

# СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>Предисловие</b> .....	12
<b>1. Введение</b> .....	13
Почему цифровое? .....	13
Увеличение числа каналов .....	15
Широкоэкранные фильмы .....	15
Звук «как в кино» .....	16
Ассоциированные службы .....	18
Условный доступ .....	18
Способы передачи .....	18
Способы приема .....	19
Будущее .....	19
<b>2. Основы телевидения</b> .....	20
Краткая история телевидения .....	20
Появление цветного телевидения .....	21
Физика света .....	21
Физиология зрения .....	22
Психология зрения – цветовое восприятие .....	24
Метамерия – великий обман цвета .....	25
Инерционность зрения .....	26
Физика звука .....	26
Преобразование Фурье .....	27
Переходный процесс .....	28
Физиология слуха .....	29
Психология слуха .....	30
Маскирование .....	31
Временное маскирование .....	32

Кино и телевидение .....	33
Телевидение .....	34
Телевизионные сигналы .....	35
Строчная и кадровая синхронизация .....	36
Цветное телевидение .....	38
Системы цветного телевидения NTSC и PAL .....	39
Система цветности SECAM .....	43
Кинескоп с теневой маской .....	43
Модуляция с частично подавленной боковой полосой .....	44
Звуковое сопровождение для телевидения .....	45
Система цифрового стереозвука NICAM 728 .....	45
Запись телевизионного сигнала .....	46
Перенос спектра сигнала цветности .....	48
Звуковая дорожка .....	49
Временной код .....	49
Продольный временной код .....	49
Вертикальный временной код .....	51
Системы PAL и NTSC .....	52
Биты пользователя .....	52
Телетекст .....	52
Аналоговое телевидение высокой четкости .....	54
Система MAC .....	54
Система PALplus .....	55
Системы телевидения высокой четкости 1125/60 и 1250/50 .....	55
Европейская система телевидения высокой четкости 1250/50 .....	55
<b>3. Цифровое видео- и аудиокодирование .....</b>	<b>56</b>
Основы цифровой обработки .....	56
Дискретизация и преобразование .....	57
Теория .....	58
Механизм дискретизации .....	59
Наложение спектров .....	59
Квантование .....	59
Цифро-аналоговое преобразование .....	60
Дрожание сигнала .....	60
Апертурный эффект .....	61
Сглаживание .....	62
Цифровые видеоинтерфейсы .....	62
Временные соотношения .....	64
Тактовый сигнал .....	66
Типы фильтров .....	66
Параллельный цифровой интерфейс .....	67
Последовательный цифровой интерфейс .....	68
Последовательный интерфейс для телевидения высокой четкости .....	70

Цифровые аудиоинтерфейсы .....	71
Интерфейс AES/EBU или IEC958 типа 1 .....	72
Интерфейс SPDIF или IEC 958 типа 2 .....	72
Данные .....	73
Практические цифровые аудиоинтерфейсы .....	75
TOS-интерфейс с оптической связью .....	77
Небалансный (75 Ом) интерфейс AES .....	79
Последовательный многоканальный цифровой аудиоинтерфейс .....	80
Формат данных .....	81
Скремблирование и синхронизация .....	81
Электрические характеристики .....	82
Формат волоконной оптики .....	82
Звук, внедренный в видеоинтерфейс .....	82
<b>4. Цифровая обработка сигналов .....</b>	<b>86</b>
Цифровая манипуляция .....	87
Цифровая фильтрация .....	87
Цифровая обработка изображения .....	88
Точечные операции .....	89
Оконные операции .....	90
Преобразование между временной и частотной областями .....	93
Преобразование Фурье .....	94
Фаза .....	95
Кадрирование .....	97
Двумерное преобразование Фурье .....	98
<b>Глава 5. Сжатие видеоданных .....</b>	<b>100</b>
Энтропия, избыточность и артефакты .....	100
Сжатие без потерь .....	101
Декорреляция .....	102
Кодирование методами ДИКМ без потерь и с потерями .....	104
Межкадровые разности и компенсация движения .....	105
Методы сжатия на основе преобразования Фурье .....	107
Кодирование с преобразованием .....	107
Практические размышления .....	111
Метод сжатия JPEG .....	112
Стандарт JPEG для движущихся изображений .....	114
Стандарт MPEG .....	114
Уровни и профили .....	115
Основной профиль на основном уровне .....	116
Профиль 4:2:2 на основном уровне .....	116
Кадры или поля .....	116
Система MPEG-кодирования .....	117
Аппаратура для MPEG-кодирования .....	122
Статистическое мультиплексирование .....	122

