



# МИР радиоэлектроники

Сэнджой Пол

Распределение цифрового  
видео по широкополосным,  
телевизионным, мобильным  
и конвергентным сетям.  
Тенденции, проблемы  
и решения

Перевод с английского  
под редакцией  
чл.-корр. РАН Ю.Б. Зубарева

ТЕХНОСФЕРА  
Москва  
2012



Издание осуществлено при поддержке  
ЗАО «МНИТИ»

УДК 621.391+621.397

ББК 32.88+ 32.94

С97

С97 Сэнджой Пол

**Распределение цифрового видео по широкополосным, телевизионным, мобильным и конвергентным сетям. Тенденции, проблемы и решения**  
Москва: Техносфера, 2012. – 440 с. , ISBN 978-5-94836-305-9

Книга представляет всеобъемлющее исследование технологий распределения видео, учитывающее теоретические и практические аспекты предмета изучения, что помогает более полному пониманию этих современных технологий, используемых на практике.

УДК 621.391+621.397

ББК 32.88+32.94

Все права защищены. Авторизованный перевод с английского издания «Джон Вайли энд Санс Лимитид». ЗАО РИЦ «Техносфера» несет полную ответственность за правильность перевода. «Джон Вайли энд Санс Лимитид» освобождается от этой ответственности. Ни одна часть книги не может быть воспроизведена в какой-либо форме без письменного разрешения правообладателя оригинала «Джон Вайли энд Санс Лимитид».

**DIGITAL VIDEO  
DISTRIBUTION IN BROADBAND,  
TELEVISION, MOBILE AND  
CONVERGED NETWORKS**  
TRENDS, CHALLENGES  
AND SOLUTIONS

Sanjay Paul, Ph.D.  
Faculty of Bell Labs and WINLAB, Rutgers University, USA, now of Infocore Technologies  
Limited, India

**WILEY**  
Publishers since 1807

© 2011 John Wiley & Sons Ltd

© 2012, ЗАО «РИЦ «Техносфера», перевод на русский язык,  
оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-305-9

ISBN 978-0-470-74628-8(англ.)

# Содержание

Предисловие к русскому изданию .....	13
Об авторе .....	14
Предисловие .....	15
<b>ЧАСТЬ I. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ</b> .....	18
<b>Глава 1. Конвергенция</b> .....	18
1.1. Промышленная конвергенция .....	18
1.2. Конвергенция устройств .....	19
1.3. Сетевая конвергенция .....	20
1.4. Конвергенция сервисов .....	21
1.5. Заключение .....	25
Литература .....	25
<b>Глава 2. Сжатие видеоизображений, кодирование и передача</b> .....	26
2.1. Сжатие неподвижных изображений .....	26
2.1.1. Поблочное преобразование .....	26
2.1.2. Квантование .....	27
2.1.3. Кодирование .....	27
2.1.4. Последующее кодирование .....	28
2.1.5. Добавление цвета в изображение .....	28
2.2. Сжатие видео .....	28
2.2.1. Оценка движения и компенсация .....	29
2.2.2. Группа изображений (GOP) .....	29
2.3. Перемещение видео .....	30
2.4. Заключение .....	30
Литература .....	31
<b>Глава 3. Телевидение в сетях передачи данных по протоколу IP (IPTV)</b> в сравнении с Интернет-телевидением .....	32
3.1. Интернет-телевидение и видео по протоколу IP .....	32
3.1.1. Контент .....	33
3.1.2. Рассылка .....	34
3.1.3. Поиск .....	34
3.2. Заключение .....	34
Литература .....	35
<b>Глава 4. Многоадресная передача</b> .....	36
4.1. Многоадресная передача в сетях IP-телевидения .....	37
4.2. Многоадресная передача в мобильных сетях .....	39
4.3. Заключение .....	40
Литература .....	41
<b>Глава 5. Технологические тенденции и их влияние на службу предоставления</b> телевизионного канала по запросу через Интернет .....	42
5.1. Открытые сети против закрытых .....	44
5.2. Открытые сети .....	45
5.3. Закрытые сети .....	48
5.4. Заключение .....	49
Литература .....	50

<b>Глава 6.</b> Заключение к части I .....	51
<b>ЧАСТЬ II. ТРУДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДЕО ПО ОТКРЫТЫМ СЕТЯМ</b> .....	54
<b>Глава 7.</b> Кино по запросу через Интернет .....	55
7.1. Оценка ресурсов .....	55
7.1.1. Хранение .....	55
7.1.2. Пропускная способность .....	55
7.1.3. Скачивание .....	56
7.2. Альтернативные модели распределения .....	56
7.2.1. Сеть доставки контента (CDN) .....	56
7.2.2. Хостинг .....	59
7.2.3. Хостинг по сравнению с сетью доставки контента .....	59
7.2.4. Пиринговые сети .....	62
7.2.5. Пиринговые сети для скачивания контента .....	63
7.2.6. Сети доставки контента по сравнению с пиринговыми сетями .....	65
7.2.7. Сети доставки контента по сравнению с кэшированием .....	67
7.2.8. Гибридные сети .....	69
7.2.9. Сочетание кэширования и пиринговых технологий .....	70
7.3. Заключение .....	73
Литература .....	74
<b>Глава 8.</b> Интернет-телевидение .....	77
8.1. Оценка ресурсов .....	77
8.1.1. Пропускная способность .....	78
8.1.2. Хранение контента .....	78
8.2. Пиринговые сети для потоковой передачи данных .....	79
8.2.1. Адаптивная пиринговая сеть потоковой передачи .....	80
8.2.2. Древоподобная структура пиринговой сети потоковой передачи .....	80
8.2.3. Ячеистая структура пиринговой сети потоковой передачи данных .....	85
8.2.4. Масштабируемость пиринговых сетей .....	89
8.2.5. Сравнение древоподобной и ячеистой структур пиринговой потоковой передачи .....	91
8.3. Портал провайдера пиринговых сетей (P4P) .....	92
8.3.1. Некоторые данные статистики пиринговых сетей .....	92
8.3.2. Альтернативные технологии управления пиринговым трафиком в сетях провайдера сети Интернет .....	93
8.3.3. Вероятностное взаимодействие между управлением потоком данных провайдерами сети Интернет и оптимизацией пиринговых сетей .....	94
8.3.4. Структура пиринговой сети P4P .....	94
8.4. Заключение .....	95
Литература .....	96
<b>Глава 9.</b> Вещательное телевидение через Интернет .....	99
9.1. Оценка ресурсов .....	100
9.1.1. Полоса пропускания .....	100
9.1.2. Хранение .....	100

9.2. Технологии .....	101
9.2.1. Технология CoolStreaming .....	101
9.2.2. Создание DONet .....	102
9.2.3. Оценка сети DONet .....	107
9.2.4. Технология GridMedia .....	112
9.3. Разработки .....	123
9.3.1. Непосредственное спутниковое телевизионное вещание .....	123
9.3.2. Загрузка со спутниковой телевизионной антенны для потоковой передачи ПК Интернет .....	124
9.3.3. Потоковое телевидение PPMate .....	124
9.3.4. Потоковое телевидение SopCast .....	124
9.3.5. Сайт 3webTotal Tv & Radio Tuner .....	124
9.3.6. Бесплатное интернет-телевидение .....	125
9.3.7. Online TV Live .....	125
9.3.8. CoolStreaming .....	125
9.3.9. PPLive .....	126
9.4. Заключение .....	126
Литература .....	126
<b>Глава 10. Технические средства защиты авторских прав (DRM) .....</b>	<b>129</b>
10.1. Функциональная архитектура технических средств защиты авторских прав DRM .....	129
10.1.1. Создание и получение объекта интеллектуальной собственности .....	129
10.1.2. Управление объектом интеллектуальной собственности .....	130
10.1.3. Использование объектов интеллектуальной собственности .....	131
10.2. Моделирование контента в функциональной архитектуре технических средств защиты авторских прав DRM .....	131
10.3. Представление моделируемых прав в функциональной архитектуре технических средств защиты авторских прав DRM .....	132
10.4. Принцип работы технических средств защиты авторских прав DRM .....	133
10.4.1. Помещение контента в пакеты .....	134
10.4.2. Распространение контента .....	134
10.4.3. Распространение лицензии .....	135
10.4.4. Создание и предоставление лицензии .....	135
10.4.5. Приобретение лицензии .....	136
10.4.6. Проигрывание медиафайлов .....	136
10.5. Заключение .....	136
Литература .....	137
<b>Глава 11. Качество пользования (QoE) .....</b>	<b>138</b>
11.1. Кэширование QoE: разработка предельной системы кэширования, учитывающей QoE .....	138
11.1.1. TCP-оптимизатор .....	139
11.1.2. Оптимизатор потоковой передачи .....	140
11.1.3. Веб-прокси/кэш .....	140
11.1.4. Прокси/кэш-потоковая передача .....	141
11.1.5. DNS-оптимизатор .....	141
11.1.6. TCP-оптимизатор (детали) .....	142
11.1.8. Веб-прокси/кэш (детали) .....	147

11.1.9. Поточковый прокси/кэш (детали) .....	148
11.1.10. DNS-оптимизатор (детали) .....	148
11.2. Дальнейшее изучение и оптимизация беспроводного видеопотока .....	150
11.2.1. Разъяснения улучшения кэша-QoE .....	151
11.2.2. Функциональные улучшения основного кэша-QoE .....	151
11.2.3. Вигрыш, получаемый благодаря основному кэшу-QoE .....	153
11.2.4. Функциональное улучшение типового кэша-QoE .....	153
11.3. Эффективность кэширования QoE .....	156
11.3.1. Просмотр веб-страниц .....	157
11.3.2. Поточковая передача .....	157
11.3.3. Эффективность в типичные дни .....	159
11.4. Дополнительные функции и возможная оптимизация кэша-QoE .....	162
11.4.1. Возможность обработки потоковых передач при прямой трансляции в дополнение к видео по запросу .....	162
11.4.2. Аппаратное транскодирование .....	163
11.4.3. Адаптация цифрового потока видео при потоковой передаче по протоколу RTP поверх TCP .....	163
11.4.4. Адаптация скорости цифрового потока видео при прогрессивной загрузке на основе HTTP [10] .....	163
11.4.5. Адаптация видео с учетом возможности клиентских устройств .....	163
11.5. Заключение .....	164
Литература .....	165
<b>Глава 12.</b> Вероятностные службы доставки видео в сетях, допускающих задержку .....	168
12.1. Введение .....	168
12.2. Принципы проектирования .....	170
12.3. Альтернативные архитектуры .....	172
12.3.1. Сети, устойчивые к задержке и прерыванию (RFC 4838) .....	172
12.3.2. Программа SPINDLE компании BBN .....	175
12.3.3. Система KioskNet .....	179
12.4. Конвергентные архитектуры .....	184
12.4.1. Цели проектирования сетей с кэшированием и пересылкой .....	185
12.4.2. Архитектура .....	186
12.4.3. Протоколы .....	189
12.4.4. Эффективность протоколов в архитектуре CNF .....	192
12.5. Заключение .....	199
Литература .....	199
<b>Глава 13.</b> Заключение к части II .....	202
<b>ЧАСТЬ III. ТРУДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДЕО В ЗАКРЫТЫХ СЕТЯХ</b> .....	206
<b>Глава 14.</b> Развитие сетевой архитектуры .....	207
<b>Глава 15.</b> IP-телевидение (IPTV) .....	209
15.1. Классификации услуг IP-телевидения .....	209
15.2. Требования к предоставляемым IPTV службам .....	210
15.3. Требования к качеству отображения .....	211
15.3.1. Пропускная способность .....	211

15.3.2. Форматы сжатия аудио/видео .....	211
15.3.3. Разрешение .....	212
15.4. Требования к транспортировке .....	212
15.4.1. Капсуляция данных .....	212
15.4.2. Протоколы передачи .....	213
15.5. Режимы транспортировки .....	227
15.5.1. Одноадресная передача для видео по запросу .....	227
15.5.2. Многоадресная передача для прямой трансляции телевидения .....	227
15.6. Заключение .....	243
Литература .....	245
<b>Глава 16. Распределение видео в конвергентных сетях .....</b>	<b>248</b>
16.1. Последствия функционирования каждой сети как независимого объекта .....	248
16.2. Проблемы синергизации и устранения дублирования в сетях .....	248
16.3. Возможности решения проблем многовариантной неоднородности .....	251
16.3.1. Конвертирование медиаконтента по определенным правилам .....	251
16.3.2. Статическое преобразование в сравнении с динамическим .....	251
16.3.3. Динамический отбор 20% наиболее популярных видеоматериалов и форматов .....	252
16.3.4. Шаблоны для приложений .....	252
16.4. Промышленные транскодеры .....	252
16.4.1. Принципы применения программного транскодера Carbon Coder фирмы Rhozet .....	254
16.4.2. Важные особенности .....	254
16.4.3. Использование транскодера Rhozet в типовых ситуациях .....	258
16.4.4. Использование транскодера Rhozet при распределении персонального мультимедийного контента .....	259
16.4.5. Транскодер Rhozet: заключение .....	259
16.5. Архитектура систем, реализующих рассмотренные принципы .....	260
16.5.1. Функциональная схема архитектуры .....	260
16.6. Преимущества предложенной архитектуры .....	262
16.7. Изучение конкретного примера: виртуальная персональная мультимедийная библиотека .....	263
16.8. Заключение .....	264
Литература .....	266
<b>Глава 17. Качество службы (QoS) в IPTV .....</b>	<b>268</b>
17.1. Требования к QoS: прикладной уровень .....	269
17.1.1. Телевидение стандартной четкости (SDTV): минимальные требования .....	269
17.1.2. Телевидение высокой четкости (HDTV): минимальные требования .....	271
17.2. Требования к QoS: транспортный уровень .....	273
17.2.1. Видео стандартной четкости: минимальные требования .....	275
17.2.2. Видео высокой четкости: минимальные требования .....	276
17.3. Требования к QoS: сетевой уровень .....	277

