



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
Справочник по дескрипторам транспортного потока MPEG
Практические советы и рекомендации



bhv[®]

А. В. Серов

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

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2010

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26-018.2
С32

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	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Юрий Рожко</i>
Компьютерная верстка	<i>Ольги Сергиенко</i>
Корректор	<i>Виктория Пиотровская</i>
Дизайн обложки	<i>Елены Беляевой</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

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

Формат 70×100^{1/16}. 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 мультICASTовые 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

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.....

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 гэфиллеров (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 таймслисинг (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, используемая 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 АТМ) 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.

А. В. 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).

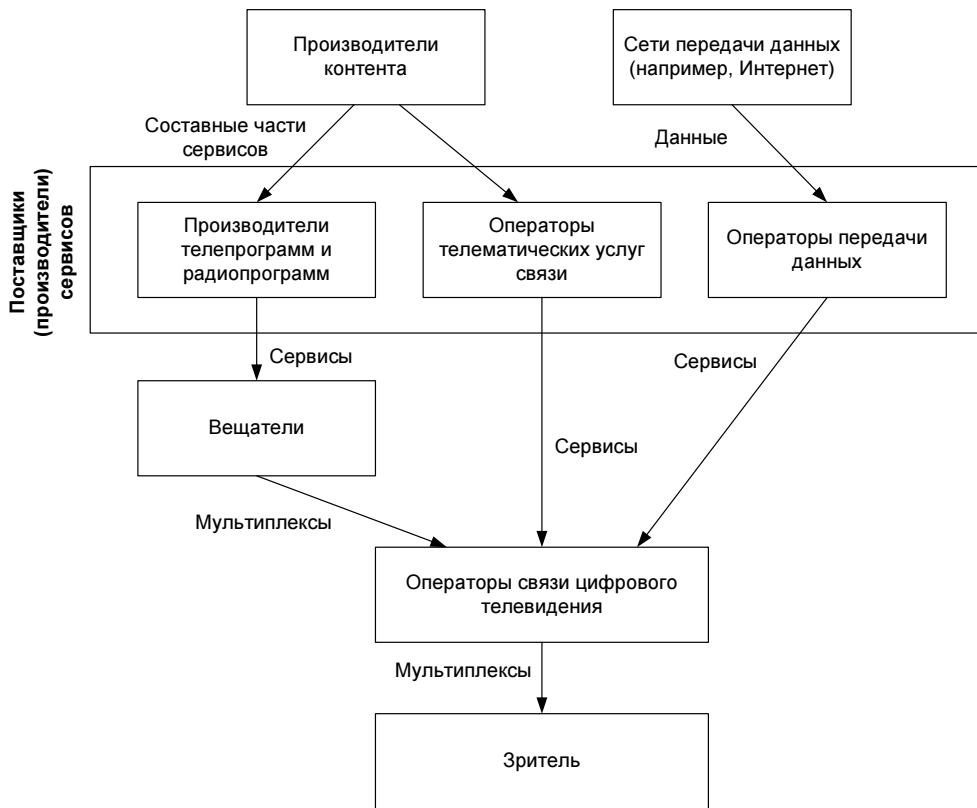


Рис. В.1. Структура отношений участников рынка ЦТВ

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.