<b>6. Сжатие аудиоданных</b> .....	125
Сжатие на основе логарифмического представления .....	125
Система NICAM .....	126
Системы психоакустического маскирования .....	126
MPEG-сжатие уровня I .....	127
MPEG-аудиокодирование уровня II .....	128
MPEG уровня III .....	129
Система Dolby AC-3 .....	129
<b>7. Производство цифровых аудиопрограмм</b> .....	131
Уровни цифровой регулировки и измерение .....	131
Измеритель уровня громкости .....	132
Квазипиковый измеритель уровня .....	133
Оптоэлектронный индикатор уровня .....	134
Стандартные рабочие уровни и тональные измерительные сигналы .....	135
Цифровая регулировка .....	135
Переключение и объединение аудиосигналов .....	136
Цифровые аудиопульты .....	136
Архитектура звукового микшера .....	137
Автоматизация микшера .....	138
Цифровые магнитофоны .....	139
Цифровая двухдорожечная запись .....	140
Цифровая многодорожечная запись .....	140
Рабочие станции цифровой звукозаписи .....	141
Форматы аудиофайлов .....	142
WAV-файлы .....	142
AU-файлы .....	143
Форматы AIFF и AIFC .....	143
Стандарт MPEG .....	143
Формат VOC .....	143
Необработанные данные импульсно-кодовой модуляции .....	144
Форматы системы окружающего звука .....	144
Система Dolby Surround .....	144
Система Dolby Digital (AC-3) .....	147
Перематрицирование .....	147
Сжатие динамического диапазона в системе AC-3 .....	147
Распространение стандарта MPEG-2 на многоканальный звук .....	148
Совместимость с системой Pro Logic .....	148
Интерфейс IEC 61937 .....	148
Сжатие динамического диапазона при MPEG-кодировании .....	149
Многоязычная поддержка .....	149
Монтаж звука в стандарте MPEG уровня II .....	150

<b>8. Производство цифровых видеопрограмм</b> .....	151
Переключение и объединение видеосигналов .....	151
Цифровые видеоэффекты .....	154
Монтажный переход .....	154
Прямое соединение кадров .....	155
Наплыв .....	155
Постепенное введение/выведение изображения .....	156
Вытеснение .....	157
Расщепление экрана .....	158
Ключи .....	158
Огрубление .....	159
Хроматический ключ .....	159
Косвенный монтаж .....	162
Компьютерные видеостандарты .....	163
Векторная и растровая графика .....	165
Форматы графических файлов .....	166
Формат BMP системы Windows .....	166
Формат PCX .....	166
Формат TARGA .....	167
Формат GIF .....	167
Формат JPEG .....	168
Изображения, созданные с помощью компьютера, и анимация .....	168
Типы анимации .....	169
Программное обеспечение .....	170
Двумерные системы .....	170
Методы видеоживописи .....	171
Компоновка изображений .....	175
Трансформация и деформирование .....	176
Ротоскопирование .....	177
Трехмерная графика и анимация .....	177
Матрицы .....	178
Формирование изображения .....	180
Свет .....	181
Трассировка луча .....	184
Технологии жестких дисков .....	184
Технология накопителей на жестких дисках .....	185
Технологии других дисковых накопителей2 .....	186
Стандарты интерфейсов для накопителей на жестких дисках .....	187
Накопители IDE .....	187
Стандарт SCSI .....	187
Волоконно-оптический канал .....	188
Стандарт FireWire .....	188

RAID .....	189
RAID 1 .....	190
RAID 2 .....	190
RAID 3 .....	190
RAID 4 .....	191
RAID 5 .....	191
Медиа-сервер .....	191
Открытый стандарт обмена аудиовизуальной информацией .....	192
Виртуальные декорации .....	192
<b>9. Система уплотнения MPEG .....</b>	<b>194</b>
Пакетирующий интерфейс .....	194
Формирование уплотненного потока по стандарту MPEG-2 .....	195
Формат пакетов PES .....	196
Транспортный поток .....	197
Синхронизация пакетов .....	197
Идентификация пакетов .....	197
Таблицы объединения программ и таблицы состава программы .....	197
Обработка ошибок .....	198
Заголовок поля адаптации .....	198
Синхронизация и временные сигналы .....	198
Ссылки на системные и программные часы .....	199
Временные метки воспроизведения .....	199
Соединение цифровых потоков .....	199
Таблица условного доступа .....	200
Информация о службах DVB .....	200
Условный доступ .....	201
Системы SimulCrypt и MultiCrypt .....	202
Канальное кодирование .....	202
Рандомизация .....	203
Кодирование по Риду–Соломону .....	203
Сверточное перемежение .....	204
Стандартные электрические интерфейсы для транспортного потока MPEG-2 .....	205
Синхронный параллельный интерфейс .....	205
Синхронный последовательный интерфейс .....	207
Асинхронный последовательный интерфейс .....	207
<b>10. Цифровое ТВ вещание .....</b>	<b>209</b>
Цифровая модуляция .....	209
Квадратурная амплитудная модуляция .....	210
Модуляция в спутниковых и кабельных системах .....	213
Установка опорной фазы .....	214
Сверточное кодирование, или кодирование по Витерби .....	214
Наземное вещание: системы DVB-T и US ATSC .....	215
Уплотнение с ортогональным частотным разделением кодированных сигналов .....	216

