ошибок передачи.

QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) — 4-позиционная амплитудно-фазовая модуляция.

R

RAP (Random Access Point) — точка произвольного доступа (при передаче информации).

RCPC (Rate-Compatible Punctured Convolutional) — разновидность сверточного (конволюционного) кода, используемого для улучшения помехоустойчивости в COFDM.

RF (Radio Frequency) — радиочастота, радиочастотный спектр.

RID (Registered application provider Identifier) — идентификатор приложения.

RMS (Root Mean Square) — среднеквадратический (прилагательное).

RR (Round Robin) — алгоритм карусельной диспетчеризации, сеть с ячеистой топологией (с несколькими возможными путями между ячейками).

RS (Reed-Solomon) — помехоустойчивые коды Рида-Соломона.

RST (Running Status Table) — таблица статуса. Таблица PSI/SI транспортного потока MPEG2, в которой содержится информация о текущем состоянии сервиса (запущен, остановлен и т. п.).

RTCP (Real-time Transport Control Protocol) — дочерний протокол RTP. Используется для передачи управляющей информации и статистики (отчетов). См. также RTP. Определен в документе RFC 3550.

RTP (Real-time Transport Protocol) — протокол для передачи потокового видео или аудио. Представляет собой дополнительные поля к заголовку обычного UDP-пакета. Определен в документе RFC 3550.

RTSP (Real Time Streaming Protocol) — протокол управления потоковыми серверами. Определен в документе RFC 2326.

RX (Receiver) — приемник ("ресивер").

S

SAP (Session Announcement Protocol) — протокол, при помощи которого в сети распространяется информация о доступных мультикастовых сервисах. Определен в документе RFC 2974.

SAS (Subscriber Authorization System) — функциональный блок, отвечающий за презентацию информации о подписчике приложения, которая в этой информации нуждается (в системе условного доступа, см. CAS).

SBR (Spectral Band Replication) — технология улучшения качества звука при декодировании, заключающаяся в копировании (репликации) гармоник и частот из низких частот в верхние под управлением психоакустического процессора.

ScF (Scale Factor) — масштабный множитель.

ScF-CRC (Scale Factor Cyclic Redundancy Check) — разновидность помехоустойчивого кодирования в цифровом радио.

SCR (DVB compliant SCrambler) — скремблер системы условного доступа (CAS).

SCS (SimulCrypt Synchronizer) — синхронизатор Simulcrypt. В хедэнде, работающем по технологии Simulcrypt — многофункциональное устройство, отвечающее за синхронизацию информационного обмена между остальными устройствами хедэнда.

SD (Standard Definition) — видео стандартной четкости. Видео со "стандартным" размером изображения — 720×576 точек.

SDP (Session Description Protocol) — протокол, предназначенный для описания сессии передачи потоковых данных.

SDT (Service Description Table) — таблица описания сервисов. Таблица PSI/SI транспортного потока MPEG2. Используется для передачи дополнительной информации о сервисах, имеющихся в транспортном потоке.

SDTV (Standard Definition Television) — телевидение стандартной четкости, т. е. с размером изображения SD. См. также SD и HDTV.

SECAM (Sequentiel Couleur Avec Memoire) — стандарт передачи аналогового телевидения. Принят в России, Франции и некоторых других странах.

SEI (Supplemental Enhancement Information) — в стандарте H.264: дополнительная информация о кодированном сигнале в составе NAL.

SEP (Symbol Error Probability) — вероятность ошибок передачи символов модуляции (в канале связи).

SER (Symbol Error Rate) — коэффициент ошибок передачи символов модуляции.

SFN (Single Frequency Network) — одночастотная сеть наземного цифрового телевидения.

SHF (Super High Frequency) — сверхвысокие частоты (СВЧ).

SI (Service Information) — информация о транспортном потоке MPEG2, оформленная в виде таблиц и передаваемая в самом этом потоке. Состоит из таблиц PAT, PMT, CAT и др.

SIG (Service Information Generator) — генератор SI в хедэнде Simulcrypt (см. SI и PSIG).

SIM (Simulcrypt Identification Module) — функциональный блок хедэнда Simulcrypt, отслеживающий информацию о конфигурации и статусе остальных блоков. Есть еще одно значение — это аббревиатуры — см. USIM и UICC.

SIMF (Simulcrypt Integrated Management Framework) — спецификация хедэнда Simulcrypt, включающая основную информацию о функциональных блоках, протоколах и т. п.