17.4. Требования QoE: функции управления .....	280
17.4.1. Требования QoE в отношении времени переключения каналов .....	280
17.5. Требования QoE: специальные режимы воспроизведения при VoD .....	282
17.5.1. Задержка специальных режимов воспроизведения .....	282
17.5.2. Требования к характеристикам специальных режимов воспроизведения при VoD .....	282
17.6. Общий взгляд на требования QoS к IPTV .....	283
17.7. Заключение .....	284
Литература .....	285
<b>Глава 18. Качество служб (QoS): мониторинг и гарантии .....</b>	<b>287</b>
18.1. Типовая архитектура, гарантирующая сквозное качество пользования QoE .....	289
18.2. Мониторинг QoE для IPTV .....	291
18.2.1. Точки мониторинга .....	291
18.2.2. Определение точек мониторинга .....	291
18.2.3. Параметры мониторинга .....	292
18.2.4. Методы мониторинга .....	300
18.2.5. Многоуровневый мониторинг .....	300
18.2.6. Мониторинг качества видео .....	303
18.2.7. Мониторинг качества аудио .....	306
18.3. Средства мониторинга QoE для IPTV .....	307
18.3.1. Система IQ Pinpoint для многомерного управления качеством видео .....	307
18.3.2. Мониторинг правильности функционирования головной станции .....	310
18.3.3. Анализ и устранение неполадок в полевых условиях .....	311
18.3.4. Испытание и измерение системы на протяжении жизненного цикла .....	311
18.4. Заключение .....	312
Литература .....	314
<b>Глава 19. Защита видео в конвергентных сетях .....</b>	<b>315</b>
19.1. Угрозы для цифрового видеоконтента .....	316
19.2. Существующие методы защиты видеоконтента .....	317
19.2.1. Системы .....	317
19.2.2. Система скремблирования контента (CSS) .....	319
19.2.3. Системы защиты для однократно записываемых и перезаписываемых носителей (CPRM/CPM) .....	320
19.2.4. Система условного доступа (CAS) .....	320
19.2.5. Усовершенствованные системы доступа к контенту .....	321
19.2.6. Архитектура систем защиты контента .....	321
19.2.7. Защита контента при цифровой передаче (DTCP) .....	321
19.2.8. Защита широкополосного цифрового контента (HDCP) .....	321
19.3. Сравнение методов защиты контента .....	322
19.4. Угрозы в традиционных и конвергентных сетях .....	322
19.4.1. Контент в конвергентных сетях .....	324
19.4.2. Угрозы в традиционных сетях .....	324
19.4.3. Угрозы в конвергентных сетях .....	324

19.5. Требования к полноценным системам защиты контента .....	326
19.6. Унифицированная система управления и защиты контента (UCOMAP) .....	327
19.6.1. Технические предпосылки .....	327
19.6.2. Главные компоненты UCOMAP .....	328
19.6.3. Другие преимущества системы UCOMAP .....	331
19.7. Учебный пример: защищенный видеонакопитель .....	331
19.8. Заключение .....	333
Литература .....	333
<b>Глава 20. Проблемы при обеспечении масштабируемой службы «видео по запросу» (VoD) .....</b>	<b>337</b>
20.1. Схемы с замкнутой петлей .....	338
20.1.1. Пакетная обработка .....	339
20.1.2. «Латание» .....	340
20.1.3. Пакетная обработка «заплат» .....	342
20.1.4. Управляемая многоадресная передача (с использованием порога по частоте) .....	343
20.1.5. Пакетная обработка «заплат» с кэшированием префиксов .....	344
20.1.6. Сегментированное многоадресное вещание с кэшированием (SMcache) .....	347
20.2. Схемы с разомкнутой петлей .....	348
20.2.1. Вещание с одинаковыми интервалами .....	349
20.2.2. Чередующееся вещание .....	349
20.2.3. Гармоническое вещание .....	350
20.2.4. Пирамидальное вещание (PB) .....	350
20.2.5. «Небоскребное» вещание (SB) .....	352
20.2.6. Сравнение PB, PPB и SB .....	354
20.2.7. Интенсивное вещание с экономией емкости дисков (GDB) .....	355
20.3. Гибридные схемы .....	356
20.4. Заключение .....	357
Литература .....	358
<b>Глава 21. Проблемы распределения видео в мобильных беспроводных сетях .....</b>	<b>361</b>
21.1. Служба мультимедийного вещания/многоадресной передачи (MBMS) .....	363
21.1.1. Пользовательские службы MBMS .....	364
21.1.2. Архитектура MBMS .....	367
21.1.3. Атрибуты и параметры MBMS .....	372
21.1.4. Многоадресное дерево в сотовой сети .....	373
21.1.5. Процедуры MBMS .....	373
21.1.6. Структура каналов MBMS .....	375
21.1.7. Использование структуры каналов MBMS .....	376
21.1.8. Защита MBMS .....	378
21.2. Цифровое видеовещание для мобильных устройств (DVB-H) .....	383
21.3. «Только прямой канал» (FLO) .....	385
21.4. Управление цифровыми правами (DRM) на мобильный видеоконтент .....	388
21.5. Заключение .....	390
Литература .....	392

<b>Глава 22.</b> Мультимедийная IP-подсистема (IMS) и IPTV .....	394
22.1. Архитектура IMS .....	395
22.1.1. Уровневая архитектура IMS .....	396
22.1.2. Обзор по компонентам IMS .....	396
22.1.3. Некоторые важные компоненты архитектуры IMS .....	401
22.2. Модель службы IMS .....	404
22.3. Сигнализация в IMS .....	406
22.3.1. Регистрация/сброс регистрации в SIP .....	406
22.3.2. Сигнализация от одного абонента IMS к другому абоненту IMS .....	407
22.4. Интегрирование IPTV с архитектурой IMS .....	408
22.4.1. Функциональная архитектура и интерфейсы .....	408
22.4.2. Интегрированная архитектура IMS – IPTV .....	410
22.4.3. Обнаружение и выбор IPTV службы и ее организация .....	410
22.5. Заключение .....	410
Литература .....	412
<b>Глава 23.</b> Заключение к части III .....	414
<b>Список понятий и сокращений .....</b>	<b>421</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>430</b>

## Предисловие к русскому изданию

Уважаемые читатели!

Представляю Вам русское издание монографии, которая обобщает около пятисот публикаций зарубежных специалистов, посвященных вопросам развития и совершенствования информационных технологий. Хочу отметить также ее актуальность, поскольку она является взглядом в будущее сети Интернет. Немаловажный факт, что монография Пола Сэнджоя, долго работавшего в ведущих американских фирмах, была опубликована в начале 2011 года и впитывает в себя все последние достижения в этой области.

Монография затрагивает многие аспекты развития информационных технологий, базирующихся на применении интернет-протокола IP. Заглядывая в прошлое, хотелось бы отметить, что эта технология не признавалась многими телекоммуникационными компаниями, да и специалистами в области электросвязи, поскольку на первых этапах развития она не позволяла обеспечить надлежащего качества передачи голоса в телефонии. Видимо, именно поэтому данную технологию начали использовать только «альтернативные» компании, которые предоставляли услуги со значительно более низким качеством, но при тарифах в несколько раз ниже обычных. На сегодня эта технология стала серьезным конкурентом для сетей связи общего пользования.

Технология IP получила дальнейшее развитие при ее использовании в широкополосных, телевизионных и мобильных конвергентных сетях, что прекрасно показано в ряде глав данной монографии. Эта технология стала основой транспортной сети Интернет. Автор монографии предвидит будущее развитие сети, когда каждый пользователь сможет размещать свой контент в Интернете, который становится доступным для любого другого пользователя. Поэтому автор монографии ставит вопрос – как и каким образом должна быть построена будущая сеть Интернет, чтобы удаленный пользователь мог применять этот контент с минимальными задержками и надлежащим качеством. На все эти вопросы монография дает исчерпывающий ответ.

Считаю, что данная книга будет полезна специалистам, аспирантам и студентам, работающим и обучающимся в области информационных технологий и интернета.

*Генеральный директор  
ЗАО «МНИТИ», к.т.н.,  
Заслуженный экономист РФ  
Н.Н. Вилкова*

## Об авторе

Пол Сэнджой (Sanjoy Paul) является заместителем вице-президента, главным руководителем научно-исследовательской работы и главой лаборатории конвергенции в компании Infosys Technologies Limited, где он возглавляет исследования в сфере коммуникаций, информационных средств и развлечений. До этого он был профессором и занимался научно-исследовательской работой в лаборатории беспроводной информационной сети в университете Ратджерса, и также был учредителем компании RelevantAd Technologies Inc. Ранее Сэнджой проработал пять лет в качестве директора исследования беспроводной сети в исследовательских лабораториях компании «Белл», в компании Lucent Technologies и в качестве технического директора двух начинающих компаний (Edgix и WhenU), открытых в Нью-Йорке. На предыдущих должностях в лаборатории компании «Белл», как выдающийся инженерно-технический сотрудник, Сэнджой занимался проблемой кэширования и распределения контента семейства программных продуктов IPWorX компании Lucent.

В сфере технологий, а именно в проектировании и анализе протокола сквозной передачи, в области беспроводных мобильных сетей, в изучении качества обслуживания, в исследовании многоадресной передачи, распределении контента, передачи данных, рационального кэширования и защищенной коммерции Сэнджой имеет стаж более 20 лет. Он исполнял обязанности редактора журнала *IEEE/ACM Transactions on Networking*, приглашенного редактора издания *IEEE Network Special Issue on Multicasting*, был членом организационного комитета конференции COMSNETS, проводимой Институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) в 2007 году, выполнял обязанности главного председателя и председателя Комитета технических программ конференции COMSWARE, проводимой Институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике и Институтом вычислительной науки и техники (IEEE/ICST) в 2006 году, являлся членом Комитета технических программ нескольких международных конференций Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) и Ассоциации вычислительной техники (ACM).

Сэнджой является автором книги о многоадресной передаче, он опубликовал более 100 научных статей в международных журналах, его работы упоминаются в материалах конференций, он является автором более 80 патентов США (28 выданных патентов, более 50 заявок, по которым принято решение о выдаче патентов) и соучастником премии Уильяма Р. Беннета от Общества коммуникаций Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) за лучший оригинальный научный труд среди работ IEEE/ACM по сетевым технологиям.

Сэнджой получил степень бакалавра технологии в Индийском институте технологии в Кхарагпуре, Индия, а также степень магистра точных наук и доктора философии в Мэрилендском университете в Колледж-парке и магистра делового администрирования в Уортонской школе бизнеса при Пенсильванском университете. Он является действительным членом научного общества Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) и Ассоциации по вычислительной технике США (ACM).

## Предисловие

Эта книга является результатом моего опыта работы за последнее десятилетие над многочисленными проектами по видео и контенту во многих компаниях и университетах. Идея книги начала принимать четкие очертания пять лет назад, когда я совместно с Кейти Гуо (Katie Guo), коллегой по лаборатории компании «Белл», постарался оформить наш опыт в виде учебного руководства для конференций Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) и Ассоциации вычислительной техники (ACM). Интересен тот факт, что в то же самое время в данной отрасли происходили значительные изменения. Такой сервис, как YouTube, начал транслировать видеопоток в Интернете, а такие устройства, как iPhone, повсеместно внедрили видео на мобильных устройствах.

Первое десятилетие двадцать первого столетия стало свидетелем перехода от процессов передачи голоса от специализированной сферы со своей комплексной системой к использованию ее как интернет-приложения. Однако второе десятилетие станет свидетелем еще одного перехода. В этот раз изменения затронут основные медиа и телевизионную индустрию, так как цена на полосу пропускания стремительно падает, а цена в долларах на хранение контента увеличивается в геометрической прогрессии. Это приводит к тому, что интернет-инфраструктура сейчас способна передавать видеотрафик таким образом, чтобы это было выгодно по стоимости и без потери качества. Однако как только увеличится видеотрафик, проходящий через Интернет, какими бы широкими ни были каналы, они будут загружены потоком видео высокого разрешения (HD). Более того, увеличится желание конечных пользователей, то есть они захотят получить доступ к видео отовсюду и используя любое устройство, подвергая таким образом нагрузке пропускную способность беспроводных мобильных сетей и функциональные возможности мобильных устройств. В результате для отрасли возникает необходимость разрабатывать инновационные структуры, более эффективные технологии кодирования и сжатия для передачи видео в конвергирующих (широкополосных телевизионных, мобильных) сетях. В этой книге сделана попытка изложить проблемы и трудности в разных аспектах как для открытых сетей, таких как Интернет, так и для закрытых сетей, таких как управляемые сети провайдеров услуг связи. Более того, чтобы побудить читателя к поиску решений уже имеющихся трудностей, рассматриваются как некоторые существующие сейчас решения, так и решения ближайшего будущего, которые разрабатываются, чтобы справиться с вышеупомянутыми проблемами. Для того, чтобы обеспечить целостный подход к теме, также описываются технические и бизнес-тенденции, которые будут влиять на передачу видео в конвергирующих сетях будущего.

За то, чтобы мои мысли и идеи реализовались в виде этой книги, я хочу поблагодарить несколько человек (порядок представления свободный): Кейти Гуо (Katie Guo), коллегу по лаборатории компании «Белл», которая в течение долгого времени работала со мной по нескольким темам, имеющим отношение к видео, включая видео по требованию, кэширование видеопотока, многоадресную передачу видео по сети сотовой связи и передачу видео по Интернету. Именно она является источником многих идей, изложенных в этой книге. Профессор Инджонг Ри (Injong Rhee)

из Университета Северной Каролины работал с нами (со мной и с Кейти (Katie)) над видео по требованию и помог нам лучше понять возникающие трудности и прийти к их решению. Работа профессора Ликсин Гао (Lixin Gao) совместно с профессором Джимом Куроце (Jim Kurose) и профессором Доном Тоусли (Don Towsley) улучшила мое понимание трудностей в обеспечении услуги видео по требованию. Сарит Мукерджи (Sarit Mukherjee), мой коллега по лабораториям компании «Белл», а также по корпорации Edgix, повлиял на формирование моих мыслей и идей относительно сферы кэширования видеопотока и сетей распространения контента.