Практические методы COFDM .....	217
Добавление защитного интервала при OFDM-модуляции .....	217
Преимущества COFDM .....	218
Модуляция 8-VSB .....	219
Возможность взаимодействия сетей .....	220
Возможность взаимодействия с ATM .....	220
Ячейка ATM и структуры транспортных пакетов .....	220
<b>11. Бытовая цифровая техника .....</b>	<b>222</b>
Приемная техника .....	222
Устройство современной приставки к телевизору .....	224
Описание схемы .....	225
Приставка к телевизору – тенденции развития .....	245
Цифровой тюнер .....	245
Встраивание накопителей на жестких дисках .....	245
COFDM блока ВЧ для системы DVB-T .....	246
Формат D-VHS .....	246
Универсальный цифровой диск .....	248
Основные проблемы технического обслуживания .....	248
Статическое электричество и безопасность .....	249
Золотое правило .....	249
Оборудование .....	250
Неисправности DVD .....	250
Неисправности блока питания .....	251
<b>12. Будущее .....</b>	<b>252</b>
Гипертекст и гиперсреда .....	253
Документы HTML .....	253
Анкерные теги .....	254
Изображения .....	255
MPEG-4 – объектно-ориентированное телевизионное кодирование .....	255
Объекты и сцены .....	255
Язык .....	256
Язык моделирования виртуальной реальности .....	257
Практические VRML-файлы .....	263
Кодирование аудио в стандарте MPEG-4 .....	265
Структурированное аудио .....	266
Структурированный оркестровый язык .....	266
Системы преобразования текста в речь .....	267
Аудиосцены .....	269
Стандарт MPEG-7 и метаданные .....	269
<b>Список сокращений .....</b>	<b>271</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>275</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

«Руководство по цифровому телевидению» предназначено для тех, кому необходимо ориентироваться в мире современных цифровых телевизионных технологий. Никогда еще, начиная с 1960-х годов – с момента появления цветного телевидения в Европе, – менеджерам, техникам и инженерам не приходилось так быстро и много учиться независимо от того, где они работают: в исследовательской лаборатории, в студии или ремонтной мастерской. Эта книга ставит своей целью рассмотреть важнейшие теории, лежащие в основе цифрового ТВ. Я попытался описать разнообразную архитектуру, принципы работы различных систем и выполняемые ими функции. Я считал целесообразным уделять больше внимания важной информации без чрезмерного углубления в детали – это позволит лучше усвоить изложенные здесь основные идеи. Кроме того, возможно, для нового поколения инженеров цифровое телевидение станет единственным телевидением, о котором они вообще слышали. Для них я включил в книгу отдельную главу, посвященную основам классического телевидения и тому, как эта интересная и меняющая наш мир технология развивалась на протяжении первых шестидесяти лет своего существования.

### Благодарности

Большинство инженеров, занятых в области телевидения, наверняка согласятся, что реальность цифрового ТВ подкралась к нам незаметно, как лев, который 20 лет ходил вокруг, а потом вдруг прыгнул. По правде говоря, мне следовало бы взяться за написание «Руководства по цифровому телевидению» раньше. В качестве некоторого оправдания могу лишь сказать, что я медлил, поскольку еще совсем недавно многие технологии находились на стадии лабораторных разработок и по ним практически не было информации. Следовательно, настало время наверстать упущенное. Я хотел бы поблагодарить Энди Торна (Andy Thorne) и Криса Миддлетона (Chris Middleton) из отдела разработок фирмы Fareham (Великобритания), которые чрезвычайно внимательно и терпеливо помогли мне разобраться в устройстве современных телевизионных приставок. Я очень признателен им за неоценимую помощь. Блок-схемы цифровых телевизионных приставок в главе 11 напечатаны с их разрешения.

И наконец, мои извинения и благодарность Клэр (Claire), которой пришлось мириться с ситуацией, когда муж уединяется для работы над этой книгой вместо того, чтобы заняться починкой двери в ванную комнату!