SMATV (Satellite Master Antenna Television) — коллективный прием на одну спутниковую антенну ("гибрид" спутникового и кабельного телевидения).

SMS (Subscriber Management System) — система управления подписками. Часть хедэнда Simulcrypt.

SNG (Satellite News Gathering) — в телевизионном производстве: сбор новостей с использованием каналов связи через искусственные спутники Земли.

SNR (Signal-to-Noise Ratio) — отношение сигнал/шум, см. также C/N.

SOF (Start of Frame) — начало кадра.

SPP (Service Purchase and Protection) — технология защиты и контроля за распространением контента в сетях DVB (см. также DVB-CPCM).

SR (Sender Report) — сообщение приемного устройства о качестве связи.

ST (Stuffing Table) — таблица набивки. Таблица PSI/SI транспортного потока MPEG2, содержащая информацию о набивке (stuffing).

STB (Set Top Box) — абонентское приемное устройство ("сет-топ-бокс"), см. также IRD.

STD (System Target Decoder) — теоретическая модель декодера транспортного потока в стандарте MPEG2.

SYNC (SYNChronization) — синхросигнал.

T

TDM (Time Division Multiplex) — временное мультиплексирование или временное уплотнение.

TDT (Time and Date Table) — таблица времени и даты. Таблица PSI/SI транспортного потока MPEG. Используется о передаче информации о дате и времени (как правило — всемирном). См. также TOT.

TOT (Time Offset Table) — таблица смещения времени. Таблица PSI/SI транспортного потока MPEG2.

TPH (Transport Packet Header) — заголовок пакета транспортного потока.

TPS (Transmission Parameter Signalling) — информация (сигнализация) о параметрах передачи в DVB COFDM. Передается одновременно с основным сигналом COFDM модуляцией DBPSK.

TS (Transport Stream) — транспортный поток, т. е. способ организации телевизионной и иной информации для передачи по односторонним каналам связи.

TSDT (Transport Stream Description Table) — таблица описания транспортного потока. Таблица PSI/SI транспортного потока, которая используется для передачи дополнительной информации о транспортном потоке.

T-STD (Transport stream — System Target Decoder) — модель декодера транспортного потока абонентского устройства в MPEG2.

TX (Transmitter) — передающее устройство (передатчик).

U

UHF (Ultra-High Frequency) — высокочастотный диапазон ультракоротких волн.

UICC (Universal Integrated Circuit Card) — смарт-карта, используемая в абонентских устройствах GSM и UMTS (часто ошибочно называется SIM-карта или USIM-карта).

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) — стандарт сотовой связи (один из стандартов 3G).

URI (Uniform Resource Identifier) — унифицированный идентификатор ресурса.

USIM (Universal Subscriber Identity Module) — приложение, выполняющееся на UICC и служащее для идентификации абонента в сетях 3G.

UTC (Coordinated Universal Time) — координированное всемирное время. Для целей цифрового телевидения можно считать, что оно совпадает со всемирным (гринвичским) временем.

V

VBI (Vertical Blanking Interval) — вертикальный интервал гашения в кадровой развертке. В строках изображения во время этого интервала можно передавать дополнительную информацию.

VBV (Video buffer verifier) — теоретическая модель буфера кодированного изображения в стандарте MPEG2.

VCEG (Video Coding Experts Group) — исследовательская группа по кодированию видео при Международном союзе электросвязи (ITU).

VCL (Video Coding Layer) — уровень кодирования видео. В стандарте H.264 — часть алгоритма кодирования, отвечающая непосредственно за компрессирование изображения. См. также NAL.

VCM (Variable Coding and Modulation) — режим гибкого изменения параметров модуляции в зависимости от параметров канала связи.

VHF (Very High Frequency) — низкочастотный диапазон ультракоротких волн.

VOD (Video On Demand) — "видео по требованию".

VPS (Video Program System) — система дистанционного управления абонентским устройством (видеомагнитофоном).

VSAT (Very Small Aperture Terminal) — приемное спутниковое устройство, работающее с антенной малой апертуры. Как правило, используется для передачи данных.

VUI (Video Usability Information) — в стандарте H.264: дополнительная информация о параметрах кодированного сигнала, пересылаемая в NAL.

