

Г.В.Мамчев

Теория и практика наземного цифрового телевизионного вещания

*Рекомендовано УМО по образованию
в области телекоммуникаций в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки
дипломированных специалистов
210400 - Телекоммуникации*

Москва
Горячая линия - Телеком
2012

УДК 621.397.6

ББК 32.841

М22

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *В. А. Майстренко*,
доктор техн. наук, профессор *С. П. Новицкий*

Мамчев Г. В.

М22 Теория и практика наземного цифрового телевизионного вещания. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 340 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0258-9.

Изложены основные положения цифрового представления и обработки телевизионного и звукового сигналов, обобщен и систематизирован материал по международным стандартам кодирования с информационным сжатием MPEG-2, MPEG-4, H.264/AVC. В развернутой форме представлены данные об основных характеристиках стандартов цифрового телевизионного вещания DVB-T, DVB-T2, DVB-H, а также описаны конструктивные особенности цифровой телевизионной аппаратуры, устройств ограничения доступа к телевизионным программам. Особое внимание уделено рассмотрению принципов формирования наземной сети телевизионного вещания.

Для студентов телекоммуникационных специальностей, будет полезно инженерно-техническим работникам и аспирантам, занимающимся вопросами телевидения.

ББК 32.841

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Мамчев Геннадий Владимирович

**Теория и практика наземного цифрового
телевизионного вещания**

Учебное пособие для вузов

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 01.04.2012. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 20. Тираж 500 экз. (1-й завод 100 экз.)

ISBN 978-5-9912-0258-9

© Г. В. Мамчев, 2012

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦИФРОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО И ЗВУКОВОГО СИГНАЛОВ	17
1.1. Принципы цифрового кодирования телевизионного сигнала	17
1.2. Преобразование звуковых сигналов в цифровую форму	39
Контрольные вопросы	43
2. СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ	44
2.1. Формирователи цифровых телевизионных сигналов	44
2.2. Особенности передачи цифровых сигналов по линиям связи	45
2.3. Согласование параметров сигнала с характеристиками канала связи	48
2.4. Формирующие фильтры	52
2.5. Цифровые интерфейсы передачи видео- и звуковых данных	53
Контрольные вопросы	64
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕОКОМПРЕССИИ В ТЕЛЕВИДЕНИИ	65
3.1. Задача сжатия информации и пути ее решения	65
3.2. Международный стандарт кодирования с информационным сжатием MPEG-2	71
3.2.1. Профили и уровни стандарта кодирования MPEG-2	71
3.2.2. Компрессия видеоданных	77
3.2.3. Кодлируемые кадры	85
3.2.4. Компенсация движения	88
3.2.5. Использование ДКП в стандарте кодирования MPEG-2	91
3.2.6. Сжатие звукоданных	98
3.2.7. Алгоритмы сжатия звукоданных кодерами различных уровней	104
3.2.8. Реализация цифрового многоканального звука, поддерживаемая стандартом MPEG-2	109
3.2.9. Формирование транспортного потока данных в устройствах кодирования MPEG-2	114
3.2.10. Качество телевизионных изображений при кодировании по стандарту MPEG-2	124
3.3. Стандарт представления медиа-объектов MPEG-4	128
3.3.1. Описание сцены в стандарте MPEG-4	128
3.3.2. Принципы доставки потоков данных	130
3.3.3. Кодирование визуальных образов	131
3.3.4. Кодирование звуковых объектов	137

3.3.5. Профили и уровни стандарта MPEG-4	143
3.3.6. Идентификация и защита интеллектуальной собственности	148
3.4. Стандарт кодированного представления визуальной информации H.264/AVC или MPEG-4 Part 10	149
3.4.1. Структура стандарта видеокомпрессии H.264	149
3.4.2. Базовый профиль	155
3.4.3. Основной профиль	161
3.4.4. Расширенный профиль	167
3.4.5. Транспортный механизм стандарта H.264	171
3.4.6. Кодек стандарта H.264	174
3.5. Стандарт описания мультимедийной информации MPEG-7	176
3.5.1. Общие сведения о стандарте MPEG-7	176
3.5.2. Основные части стандарта MPEG-7	177
3.5.3. Описание главных функций стандарта MPEG-7	177
3.5.4. Области применения стандарта MPEG-7	179
Контрольные вопросы	180
4. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ ПО ЭФИРНЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ	182
4.1. Основные требования к системам передачи сигналов цифрового телевидения по радиоканалам	182
4.2. Перемежение и скремблирование	184
4.3. Принцип кодирования, исправляющего ошибки	186
4.3.1. Коды, исправляющие ошибки	186
4.3.2. Коды Рида-Соломона	188
4.3.3. Сверточное кодирование	193
4.3.4. Алгоритм декодирования Витерби	195
4.3.5. Каскадное кодирование	197
4.3.6. Основные принципы турбокодирования	198
4.4. Способы модуляции, применяемые при передаче сигналов цифрового телевидения по радиоканалу	201
4.5. Стандарт цифрового наземного телевидения DVB-T	212
4.6. Основные положения нового стандарта цифрового наземного телевидения DVB-T2	237
4.7. Стандарт цифрового телевидения для мобильных терминалов DVB-H	241
Контрольные вопросы	251
5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ DVB-T	253
5.1. Основные устройства цифрового передающего аппаратного комплекса	253
5.2. Конструкция цифрового телевизионного приемника	263