*Ричард Брайс  
Париж, 1999*



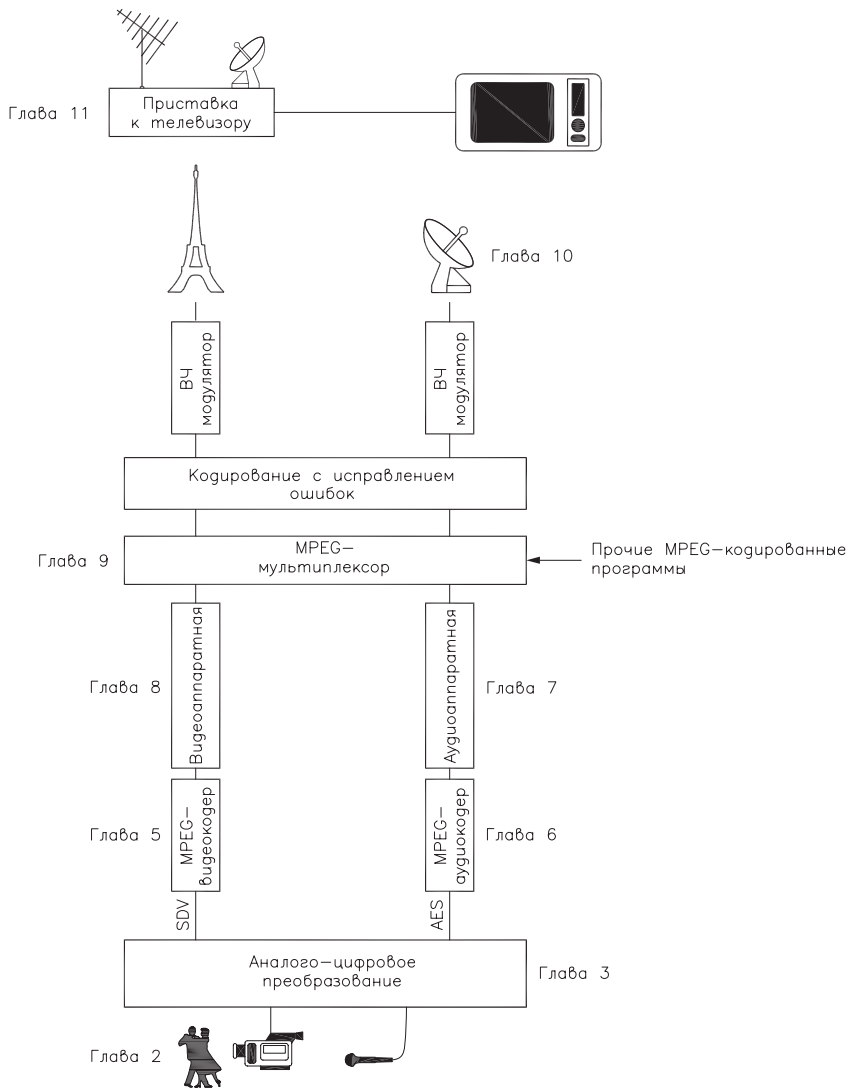
## 1. ВВЕДЕНИЕ

---

Цифровое телевидение, наконец, приходит в наш дом... сегодня! Фактически, как утверждает международная организация «Проект DVB» на своем Web-сайте, если вы живете в крупном городе, то для принятия цифрового ТВ сигнала достаточно установить спутниковую антенну. Спустя шестьдесят лет после появления аналогового телевидения и тридцать лет после введения цветного, телевидение, наконец, претерпевает уже давно предсказанное перерождение из аналогового в цифровое. Но что же на самом деле означает цифровое телевидение для каждого из нас? Чего же ждать нам, зрителям? Что мы как технические специалисты и инженеры должны знать об этом новом цифровом мире? Книга призвана ответить на данные вопросы. Чтобы было проще ориентироваться в представленном здесь материале, на рис. 1.1 приведена общая структура «Руководства по цифровому телевидению». Однако сначала зададимся вопросом: а почему именно цифровое?

### **Почему цифровое?**

Мне хотелось бы рассматривать постепенное замещение аналоговых систем цифровыми как своего рода повторение событий из истории древнего мира. Когда греки под предводительством Александра Македонского захватили Египет, греческий язык начал вытеснять древнеегипетский, и правила чтения и написания иероглифов были постепенно утрачены. Только в 1799 году – спустя две тысячи лет – вслед за обнаружением Розетской плиты был найден ключ к расшифровке этой формы письменности. Почему же это знание было утеряно? Возможно, потому, что греческая письменность основывалась на алфавите – ограниченном наборе символов, комбинация которых используется для образования всех слов в языке. Это намного проще и удобнее, чем 700 описательных знаков древнеегипетской письменности, соответствующих различным понятиям или действиям.



**Рис. 1.1.** «Руководство по цифровому телевидению» – структура книги

Любая аналоговая система тоже является описательной – волнообразный (переменный) ток отображает волнообразно изменяющееся звуковое давление и т.д. Если угодно, это иероглифическая электроника! Поэтому передача и обработка непрерывных, изменяющихся во времени сигналов (таких, как звук или видео) в цифровой форме обладает теми же преимуществами, которые четкий символичный код (алфавит) имеет перед описательным кодом (иероглифами).