W

WSS (Wide Screen Signaling) — система оповещения абонентского устройства о размере передаваемого телевизионного изображения в аналоговом телевидении стандарта PAL.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица частот телевизионных каналов

В табл. П2.1 указаны нижние границы частот телевизионных каналов, выделенных для наземного эфирного телевидения. Ширина каждого канала составляет 8 МГц. Значения приведены в мегагерцах. Для того чтобы получить центральную частоту канала, необходимо к приведенному в таблице значению прибавить 4 МГц.

Таблица П2.1. Нижние границы частот телевизионных каналов (в МГц)

№ канала	Частота	№ канала	Частота	№ канала	Частота
1	48,5	30	542	51	710
2	58	31	550	52	718
3	76	32	558	53	726
4	84	33	566	54	734
5	92	34	574	55	742
6	174	35	582	56	750
7	182	36	590	57	758
8	190	37	598	58	766
9	198	38	606	59	774
10	206	39	614	60	782
11	214	40	622	61	790
12	222	41	630	62	798
21	470	42	638	63	806
22	478	43	646	64	814
23	486	44	654	65	822
24	494	45	662	66	830
25	502	46	670	67	838
26	510	47	678	68	846
69	854	48	686	69	854
28	526	49	694		
29	534	50	702		

Предметный указатель

#

- 1080i 43
- 1080p 43
- 16QAM 247
- 3CCD 41
- 4×4 integer transform 101
- 4CIF 43
- 64QAM 247
- 720p 43

A

- AAC 161
- Adaptation field 139, 140, 144, 145, 212
- Adaptation field data descriptor 212
- AES/EBU 52
- AES3 52
- Announcement support descriptor 210
- API (Application Program Interface) 377
- Asynchronous data streaming 335
- AUD (Access Unit Delimeter) 127

B

- Baseband 221
- Basic Service Mode 400
- BAT (Bouquet Association Table) 180
- BCAST 401
- BER (Bit Error Rate) 56, 285
- BIOP 375
- BNC 39, 41

Bootstrap (ESG) 411

Bouquet name descriptor 193

Broadcast 58

Burst 361

C

- CA identifier descriptor 199
- CABAC 101
- CAM (Conditional Access Module) 396
- CAS (Client Access System) 208, 209, 381, 387, 392, 395, 433, 434, 437, 440, 447
- CAT (Conditional Access Table) 162
- CAVLC 101
- CBMS 401
- CBR 77
- CDP (Content Delivery Protocol) 411
- CDR (Common Data Representation) 379
- Cell frequency link descriptor 210, 316, 416
- Cell list descriptor 209, 317, 417
- Channel estimation 255
- CI (Common Interface) 395
- CI Plus 399
- CIF 43
- CI-module 382
- Code sharing 393
- Coded Picture Buffer 123
- Codeword (CW) 384
- COFDM 20, 217, 243

Common interface module 382
 Component tag 339
 Composite video 39
 Composite Video Blanking and Synch 39
 Conditional access descriptor 190, 391
 Constant bitrate 77
 Constellation 247
 Content Contol System (CC System) 399
 Content descriptor 199
 Continual pilots 280
 CORBA 375
 CPB 123
 CRC 49
 CRT 33
 CSA (Common Scrambling Algorithm) 72, 208, 384, 385, 388, 434, 435, 436
 CSS 377
 CVBS 39

D

D1 (формат) 44
 D2 (формат) 44
 DAR (Display Aspect Ratio) 47, 116
 Data broadcast descriptor 207, 338
 Data broadcast id descriptor 209, 338, 339
 Data carousel 337, 367
 Data piping 207, 335, 340
 Datagram section 337
 dBd 226
 dBi 226
 DCT 89
 Deblocking Filter 101
 Delta-t 363
 Descriptor 151
 Domestic gapfiller 318
 DPB (Decoded Picture Buffer) 123, 147
 DSM-CC 366, 367
 DTC 111
 DVB 9
 DVB-CBMS 401
 DVB-CI 395, 396
 DVB-H 345, 401
 DVB-IPDC 401