5.2.1. Описание обобщенной структурной схемы цифрового телевизора	263
5.2.2. Конструктивные особенности селекторов каналов для цифровых телевизоров	266
5.2.3. Устройство COFDM-демодуляторов	269
5.2.4. Особенности функционирования транспортного демультимплексора цифрового телевизора	274
5.2.5. Практическое использование декодеров MPEG-2	274
5.2.6. Система управления цифровым телевизионным приемником	276
5.3. Принципы построения абонентских цифровых приставок-декодеров	280
5.4. Комбинированные телевизоры CDTV/DVB-типа	283
Контрольные вопросы	286
6. СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА В ЦИФРОВОМ ТЕЛЕВИЗИОННОМ ВЕЩАНИИ	287
6.1. Необходимость ограничения доступа к программам вещания	287
6.2. Принципы построения телевизионных систем с ограниченным доступом	287
6.3. Алгоритм скремблирования для систем с ограниченным доступом.....	294
6.4. Особенности эксплуатации систем с ограниченным доступом	296
6.5. Маркирование телевизионных программ цифровыми водяными знаками	298
Контрольные вопросы	300
7. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАЗЕМНОЙ СЕТИ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ	301
7.1. Общие сведения о структуре эфирного телевизионного вещания	301
7.2. Особенности распространения радиоволн, используемых для наземного телевизионного вещания	304
7.3. Применение одночастотных сетей цифрового телевидения	308
7.4. Расчет мощности телевизионных радиопередатчиков	312
7.5. Определение минимальной напряженности электромагнитного поля для сетей цифрового телевизионного вещания	315
7.6. Оценка медианных значений напряженности электромагнитного поля для сети цифрового телевизионного вещания	318
Контрольные вопросы	322
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	323
БИБЛИОГРАФИЯ	327
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	330

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в мире более 1,6 миллиарда телевизоров, телефонных линий – 800 млн., т.е. примерно в два раза меньше, а в развивающихся странах соотношение телевизоров и телефонных линий составляет даже 10:1. В настоящее время количество телевизоров сравнимо только с числом абонентов мобильной связи. Следовательно, телевидение является доминирующей составляющей в информатизации мирового сообщества.

В первом десятилетии двадцать первого века аналоговое телевидение со всеми присущими ему искажениями станет частью истории, поскольку наземные, спутниковые и кабельные системы передачи, по которым происходит доставка телевизионных программ телезрителям, постепенно переходят на цифровые методы.

Зачем нужно цифровое телевидение? Опыт, накопленный в телевизионном вещании, показал, что телевидение, переходя в цифровую эру, способно предоставить ряд новых возможностей при сохранении экономической эффективности. В целом, применение цифровых методов обработки, передачи и консервации телевизионных сигналов по сравнению с аналоговыми дает ряд следующих преимуществ.

1. Передача телевизионного сигнала в двоичной форме по линии связи с помехами позволяет значительно увеличить помехоустойчивость передачи.
2. Передача телевизионного сигнала в двоичной форме по многозвенной линии связи позволяет производить многократную регенерацию и скремблирование цифрового сигнала в промежуточных пунктах, осуществлять цифровую коррекцию искажений и подавление флуктуационных и периодических помех в промежуточных пунктах и таким образом предотвращает накопление помех вдоль всей линии. Поэтому качество изображения в цифровой телевизионной системе практически полностью определяется качеством сигнала, созданного на телевизионном центре, и почти не зависит от сложности и протяженности линий связи. Другими словами, цифровая телевизионная система обеспечивает прозрачную передачу видеосигналов. В данном случае под прозрачностью понимается неизменность сигналов источника, когда сохраняются первоначальное качество видеоматериала и его способность к дальнейшей обработке.
3. Решение проблемы устранения искажений из-за многолучевости и, как следствие, повышение качества приема на стационарные, подвижные и портативные телевизионные приемники.
4. Цифровые системы открывают широкие возможности обработки телевизионного сигнала в цифровой форме для устранения в нем статистической и физиологической избыточности перед передачей по каналу связи, т.е. обеспечивают высокую степень сжатия видеoinформации (с 216 Мбит/с до 1,5...3 Мбит/с), что позволяет уже сейчас передавать в

стандартном радиоканале с полосой пропускания 8 МГц сигналы пятидесяти телевизионных программ в наземном телевизионном вещании и более 10 программ через один ствол спутникового канала связи или одну программу телевидения высокой четкости (ТВЧ), а также большие потоки данных при сохранении высокого качества передачи. Соответственно, уменьшаются удельные затраты на телеканал по аренде спутникового оборудования.