Представленный с помощью ограниченного числа абстрактных символов сигнал, ранее подверженный помехам, теперь может быть защищен посредством посылки

специальных кодов, которые используются цифровым декодером для вычисления ошибок. Например, если аналоговый телевизионный сигнал «загрязнен» импульсными помехами от системы зажигания автомобиля, то эти импульсы (в виде белых и черных точек) неизбежно появятся на экране, поскольку аналоговый телевизионный приемник не «знает», какая часть модулированного сигнала полезная, а какая – нет. Цифровое телевидение способно отфильтровывать импульсные помехи от полезного сигнала. Как потребители, мы, следовательно, можем ожидать, что цифровой телевизор будет воспроизводить улучшенное, более четкое и менее зашумленное изображение, чем мы привыкли видеть у аналоговых моделей. (Основные цифровые концепции и методы обсуждаются в главе 3; цифровая обработка сигналов рассматривается в главе 4.)

### Увеличение числа каналов

До недавнего времени использование цифровых аудио- и видеосигналов сдерживалось из-за гораздо большей пропускной способности, или *полосы пропускания*, требующейся для хранения и передачи информации в цифровых системах по сравнению с аналоговыми. В 80-е годы это привело к распространению пессимистической точки зрения на возможность передачи цифрового телевизионного сигнала для бытовых ТВ приемников и, как следствие, к появлению усовершенствованных аналоговых телевизионных систем, таких как MAC и PALplus. Однако сложности, связанные с высокой пропускной способностью, были преодолены благодаря значительным успехам в разработке методов сжатия данных, позволившим обеспечить более эффективное использование меньшей полосы частот. За очень короткое время применение этих методов привело к тому, что аналоговое телевидение стало выходить из употребления. Без преувеличения можно сказать, что технологии сжатия данных, или кодирования источника сигнала, являются фундаментом цифрового телевидения, поэтому им отводится так много места на страницах данной книги. Понимание таких методов является жизненно важным для любого специалиста, работающего сегодня в области телевидения. Способы сжатия данных улучшились настолько, что сейчас легко разместить многие цифровые каналы в полосе частот, занимаемой одним аналоговым каналом. Новые перспективы, открывшиеся в этой индустрии – и не только в ней, – стали хорошей новостью и для зрителей, и для инженеров, и для технических специалистов.

### Широкоэкранные фильмы

Изначально формат кадра (отношение ширины изображения к его высоте) при производстве кинофильмов составлял 4:3. Согласно историческим фактам такое соотношение было несколько произвольно выбрано Томасом Эдисоном (Thomas Edison), когда он работал с Джорджем Истманом (George Eastman) над созданием киноплёнки для первого фильма. По мере роста киноиндустрии принятый ими формат 4:3 стал стандартным. Сейчас его называют «академическим стандартным» форматом изображения.

Когда в 30-е годы проводились первые опыты по телевидению, по традиции использовали формат 4:3. В кинематографии этот формат сохранялся до начала 50-х

годов, когда Голливуд начал производство *широкоформатных* фильмов. В наши дни наиболее распространенными киноформатами являются 1,85:1 и 2,35:1. Последний иногда называют Cinemascope или Scope (широкоэкранный). Таким образом, возникает проблема просмотра широкоэкранных кинолент на телевизионных экранах с форматом 4:3. Для решения данной проблемы в Великобритании и США используется так называемый метод pan and scan (панорамирование и сканирование), предполагающий обрезку (кадрирование) изображения. Альтернатива, известная как режим letter-boxing («почтовый ящик» – заниженный режим), представляет собой воспроизведение полного киноизображения с дополнительными черными полосами сверху и внизу экрана. Все цифровые телевизионные системы предназначены для работы с широкоэкранным форматом, что доставляет особое удовольствие зрителям при просмотре фильмов (и некоторых программ, особенно спортивных). При этом цифровое ТВ вещание вовсе не обязательно должно быть широкоэкранным, просто стандарт позволяет использовать и такую возможность. Для телевидения был выбран промежуточный широкоэкранный формат 16:9 (1,78:1). На рис. 1.2 показано, как воспроизводятся изображения различных кино- и ТВ форматов на телевизионных экранах формата 4:3 и 16:9. Ожидается, что в новом веке будет производиться все больше и больше цифровых телевизионных программ в формате 16:9. Сложности, с которыми в этой связи могут столкнуться студийные техники и инженеры, рассмотрены в главах 7 и 8.

### **Звук «как в кино»**

В дополнение к эффекту присутствия при просмотре широкоэкрannого кинофильма цифровое телевидение предлагает кинематографическое качество звука, усиливающее вовлеченность в происходящее на экране действие, – пространственный (окружающий) звук имеет свойство почти физически воздействовать на ваше тело. Будучи так долго золушкой телевидения, ограниченный 5-сантиметровым динамиком на задней стенке корпуса телевизора, звук теперь приобрел качество, ставшее одним из самых сильных доводов в продвижении современного телевидения. Странно, что именно в области кодирования звука (а не изображения) заключаются наибольшие различия между европейской цифровой системой и ее американским воплощением. В европейском проекте DVB было решено использовать метод кодирования звука, предложенный MPEG, в то время как американская инфраструктура применяет систему AC-3, разработанную Dolby Laboratories. Обе эти системы подробно рассмотрены в следующих главах. Вы увидите, что между названными системами больше общего, чем различий. Каждая из них обеспечивает многоканальный звук и прочие возможности звукового сопровождения, такие как синхронное озвучивание на разных языках. Но большее число каналов означает и большую полосу пропускания, что подразумевает необходимость использования методов сжатия данных, чтобы избежать перегрузки передающего канала. Технология сжатия звуковых данных (MPEG и AC-3) описана в главе 6.