Я много узнал о технических аспектах от Нираджа Прасадала (Neeraj Prasad), Дебопама Бандиопадияя (Deboram Bandyopadhyay) и Прабала Сенгупта (Prabal Sengupta) из компании Alumnus Software, с которыми я работал над интереснейшим проектом по потоковому видео. Мой хороший друг Ариндам Мукерджи (Arindam Mukherjee) сыграл важную роль в моем общении с техническим персоналом в компании Alumnus, за что я и хочу его поблагодарить. Билл Гоерс (Bill Goers), Хосе де Франциско Лопес (Jose De Francisco Lopez) и Сатия Санкаранараянан (Sathya Sankaranarayanan) из компании Alcatel-Lucent значительно способствовали моему лучшему пониманию процесса конструирования системы потокового видео для беспроводных мобильных сетей. Именно благодаря Кумару Рамасвами (Kumar Ramaswamy) из компании Thomson Multimedia я много узнал об экономическом и технологическом соотношениях между обычными сетями доставки контента (CDNs) и пиринговыми сетями (P2P), относительно доставки через Интернет видео стандартного разрешения (SD) и высокого разрешения (HD). Дипанкар Раикоудури (Dipankar Raychoudhury), один из руководителей WINLAB в университете Ратджерса, помог мне осознать те трудности, которые связаны с беспроводными сетями при доставке видео и контента, он также подтолкнул меня к разработке новой архитектуры (архитектуры кэширования и переадресации) для доставки видео в периодически подсоединяемых сетях. Общение с Лиджун Донг (Lijun Dong) и профессором Янянг Цанг (Yanyang Zhang) в рамках этого проекта очень помогло мне упорядочить мои мысли. Сумати Гопал (Sumathi Gopal) провел серьезную работу по выявлению ограничений беспроводных сетей для передачи фрагментов данных и разработке технологий для преодоления этих ограничений. Помимо этого я использовал результаты исследований Швета Джайн (Shweta Jain) и Айеша Салим (Ayesha Saleem), которых они достигли в WINLAB; профессора Брайана Левайна (Brian Levine) в UMASS, Амхерст; профессора Шринивасана Кешава (Srinivasan Keshav) в Университете Ватерлоо; Раджеша Кришнана (Rajesh Krishnan) в компании BBN и профессора Реза Раджайе (Reza Rajaie) в Орегонском университете. Очень многим я обязан своим выдающимся коллегам из компании Infosys. Это Маниш Джайн (Manish Jain) (Конвергентный сетевой шлюз), Джайрадж Угаркар (Jayraj Ugarkar) (Виртуальная личная мультимедийная библиотека), Раджаратнам Наллусами (Rajarathnam Nallusamy) (UCOMAP), Тобби Томас (мониторинг QoE), П. Н. Маникандан (P. N. Manikandan) (транскодеры), которые помогли мне вникнуть в практические системы, особенно относительно управляемых (закрытых) сетей провайдеров услуг связи.

В завершении ко всему хочу отметить, что книга с таким количеством страниц не может быть написана без постоянных ущемлений интересов членов семьи.

Чтобы написать эту книгу, я пожертвовал своим временем, которое мог провести со своей женой Сатупой (Sutara). Я бы никогда не написал эту книгу без ее постоянной поддержки и помощи. Я также меньше времени уделял своим детям Пракрити (Prakriti) и Сохом (Sohom), потому что писал в выходные и праздничные дни. Я хочу поблагодарить их за терпение! Мои родители и родители моей жены всегда были источником моего вдохновения, а особенно во время написания этой книги. Я благодарю друзей и членов семьи, которые поддерживали меня все восемнадцать месяцев, пока я писал эту книгу.

# ЧАСТЬ I

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ

### ГЛАВА I

### КОНВЕРГЕНЦИЯ

Термин «конвергенция» обозначает разные понятия для разных людей в зависимости от контекста, в котором он используется.

Однако для данной книги мы определяем четыре вида конвергенции: (i) промышленная конвергенция, (ii) конвергенция устройств, (iii) сетевая конвергенция и (iv) конвергенция сервисов.

#### 1.1. Промышленная конвергенция

Когда-то телефонная (телекоммуникационная) индустрия, телевизионная (медийная/вещательная) индустрия и интернет-индустрия существовали отдельно друг от друга, имея свою специализированную инфраструктуру для предоставления соответствующих услуг. Например, индустрия телефонной связи (индустрия передачи голоса) была основана на специализированной технологии сети коммутируемых цепей, индустрии телекоммуникационных станций и оборудования для доставки потребителям услуг телефонной связи или «голоса», стоящей много миллиардов долларов [1, 3]. Потребители ежемесячно выписывали телефонной компании чек за полученные телефонные услуги, как, например, компании AT&T. Чтобы обеспечивать потребителей телевизионными услугами (видеотрансляцией), в телевизионной (медийной/вещательной) индустрии использовалась специализированная технология вещательных сетей. Так же, как и в случае с услугами телефонной связи, абоненты ежемесячно платили поставщику услуг кабельных, спутниковых, телевизионных сетей за обеспечение телевизионного вещания, как, например, компаниям Comcast или DirectTV. Широкополосный доступ в Интернет тоже предлагался как отдельная услуга провайдерами широкополосных служб, например, компанией AOL, и абоненты платили им за интернет-услуги (услуги передачи данных).

Однако, принимая во внимание научно-технический прогресс, эти вроде бы независимые отрасли сливаются и конкурируют в одном и том же пространстве распространения цифрового контента (рис. 1.1) [2]. И для таких изменений есть две причины. Первая – это то, что аналоговый контент заменяется цифровым. В результате этого контент, принадлежащий любой компании, переводится из аналоговой формы в цифровую, а затем упаковывается в мелкие компоненты, ко-

торые называются пакетами. Вторая причина заключается в том, что сетевая инфраструктура сближается с универсальной сетевой технологией, базирующейся на интернет-протоколе (IP) с пакетной коммутацией, так как эта технология способна эффективно переносить пакеты данных. Естественно, весь контент, такой как голос, видео и данные, передается через универсальную сеть. Телефония стала «приложением» в Интернете (IP-телефония). Телевидение также стало «приложением» в Интернете (интернет-телевидение), да и сам Интернет, который в прошлом плохо поддерживал трафик в реальном времени, сейчас подвергается трансформациям, чтобы подобный трафик осуществлялся без потери качества услуги. В результате трудности, с которыми сталкиваются эти отрасли, почти идентичны, если не считать, что проблемы экономического характера для каждой области свои.



Индустрия телефонной связи, индустрия вещания и интернет-индустрия совпадают в области распространения цифрового контента, что ведет к появлению новых моделей ведения бизнеса

	<b>В прошлом</b>	<b>На данный момент и в будущем</b>
<b>Телефонная связь (голос)</b>	Специализированная сеть <u>коммутируемых каналов</u> для передачи голоса	Передача голоса является <u>приложением</u> в Интернете
<b>Вещание (телевидение)</b>	Специализированная <u>вещательная сеть</u> для телевидения	Телевидение является <u>приложением</u> в Интернете
<b>Интернет (данные)</b>	Сеть с коммутацией пакетов, разработанная для приложений, работающих в <u>модельном времени</u> : электронная почта (e-mail), всемирная сеть (Web)	Сеть, расширенная до поддержки приложений, работающих в <u>реальном времени</u> : голос и видео

Рис. 1.1. Промышленная конвергенция

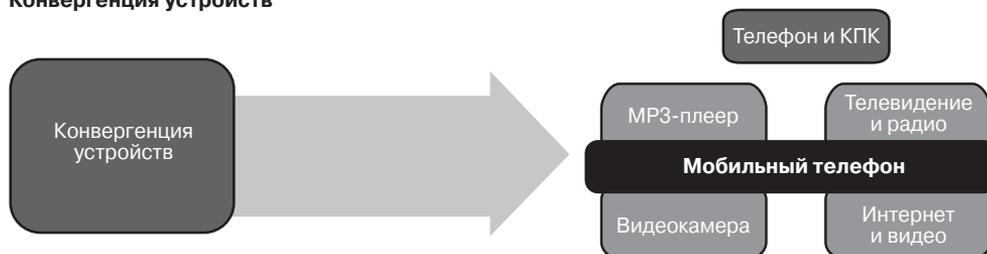
Более того, каждая из этих областей расширяет границы своего бизнеса, ступая на так называемую незнакомую территорию. Это ведет к возникновению новых трудностей, но также и новых возможностей, о которых мы детально поговорим в следующих главах книги.

## 1.2. Конвергенция устройств

В бытовых устройствах совмещаются функции бытовой электроники и коммуникационная функциональность. Например, портативный компьютер лэптоп осна-

шен микрофоном, колонками, камерой и другими электронными составляющими, которые предоставляют возможность телефонии, видеоконференций по Интернету (используя приложения Skype [5], Yahoo! Messenger [6], GTalk [7] и др.) в дополнение к стандартным приложениям, таким как навигация по всемирной сети, мгновенный обмен сообщениями и электронная почта. То, что несколько лет назад было всего лишь мобильным телефоном, сейчас также может выполнять функцию фотоаппарата, видеокамеры, MP3-плеера, AM/FM-радио, электронного органайзера, игровой приставки, телефона, устройства для навигации по всемирной сети, устройства для отправки мгновенных сообщений, а в некоторых случаях и устройства для просмотра телевидения (рис. 1.2). Благодаря тому, что потребители владеют таким полнофункциональным мобильным устройством, провайдеры услуг связи (CSP) могут поставлять конечному пользователю разнообразный контент в виде текста, изображений, аудио и видео. Однако тот факт, что конечный пользователь может сохранять полученный мультимедийный контент и делиться им с остальными, всего лишь нажав на кнопку, может привести к беспрецедентному обмену нелегальным контентом, воплощая в себе страшный сон его владельцев. Таким образом, преимущества конвергенции сопровождаются трудностями с защитой данных и конфиденциальности.

**Конвергенция устройств**



Устройства становятся многофункциональными и, таким образом, все более и более мощными

	<i><b>В прошлом</b></i>	<i><b>На данный момент и в будущем</b></i>
<b>Лэптоп</b>	Использовался для навигации по всемирной сети и для электронной почты	Используется для навигации по всемирной сети и для электронной почты + голосовая связь, видео
<b>Мобильный телефон</b>	Использовался для совершения телефонных звонков	Используется как телефон + навигация по всемирной сети, электронная почта, мгновенный обмен сообщениями, фотоаппарат, видео, MP3-плеер, AM/FM-радио, КПК и др.

Рис. 1.2. Конвергенция устройств

**1.3. Сетевая конвергенция**

Сетевые инфраструктуры, которые использует телефонная (телекоммуникационная) индустрия, телевизионная (медийная/вещательная) индустрия и интернет-

индустрия, традиционно значительно отличались друг от друга. Индустрия телекоммуникаций использует элементы сетей коммутируемых каналов; телевизионная индустрия использует оборудование вещательных сетей, а интернет-индустрия использует элементы сети с пакетной коммутацией. Сети с пакетной коммутацией также строятся с использованием разных технологий. Например, к технологиям, которые использовались ранее и все еще используются в сетях провайдеров услуг связи (CSP), относятся режим асинхронной передачи данных (ATM), протокол трансляции фреймов (FR) и протокол IP. Одним из способов уменьшения капитальных затрат (сarex) и эксплуатационных расходов (орех) мог бы быть выбор универсальной технологии сетевой инфраструктуры. Это помогло бы провайдерам услуг связи (CSP) уменьшить расходы на обучение и трудоустройство персонала, который имеет навык работы только с определенным видом технологий. Суть в том, что провайдеры услуг связи (CSP) совмещают использование только транспортного протокола сетей, основанных на IP/MPLS-технологии, а для приложений сеансов/услуг и смешанных приложений (голос, видео, данные) используется мультимедийная подсистема на базе протокола IP (IMS). Переход к индустрии с целью конвергенции в универсальную сеть для приложений и услуг известен как сетевая конвергенция, и она имеет далеко идущие последствия для этой индустрии.

## 1.4. Конвергенция сервисов

Сервисы, предлагаемые телекоммуникационной индустрией, телевизионной индустрией, интернет-индустрией и беспроводной сферой обслуживания, существовали отдельно друг от друга. Однако с введением новой технологии, позволяющей осуществить унифицированную связь через эти сети, потребители ожидают получить доступ к тем же самым сервисам (голосовая связь, электронная почта, обмен сообщениями и так далее) и контенту (всемирная компьютерная сеть, видео, аудио) в любое время отовсюду, используя любое устройство (портативный компьютер лэптоп, телевизор, мобильный телефон) с неизменно высоким качеством услуги (рис. 1.4) [4]. Мы приводим пример конвергенции сервисов для провайдеров услуг связи, чтобы они могли предложить своим абонентам сервис, который предоставлял бы им возможность доступа к социальным сетям, используя для этого отовсюду любое устройство. Кроме того, клиенты не только рассчитывают на то, что они могут получать услуги в любой точке, используя любое устройство, но они также ожидают бесперебойного мобильного доступа к контенту/услугам из одной сети в другую без ухудшения качества услуг.

Например, как показано на рис. 1.5 и 1.6, при телефонном звонке используется сеть сотовой связи, когда это единственная сеть, к которой есть доступ, и используется беспроводная сеть Wi-Fi, когда к ней есть доступ в дополнение к сети сотовой связи. Фактически переключение между сетью сотовой связи и беспроводной сетью Wi-Fi происходит бесперебойно без прерывания телефонного звонка.