DVB-J 377
 DVB-S 17
 DVB-S2 17
 DVB-T2 18, 68, 69, 136, 228, 414, 419—424, 426

E

Echo canceller 320
 ECM (Entitlement Control Message) 385
 ECM repetition rate descriptor 366
 ECMAScript 377
 EIS (Event Information Scheduler) 389
 EIT (Event Information Table) 172
 EIT p/f 172
 EIT present/following 172
 EIT schedule 172
 Embedded audio 48
 EMM (Entitlement Management Message) 385
 EMM-сообщения 385
 EN50221 396
 Encapsulator 405
 EPG (Electronic Service Guide) 172
 EPG 172
 EPG-сервер 173
 ERP (Effective Radiated Power) 230
 ES (Elementary Stream) 106
 ESG (Electronic Service Guide) 408, 411, 412
 ESG bootstrap 411
 ETSI 10, 63
 ETSI EN 300468 138, 151, 152, 182, 183, 185, 189, 193, 197, 198, 347, 415
 ETSI EN 300744 64, 231, 233, 240, 245, 259, 266, 273, 274, 277—284, 323, 324, 412, 426
 ETSI EN 301192 131, 335, 338, 341, 346, 348—350, 353, 356, 357, 361, 364, 366, 372
 ETSI EN 302304 64, 412
 ETSI EN 300706 201
 ETSI TR 102469 406, 412
 ETSI TR 101162 199, 207, 340, 351, 352, 355, 357
 ETSI TR 101202 372

ETSI TR 102035 388
 ETSI TS 102472 408
 ETSI TS 101154 212
 ETSI TS 101191 321—323

ETSI TS 101197 388
 ETSI TS 101699 396
 ETSI TS 101812 377
 ETSI TS 102470 408
 ETSI TS 102471 408, 412
 ETSI TS 102591 411
 ETSI TS 102611 415
 EVM (Error Vector Magnitude) 286
 Extended event descriptor 196
 Extension Start Code Identifiers
 Codes 113

F

FFT 223
 FLUTE 404, 412
 Frame 275
 Frame COFDM 257
 Frequency list descriptor 207
 Frequency masking 82
 FTA (Free-To-Air) 381

G

Gap-fillers 313
 Gaussian channel 251
 Generic Transport Stream 136
 GOP 85

H

H.264 96, 100
 HBI (Horizontal Blanking Interval) 36
 HD 46
 HDMI (High-Definition Multimedia
 Interface) 50
 HDTV (High Definition TV) 46
 High priority stream 263
 Higher protocol based on asynchronous
 data streaming 336
 HP stream 414

HRD 123, 148
 Hypothetical Reference Decoder 123

I

IDR (Instant Decoder Refresh) 122
 IEEE 11
 IFFT 223
 IGMP 59
 IGMP Snooping 61
 In-depth interleaving 274, 413
 INT 351
 Interlaced 34
 IPDC 401
 IRE 36
 ISO 13818 64
 ISO 63, 96
 ISO 639 language descriptor 190, 197,
 201, 204, 205, 208
 ISO 8859-1 190, 196, 197, 201, 202,
 204, 205, 208
 ISO639-2 190, 196, 197, 201, 202, 204,
 205, 208
 ITU 63, 96
 ITU-T H.264 66
 ◊ архитектура 406
 ◊ стек протоколов 403

J

Java TV 376
 Javascript 377
 Jitter 55

K

Keyframe 84

L

Leak Method 148
 Leak_valid 149
 LFSR (Linear Feedback Shift Register)
 280
 Linkage descriptor 194, 347, 349, 350
 Local time offset descriptor 201