ТВ изображение формата 4:3  
на экране 4:3



ТВ изображение формата 4:3 на экране 16:9



ТВ изображение формата 16:9  
на экране 4:3



ТВ изображение формата 16:9 на экране 16:9



Фильм на экране 4:3



Фильм на экране 16:9



Широкоформатный фильм  
на экране 4:3



Широкоформатный фильм на экране 16:9

**Рис. 1.2.** Изображения различных форматов, воспроизводимые на экранах с форматами 4:3 и 16:9

## Ассоциированные службы

Цифровое телевидение создано для просмотра развлекательных программ XXI века. Оно – многоканальное, многопрограммное, мультимедийное. Такая сложность означает, что зрителям нужна помощь, чтобы ориентироваться в каналах. Да и для работы аппаратуры также требуются данные о службе, которая предоставляет услуги по передаче (доставке) программ. В стандартах цифрового телевидения (DTV) для передачи приемнику *информации о службе* (Service Information – SI) применяются поля пользователя в потоке битов MPEG-2. Эта информация необходима приемнику для настройки его внутренней конфигурации таким образом, чтобы она соответствовала принимаемой службе и могла использоваться вещателем или поставщиком услуг в качестве базы *электронного путеводителя по программам* (Electronic Programme Guide – EPG) – своего рода электронного варианта *Radio Times*. В стандартах DVB не ограничивается возможность совершенствования EPG; многие вещатели предлагают рассылать информацию в виде HTML-страниц, доступных через HTML-браузеры (программы просмотра), встроенные в приставку к телевизору. Структура MPEG-уплотнения (мультиплексирования) сигналов и включение в нее данных различного типа рассматриваются в главе 9.

«Сближение» между различными цифровыми средствами передачи информации достаточно велико, но здесь требуется определенная стандартизация как сигналов, так и интерфейсов для сопряжения различных систем. Решение этой проблемы в мире цифрового телевидения станет шагом к взаимодействию разных средств передачи цифрового ТВ сигнала. Как отмечается в главе 10, переход от одного способа передачи к другому не должен вызывать задержки или ухудшения качества изображения и звука.

## Условный доступ

Очевидно, что кто-то должен платить за технологию! Родившееся в центристской атмосфере 30-х годов, единое общественное аналоговое телевидение было вскормлено в среде налогов и сборов, установленных государством. Едва ли можно надеяться, что подобная экономическая модель продолжит свое существование в современном эклектичном и многообразном мире, полном конкуренции и соперничества между каналами. По этой причине все системы DVB включают механизм «условного доступа», который является фактором успешного развития цифрового телевидения.

## Способы передачи

К сожалению, не все цифровые телевизионные сигналы идентичны, поскольку наличие государственных границ привело к появлению различных аналоговых систем. Все существующие и предлагаемые системы DVB используют для кодирования изображения общий стандарт MPEG-2, однако они отличаются не только способами кодирования звука, как мы уже видели, но и методами ВЧ модуляции несущей, о чем будет подробно говориться в последующих главах.

## Способы приема

Существует единственный фактор, обеспечивающий успех цифрового телевидения, причем это отнюдь не политика, не студии и не технология передачи сигналов, а спрос публики, покупающей телевизионные приемники в невероятных количествах. Обзор цифрового телевидения был бы неполным без главы, посвященной приемникам и телевизионным приставкам и наряду с ними *универсальным цифровым диском* (Digital Versatile Disc – DVD), которые вытесняют всеми любимые VHS-видеомагнитофоны, – цифровые фильмы приходят все в новые и новые дома.

## Будущее

Все, кто причисляет себя к инженерному сообществу, независимо от того, к какой области телевидения они имеют отношение, изумляются скорости, с которой происходят изменения в телевизионной индустрии. Технология, на протяжении 30 лет остававшаяся практически неизменной, вдруг устарела, и огромное количество технических специалистов и инженеров обнаружили, что происходящее застало их врасплох. Я надеюсь, что эта книга поможет им почувствовать себя подготовленными к встрече с проблемами современного телевидения. Однако предупреждаю: технология не стоит на месте! Сегодняшнее телевидение – это именно сегодняшнее телевидение. Телевидение следующего года будет уже совсем другим. Я включил в книгу отдельную главу (последнюю), где описываются современные разработки в области MPEG-кодирования, которые будут определять развитие телевидения в наступившем веке. Надеюсь, моя книга послужит вам не только сегодня, но и в будущем.