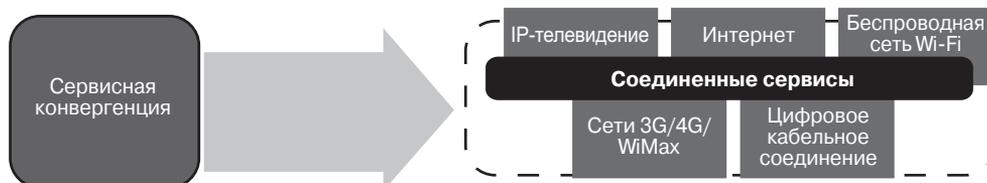
**Сетевая конвергенция**



	<i><b>В прошлом</b></i>	<i><b>На данный момент и в будущем</b></i>
<b>Сетевая технология</b>	Сеть асинхронной системы передачи (ATM) Сеть ретрансляции кадров (сеть Frame relay)  Кабельная сеть / сеть DSL Сеть IP Специализированное управление сеансом связи	Сеть IP/MPLS является общей технологией связи без переключения Общий уровень соединения, базирующийся на протоколе IMS, позволяет совмещать приложения

**Рис. 1.3.** Сетевая конвергенция

**Конвергенция сервисов**



Люди хотят получать доступ к своим услугам и контенту в любое время отовсюду, используя любое устройство

	<i><b>В прошлом</b></i>	<i><b>На данный момент и в будущем</b></i>
<b>Коммуникация</b>	Голосовая связь только по стационарным телефонам  Электронная почта только по Интернету/ПК Обмен сообщениями только через СМС/мобильную связь Отдельная адресная книга для стационарного телефона, электронной почты и мобильных телефонов	Голосовая связь, электронная почта, обмен сообщениями отовсюду, используя любое устройство (мобильный телефон, лэптоп, телевизор) Общая адресная книга для коммуникации Бесперебойная услуга мобильного доступа из одной сети в другую
<b>Контент</b>	Доступ во всемирную сеть только через Интернет/ПК  Видео только по телевизору  Аудио только по радио, через CD-плеер	Доступ во всемирную сеть, видео, аудио на любом устройстве (лэптоп, телевизор, мобильный телефон) отовсюду Бесперебойный мобильный доступ к контенту с одного устройства/сети на другое

**Рис. 1.4.** Конвергенция сервисов

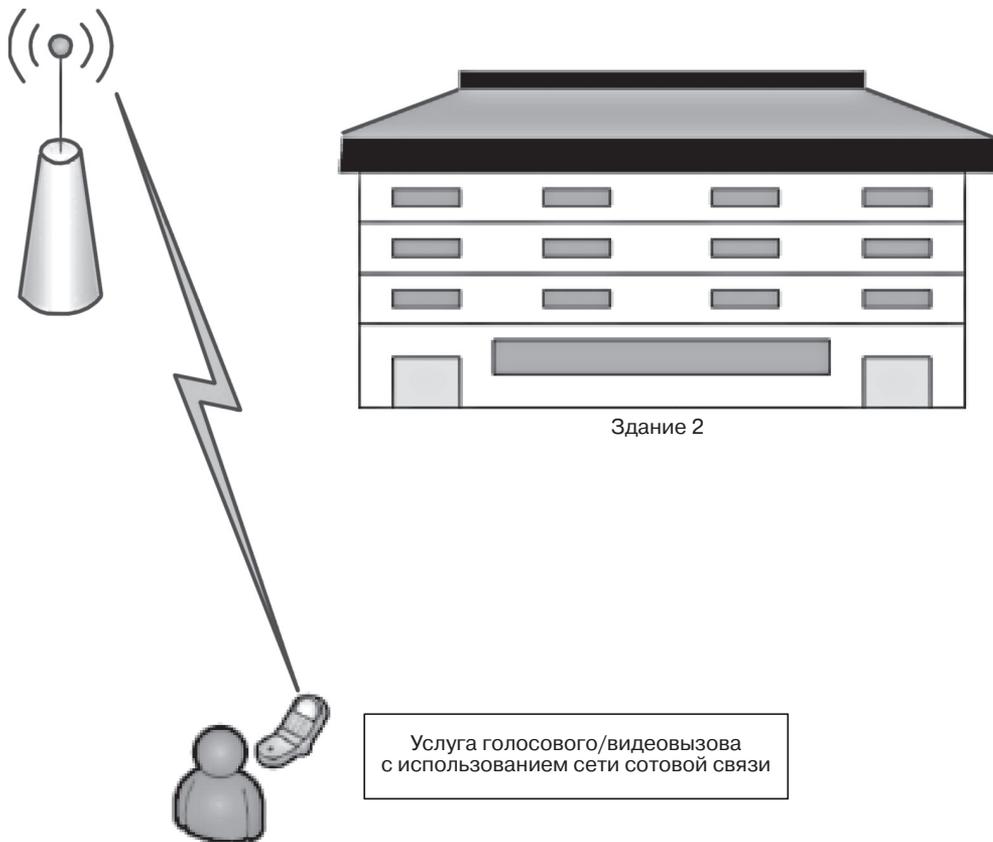


Рис. 1.5. Голосовой/видеовызов с использованием сети сотовой связи



Рис. 1.6. Голосовой/видеовызов бесперебойно переключается на беспроводную сеть Wi-Fi

На рис. 1.7 и 1.8 показано, как видео, просматриваемое в поезде с маленького экрана мобильного телефона, бесперебойно переключается на телевизор с большим экраном, когда пользователь приходит домой. Это пример бесперебойного мобильного доступа к контенту. В то время как конвергенция сервисов открывает беспрецедентные возможности для провайдеров услуг связи (CSP), предлагая новые совмещенные услуги, требующие дополнительной абонентской платы, она же заставляет беспокоиться поставщиков контента, потому что то, что когда-то было защищенным контентом в их сети, может утратить свою защищенность из-за отсутствия общего решения относительно его безопасности, которое охватывало бы многоканальные сети.

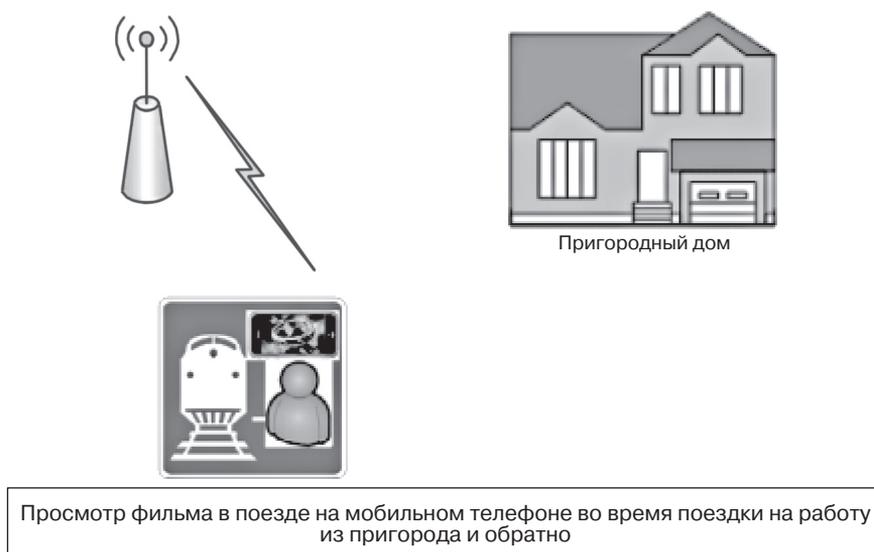


Рис. 1.7. Просмотр фильма на мобильном телефоне

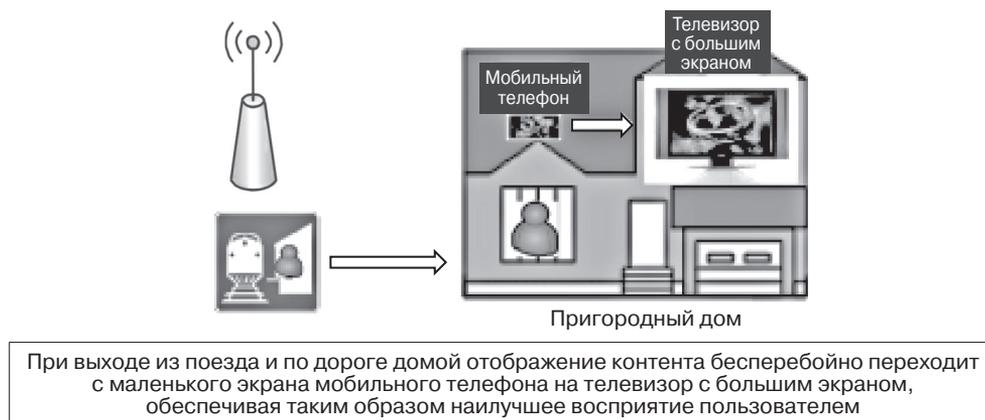


Рис. 1.8. Бесперебойное переключение фильма с маленького экрана мобильного телефона на телевизор с большим экраном

## 1.5. Заключение

Цифровая конвергенция уже имеет место в индустрии. С оцифровыванием контента различие между голосом, видео, изображениями и текстом стирается, так как все обрабатывается одинаково как данные и доставляется по универсальной IP-сети в отличие от использования специализированных сетей для передачи голоса, видео и данных. Более того, все становится приложением в IP-сети, что приводит к совмещению того, что когда-то было отдельными сегментами индустрии, а именно: телекоммуникация (голос), вещание и медиа (видео), а также Интернет (данные). Для того, чтобы обеспечить доступ к этим приложениям отовсюду и в любое время, устройства (ПК/лэптоп, мобильные телефоны, телевизоры) становятся все более и более мощными с многочисленными пользовательскими электронными свойствами, встроенными в них, приводя к тому, что известно в индустрии как конвергенция устройств. Наглядный пример – смартфон с такими характеристиками, как, например, AM/FM-радио, мобильное телевидение, телефон, браузер, цифровая камера, видеокамера, MP3-плеер, календарь, офисные приложения и масса других характеристик. Множество сетевых технологий сливаются в IP-технологии, приводя к совместимости приложений и характеристик относительно любой услуги, начиная от перспективы для конечного пользователя и заканчивая в перспективе более низкими капитальными затратами (сarex) и эксплуатационными расходами (орех) для поставщика услуг. Конвергенция сервисов относится к возможности конечных пользователей получить те же самые услуги, несмотря на сеть, к которой осуществляется доступ и возможность конечных пользователей получить доступ, без перебоев к тому же самому контенту через разные устройства. Цифровая конвергенция приводит к созданию новых приложений и услуг, которые до этого были невозможны, и открывает новые возможности как с точки зрения поставщиков услуг, так и с позиции конечного пользователя.

## Литература

1. Hudson H. E. (1997) Converging technologies and changing realities: towards universal access to telecommunication in developing world, in *Telecom Reform: Principles, Politics and Regulation* (ed. W. H. Melody), Technical University of Denmark, Lyngby.
2. Lamberton D. M. (1995) Technology, information and institution, in *Beyond Competition: The Future of Telecommunications* (ed. D. M. Lamberton), Elsevier, Amsterdam.
3. Mitchell J. (1997) Convergent communication, fragmented regulation and consumer needs, in *Telecom Reform: Principles, Politics and Regulation* (ed. W. H. Melody), Technical University of Denmark, Lyngby.
4. Service convergence: bringing it all together; Telecom Asia, April, 2005.
5. Skype. <http://www.skype.com/> (доступ 9 июня 2010).
6. Yahoo Messenger. <http://in.messenger.yahoo.com/> (доступ 9 июня 2010).
7. Google Talk. <http://www.google.com/talk/> (доступ 9 июня 2010).

## ГЛАВА 2

# СЖАТИЕ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ, КОДИРОВАНИЕ И ПЕРЕДАЧА

Видео само по себе является последовательностью неподвижных изображений. Один из способов сжатия и кодирования видео – это сжать каждое отдельное неподвижное изображение и закодировать его независимо от других изображений в последовательном ряду. Одним из алгоритмов сжатия неподвижных изображений является формат Объединенной экспертной группы по фотографии (JPEG). Когда отдельные неподвижные изображения в последовательном ряду подвергаются сжатию независимо друг от друга и кодируются с использованием JPEG, данный формат кодирования видео называется «движущийся JPEG» (или MJPEG). Однако, как и будет последовательно рассказано дальше, есть лучшие способы сжатия и кодирования видео, которые приводят к гораздо меньшему размеру в битах, чем MJPEG, для представления того же видео в цифровой форме. В любом случае технологии, используемые для сжатия неподвижных изображений, формируют основу сжатия видео [1–3]. Итак, начнем с пояснения того, каким образом происходит сжатие неподвижных изображений.

### 2.1. Сжатие неподвижных изображений

#### 2.1.1. *Поблочное преобразование*

Каждое изображение обычно поделено на множество блоков, каждый размером  $8 \times 8$  пикселей. Эти 64 пикселя затем преобразовываются в частотное представление при помощи так называемого дискретного косинусного преобразования (DCT). Преобразование диапазона частот разделяет низкочастотные составляющие и высокочастотные составляющие. В принципе низкочастотные составляющие захватывают визуально важные элементы, тогда как высокочастотные составляющие захватывают визуально менее заметные элементы. Цель – представить низкочастотные (или визуально более важные) коэффициенты с более высокой точностью или с большим размером в битах и высокочастотные (или визуально менее важные) коэффициенты с низким разрешением или с меньшим размером в битах. Так как высокочастотные коэффициенты кодируются с меньшим размером в битах, некоторая часть информации теряется во время сжатия, и поэтому это называется «сжатием с потерями». Когда в соответствии с коэффициентами выполняется обратное дискретное косинусное преобразование (IDCT), чтобы восстановить изображение, оно отличается от исходного изображения, но разница между ними не воспринимается человеческим глазом.

### 2.1.2. Квантование

Как упомянуто ранее, коэффициенты DCT каждого блока  $8 \times 8$  пикселей кодируются с большим размером в битах для визуально важных низкочастотных элементов и меньшим размером в битах для визуально менее важных высокочастотных элементов. Архивирование происходит в два этапа. Первый этап — это квантование, которое убирает менее значимую для восприятия информацию, а второй этап — кодирование, которое уменьшает размер в битах, необходимый для того, чтобы представить коэффициенты дискретного косинусного преобразования (DCT).