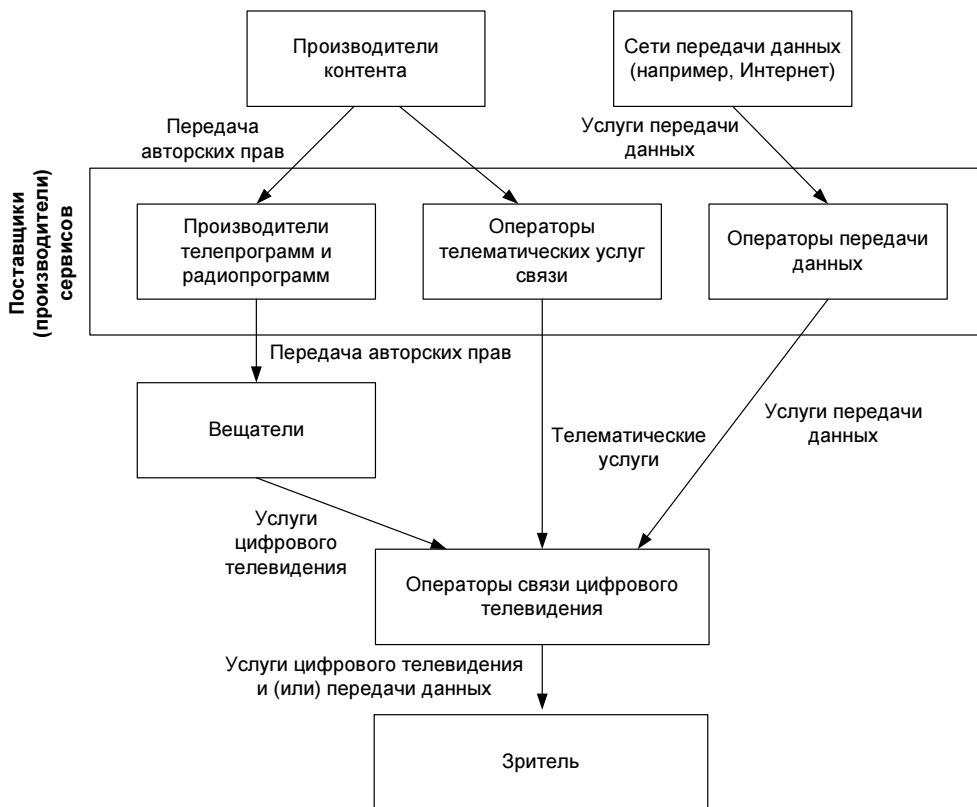


Рис. В.2. Структура предоставления услуг участниками рынка ЦТВ

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 антенну 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 сжатом 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).

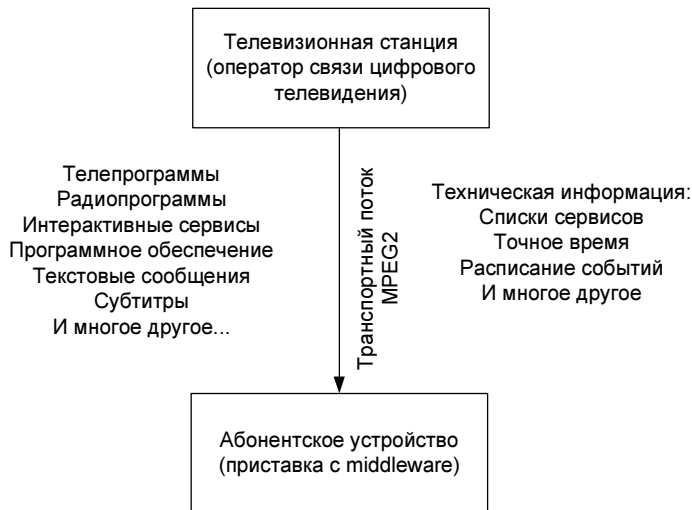


Рис. В.3. Информация, которая передается через MPEG TS

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 онлайн-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 треть-

ем — 3G. Конечно, наличие модема удорожает абонентское устройство, но зато абонент перестает быть пассивным зрителем. Он получает возможность участвовать в голосованиях, совершать покупки в онлайн-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 назначением, а технические особенности вытекают из этого назначения.

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 передать 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, демultipлексирование или деинкапсуляцию, декодирование.