Location descriptor (DII) 371

Low delay 149

Low priority stream 263

LP stream 414

Luminance masking 82

Nibble 199, 200

NIT (Network Information Table) 165

Non-uniform modulation 264

NVOD 195, 196, 443

NVOD reference descriptor 195

M

Masking 81

Master pedestal level 36

MER (Modulation Error Rate) 286

MFN (Multiple Frequencies Network)
312

MHEG 161, 376

MHP (Multimedia Home Platform)
376—378

Middleware 161, 377

MIP (Megaframe Initialization Packet)
321

MISO 420

MJD (Modified Julian Date) 174, 176—
178, 184, 185, 202, 442

Module link descriptor 371

Mosaic descriptor 198

MPE (Multiprotocol Encapsulation) 207,
337, 343, 345—366, 404, 405, 415, 442

MPE-FEC 357, 358, 360, 364

MPEG over IP 144

MPEG2 64, 97

MPEG4 part 10 96

MPTS (Multi Program Transport
Stream) 135, 165, 186

Multicast 58, 325

Multilingual bouquet name descriptor
204

Multilingual component descriptor 205

Multilingual network name descriptor
203

Multilingual service name descriptor 204

O

Object carousels 337

OMA 401

OMG (Object Management Group) 375

OSI 10

Overflow 149

Overscan 37

P

Padding 358

PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)
228

Parental rating descriptor 200

PAT (Program Allocation Table) 156

Path loss 241

Payload Unit Start Indicator 155

PCMCIA 396

PCR 134, 140

PCR restamping 143

PDG (Private data generator) 390

Penetration loss 242

PES (Packetized Elementary Stream)
127, 128

PES data structure 341

PES scrambling control 389

PID 136

PID dropping 329

Pilots 276, 280

PIM 59

PMT (Program Map Table) 159

POC (Picture Order Counter) 122

Post-BER 285

Post-FEC BER 285

Post-Viterbi BER 285

PPS (Picture Parameter Set) 124

PPV (Pay-Per View) 381

PRBS (Pseudo Random Binary
Sequence) 280

N

NAL 101, 121

Native interleaving 274

Network Abstraction Layer 101, 121

Network name descriptor 191

Pre-BER 285
 Predictive frame 85
 Pre-FEC BER 285
 Pre-Viterbi BER 285
 Private section (DSM-CC) 374
 Private Stream 161
 Professional gapfiller 318
 Program Clock Reference 140
 Program identification number 137
 Progressive scan 37
 Protection ratio 305
 PSI (Program Specific Information) 135
 PSI/SI (Program Specific Information/System Information) 135, 150
 PTS (Presentation Timestamp) 112
 Punctured convolutional code 273
 Р-кадр 86

Q

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 247
 QCIF 44
 QPSK (Quadro Phase Shift Keying) 247
 Querier 61

R

Racean channel 254
 Rayleigh channel 254
 RCA 39, 41
 Registered Service Mode 400
 Residual frame 87
 RFC 3450 405
 RFC 2327 411
 RFC 3926 404
 RLE 91
 RPC (Remote Procedure Call) 379
 RST (Running Status Table) 178
 RTP 58
 Run-length encoding 91

S

S/PDIF 53
 SAP 61

SAR (Sample Aspect Ratio) 47, 116
 Scattered pilots 280
 Scrambling descriptor 208
 SD (формат) 46
 SDI (Serial Digital Interface) 48
 SDP (Session Description Protocol) 411
 SDT (Service Description Table) 168
 SDTV 46
 SEI (Supplement Enhancement Information) 125
 Service availability descriptor 212
 Service descriptor 193
 Service key 385
 Service list descriptor 191
 Service move descriptor 205
 SFN (Single Frequency Network) 311
 SFN-адаптер 322
 Short event descriptor 176, 196
 Short smoothing buffer descriptor 205
 SI (MPEG2) 135
 Signal bandwidth 222
 Signalling 408
 Simulcrypt 31, 72, 382, 388—391, 434, 436, 437, 445, 447, 448
 Smartcard 382
 SMS (Simulscript synchronizer) 389
 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 232
 SPS (Sequence Parameter Set) 124, 148
 SPTS (Single Program Transport Stream) 135, 186
 SSU 69, 195, 436
 ST (Stuffing Table) 180
 Standard definition TV 46
 STD дескриптор 149, 162, 191
 Stream identifier descriptor 198
 Stream type 160
 Stuffing 146, 152, 155, 186, 187, 192, 276, 345, 443, 448
 Stuffing Bytes 155
 Subtitling descriptor 202
 Superframe 275
 Superframe COFDM 257
 S-Video 40
 Switchover (DVB-H) 402
 Synchronized data 341
 Synchronous data 341

Synchronous data streaming 335
 System Information (MPEG TS) 135

T

Table_id 152
 TDT (Time and Date Table) 176
 TEI (Transport Error Indicator) 139
 Teletext descriptor 201
 Temporal masking 82
 Terrestrial delivery system descriptor 203, 314, 416
 Time Offset 185
 Time shifted service descriptor 196
 TOT (Time Offset Table) 177
 TPS (Transmission Parameter Signalling) 203, 276, 282—285, 314, 323, 324, 414, 415, 434, 449
 TPS MIP 323
 Transport scrambling control 389
 Transposer 314
 Trick mode 149
 TSDT (Transport Stream Description Table) 164
 T-STD 374

