

А. Н. РУДНЕВ
О. И. ШЕЛУХИН

ПОТОКОВОЕ ВИДЕО В СИСТЕМАХ РАДИОДОСТУПА

Москва
Горячая линия - Телеком
2013

УДК 621.397.7:621.396.218
ББК 32.94
Р83

Руднев А.Н., Шелухин О.И.

Р83 Потокное видео в системах радиодоступа / Под ред. профессора О. И. Шелухина. – М.: Горячая линия–Телеком, 2013. – 308 с: ил.

ISBN 978-5-9912-0303-6.

В книге рассмотрены основные особенности и характеристики стандарта кодирования видео H.264, используемого при потоковой передаче видеoinформации. Проанализированы субъективные и объективные методики и метрики, используемые для оценки качества видеoinформации, а также специфика возникновения ошибок в канале связи при передаче потокового видео в широкополосных беспроводных системах радиодоступа.

Рассмотрены особенности трансляции потокового видео по сетям широкополосного беспроводного доступа, а также оценки качества передачи и воспроизведения потокового видео в системах широкополосного беспроводного доступа в условиях разнообразных внешних воздействий, включая воздействие ионизирующего излучения на качество передачи видеоизображения.

Важное прикладное значение имеют вопросы скрытия видеoinформации при потоковой передаче некриптографическими методами.

Для специалистов, в области радио- и телекоммуникаций, будет полезна аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

ББК 32.94

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Научное издание

Руднев Алексей Николаевич, **Шелухин** Олег Иванович
ПОТОКОВОЕ ВИДЕО В СИСТЕМАХ РАДИОДОСТУПА

Редактор Ю. Н. Чернышов
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова
Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано к печати 30.11.2012. Формат 60×88 1/16.
Усл. печ. л. 19,25. Изд. № 13306. Тираж 500 экз. (1-й завод 200 экз.)

ISBN 978-5-9912-0303-6

© А. Н. Руднев, О. И. Шелухин, 2013

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2013

Введение

В последние годы наблюдается развитие и бурный рост мультимедийных технологий, использующих в качестве транспорта беспроводные системы широкополосного доступа, являющиеся серьезной альтернативой сотовой связи.

Благодаря своим преимуществам, таким, как возможность обеспечения широкополосной связи в условиях отсутствия прямой видимости, большая зона покрытия, высокое качество предоставляемых услуг, простота, технология беспроводного доступа считается наиболее перспективной при переходе к сетям четвертого поколения. В подобных системах пользователи, как правило, работают с приложением в реальном времени (поточковый трафик), когда невозможно осуществить повторную передачу данных. При этом из-за ограниченности полосы пропускания потеря одного пакета означает значительное ухудшение качества принятой информации. Наиболее важным компонентом потокового трафика является потоковое видео.

Основным недостатком передачи видео по беспроводным сетям является отсутствие достаточной синхронизации между оригинальной последовательностью и декодированной на приемной стороне копией. Из-за агрессивной среды передачи пакеты данных могут претерпевать серьезные искажения или вообще теряться. На сегодняшний день не существует стандартных подходов к определению влияния комплекса ошибок на качество передачи предоставляемых сервисов.

Указанные проблемы в соединении с коммерческим успехом заставляют проводить исследования, направленные на эффективное, стабильное и масштабируемое кодирование и передачу видео по нестабильным сетям, к которым относятся беспроводные технологии широкополосного доступа.

В главе 1 рассматриваются основные особенности и характеристики и стандарта кодирования видео H.264, используемого при потоковой передаче видеoinформации.

В главе 2 анализируются методики и метрики, субъективные и объективные, используемые для оценки качества видеoinформации.

В главе 3 анализируются специфика возникновения ошибок в канале связи при передаче потокового видео в широкополосных беспроводных системах радиодоступа.

В главе 4 методами имитационного моделирования анализируются особенности трансляции потокового видео по сетям широкополосного беспроводного доступа.

В главе 5 рассмотрены оценки качества передачи и воспроизведения потокового видео в системах широкополосного беспроводного доступа в условиях разнообразных внешних воздействий, включая воздействие ионизирующего излучения на качество передачи видеоизображения.

Важное прикладное значение имеют вопросы скрытия видеоинформации при потоковой передаче некриптографическими методами, рассмотренные в шестой главе.