Квантование — технология, в соответствии с которой действительные числа преобразовываются в целые числа в пределах интервала, где целое число представляет уровень или шаг квантования. Преобразование происходит путем округления действительного числа до наибольшего ближайшего целого числа, и в процессе этого теряется часть информации. В результате квантования каждый блок  $8 \times 8$  пикселей будет представлен набором целых чисел, многие из которых равны нулю, потому что высокочастотные коэффициенты обычно небольшие и они преобразовываются в 0.

### 2.1.3. Кодирование

Цель кодирования — представить коэффициенты, используя как можно меньше бит информации. Этого можно достичь в два этапа. Для первого уровня сжатия используется кодирование длин серий (RLC). При помощи неравномерного кодирования (VLC) производится следующий уровень сжатия.

Фактически после квантования большинство высокочастотных коэффициентов DCT становятся нулями. Кодирование длин серий использует это таким образом, что сначала идет кодирование высокочастотных коэффициентов DCT, а потом низкочастотных коэффициентов DCT, так что последовательное количество нулей, идущих подряд, максимально. Это достигается сканированием матрицы  $8 \times 8$  зигзагообразно по диагонали. Кодированием длин серий кодируются последовательные идентичные коэффициенты при помощи двух чисел. Первое число — это «серия» (число, которое последовательно встречается), а второе число — это «длина» (число, указывающее, сколько раз оно встречается в последовательности). Таким образом, если есть последовательное количество нулей  $N$ , вместо того, чтобы кодировать отдельно каждый нуль, кодирование длин серий представит цепочку нулей в количестве  $N$  как  $[0, N]$ .

После кодирования длин серий мы имеем последовательность чисел и при помощи неравномерного кодирования кодируем данные числа с использованием наименьшего количества бит. Эта технология существует для того, чтобы использовать минимальное количество бит для наиболее часто встречающихся чисел и больше бит для менее распространенных чисел. Так как для кодирования используется разное количество бит, оно называется неравномерным кодированием.

#### 2.1.4. Последующее кодирование

Технологии, описанные до этого момента, направлены на оптимальное сжатие блоков  $8 \times 8$  пикселей. Однако между соседними блоками в кадре существует значительная степень соответствия. Таким образом, вместо того, чтобы кодировать каждый блок по отдельности перед квантованием, производится предварительная оценка элемента. По сути коэффициенты данного блока используются, чтобы предсказать коэффициенты соседнего блока. Так как предсказанные коэффициенты очень близки к действительным коэффициентам, вместо квантования и кодировки действительных коэффициентов квантуется и кодируется их разница. Естественно, это требует меньшего количества бит, чем если бы кодировались действительные коэффициенты. Этот метод называется «внутрикадровым» кодированием.

#### 2.1.5. Добавление цвета в изображение

Существует два способа кодирования цвета. Первый способ представляет одно и то же изображение в трех матрицах, где каждая матрица представляет собой цвет (красный, зеленый и синий) и кодирование каждой матрицы впоследствии происходит так, как описано выше. Во втором подходе также используются три матрицы, но первая матрица – для «яркости» (или яркости пикселей), а две оставшиеся матрицы – для «цветности» (или цвета). Человеческий глаз более чувствителен к яркости, чем к цвету. В результате яркость необходимо кодировать с большим разрешением или с большим количеством бит, а цветность может быть закодирована с меньшим разрешением или с меньшим количеством бит. Собственно при сжатии видео используется второй способ, и для каждого «макроблока» ( $16 \times 16$  пикселей) в кадре есть четыре блока  $8 \times 8$  яркости и два блока  $8 \times 8$  цветности. Этот метод называется «субдескритизация», он обеспечивает дальнейшее сжатие.

## 2.2. Сжатие видео

Видео само по себе является последовательностью кадров из неподвижных изображений. В предыдущей части описывалось, каким образом происходит сжатие и кодирование неподвижных изображений. Один из возможных способов кодирования видео – это закодировать каждый кадр отдельно так, как это описано в предыдущей части. При помощи наиболее сложных технологий максимально возможное сжатие без потери качества составляет 30:1. Однако существуют и более эффективные способы сжатия видео, которые могут обеспечить степень сжатия 200:1.

В случае с видео одним из важных наблюдений является наличие временной избыточности – значительное соотношение между последовательными кадрами. В замедленном видео макроблоки следующего кадра можно предсказать при помощи соответствующих макроблоков текущего кадра. Затем, вместо того чтобы кодировать макроблок следующего кадра, кодируется только разница

между предсказанным значением и оригинальным значением макроблока. Обычно разница незначительна, поэтому для кодирования можно использовать меньшее количество бит. Это обеспечивает значительную степень сжатия.

Однако если камера перемещается или в кадре движется большой объект, для кодирования очень важной оценкой становится «оценка движения».

### ***2.2.1. Оценка движения и компенсация***

Для оценки движения требуется найти макроблок в кадре, закодированном до этого, который называется «опорный кадр» и который бы соответствовал рассматриваемому макроблоку. Как только найден опорный кадр, блок оценки движения рассчитывает так называемый «вектор движения», который фиксирует горизонтальное и вертикальное смещение между двумя кадрами. Затем макроблок сжимаемого кадра вычисляется при помощи макроблока опорного кадра и разница между ними кодируется с использованием технологий кодирования неподвижных изображений, о которых говорилось ранее. Это требует меньшего количества бит, так как ошибка прогнозирования незначительная.

В кодировании видео последовательность кодирования кадров не совпадает с последовательностью их воспроизведения. Таким образом, необязательно опорный кадр для последующего кадра будет тем, который воспроизводится прямо перед ним. Фактически кодировщик видео перемещается вперед с только что показанного кадра и кодирует будущий кадр, а затем перемещается назад, чтобы закодировать следующий кадр в порядке отображения. Иногда кодировщик видео использует два «опорных» кадра: тот кадр, который отображается в данный момент, и последующий кадр, чтобы закодировать кадр, следующий в порядке отображения. В данном случае кадр, который будет кодироваться в будущем, называется P-кадром («предикативным» (предсказанным) кадром), а кадр, при кодировании которого используются два опорных кадра, называется B-кадром («двунправленно» предсказывающим кадром). Однако проблема данного подхода состоит в том, что ошибка в одном из кадров будет всегда сопровождать процесс кодирования. Чтобы избежать этой проблемы, кодировщик видео обычно (периодически) кодирует один видеокادر, используя технологии кодирования неподвижных изображений, и подобные кадры называются интракадрами или I-кадрами.

### ***2.2.2. Группа изображений (GOP)***

Набор кадров от одного I-кадра до следующего I-кадра называется группой изображений (GOP). Лучше всего набор кадров можно представить в двухмерной таблице (см. табл. 2.1). Имейте в виду, что в группе изображений последовательность кодирования кадров и последовательность их воспроизведения не совпадают.

**Таблица 2.1.** Последовательность воспроизведения по сравнению с последовательностью кодирования в группе изображений (GOP)

Последовательность кодирования (сверху вниз)	Последовательность воспроизведения (слева направо)												
	I												
					P								
		B											
			B										
				B									
									P				
						B							
							B						
								B					
												P	
										B			
											B		
												B	
													I

## 2.3. Перемещение видео

В предыдущей части показано, каким образом происходит сжатие и кодирование видео. Закодированное видео может сохраняться в виде файлов, как любой другой вид контента, который хранится в файловой системе. При необходимости доставки файл разбивают по кадрам, а кадры разбивают на пакеты и перемещают по сети. В случае видеопотока в реальном времени видео захватывают, сжимают и немедленно кодируют в группах изображений, и один кадр перемещается за один раз, при этом каждый кадр в зависимости от типа и размера может разбиваться на несколько пакетов и перемещаться по сети.

## 2.4. Заключение

В этой главе мы сначала обсудили процесс оцифровки, квантования, кодирования и сжатия изображений. Мы также изучили дополнительный аспект кодирования цвета. Фактически существует два способа кодирования цвета. Первый способ представляет одно и то же изображение в трех матрицах, где каждая матрица представляет собой цвет (красный, зеленый и синий). Во втором подходе также используются три матрицы, но первая матрица — для «яркости» (или яркости пикселей), а две оставшиеся матрицы — для «цветности» (или цвета). Затем кодирование видео рассматривается как продолжение кодирования изображений с учетом оценки движения. Обычно в видео выделяют три типа кадров: I-кадры, P-кадры и B-кадры, где I-кадры захватывают большую часть информации в сцене, которая следует за P-кадрами и B-кадрами, захватывающими «небольшие изменения» из оригинального кадра (захваченного в I-кадре), которые получаются в результате движения. В итоге кадры I, P и B могут быть объединены в пакеты и переданы через IP-сеть, как и другие типы данных.

## Литература

1. Richardson Iain E. R. (2002) *Video Codec Design: Developing Image and Video Compression System*, John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0471485535, 9780471485537.
2. Bhaskaran V. (1996) and Konstantinides K. *Image and Video Compression Standards: Algorithms and Architectures*, 2nd edn, Kluwer Academic Publishers. ISBN: 0-7923-9952-8.
3. Shi Yun Q. and Sun Huifang. (1999) *Image and Video Compression for Multimedia engineering: Fundamentals, Algorithms and Standards*, CRC Press. ISBN: 0-8493-3491-8.

## ГЛАВА 3

### ТЕЛЕВИДЕНИЕ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ПРОТОКОЛУ IP (IPTV) В СРАВНЕНИИ С ИНТЕРНЕТ-ТЕЛЕВИДЕНИЕМ

Телевидение в сетях передачи данных по протоколу IP в корне отличается от интернет-телевидения. Тогда как IP-телевидение (также называется телекоммуникационное телевидение) является закрытым и контролируется оператором или провайдером телекоммуникационных услуг, интернет-телевидение является открытым, наподобие всемирной сети [2]. В случае с IP-телевидением потребители взаимодействуют с оператором, тогда как в случае с интернет-телевидением они взаимодействуют с тем, кто выложил контент, независимо от какого-либо определенного оператора. Телевидение в сетях передачи данных по протоколу IP в своей основе привязано к географическому положению, это означает, что введенная в действие инфраструктура базируется в регионах. Интернет-телевидение, наоборот, использует *бизнес-модель глобальной досягаемости*, при которой к услугам видео и телевидения, которые предоставляются в одном регионе, можно получить доступ из любой другой точки. Программы по телевидению в сетях передачи данных по протоколу IP (IP-телевидение) подобны тем программам, которые предлагаются цифровыми кабельными/спутниковыми поставщиками услуг, тогда как программами по интернет-телевидению может выступать что угодно, включая и контент, предоставленный пользователями. Платные услуги в IP-телевидении похожи на платные услуги кабельного или спутникового телевидения, поэтому можно делать выбор из предварительно выбранного списка услуг. Платная услуга в сети интернет-телевидения, наоборот, включает в себя видео независимых правообладателей, которыми могут быть как частные лица, снявшие видео для узкой аудитории, так и известные издатели, выкладывающие видео для широкой аудитории. На рис. 3.1 подводится итог всему, что было описано выше.

#### 3.1. Интернет-телевидение и видео по протоколу IP

В 1995 году израильской компанией под названием «Vocaltec» впервые была передана голосовая информация по сети с пакетной коммутацией с использованием интернет-протокола (IP), а не по традиционным телефонным сетям коммутируемых каналов [4]. Передача телефонии через IP нанесла серьезный удар по поставщикам услуг телекоммуникаций. Более того, пиринговая технология, которая позволяет обмениваться файлами через Интернет, привела к электронному распространению музыки через Интернет с серьезными последствиями для музыкальной индустрии. Вопрос состоит в том, будет ли ситуация с видео развиваться по схожему сценарию.

<b>IP-телевидение (телекоммуникационное телевидение)</b>	<b>Интернет-телевидение</b>
Физические каналы, контролируемые оператором или телекоммуникационной компанией, и инфраструктура, контролируемая операторами IP-телевидения	ОТКРЫТОЕ подобно всемирной сети!
Доступ в Интернет ограничен	Кто-либо может создать терминал и разместить его на всемирной основе. Интернет является носителем!
Потребители взаимодействуют с операторами IP-телевидения	Потребители взаимодействуют с издателем контента, используя многочисленные устройства, не зависящие от определенного оператора
В основе своей привязано к географическому положению	Использует бизнес-модель глобальной досягаемости
Введенная в действие инфраструктура базируется в регионах	К услугам видео и телевидения, которые предоставляются в одном регионе, можно получить доступ из любой точки мира
Программы подобны тем, которые предлагаются цифровыми кабельными/спутниковыми провайдерами	Программы ограничиваются только воображением!
Включает в себя оплату за просмотр, как и кабельное или спутниковое телевидение	Включает в себя оплату за просмотр любому правообладателю, которым может быть как частное лицо, снявшее видео для узкой аудитории, так и известный издатель, выкладывающий для широкой аудитории

IP-телевидение значительно отличается от интернет-телевидения:  
воспринимайте интернет-телевидение как всемирную сеть

**Рис. 3.1.** IP-телевидение в сравнении с интернет-телевидением

Передать видео по Интернету сложнее, так как это требует значительно большей пропускной способности по сравнению с передачей голоса. Даже если требуемая пропускная способность и доступна без переопределения на протяжении некоторого времени, поддерживать ее длительно чрезвычайно трудно, если вообще возможно.

В контексте распространения видео размер видеофайлов огромен (измеряется в гигабайтах) в сравнении с аудиофайлами, которые на три порядка меньше. Расходы на пропускную способность экономически невыгодны для передачи DVD (приблизительно 5 долл. только за передачу видеофайла). Конечный пользователь скорее пошел бы в магазин, где продают видео, и выбрал бы видео там, чем загружать его через Интернет. Однако в последнее время, с развитием и зрелостью технологии, затраты на пропускную способность значительно снизились (приблизительно 0,30 долл. за гигабайт переданной информации), уменьшилась стоимость хранения (0,35–1 долл. за гигабайт) и технология сжатия развилась достаточно, чтобы сжимать DVD с хорошим качеством в намного меньший по размеру файл. Ключевой момент в том, что рентабельность доставки видео изменяется в лучшую сторону и его распространение становится жизнеспособным бизнесом.