5. Будут использованы более низкие, по сравнению с аналоговыми системами, мощности передачи. Например, зона покрытия четырехкиловаттного цифрового передатчика эквивалентна зоне, которую обеспечивает двадцатикилловаттный аналоговый радиопередатчик. В данном случае справедливо отметить не только реальную экономию электроэнергии, но и значительное уменьшение отрицательного влияния высоких значений напряженности электромагнитного поля на окружающую среду.
6. Обеспечение высококачественного приема на переносные телевизионные приемники. В ряде случаев прием аналоговых телевизионных сигналов при эфирном вещании вообще невозможен. Так, например, многие десятилетия предпринимались попытки осуществлять прием телевизионных сигналов в железнодорожных поездах. На линиях с электрической тягой (а таких сегодня большинство) принимать эфирные передачи с приемлемым качеством практически невозможно из-за срыва синхронизации при следовании вдоль железнодорожного полотна с мелькающими опорами и значительными помехами от контактной сети. Установлено, что только цифровой метод передачи и приема телевизионных сигналов позволит кардинально решить эту задачу.
7. Допускается более широкая унификация аппаратуры телевизионных и других стволов линий связи с целью создания однотипных коммутирующих, корректирующих и других устройств.
8. Обеспечивается гибкость передачи, которая позволяет плавно изменять скорость передачи цифровой информации в канале связи при соответствующем изменении качества декодированного изображения, адаптивность к требованиям конкретного потребителя.
9. Сравнительно легко реализуются операции по уплотнению телевизионного канала дополнительной информацией. Упрощается аппаратура для передачи одновременно с видеосигналом сигналов звукового сопровождения, звукового вещания, контрольных частот, сигналов точного времени, сигналов телеигр, телегазет и ряда других видов информации. Таким образом, обеспечивается возможность введения новых служб вещания, развлечений, образования, бытового обслуживания.
10. Возможность регенерации цифрового сигнала позволяет без потери качества широко консервировать телевизионные программы, осуществлять их тиражирование. Хранение информации в двоичном коде может быть неограниченно долгим и допускает многократные обращения к записям. В случае необходимости хранящаяся информация легко реге-

нерируется, что особенно важно для создания фондовых и архивных материалов. Интеграция локальной памяти домашнего компьютерного комплекса (магнитные диски, записываемые оптические диски) в систему цифрового телевидения означает возможность автоматической записи программ, предназначенных для конкретного зрителя.

11. Цифровые модуляторы радиотелевизионных передающих станций (РТПС) в сочетании с оптимизацией их режимов с помощью микрокомпьютеров обеспечивают повышение КПД станций, качество передачи сигналов, облегчают обслуживание.
12. Полное проникновение цифровой техники в телевизионный тракт от камеры до монтажных аппаратных удешевляет производство телевизионных программ. Цифровая техника предлагает более эффективную и менее дорогую автоматизацию телевизионного вещания.
13. Цифровые методы обработки и передачи телевизионных сигналов способствуют внедрению ТВЧ, многоканальному вещанию в сети Интернет, облегчают международный обмен телевизионными программами. Цифровое телевидение становится частью общемировой сети передачи данных Internet, умножая и без того быстро растущее число пользователей этой сети. Практически цифровое телевидение делает еще один шаг на пути слияния функций телевизоров и переносных компьютеров.
14. Цифровое телевидение позволяет телевизионным вещательным компаниям вступить в прямой контакт со зрителями, предлагая услуги, например, по исключительной демонстрации различных событий и мероприятий. При этом реклама, основанная на изучении пристрастий и вкусов зрителей, может стать целевой.
15. Наконец, цифровые технологии позволяют придать телевидению интерактивный характер. Интерактивная реклама, услуги по продаже товаров, телевизионные игры будут, видимо, первыми проявлениями интерактивности, за которыми должны последовать образовательные и другие программы.
16. Цифровое телевидение предполагает и высококачественное звуковое сопровождение. В идеале – это применение цифровой системы Dolby AC-3 (с 1991 года ее применяют в киноаппаратуре), которая обуславливает передачу шести каналов звукового сопровождения (левый и правый тыл, левый и правый фронт, центр, низкие частоты). Такую систему обозначают «канал 5.1», коммерческое название данной системы – «Dolby Digital»). Достоинством такой системы следует считать неизменность уровня звукового сигнала при переходе с канала на канал или от одного фрагмента к другому. Для сравнения следует отметить, что в аналоговом телевидении характерны скачки громкости звука в таких ситуациях.

Структурная схема цифровой телевизионной системы показана на рис. В.1. Кратко рассмотрим назначение основных частей системы.