Работа по написанию книги распределилась среди авторов следующим образом: О.И. Шелухин — главы 1 и 2, А.Н. Руднев — главы 3–6.

Книга рекомендуется широкому кругу читателей, интересующихся телекоммуникационными технологиями. Авторы будут признательны за любые замечания по содержанию книги.

1 Особенности и основные характеристики потокового видео

1.1. Понятие потокового трафика

Потоковый трафик — тип трафика, для которого характерен просмотр и (или) прослушивание информации по мере ее поступления в пользовательское (оконечное) оборудование. Основную часть потокового трафика составляет потоковое видео- и аудиовещание.

Видеопоток — термин, используемый при передаче видео в режиме реального времени. Основной особенностью потокового видео является то, что при его передаче пользователь не должен ждать полной загрузки файла для просмотра. Видео транслируется непрерывным потоком в виде последовательности сжатых пакетов в специальном формате и не требует полной загрузки файла, содержащего видеоданные. Просмотр начинается в момент достаточной буферизации данных, обеспечивая при этом равномерное отображение данных. В некоторой степени видеопоток аналогичен традиционному телевещанию с непрерывным получением и отображением видеосклавров. Для сравнения: при просмотре видео в стандарте DVD необходима полная загрузка видеофайла.

Существуют два способа передачи потокового видео: последовательный (progressive streaming) и в реальном времени (Real-time streaming). При передаче последовательным способом качество изображения всегда лучше, так как видео воспроизводится с носителя информации, на который предварительно осуществляется запись. Недостатком последовательного способа передачи является невозможность просмотра по эпизодам и возможность переполнения носителя информации на стороне клиента. Поэтому последовательная передача видео используется только для коротких клипов.

Для передачи видео в реальном времени требуется специальный потоковый сервер (streaming server). Видеофайл хранится на этом сервере и не сохраняется на стороне клиента. Передачу видео в реальном времени удобно использовать для трансляции файлов большой длины.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Особенности и основные характеристики потокового видео	5
1.1. Понятие потокового трафика	5
1.2. Характеристика и основные особенности стандарта кодирования видео H.264	10
1.2.1. Структура кодека	11
1.2.2. Уровень видеокодирования	13
1.2.3. Профили и уровни	19
1.3. Внутрикадровое предсказание	20
1.4. Межкадровое предсказание	22
1.4.1. Предсказание Р-кадров	22
1.4.2. Предсказание В кадров	25
1.5. Квантование, масштабирование и преобразование	25
1.6. Энтропийное кодирование	27
1.7. Деблокинговый фильтр	29
1.8. Характеристика видеосигналов	31
1.8.1. Временная информация	31
1.8.2. Пространственная информация	32
1.9. Возможности и области применения стандарта	33
Литература	36
2. Оценка качества потокового видео при передаче в системах беспроводного широкополосного доступа...	38
2.1. Методики и метрики, необходимые для оценки качества видеоинформации	39
2.1.1. Субъективные метрики	39
2.2.2. Объективные метрики	44
2.3. Алгоритм структурной схожести SSIM	61
2.3.1. Пространственная и временная информация	61
2.3.2. Структурное подобие	62
2.4. Методика субъективной оценки параметров	63
2.5. Универсальный алгоритм вычисления объективных метрик	64

2.6. Другие методики определения качества.....	66
2.6.1. Стандарт ANSI	66
2.6.2. Восстановленных данных с использованием дифференциальных векторов движения	67
2.7. Программные продукты для оценки качества видеотрансляции	67
2.8. Синхронизация переданной и полученной видеопоследовательности	73
2.9. Зависимость качества восприятия потокового видеостандарта H.264/AVC от характеристик видеоконтента	80
2.9.1. Классификация сюжета	80
2.9.2. Оценка статистических характеристик контента в зависимости от его класса	82
2.9.3. Классификация контента	85
2.9.4. Оценка качества восприятия потокового видео в зависимости от типа контента и скорости передачи	86
Литература	90
3. Ошибки, возникающие при передаче потокового видео и методы их коррекции.....	91
3.1. Модели дискретных каналов связи	91
3.2. Дискретно-непрерывный канал	95
3.3. Дискретный канал с памятью, характеризующийся коррелированными замираниями	96
3.4. Дискретные двумерные каналы с памятью	98
3.5. Модели Гильберта, Элиота, Фричмана	99
3.6. Полускрытые марковские процессы	103
3.7. Моделирование источников ошибок с помощью полумарковских процессов	105
3.8. Методологические подходы к моделированию марковских процессов	108
3.9. Уточненная модель группирования ошибок в беспроводном канале связи при передаче потокового видео	110
3.10. Влияние параметров марковской модели пакетирования ошибок на качество потокового видео	120
3.11. Ошибки и алгоритмы их коррекции	123
3.11.1. Методы пространственной коррекции ошибок	123
3.11.2. Методы временной коррекции ошибок	126
Литература	130
4. Трансляция потокового видео по сетям широкополосного беспроводного доступа	131