### 3.1.1. Контент

Есть три направления в видеоконтенте. Во-первых, несколько компаний обеспечивают интернет-телевидение, которое сконцентрировано большей частью на

нишевом контенте. Компании интернет-телевидения предлагают телеканалы, специализирующиеся на нишевом контенте (как например велоспорт или скалолазание) и на этническом телевизионном контенте, привезенном из страны, откуда приехали иммигранты, для просмотра в стране, в которой они на данный момент проживают. Это видео транслируется через Интернет в режиме реального времени. Во-вторых, много компаний, в том числе некоторые компании интернет-телевидения, предлагают фильмы/видео по запросу. Эти видео доставляются по запросу и являются по большей части одноадресной передачей. Наконец есть компании, которые позволяют пользователям загружать свои видеофайлы и делиться ими с другими.

### ***3.1.2. Рассылка***

Рассылка видео большей частью является достаточно сложной проблемой, потому что для этого требуется значительная пропускная способность канала, на несколько порядков выше, чем для любых других носителей информации в Интернете. Если видео необходимо сохранить в сети вместо того, чтобы передать, это потребовало бы значительно большего объема для хранения, чем любые другие носители информации в Интернете. Существует два подхода к рассылке видео: (1) основанный на инфраструктуре и (2) не основанный на инфраструктуре. Примером сетей для доставки видео, основанных на инфраструктуре, являются сети доставки контента (CDN), как, например, компании Akamai [5] и Limelight Networks [6]. Сети для доставки видео, не основанные на инфраструктуре, базируются на технологии интернет-пиринга [7].

### ***3.1.3. Поиск***

В ситуации с видео поиск так же важен, как и в ситуации с данными. Однако есть два различных подхода к поиску видео. Первый основан на метаинформации, при помощи которой видеофайлы описаны с использованием набора ключевых слов, и пользователи ищут их, используя эти ключевые слова [8, 9]. Этот подход похож на принцип поиска данных. Другой подход основан на анализе сцен видео [10, 11, 12]. При этом подходе пользователи могут искать похожие видеофайлы, которые идентифицированы на основании анализа видеоконтента.

## **3.2. Заключение**

Основной целью данной главы было разъяснить разницу между терминами «интернет-телевидение» и «IP-телевидение», которые многие используют как синонимы. Интернет-телевидение похоже на всемирную сеть, так как дает возможность кому-либо, у кого есть связь с Интернетом, разместить любой видеоконтент и воспользоваться любым видеоконтентом, размещенным кем-то еще. Для интернет-телевидения нет географических границ, и с точки зрения бизнеса конечный пользователь является покупателем у издателя видеоконтента. Телевидение по IP-протоколу, с одной стороны, подобно кабельному телевидению и спут-

никовому телевидению, если не считать того, что оно транслируется провайдером телекоммуникационных услуг. Таким образом, контент, доступный через IP-телевидение, контролируется провайдером телекоммуникационных услуг и недоступен для частных лиц с точки зрения размещения видеоконтента. Кроме того, так же как и кабельное телевидение, IP-телевидение доступно только в пределах определенных географических границ, и с коммерческой точки зрения конечный пользователь является покупателем у провайдера телекоммуникационных услуг. В заключение как основные проблемы для интернет-телевидения рассматривались проблемы рассылки видео через Интернет и поиск видеоконтента.

## Литература

1. IPTV vs. Internet Television: Key Differences; [http://www.masternewmedia.org/2005/06/04/iptv\\_vs\\_internet\\_television\\_key.htm](http://www.masternewmedia.org/2005/06/04/iptv_vs_internet_television_key.htm) (доступ 9 июня 2010).
2. Internet Television Is An Open Platform: Jeremy Allaire; [http://www.masternewmedia.org/news/2005/05/17/internet\\_television\\_is\\_an\\_open.htm](http://www.masternewmedia.org/news/2005/05/17/internet_television_is_an_open.htm) (доступ 9 июня 2010).
3. IPTV vs. Me-Too TV; [http://www.lightreading.com/document.asp?doc\\_id=74576&site=lightreading](http://www.lightreading.com/document.asp?doc_id=74576&site=lightreading) (доступ 9 июня 2010).
4. History of Voice over IP Phones and VoIP Technology. <http://www.voipusa.com/history-voip.php> (доступ 9 июня 2010).
5. Akamai Technologies. <http://www.akami.com/>.
6. Limelight Networks. <http://www.limelightnetworks.com/> (доступ 9 июня 2010).
7. Peer to Peer Overlay Networks. <http://en.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer> (доступ 9 июня 2010).
8. Video Search Engine: Blinkx. <http://www.blinkx.com/> (доступ 9 июня 2010).
9. Truveo Video Search. <http://in.truveo.com/> (доступ 9 июня 2010).
10. Israel M., van den Broek E. L. and van der Putten P. (2004) *Automating the Construction of Scene Classifiers for Content Based Video Retrieval*. Proceedings of MDM/KDD'04, August 22, 2004, Seattle, WA, USA.
11. Flickner M., Sawhney H., Niblack W., *et al.* (1995) Query by image and video content: The QBIC system. *IEEE Computer*, 28 (9), 23–32.
12. Van Der Putten P. (1999) *Vicar Video Navigator: Content Based Video Search Engines Become a Reality*, IBC edition, Broadcast Hardware International.

## ГЛАВА 4

### МНОГОАДРЕСНАЯ ПЕРЕДАЧА

Многоадресной передачей называется технология, в соответствии с которой отправитель (источник) передает объем однократно независимо от числа получателей (мест назначения). Многоадресная передача контента по вещательной сети (как, например, спутниковая сеть или по радиоинтерфейсу беспроводной сети) относительно эффективна, так как базовая физическая сеть поддерживает понятие рассылки контента однократно независимо от числа получателей. Однако многоадресная передача по сетям прямой связи (таким как проводной Интернет или IP-телевидение) сложнее, так как для этого требуется дополнительная поддержка на уровне протоколов, чтобы составить дерево распространения многоадресной передачи для соединения отправителя (источника) и получателя (место назначения). Рис. 4.1 показывает, как отправитель передает тот же контент восемь раз восьми получателям при отсутствии технологии многоадресной передачи, что приводит к значительной загрузке сетевой инфраструктуры.

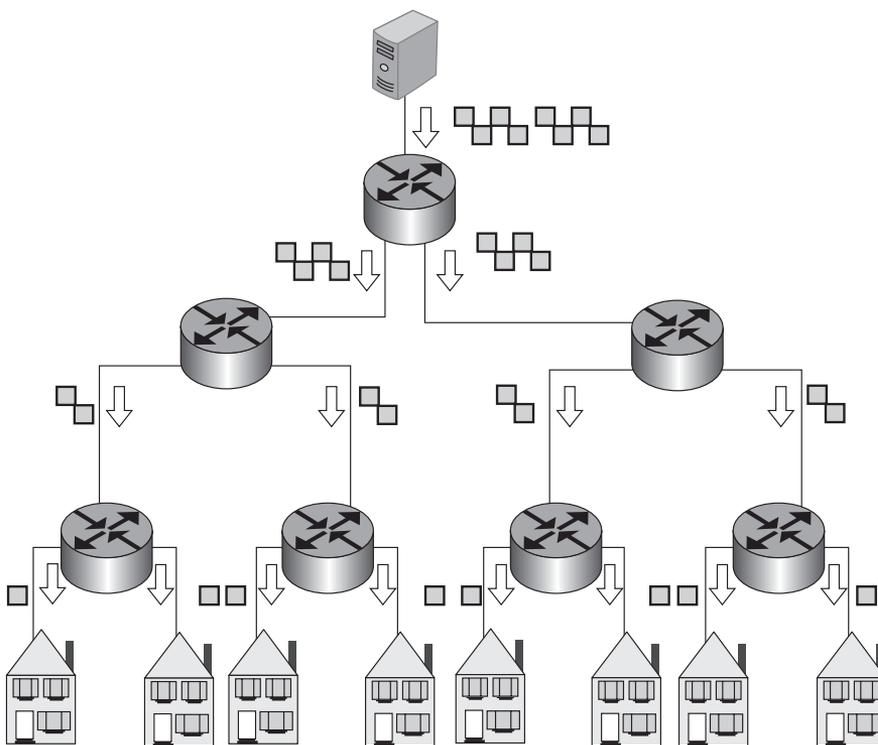


Рис. 4.1. Многократные одноадресные передачи от отправителя получателям

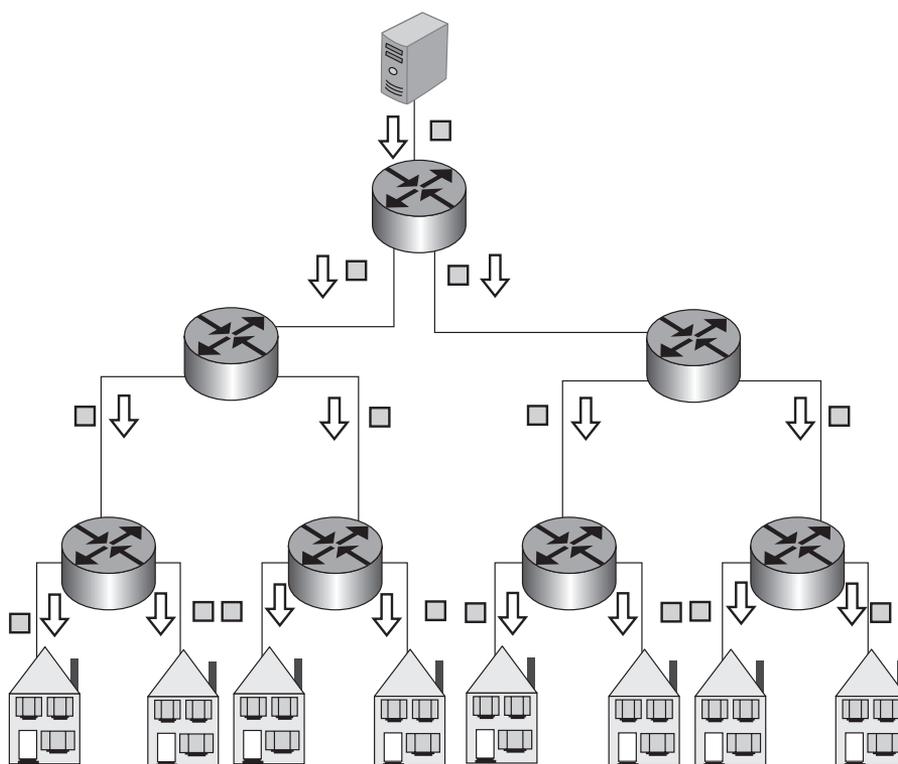
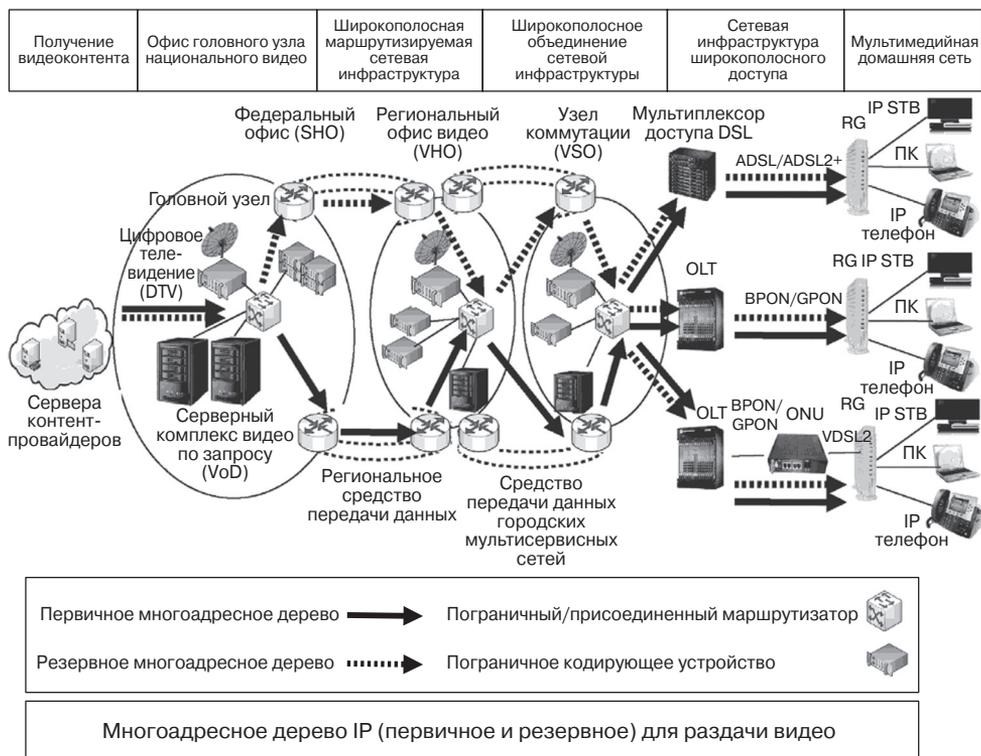


Рис. 4.2. Многоадресная передача от отправителя получателям

Рис. 4.2, наоборот, показывает, что отправитель передает контент один раз восьми получателям и сеть тиражирует контент столько раз, сколько нужно для того, чтобы он достиг конечных получателей.

## 4.1. Многоадресная передача в сетях IP-телевидения

Цифровой телевизионный контент обычно распространяется через вещательную сеть, такую как, например, спутниковая сеть в системах прямого спутникового вещания (или DTH). Конкурирующая технология использует спутниковые сети для распространения телевизионного контента на обширную зону покрытия, а затем использует коаксиальные кабели, чтобы распространять его на местах. IP-телевидение формулирует уникальную задачу распределения цифрового телевизионного контента по сетям прямой связи, а не по вещательным сетям. Цифровое телевидение требует значительно более высокой пропускной способности (2–20 Мбит/с на канал) для распространения. Обычные телеканалы, такие как ABC, NBC, CBS и Fox, и/или специализированные кабельные каналы, такие как ESPN, HBO и CNN, имеют несколько сотен тысяч подключающихся одновременно телезрителей. Обычно телевизионный контент этих каналов доставляется в центральный головной узел в телекоммуникационной сети (как показано на рис. 4.3), и он в конечном итоге становится пунктом распространения для IP-телевидения.