## 2. ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

---

Конечно, цифровое телевидение возникло не на пустом месте. Наоборот, оно многим обязано своему аналоговому предшественнику. Никто не сомневается, что цифровое телевидение – это революция в индустрии развлечений, но с точки зрения технологии оно базируется на фундаменте аналогового телевидения. Более того, оно унаследовало многие допущения и ограничения, свойственные аналоговому ТВ. Поэтому, чтобы хорошо разбираться в новой технологии цифрового ТВ, необходимо понимание технических методов аналогового телевидения. Ниже вы найдете краткое описание психологических принципов, которые лежат в основе развития данной телевизионной технологии.

### Краткая история телевидения

Впервые в мире полностью электронное телевизионное вещание было введено в действие службой BBC (Би-би-си) в Лондоне в ноябре 1936 года. Эта система являлась результатом громадной работы Шоенберга (Schoenberg) и его группы в компании EMI. Первоначально система EMI делила успех с механической системой Баерда (Baird), но последняя имела худшее качество и в феврале 1937 года была вытеснена электронной системой. В том же году Франция ввела 455-строчную электронную систему, а Германия и Италия – 441-строчные. Странно, но США несколько отставали от Европы: первая служба общественного телевидения начала функционировать в Нью-Йорке в 1939 году. Это была 340-строчная система с частотой 30 кадров в секунду. Спустя два года США приняли 525-строчный стандарт, который действует до настоящего времени.

Из-за сложностей, связанных с необходимостью развязки по питанию, первые телевизионные стандарты основывались на частоте кадров, синхронизированной с частотой колебаний сетевого напряжения, что существенно уменьшало видимое воздействие фона от сети переменного тока на изображение. С этого времени и определилось основное различие между системами стандартов американского и европейского происхождения (частота сети переменного тока в Северной



Америке – 60 Гц, а в Европе – 50 Гц). В 1952 году Германия предложила систему GERBER, чтобы до некоторой степени согласовать американскую и европейскую практику. Утверждалось, что ее внедрение упростит разработку стандартной аппаратуры преобразования и, следовательно, будет содействовать более интенсивному трансатлантическому обмену телевизионными программами, а кроме того, даст возможность европейским производителям телевизионной аппаратуры использовать более совершенные электронные компоненты производства США. По этой причине частота строк в системе GERBER была выбрана очень близкой к 525-строчной американской системе, но при частоте смены кадров 50, а не 60 полей в секунду. Таким образом, число строк приблизительно рассчитывается следующим образом:

$$(525 \times 60) / 50 = 630.$$

В период с 1950 по 1969 годы система GERBER постепенно распространилась по всей Европе.

### Появление цветного телевидения

Немного отстав с началом электронного ТВ вещания, телевидение в США стало стремительно развиваться после введения в 1953 году первого в мире коммерческого цветного телевидения, в котором цветовая информация была закодирована в сигнале поднесущей высокой частоты. Стандартизированная *Национальным комитетом по телевизионным системам* (National Television System Committee – NTSC), эта система известна всему миру как NTSC. Через 8 лет во Франции Генри де Франс (Henri de France) изобрел систему SECAM (Sequentiel Couleur a Memoire), в которой применяются две действующие попеременно поднесущие и линия задержки в качестве устройства для временного хранения информации. Хотя система SECAM требует гораздо более сложной схемы приемника, чем NTSC (что отнюдь не было нерациональным решением в 1961 году), ее преимущество состоит в том, что цветовой сигнал может испытывать гораздо большие искажения без заметных последствий. Почти в то же время, воспользовавшись технологией ультразвуковых линий задержки, разработанных для системы SECAM, доктор из Германии Вальтер Брух (Valter Bruch) предложил систему PAL, которая, по существу, является модификацией NTSC. Система PAL сохранила устойчивость системы SECAM и в то же время обеспечила точность воспроизведения цветов, близкую к NTSC. Цветное телевидение появилось в Англии, Франции и Германии в 1967 году, через 14 лет после введения системы NTSC.

А теперь рассмотрим некоторые особенности человеческого восприятия и технические принципы, лежащие в основе телевидения – как аналогового, так и цифрового.

### Физика света

Когда под действием электродвижущей силы (ЭДС) в проводнике течет электрический ток, движение электрических зарядов создает вокруг проводника магнитное поле. Соответственно движение магнитного поля способно создавать ЭДС