4.1. Эволюция сетей широкополосного беспроводного доступа	131
4.2. Имитационное моделирование системы широкополосного доступа в среде MATLAB Simulink	133
4.3. Результаты имитационного моделирования системы широкополосного доступа в среде MATLAB Simulink .	146
4.4. Протоколы передачи потокового видео	158
4.4.1. Сетевой абстрактный уровень NAL	159
4.4.2. Инкапсуляция в транспортные протоколы	163
4.5. Особенности трансляции потокового видео по сетям широкополосного беспроводного доступа	165
4.6. Компенсация ошибок в H.264/AVC	169
4.6.1. Обнаружение ошибок	169
4.6.2. Энтропийное кодирование в H.264	169
4.6.3. Последствия воздействия ошибок	171
4.7. Обнаружение ошибок в результате анализа синтаксиса	172
4.7.1. Правила проверки синтаксиса	173
4.7.2. Оценка производительности	175
4.8. Обнаружение ошибок при анализе искажений	176
4.8.1. Обнаружение ошибок в I-кадрах	177
4.8.2. Обнаружение ошибок в P-кадрах	178
Литература	179
5. Оценка качества потокового видео в условиях внешних воздействий	181
5.1. Программно-аппаратный комплекс для оценки качества потокового видео	181
5.1.1. Представление исходных файлов и формат видео .	183
5.1.2. Функциональные модули ПАК	184
5.1.3. Результаты оценки качества видео	192
5.2. Влияние пространственно-временных характеристик потокового видео на качество передачи по беспроводным сетям доступа	199
5.3. Оценка качества потокового видео в условиях подвижности терминалов	210
5.4. Влияние различных типов ошибок в каналах беспроводного доступа на качество потокового видео	214
5.5. Влияние ошибок информационных пакетов на качество потокового видео	221
5.5.1. Аналитическая модель (анализ распространения ошибки)	225
5.5.2. Результаты эксперимента	229

5.6. Оценка визуального качества потокового видео стандарта H.264/ABC в условиях нарушения синхронизации	235
5.6.1. Пути создания ПО	235
5.6.2. Описание предложенного ПО	238
5.6.3. Результаты эксперимента	241
5.7. Оценка качества видео в условиях воздействия радиации	250
5.7.1. Комплекс программно-аппаратных средств обеспечения безопасности	252
5.7.2. Оценка и анализ эффективности передачи видео по беспроводным сетям в условиях воздействия ионизирующего излучения	254
5.7.3. Результаты экспериментальных исследований оценки влияния ионизирующего излучения на качество передачи видеоизображения	256
Литература	262
6. Скрытие потоковой видеоинформации некриптографическими методами	266
6.1. Представление данных образами-остатками	266
6.2. Сравнительный анализ методов тестирования псевдослучайных последовательностей	268
6.2.1. Графические тесты	268
6.2.2. Оценочные тесты	270
6.3. Численная оценка качества псевдослучайных последовательностей	278
6.3.1. Программное обеспечение	278
6.3.2. Анализ видеопоследовательности	281
6.3.3. Анализ аудиопоследовательности	284
6.3.4. Анализ данных архива	287
6.4. Скрытие видеоинформации некриптографическими структурно-алгоритмическими методами при потоковой передаче	291
6.4.1. Представление информации в виде образов-остатков	292
6.4.2. Реализация алгоритма	294
6.4.3. Результаты статистической обработки	297
Литература	303