

Технологии ТВ-вещания в мультисервисных сетях передачи данных

В.Л. Карякин¹, С.Г. Косенко¹, Д.В. Карякин²

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

² Juniper Networks
121099, Российская Федерация, г. Москва
Смоленская пл., 3

Рассматриваются современные технологии предоставления услуг цифрового телевизионного вещания в сетях широкополосного доступа и их классификация на основе модели OSI. Показана эволюция протоколов доставки мультимедиа-контента по IP-сетям. Выполнен сравнительный анализ технологий кодирования и передачи мультимедиа-контента для организации услуг в локальных и глобальных сетях передачи данных.

Ключевые слова: технологии доставки мультимедиа-контента, IPTV, Internet TV, классификация, модель OSI, multimedia streaming protocols, MPEG-DASH.

Введение

Технологии ТВ-вещания в мультисервисных сетях передачи данных [1] все больше проникают в быт людей, создают серьезную конкуренцию эфирным, кабельным и спутниковым сетям вещания.

В настоящее время актуальной задачей является сравнительный анализ различных технологий ТВ-вещания в мультисервисных сетях передачи данных с единых позиций на основе модели OSI.

Целью настоящей работы является рассмотрение современных технологий ТВ-вещания в мультисервисных сетях передачи данных и их классификация на основе модели OSI.

Основными услугами вещания в соответствии с классификацией технологий по методам обслуживания клиентов в мультисервисных сетях передачи данных являются услуги «**Internet TV**» и «**IPTV**» [2].

Услуга «**IPTV**» обеспечивает вещание в локальной сети оператора связи, а «**Internet TV**» – в глобальной сети **Internet**. Однако для обеих услуг цифровое телевизионное вещание базируется на протоколе сетевого уровня **IP (Internet Protocol)** модели OSI.

Здесь: **OSI (open systems interconnection basic reference model)** – базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем.

В этой связи классификация технологий по принципу цифрового ТВ-вещания в мультисервисных сетях передачи данных на основе модели OSI имеет вид, представленный на рис. 1.

Расшифруем аббревиатуру технологий обработки информации услуг «**IPTV**» по классификации на основе модели OSI (рис. 1):

- **IPTV Int (Internet TV)** – **IPTV** в глобальной сети **Internet**;
- **RTSP streaming (Real Time Streaming Protocol)** – технология вещания на основе потокового протокола реального времени;
- **RTMP streaming (Real Time Messaging Protocol streaming)** – проприетарная технология вещания на основе протокола передачи сообщений в реальном времени от компании Adobe;
- **HLS (HTTP Live Streaming)** – проприетарная технология передачи мультимедийного контента через сеть Интернет по протоколу **HTTP** на пользовательские устройства под управлением операционной системы iOS от компании Apple;
- **HDS (HTTP Dynamic Streaming)** – проприетарная технология передачи мультимедийного контента через сеть Интернет по протоколу **HTTP** на пользовательские устройства с поддержкой платформы Adobe Flash от компании Adobe;
- **Smooth Streaming** (буквально «гладкое вещание») – проприетарная технология адап-