U

UDP (User Datagram Protocol) 58
 Underflow 149
 Uniform modulation 264

UNO (Universal Networked Object) 379
 UNO-CDR 379
 UNO-RPC 379
 User defined descriptor 213
 User key 385
 UTC (Universal Time Coordinated) 174, 176—178, 185, 202, 449
 UVLC 101

V

VBI (Vertical Blanking Interval) 36, 43, 49—51, 69, 192, 193, 198, 449
 VBI data descriptor 192
 VBI teletext descriptor 193
 VBlank 36
 VBR (Variable Bitrate) 77
 Vbv_delay 149
 VCL (Video Coding Layer) 101
 Video sequence 107
 VoD (Video-on-Demand) 381

W

Well-known address 58
 WSS 20

Y

YCbCr 41
 YUV 42

А

- Абонент 13, 15
 Адресная информация 58
 Алгоритмы компрессии 47
 Антенный фактор 228, 239, 300
 Артефакты компрессии 78
 Асинхронная передача данных 53

Б

- Базовый диапазон 221
 Блок изображения 107
 Блок кадра 107
 Блоки групп изображений 107
 Блоки данных 368
 Блокинг (компрессирование) 80
 Букет сервисов 24, 154, 181

В

- Вектор движения 88
 Вертикальный интервал гашения 36
 Вещатели 16
 Видеопоследовательность (MPEG) 107
 В-кадр 86
 Внедренное аудио 48
 Внеполосные излучения 230
 Внешнее кодирование 269
 Волна 215
 ◇ поляризованная 217
 ◇ электромагнитная 215
 Волновое сопротивление 228, 294
 Временной штамп:
 ◇ декодера 111
 ◇ показа 112
 ◇ программных часов 140
 Всемирное время 185
 Вспышка (DVB-H) 361
 Выброс PID 329

Г

- Гармоники 220
 Гауссов канал 251
 Головная станция 31

- Группа изображений 85
 Групповое кодирование 91
 Гэпфиллеры 313, 318
 ◇ домашние 318
 ◇ профессиональные 318

Д

- Деблокинг-фильтр 101
 Декапсулатор 442
 Декодер 53, 140
 ◇ Витерби 273, 278, 285
 ◇ транспортного потока 133
 Деполяризация 307
 Дескремблер 382
 Дескриптор 136, 151
 ◇ местоположения DII 371
 ◇ наземной сети распространения 314
 ◇ передачи данных 374
 ◇ присоединения типа 0x0C 348
 ◇ скорости повтора ECM 366
 ◇ соединения модулей (DVB-DATA)
 371
 ◇ списка ячеек 317
 ◇ условного доступа 391
 ◇ частот ячеек сети 316
 Децибелы 224
 Джиттер 55, 326, 366
 ◇ сетевой 55
 Диаграмма направленности антенны
 226

З

- Загрузчик ESG 411
 Запросчик 61
 Затухание радиоволн 236
 Защитное отношение 305
 ◇ для перекрывающихся каналов 305
 ◇ для смежных каналов 305
 Защитные интервалы 245
 Зона:
 ◇ неуверенного приема 288
 ◇ прямой видимости 237
 ◇ уверенного приема 288
 Зритель 15

И

Идентификатор:

- ◊ передачи данных 374
- ◊ программы 137
- ◊ таблицы 152

Иерархическая модуляция 414

Избирательность приемника по соседнему каналу 304

Изотропный излучатель 225

Индикатор начала полезной нагрузки 155

Инкапсулятор 405

Инкапсуляция 325

- ◊ мультипротокольная 337, 343

Интерлидинг 269

- ◊ внешний 272

- ◊ внутренний 274

- ◊ обычный 274

- ◊ углубленный 274

Интерфейс:

- ◊ несимметричный 51, 52

- ◊ симметричный 51, 52

К

Кадр (изображения) 32

- ◊ MPE-FEC 358

- ◊ длительность 32

- ◊ ключевой 84

- ◊ остаточный 87

- ◊ предсказываемый 85

Канал:

- ◊ Гаусса 251

- ◊ емкость канала 255

- ◊ Райса 254

- ◊ Рэлея 254

Карусели:

- ◊ данных 337, 367

- ◊ объектов 374, 337

Карусель:

- ◊ двухуровневая 372

- ◊ одноуровневая 372

Каскадный код с перемежением 269

Каталоги 375

Кинескоп 33

Класс излучения 288

Код:

- ◊ каскадный 269

- ◊ пунктурный сверточный 273

- ◊ Рида-Соломона 270

- ◊ циклический 270

Кодер 53, 140

- ◊ сервиса 105, 131, 134

- ◊ транспортного потока 133

Кодирование:

- ◊ арифметическое 92

- ◊ внутреннее 273

- ◊ внутрикадровое 84

- ◊ канальное 267

- ◊ межкадровое 84

- ◊ одновременное 382

- ◊ Хаффмана 92

- ◊ энтропийное 91

Кодовое слово 384

Колебания электромагнитные 215

Компенсация движения 87

Композитный видеосигнал 39

Компонентный интерфейс 40

Конвейерная передача данных 207, 335, 340

Контент 13

- ◊ производители контента 15

Коэффициент усиления антенны 225

Кросс-поляризационная развязка 307

Л

Люминофор 33

М

Макроблок 110

Маска сигнала 231

- ◊ критическая 231

- ◊ некритическая 231

Маскирование 81

- ◊ по времени 82

- ◊ по детализации 82

- ◊ по яркости 82

Мегафрейм 321

Межсимвольная интерференция 259
 Метод утечки 148
 Метрики 78
 Минимальный защищаемый уровень 306
 Многочастотные сети 312
 Мобильное телевидение 401, 402
 Модель:
 ◊ психоакустическая 82, 95
 ◊ Хаты-Окумуры 241
 ◊ Эрцега 241
 Модифицированная юлианская дата 184
 Модуль:
 ◊ данных 368
 ◊ общего интерфейса 382
 ◊ условного доступа 396
 Модуляция 217, 221
 ◊ амплитудная 217
 ◊ амплитудно-фазовая 217
 ◊ иерархическая 261
 ▫ неоднородная 264
 ▫ однородная 264
 ◊ инверсная 229
 ◊ квадратурно-амплитудная 247
 ◊ частотная 217
 Мощность:
 ◊ излучения 216
 ◊ пиковая 228
 ◊ средняя 228
 Мультикаст 58
 Мультикастовые адреса 58
 ◊ хорошо известные 58
 Мультикастовые группы 58
 Мультимедийная платформа для дома 376
 Мультиплекс 13, 65
 Мультиплексирование 54, 186
 ◊ TS 134
 ◊ статистическое 187
 Мультиплексор 186

Н

Несущая 217
 Нечетное поле 33
 Нечетный полукадр 33

О

Общий алгоритм шифрования 384
 Одночастотные сети 311
 Операторы связи цифрового телевидения 16
 Опорный уровень 36
 Ослабление:
 ◊ проникновения 242
 ◊ радиоволны 241
 Отношение сигнала к шуму 232

П

Паддинг 358
 Пакет:
 ◊ заголовок 136
 ◊ инициализации мегафрейма 321
 Пакетизированный элементарный поток 65, 128
 Пакетные потоки данных 55
 Первая зона Френеля 236
 Передача:
 ◊ асинхронных данных 335
 ◊ с использованием протоколов высокого уровня, базирующихся на асинхронной передаче 336
 ◊ синхронных данных 335
 Переменный битрейт (потока) 77
 Перемешивание внешнее 272
 Перештамповка PCR 143
 Период 218
 Пилот-сигналы 276, 280
 ◊ непрерывные 280
 ◊ разрозненные 280
 Плоскость поляризации 217
 Побочные излучения 230
 Поле адаптации 138
 Полный телевизионный сигнал 39
 Полоса спектра несущей 221
 Полоса частот:
 ◊ базового диапазона 221
 ◊ частот сигнала 222
 Полуволновой вибратор 225
 Пользовательский ключ 385

Поляризация 217

Последовательный цифровой интерфейс 48

Поставщики сервисов 15

Постоянный битрейт (потока) 77

Поток 53, 375

- ◊ блоков NAL 105

- ◊ высокого приоритета 263

- ◊ масштабируемый 106

- ◊ немасштабируемый 107

- ◊ низкого приоритета 263

Предел Шеннона 233

Преобразование:

- ◊ дискретно-косинусное 89

- ◊ Фурье 222

- обратное 223

- прямое 223

Прием:

- ◊ мобильный 292, 293

- ◊ портативный 292

- класс А 293

- класс В 293

- ◊ фиксированный 292

Приемник 233

- ◊ избирательность 234

- ◊ чувствительность 233

Производители контента 15

Пропускная способность 232

Протокол описания сессий 411

Профиль:

- ◊ базовый 102

- ◊ высокий 98

- ◊ кодирования 96

- ◊ основной 98, 102

- ◊ простой 98

- ◊ расширенный 103

- ◊ студийный 98

Психоакустическая модель 82, 95

P

Радиоприемное устройство 233

Радиочастотный:

- ◊ канал 14

- ◊ спектр 14

Развертка:

- ◊ прогрессивная 37

- ◊ чересстрочная 34

Разрешение на использование радиочастот 287

Расписание событий (CAS) 389

Расширенные стартовые коды 113

Ремультиплексирование 135, 168

РТПС 209, 210

Ряд Фурье 218

C

Секция датаграмм 337

- ◊ DSM-CC 343

Сервис 14

- ◊ поставщики 15

Сервисный ключ 385

Сеть связи 287

- ◊ защищаемая 308

- ◊ общего пользования 14, 329

Сеть цифрового телевидения:

- ◊ глобальная 330

- ◊ местная 330

- ◊ особенности планирования 331

- ◊ региональная 330

Символ:

- ◊ COFDM 249

- ◊ модуляции 244

Синхроимпульсы 34

- ◊ кадровые 34

- ◊ строчные 34

Синхронизатор Simulcrypt 389

Синхронизированные данные 341

Синхронная передача данных 53

Синхронные данные 341

Система:

- ◊ управления контентом 399

- ◊ условного доступа 381

Скорость цифрового потока 47, 53

Скремблер 382

Слои 106

Смарт-карта 382, 397

Смещение времени 185

Согласование 228

Созвездие 247
 Сообщение:
 ◊ DSM-CC 368
 ◊ EMM 384
 ◊ ECM 384, 385
 ◊ BIOP::DirectoryMessage 375
 ◊ BIOP::FileMessage 375
 ◊ BIOP::StreamEventMessage 375
 ◊ DownloadDataBlock (DDB) 368
 ◊ DownloadInfoIndication (DII) 369
 ◊ DownloadServerInitiate (DSI) 372
 ◊ BIOP::StreamMessage 375
 ◊ о параметрах передачи 276, 282
 Спектр 95
 ◊ базового диапазона 221
 ◊ несущей 220
 Средства массовой информации 16
 Статистическое мультиплексирование 78
 Степень сжатия 76
 Строчный период гашения 36
 Структура данных PES 131, 341
 Структура информации о карусели данных 374
 Суперфрейм 275
 ◊ COFDM 257
 Схема удаления эха 320

T

Таблица:
 ◊ букета 180
 ◊ времени и даты 176
 ◊ временного пояса 177
 ◊ набивки 180
 ◊ описания сервиса 168
 ◊ описания транспортного потока 164
 ◊ размещения программ 156
 ◊ сборки программ 159
 ◊ сетевой информации 165
 ◊ событий 172
 ◊ статуса 178
 ◊ условного доступа 162
 Таймслайсинг 361

Тег 190
 ◊ компонента 339
 Телевизионная программа 13
 Телевизионное вещание 13
 Телевизионные линии 32
 Телевизионный канал 14
 Телеканал 14
 Телематические услуги связи 16
 Территориальный ресурс 287
 Точка присоединения (сетей связи) 330
 Транспозер 314
 Транспортный поток 65
 ◊ многопрограммный 135
 ◊ общего назначения 136
 ◊ однопрограммный 135

У

Уровень кодирования 96
 Услуги:
 ◊ передачи данных 16
 ◊ телевидения 14

Ф

Файлы 375
 Фальшивые контуры 82
 Фидер 228
 ◊ затухание 228
 Фильтр внеполосных излучений 230
 Формула:
 ◊ Введенского 237
 ◊ Шеннона 232, 233
 Фрейм 275
 ◊ COFDM 257

X

Хедэнд (headend) 31

Ц

Цветовая составляющая
 телевизионного сигнала 39
 Цифровое телевидение 14

Ч

Частотно-территориальный план 287
Частотный ресурс 287
Четкость:
◊ высокая 46
◊ стандартная 46
Четное поле 32
Четный полукадр 32

Элементарный поток 65, 106
◊ MPEG2 105, 106
Энтропийное перемешивание 267
Эффект Доплера 256
Эффективная излучаемая мощность
(ЭИМ) 230

Я

Яркостная составляющая
телевизионного сигнала 39

Э

Электронная программа передач 172
Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) 33