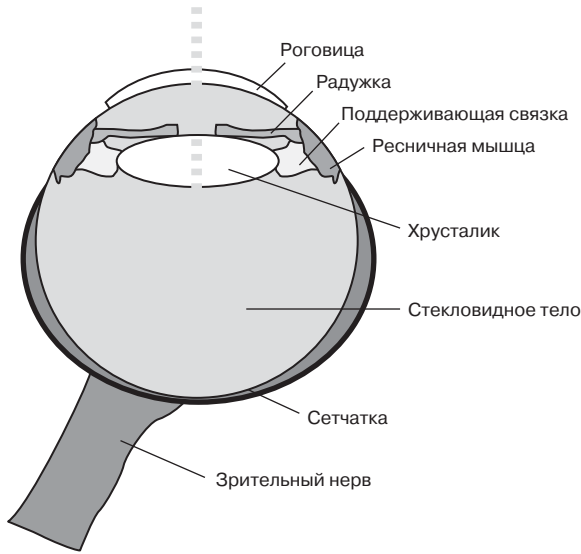
в электрической цепи. Наведенная ЭДС в виде напряжения находится внутри электрической цепи. Она относится к особому виду электрических полей. То же самое наблюдение можно сформулировать следующим образом: движение электрического поля создает магнитное поле, а движение магнитного – электрическое. Сказанное позволяет проникнуть в суть той формы энергии, которая может распространяться в вакууме (то есть без перемещения в среде) путем непрерывного взаимного обмена энергией непосредственно между электрическим и магнитным полями. Этот вид энергии – *свет*. Поскольку сам свет базируется на движении электричества (электрических зарядов), неудивительно, что данный вид энергии распространяется с той же скоростью, что и электричество – около 300 млн м/с. Но его следует называть электромагнитной энергией, поскольку он распространяется, или излучается, через безвоздушное пространство в форме взаимных колебаний электрического и магнитного полей, называемых электромагнитными волнами.

Хотя скорость, с которой электромагнитная энергия излучается через пространство, всегда постоянна, скорость изменения электрического поля на магнитное и наоборот в волнах этого вида энергии может варьироваться. Действительно, длительность таких циклов меняется в широких пределах. Поскольку скорость, с которой распространяется данная энергия, постоянна и очень велика, совершенно очевидно, что, даже если скорость обмена относительно мала, расстояние, преодолеваемое волной за полный цикл, будет достаточно велико. Расстояние, на котором электромагнитная энергия совершает один полный цикл повторяющейся последовательности обмена полями, известно как длина волны электромагнитной энергии. Стоит упомянуть, что диапазон длин волн электромагнитной энергии просто поражает: они простираются от стомиллиардных долей метра для космических лучей до миллиарда метров для энергии, излучаемой линиями электропередачи переменного тока. По различным физическим причинам только относительно небольшая часть гигантского диапазона энергий, которые выплескивает Вселенная и особенно наше Солнце, достигает поверхности Земли. Бесспорно, эта часть энергии сыграла важную роль в эволюции жизни на нашей планете: мы к ней приспособились и можем ее использовать. Маленькую часть данного диапазона мы называем светом. Излучения, длины волн которых превышают длину волны света и занимают диапазон до миллиметров, мы воспринимаем как тепло.

## Физиология зрения

Длина волны, которую воспринимает человеческий глаз, находится в диапазоне 380–780 нм, что соответствует изменению частоты на октаву. Зрительное ощущение можно вызвать другими воздействиями, отличными от света, например надавливая на глазное яблоко, – этот опыт показывает, что восприятие света является свойством зрительной системы. Иными словами, нет ничего специфического в электромагнитных волнах диапазона 380–780 нм, просто мы их воспринимаем отличными от других. Далее мы увидим, что ощущение цвета также является функцией системы восприятия, а не физическим свойством электромагнитного излучения.

С точки зрения физиологии глаз часто сравнивают с фотоаппаратом, так как они оба представляют собой камеру, открытую спереди для прохождения света, с переменной линзой, фокусирующей изображение на светочувствительной поверхности, находящейся на задней стенке камеры. В случае фотоаппарата роль светочувствительного материала выполняет фотопленка, а в случае глаза – сетчатка. На рис. 2.1 показано строение глаза человека.



**Рис. 2.1.** Физиологическое строение глаза

Глаз человека, имеющий форму сферы радиусом около 2,5 см, несколько выступает вперед в области роговицы – прочной пленки, лишенной кровеносных сосудов, что сохраняет ее хорошие оптические свойства. Роговица вместе с хрусталиком, расположенным внутри глаза, фокусирует изображение на светочувствительной поверхности задней стенки стекловидной камеры. Глаз может аккомодироваться (или фокусировать изображение при различных расстояниях), поскольку хрусталик не жесткий, а мягкий, и его кривизна может изменяться ресничными мышцами. Их воздействие осуществляется через поддерживающую связку, которая делает хрусталик более плоским для восприятия дальних объектов и расслабляет его при рассматривании ближних предметов. Радужка (радужная оболочка) – круглая мембрана, расположенная перед хрусталиком, – это окрашенная часть глаза, видимая снаружи. Радужка управляет глазной диафрагмой: регулирует количество света, поступающего в глаз через отверстие, называемое зрачком. Светочувствительная поверхность на задней стенке глаза – сетчатка – имеет три основных слоя:

- палочки и колбочки – светочувствительные клетки, которые преобразуют световую энергию в нервные импульсы;

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)