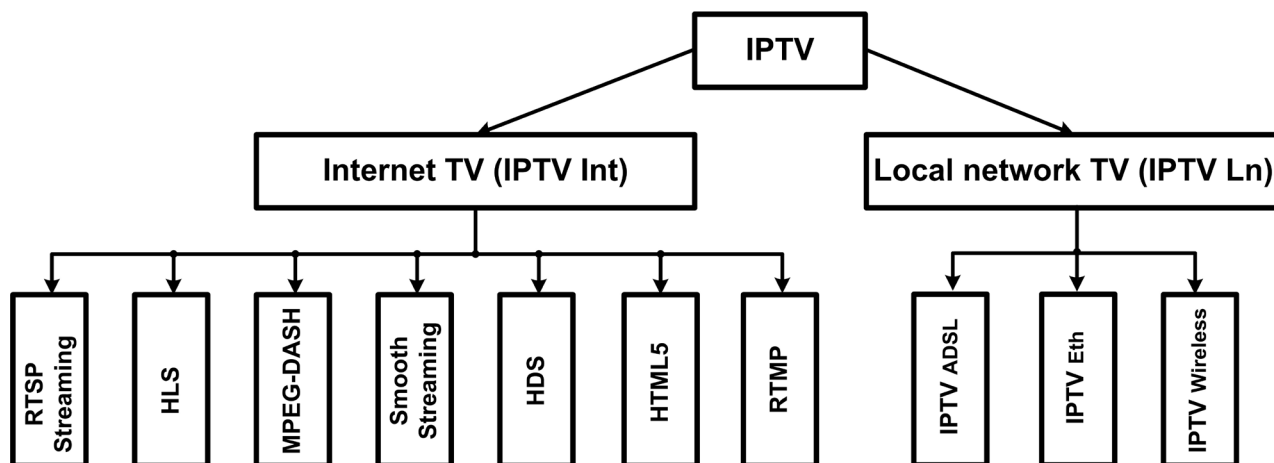


Рис. 1. Классификация технологий по принципу цифрового ТВ-вещания на основе модели OSI

тивной трансляции потокового видео по протоколу *HTTP* на пользовательские устройства с поддержкой платформы Silverlight от компании Microsoft;

- **MPEG-DASH (MPEG – Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)** – мультимедийный стандарт динамически настраиваемого потокового вещания по протоколу *HTTP*. MPEG – название рабочей группы Международного института по стандартизации (ISO);

- **HTML5 «video» (HyperText Markup Language version 5 «video»)** – технология встраивания мультимедийных файлов в веб-приложения на основе 5-й версии языка гипертекстовой разметки страниц;

- **IPTV Ln (IPTV Local network)** – IPTV в локальных сетях передачи данных;

- **IPTV ADSL** – IPTV по технологии *ADSL*;

- **IPTV Eth** – IPTV по технологии *Ethernet*;

- **IPTV Wireless** – IPTV по технологии *Wireless*.

Перейдем к сравнительному анализу методов кодирования и передачи мультимедийной информации для организации услуг «*IPTV Ln*» и «*IPTV Int*» на основе модели OSI.

1. Методы организации услуг «*IPTV Ln*» в локальных сетях передачи данных

IPTV (Internet Protocol television) – технология цифрового телевизионного вещания по протоколу *IP*. Поскольку услуга «*IPTV Ln*» предоставляется внутри управляемой сети оператора связи, то он берет на себя обязательства по обеспечению надежной и качественной работы сервиса. Далее **во втором разделе** аббревиатуру «*IPTV Ln*» для краткости заменим на *IPTV*.

Услуги ***IPTV*** в отличие от традиционных ТВ – интерактивна и позволяет пользователю управлять вещанием, взаимодействуя с системой и персонализируя просмотр. А гибкость *IP*-протокола позволяет легко настроить просмотр ***IPTV*** на различные абонентские устройства пользователя (телевизор, ПК, планшет, смартфон и т. д.).

Услуги ***IPTV*** предоставляются на основе мультикаст-вещания (когда один и тот же контент получает группа пользователей) либо одноадресной юникаст-рассылки, когда пользователь получает персональный контент, реализованный, например, в сервисах «видео по запросу» (***VoD, Video on Demand***).

Вещание в сетях ***IPTV*** в подавляющем большинстве случаев осуществляется в форматах ***MPEG-2*** и ***MPEG-4***. Данные форматы кодирования наиболее распространены и являются основными в системах цифрового ТВ-вещания в настоящее время. Основной структурной единицей формата ***MPEG*** является элементарный поток (ЭП) ***ES (Elementary Stream)*** – поток, в котором может содержаться только один из типов данных: аудио, видео, управляющие данные, прочие данные (субтитры и т. п.).

Далее ЭП помещаются в транспортный поток ***MPEG-TS (Transport Stream)*** либо напрямую инкапсулируются в протокол транспортного уровня (***UDP, RTP***) для доставки по локальной сети оператора ***IPTV*** до клиента.

Стоит отметить, что появление технологий ***IPTV*** и их дальнейшее развитие стало возможным благодаря совершенствованию технологий широкополосного доступа и систем компрессии цифровых телевизионных сигналов.