ADSL/ADSL2+ – асимметричная цифровая абонентская линия (ADSL/ADSL2+)  
 RG – резидентный шлюз (RG)  
 IP STB – абонентский приемник-декодер IP-телевидения  
 BPON/GPON – широкополосная пассивная оптическая сеть (BPON)/гигабитная пассивная оптическая сеть (GPON)  
 ONU – устройство оптоволоконной сети (ONU)  
 VDSL2 – технология VDSL2

**Рис. 4.3.** Сеть раздачи IP-телевидения

Точно так же, как существует центральный головной узел, существуют региональные головные узлы, которые доставляют видеоконтент на так называемые региональные каналы и распространяют его в регионе, охватывая множество городов [1]. Неважно, идет ли речь о центральном головном узле или региональном, необходимо одновременно доставить широкополосный видеоконтент сотням тысяч телезрителей.

Если бы контент отправляли каждому телезрителю отдельно, используя механизм распространения по прямой связи, это потребовало бы пропускной способности на сотни гигабит в секунду. Это, конечно же, невыгодное решение. Наиболее эффективным путем распределения телевизионного контента является использование многоадресной передачи, где контент каждого канала посылается головным узлом только один раз независимо от числа зрителей [2]. Многоадресная передача по IP-протоколу [3, 4, 10] – технология, которая развивалась, чтобы соответствовать именно этим требованиям. На рис. 4.3 показаны как общесетевая, так и многоадресная передачи на регион, соответственно для распределения телевизионного контента в национальном масштабе и на регион. Дерево многоадресной

передачи по IP находится в головном узле, и оно охватывает телевизионные абонентские приставки (STB), которые подписаны на соответствующую группу многоадресной передачи по IP.

## 4.2. Многоадресная передача в мобильных сетях

Телевидение в прямом эфире на мобильном телефоне и коммерческой основе используется в Корее начиная с 2005 года, в США и Европе – начиная с 2006 года. Корея использует технологию южнокорейского стандарта цифрового телевизионного вещания (DMB) [11], тогда как в США приняли технологию цифрового телевидения под названием Forward Link Only (FLO) [8, 9], а часть Европы – европейский стандарт цифрового вещания (DVB-H) [5, 6]. Во всех этих технологиях используется принцип односторонних вещательных сетей. Альтернативой является использование двухсторонних сотовых сетей, таких как, например, сети высокоскоростной передачи данных (HSPA) [12,13] с услугой мультимедийного широковещания (MBMS) [14, 15]. Неважно, как распространяется контент мобильного телевидения [7] (через выделенную одностороннюю вещательную сеть или через двухсторонние сотовые сети), ключевой технологией, которая делает мобильное телевидение экономически оправданным, остается многоадресная передача. В то время как многоадресная передача бесплатно идет через выделенные односторонние вещательные сети, необходимо внедрить поддержку протокола связи для многоадресной передачи в сетевые элементы сотовой сети. Без многоадресной передачи прямое телевизионное вещание невозможно. Однако наиболее вероятным остается использование в мобильных сетях комбинации одноадресной и многоадресной передачи, где многоадресная передача будет использоваться для распределения популярных программ и телеканалов в прямом эфире, тогда как одноадресная передача будет использоваться для распределения дополнительного менее популярного контента и контента по запросу (см. рис. 4.4).

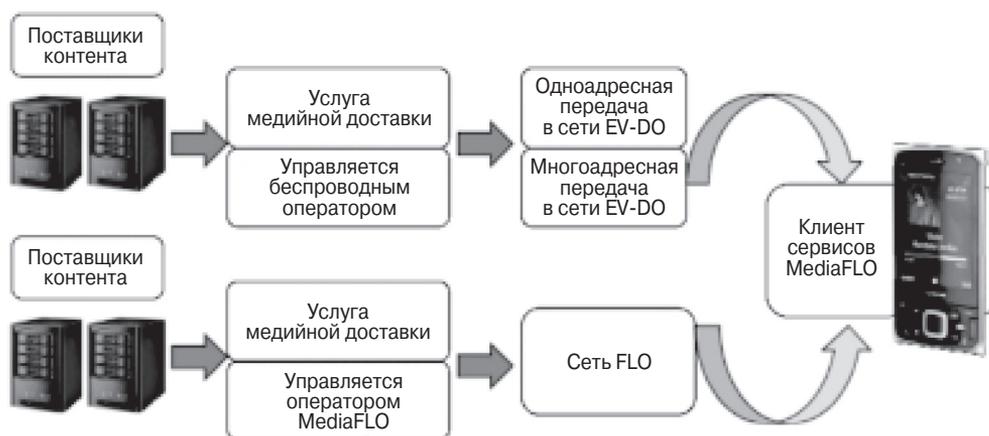


Рис. 4.4. Комбинированная многоадресная передача в мобильных сетях

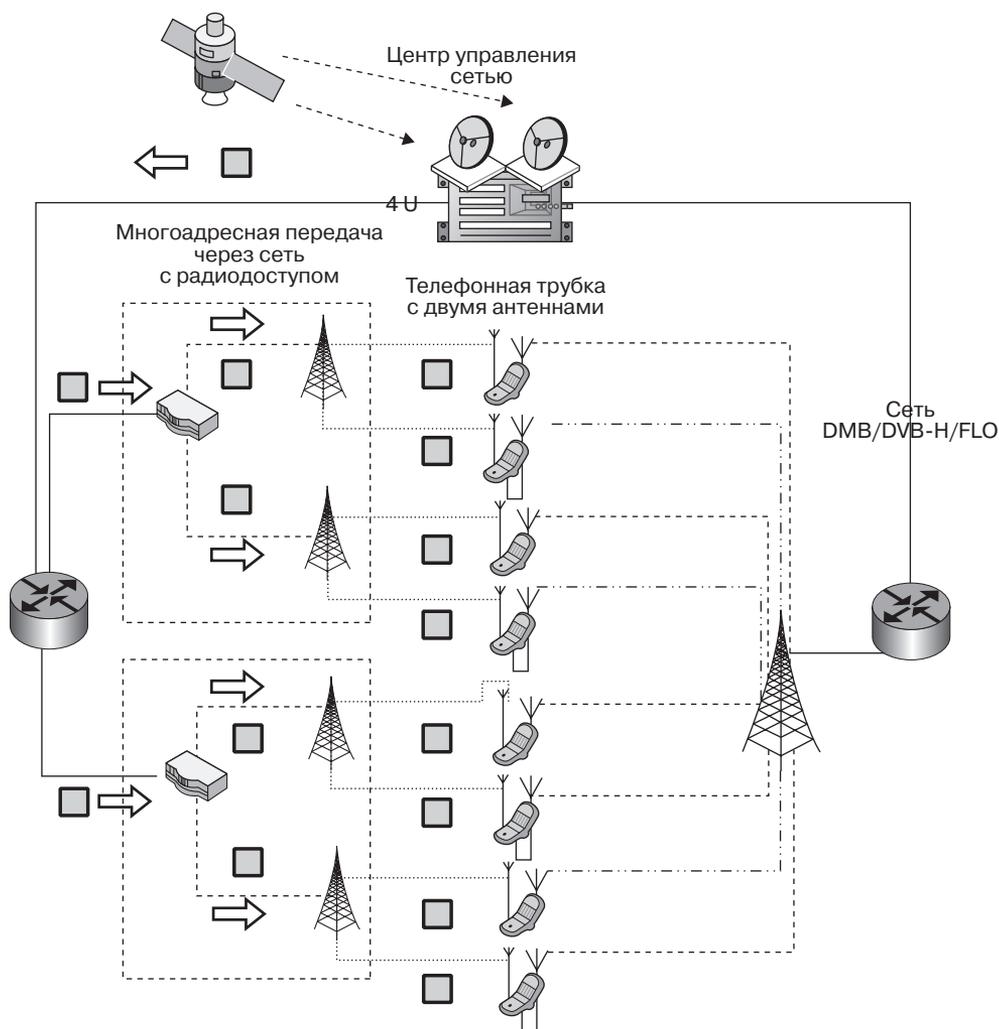


Рис. 4.5. Вид системной сети с комбинированной многоуровневой передачей в мобильных сетях

На рис. 4.5 приводится вид системной сети с комбинированной многоуровневой передачей, когда мобильный телефон получает широкополосный многоадресный видеоконтент через сети FLO/DVB-H/DMB, а многоадресный видеоконтент, не требующий большой пропускной способности, — через сеть сотовой связи [13–15].

### 4.3. Заключение

Эта глава описывает важное значение многоадресной передачи при раздаче телевидения в прямом эфире, особенно для трансляции услуг телевизионного характера как по наземной (такой как сеть IP-телевидения), так и по мобильной сети. Технология многоадресной передачи дает возможность видеосерверу (источнику

видеоконтента) передавать контент независимо от количества получателей. Описывается технология многоадресной передачи для сети прямой связи, как, например, IP-телевидение, а за этим следует использование многоадресной передачи в мобильных беспроводных сетях. В частности, был представлен принцип комбинации многоадресной передачи (используя такие вещательные сети, как сеть FLO совместно с сетью прямой связи, например, с опорной и радиосетью доступа в беспроводных сетях 3G/4G) для доставки телевидения в прямом эфире и популярного видеоконтента через мобильную сеть по приемлемой рыночной цене.

## Литература

1. High-quality and resilient IPTV multicast architecture, [http://www.juniper.net/solutions/literature/white\\_papers/iptv\\_multicast.pdf](http://www.juniper.net/solutions/literature/white_papers/iptv_multicast.pdf) (доступ 9 июня 2010).
2. Zhang C., Liu D., Zhang L. and Wu G. (2009) *Controllable Multicast for IPTV Over EPON*, Higher Education Press, co-published with Springer-Verlag GmbH; Vol. 2, No. 2, pp. 222–228.
3. IP Multicast Explained, <http://www.klicktv.co.uk/tv-distribution-solutions/iptv/multicasting.html> (доступ 9 июня 2010).
4. Minoli D. (2008) *IP Multicast with Applications to IPTV and Mobile DVB-H*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 0470258152, 9780470258156.
5. Kornfeld M. and Reimers U. DVB-H – the emerging standard for mobile data communication. [http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev\\_301-dvb-h.pdf](http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_301-dvb-h.pdf) (доступ 9 июня 2010).
6. Television on a handheld receiver – broadcasting with DVB-H. <http://www.digitag.org/DTTResources/DVBHandbook.pdf> (доступ 9 июня 2010).
7. Fitchard K. TV wars go wireless. [http://connectedplanetonline.com/wireless/technology/telecom\\_tv\\_wars\\_go/](http://connectedplanetonline.com/wireless/technology/telecom_tv_wars_go/) (доступ 9 июня 2010).
8. FLOtm Technology Overview. [http://www.qualcomm.com/common/documents/brochures/tech\\_overview.pdf](http://www.qualcomm.com/common/documents/brochures/tech_overview.pdf) (доступ 9 июня 2010).
9. Data Delivery using FLOTM Technology. <http://www.qualcomm.com/blog/2010/02/03/data-delivery-using-flotechnology> (доступ 9 июня 2010).
10. Paul S. (1998) *Multicasting over the Internet and its Applications*, Kluwer Academic Publishers. ISBN: 0792382005.
11. Digital Multimedia Broadcasting. [http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Multimedia\\_Broadcasting](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Multimedia_Broadcasting) (доступ 9 июня 2010).
12. 3GPP – HSPA. <http://www.3gpp.org/HSPA> (доступ 9 июня 2010).
13. HSPA evolution brings mobile broadband to consumer mass markets. Nokia Siemens Network whitepaper. [http://www.nokiasiemensnetworks.com/sites/default/files/document/HSPA\\_for\\_the\\_massmarket\\_WP.pdf](http://www.nokiasiemensnetworks.com/sites/default/files/document/HSPA_for_the_massmarket_WP.pdf) (доступ 9 июня 2010).
14. 3GPP TS 26.346. Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS): Protocols and codecs. <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/26346.htm> (доступ 9 июня 2010).
15. MBMS: Spreading the content. <http://voicendata.ciol.com/content/GOLDBOOK2008/108030530.asp> (доступ 9 июня 2010).

## ГЛАВА 5

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СЛУЖБУ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО КАНАЛА ПО ЗАПРОСУ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ

Закон Мура [7, 8] описывает длительную тенденцию в вычислительных технических средствах, согласно которой ожидается, что число полупроводников, которые могут недорого монтироваться в интегральную схему, удваивается приблизительно каждые два года. Возможности многих цифровых электронных устройств — скорость обработки данных, емкость памяти, число и размер пикселей цифровых камер — прочно связывают с законом Мура. Закон Мура остается актуальным и далее, учитывая, что скорость процессоров удваивается каждые 18 месяцев.

Емкость запоминающего устройства в долларовом эквиваленте также возрастает в такой же прогрессии [5, 6]. Эта же тенденция сохраняется с пропускной способностью широкополосных домашних сетей, беспроводной связи в помещении и мобильной пропускной способностью вне помещений. В частности, сегодня доступный процессор 2,5 ГГц/МР (мультипроцессор), хранение за 2 ГБ/долл., пропускная способность широкополосной домашней сети 20 Гбит/с, беспроводная пропускная способность в помещении 100 Мбит/с и внешняя беспроводная пропускная способность 2 Мбит/с (рис. 5.1). Технология сжатия видео также значительно улучшается, таким образом обеспечивая качество пользования видео с наполовину меньшим кодируемым размером файла, чем то, которое требовалось несколько лет назад. Сочетание увеличения пропускной способности (в 5 раз) и лучшего сжатия (в 2 раза) обеспечивает десятикратное улучшение в соотношении затраты—эффективность, приводя к экономической жизнеспособности бизнес-модели для доставки видео через Интернет. И дело не только в благоприятных экономических расчетах для передачи единиц информации, что делает доставку видео через Интернет реальностью, но и в том, что время, нужное, чтобы загрузить видео через Интернет, почти сопоставимо со временем доставки видео из магазина.