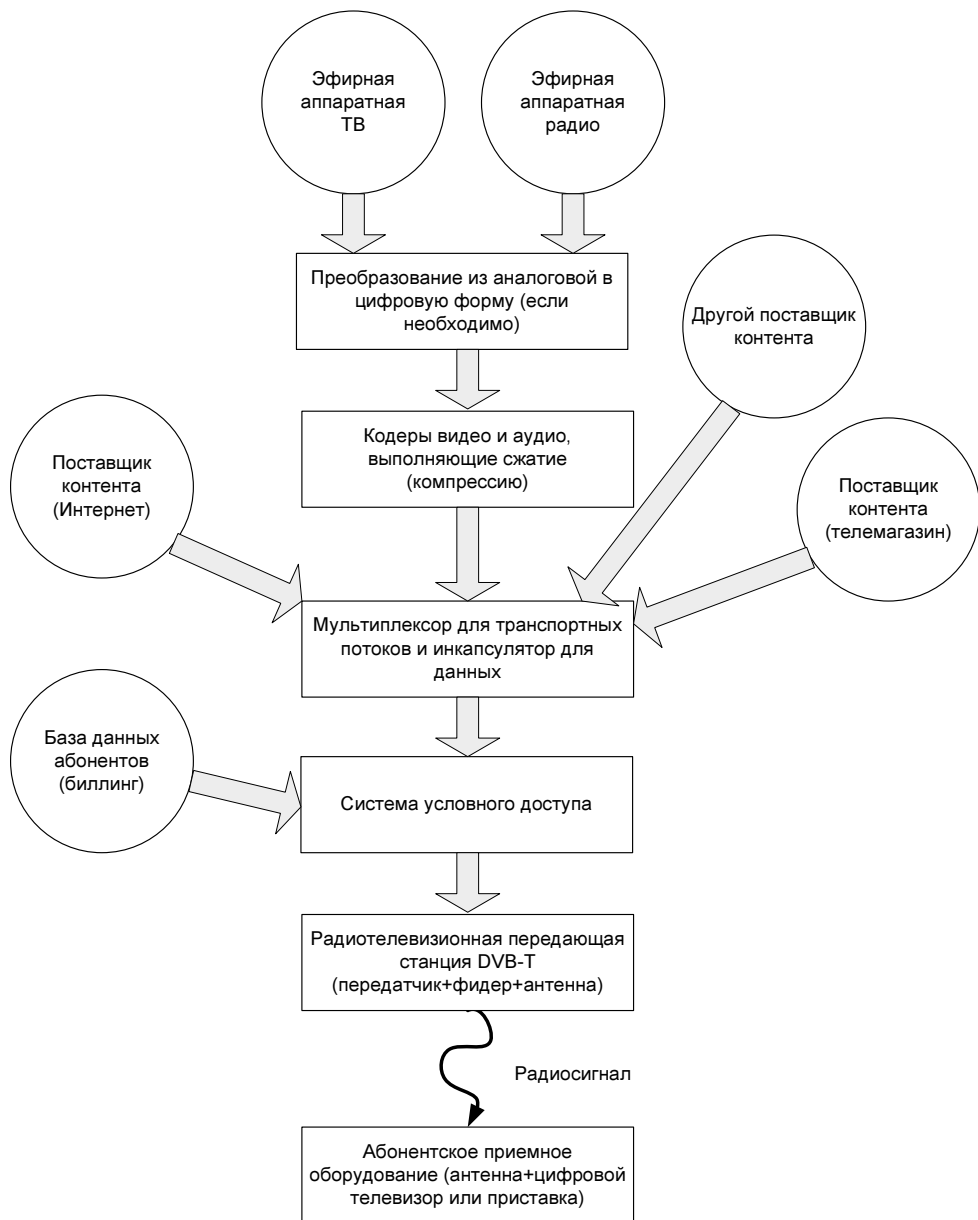


Рис. В.8. Упрощенная структура сети цифрового телевидения

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 инкапсулятор — это устройство производит "инкапсуляцию" (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 инкапсулятор и мультиплексор могут входить в состав одного многофункционального устройства. Данные, передаваемые на инкапсулятор, 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 "единый" 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.