Для среднего размера кинофильма объемом 2 ГБ требуется приблизительно девять часов загрузки при скорости 500 кбит/с, тогда как для того же кинофильма с лучшим сжатием размером в 1 ГБ требуется менее получаса загрузки с пропускной способностью 5 Мбит/с (рис. 5.2). Пользователи, конечно, готовы ждать кинофильм в течение получаса для его загрузки, а чтобы пойти в магазин видеопроката, взять этот фильм и вернуться обратно домой, нужно приблизительно то же время.

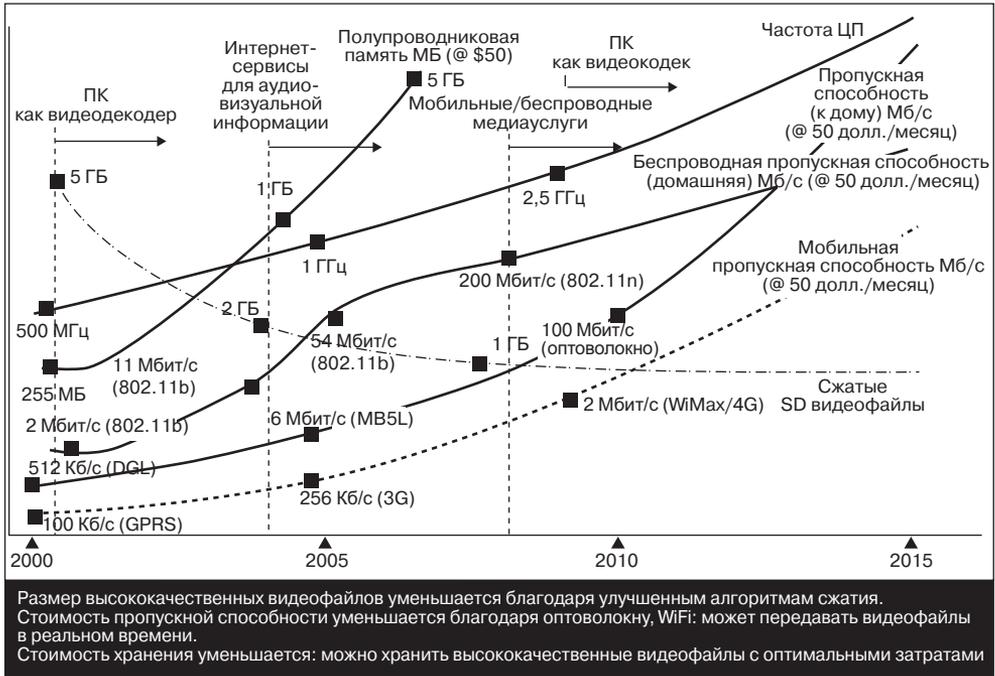


Рис. 5.1. Закон Мура обосновывает цифровую конвергенцию

Сочетание пропускной способности, низкой стоимости хранения и значительного сжатия делает возможной услугу «фильм по запросу» через Интернет

Скорость скачивания в Мбит/с	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0	20,0	100,0
Файл фильма маленького размера в Гб	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8
Скорость скачивания в минутах	104	80	36	27	16	10	2
Скорость скачивания в часах	1,7	1,3	0,6	0,4	0,3	0,2	0,040
Файл фильма среднего размера в Гб	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Скорость скачивания в минутах	521	333	133	93	53	30	7
Скорость скачивания в часах	8,7	5,6	2,2	1,6	0,9	0,5	0,111
Большой файл ТВЧ фильма, Гб	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Скорость скачивания в минутах	1,302	733	267	197	107	60	13
Скорость скачивания в часах	21,7	12,2	4,4	3,1			

Источник: в начале 10/05

Файл 2 Гб со скоростью соединения 500 килобит/с требует 8,7 часов для загрузки

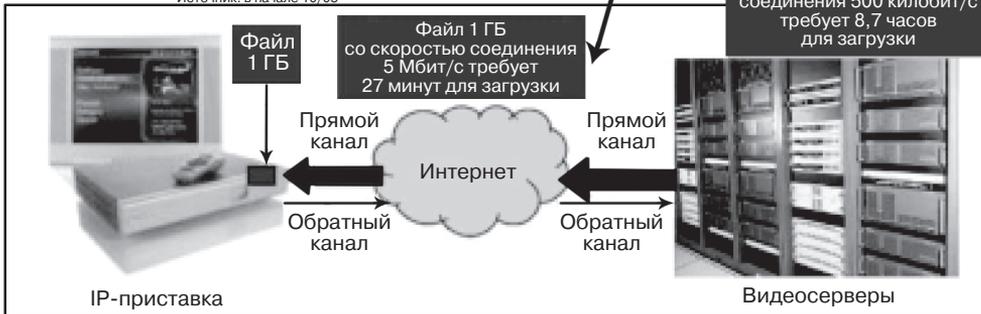


Рис. 5.2. Кино по запросу становится экономически оправдано

## 5.1. Открытые сети против закрытых

Трудности распространения видео с прогрессивной загрузкой или потоком остаются теми же самыми, несмотря на то, принадлежит ли сеть распространения распространителю или нет [1–4]. Однако используемые методы для облегчения трудностей отличаются в зависимости от того, принадлежит или не принадлежит распространителю сеть. Когда дистрибьюторская сеть не принадлежит распространителю, она называется открытой сетью, а когда распространитель владеет сетью, это называется закрытой сетью. Например, если поставщик коммуникационных услуг хочет распространять видео, используя свою собственную сеть, это пример закрытой сети, так как поставщик коммуникационных услуг — единственный, кто имеет полный доступ к сети и полный контроль над тем, как сеть используется. Особенно поставщик коммуникационных услуг может управлять количеством трафика, проходящего через его сеть, и может решать, сколько трафика будет послано по каждому из маршрутов сети. С другой стороны, если некоторая компания X, кроме поставщика коммуникационных услуг, захочет распространять видео через Интернет, то в связи с тем, что сеть является открытой, компания X может только использовать Интернет, но не управлять его трафиком.

Уместной аналогией с открытой сетью были бы связывающие отдельные штаты шоссе в США, которые могут быть использованными кем-либо для транспортировки товаров. Но транспортер не имел бы никакого контроля за движением, производимым другими, и, следовательно, задерживался бы время от времени в зависимости от уровня перегруженности шоссе. Напротив, есть окруженные стеной военные городки с широкими дорогами внутри, движение по которым ограничено. Военнослужащие имеют полный контроль над тем, какое движение осуществляется в их городке и какое движение будет идти каким маршрутом, в результате чего задержки могут держаться под контролем. Это аналогия с закрытой сетью.

Давайте рассмотрим некоторые из трудностей транспортировки видеопотоковой передачи по сети. Сначала видеофайлы и/или потоки разбиты на маленькие пакеты, которые формируют единицы передачи. И это тот же процесс, что и транспортировка любого другого контента по сетям с коммутацией пакетов, как, например, по Интернету. Эти пакеты независимо рассылаются по сети через серию маршрутизаторов по направлению к месту назначения. Промежуточные маршрутизаторы имеют ограниченный размер буфера. Когда трафик, входящий в буфер, превышает трафик, выходящий из буфера, пакеты теряются в сети (рис. 5.3).

Потеря пакетов ухудшает качество услуг. Поэтому первая трудность — сократить, если не исключить, потерю пакетов в сети.

Что еще может ухудшить качество видео? Одним из свойств трафика в реальном времени, таким как звук и видео, есть то, что фреймы/пакеты производятся с регулярными промежутками. В результате они должны быть воспроизведены точно в том же интервале, в котором они были сгенерированы. После того, как видеокдры формируются в источнике, они разбиваются на пакеты и посылаются через сеть, как было объяснено выше. Однако при наличии многих других потоков в сети многопоточные пакеты смешиваются в промежуточных маршрутизаторах и им приходится ждать в очереди, пока те, что вошли раньше, не выйдут из буфера.

ра (предполагая, что первым прибыл – первым обслужен, так планируется обслуживание в маршрутизаторах). Поэтому предельно ясно, что большое количество пакетов от других потоков вводится между двумя последовательными пакетами данного потока в буфер промежуточного маршрутизатора. Этот процесс может повторяться в различных промежуточных маршрутизаторах, приводящих к существенному разделению во времени между двумя последовательными пакетами, принадлежащими к данному потоку. Технически максимальное отклонение во времени между двумя последовательными пакетами приводит к так называемому «дрожанию» изображения. Дрожание изображения в сети приводит к неровному отделению времени перегона между двумя последовательными кадрами, что приводит к ухудшению качества услуг (рис. 5.4). Поэтому вторая трудность – это уменьшить, если не исключить, дрожание изображения из сети.

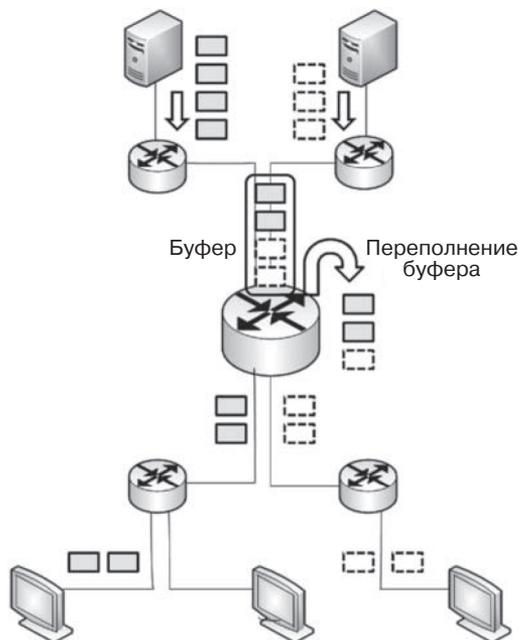
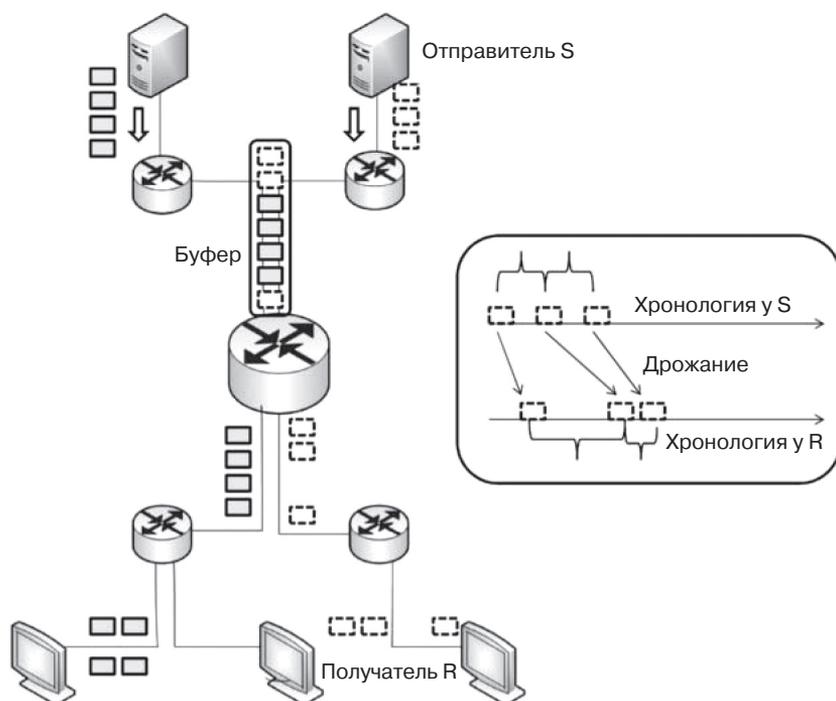


Рис. 5.3. Переполнение буфера приводит к потере пакета и влияет на качество видео

## 5.2. Открытые сети

Основная модель открытых сетей состоит из видеосерверов, на которых видео принимается и откуда оно доставляется клиентам, которые расположены в Интернете. Улучшенная модель открытой сети состоит из «наложенной» сети зеркальных серверов, расположенных в Интернете и доставляющих клиентам видео с зеркального сервера, расположенного ближе всего к клиенту. Подобная наложенная сеть обычно известна как сеть доставки контента (CDN) и детально будет описана немного позднее.



**Рис. 5.4.** Дрожание приводит к неравномерному межпакетному промежутку, который влияет на качество видео

Давайте посмотрим, как с трудностями распространения видео, о которых писалось выше, справляются в открытых сетях. В данной модели клиент обеспечивает обратную связь с (зеркальным) сервером, давая информацию о видео, которое он получает. А если точнее, клиент информирует сервер о коэффициенте потери пакетов. Сервер замечает отсылку пакетов в сети, если коэффициент ошибок превышает пороговое значение. Это может быть выполнено разными способами, один из которых – уменьшить количество фреймов, продуцируемых в источнике. Обратите внимание, что если видеосервер, который отмечает высокий уровень потери пакетов, замедлится, общее количество пакетов в сети упадет. Следовательно, также уменьшится количество претендующих на буферное пространство в промежуточных маршрутизаторах, что в результате приведет к снижению потери пакетов (рис. 5.5). Имейте в виду, что сервер «устанавливает», насколько сильно ему надо замедлиться, чтобы устранить потерю пакетов, и эта оценка происходит без точной информации о состоянии буферов в сети. Таким образом, нет никакой гарантии, что потеря пакетов будет устранена, но есть гарантия, что она будет уменьшена.

Относительно проблемы дрожания архитектура открытой сети предполагает существование буфера у клиента (называется «буфер колебаний задержки»), который удерживает пакеты какое-то время (приблизительно 5 секунд) после того, как они были доставлены клиенту, и до того, как они начнут воспроизводиться. Удерживая пакеты в буфере непродолжительное время и незначительно задерживая воспроизведение, можно снизить дрожание в сети (рис. 5.6).