Первые попытки разработать технологию доставки интерактивного ТВ по сетям передачи

данных относятся ко второй половине восьмидесятых. Термин *IPTV* впервые упоминается в 1995 г. в связи с разработкой компанией Precept Software одноименного программного продукта IP/TV, позволяющего передавать аудио- и видеотрафик низкого и стандартного качества, используя юникаст- и мультикаст-рассылку на основе протоколов *RTP* и *RTCP*.

Разработанная в 1999 г. технология *ADSL* (из семейства *xDSL*) позволила реализовывать системы передачи «видео по запросу». И уже в сентябре 1999 г. британский телекоммуникационный оператор Kingston Communications одним из первых в мире тестирует и вводит в эксплуатацию сеть широкополосного интерактивного ТВ и *VoD*.

С середины 2000-х гг. *ADSL* в связи с низкой пропускной способностью (до 24 Мбит/с в *ADSL2+*) активно вытесняется набирающими популярность, более быстрыми технологиями доступа семейства *Ethernet* (*Fast Ethernet* – до 100 Мбит/с, *Gigabit Ethernet* – до 1000 Мбит/с и т. д.). Однако и по сей день технология *ADSL* остается лидером на рынке ШПД и *IPTV*-вещания в ряде стран (например, к середине 2013 г. 90 % территории Великобритании покрыто услугами *ADSL 2+*).

Технологии пакетной передачи данных *Ethernet*, в отличие от семейства технологий *xDSL*, изначально не предусматривали передачу видео в реальном масштабе времени, а ориентировались на доставку больших объемов данных – беспрепятственно и быстро, насколько это возможно [3].

В условиях передачи данных не в масштабе реального времени потерянные пакеты при необходимости можно продублировать. Однако для доставки видео в реальном масштабе времени повторная передача не является решением, поскольку потерянные пакеты, как правило, не успевают прийти к моменту, когда требуется вывести их на экран, что незамедлительно сказывается на качестве воспроизведения. Таким образом, качество ЦТВ напрямую связано с доставкой видеопотока по сети без потерь с постоянной скоростью. Декодер приемника *IPTV* требует стабильного входного мультимедиа-потока.

Увеличение пропускной способности сети, рост производительности сетевых устройств, разработка механизмов приоритизации трафика и качества обслуживания позволили реализовать технологию *IPTV* в сетях *Ethernet*. В на-

стоящее время *Ethernet* является самым распространенным стандартом локальных вычислительных сетей.

Параллельно с технологиями проводного ШПД развиваются и технологии беспроводной передачи данных. Стандарты связи последних поколений (*3G*, *4G*) обеспечивают скорость передачи данных (*UMTS HSPA+* до 28 Мбит/с на прием, *LTE* – до 173 Мбит/с, *WiMax* – до 40 Мбит/с, *WiMax 2* – свыше 300 Мбит/с), достаточную для организации вещания мультимедийного контента в сетях операторов беспроводного и мобильного доступа (*IPTV Wireless*).

2. Методы организации услуг «*IPTV Int*» в глобальной сети Интернет

Концепция «*IPTV Int*» предполагает доставку видеослужб на те же самые абонентские устройства, что и для просмотра «*IPTV Ln*», но уже по неуправляемой сети Интернет без прямого взаимодействия с конкретным оператором связи. В этом состоит главное отличие от услуг «*IPTV Ln*», которые предоставляются внутри управляемой операторской СПД с гарантированными уровнями качества обслуживания *QoS*.

С технической точки зрения «*IPTV Int*» [4] может быть реализовано на основе следующих технологий доставки видеоданных:

- традиционное вещание (*RTSP Streaming*, *RTMP streaming*);
- прогрессивная загрузка (*HTML5 video*);
- адаптивное вещание (*HLS*, *HDS*, *Smooth Streaming*, *MPEG-DASH*).

2.1. Традиционное вещание

На заре развития Интернет ТВ требовалась технология, позволяющая организовать вещание мультимедиа-контента в условиях невысоких скоростей доступа в Интернет, низкой мощности и ограниченного дискового пространства клиентских устройств.

В результате был разработан протокол *RTSP*, который лег в основу традиционного вещания.

RTSP является протоколом состояния (*stateful*), т. е. сервер вещания должен отслеживать состояние сессии подключившегося клиента и его команды управления. Протокол не выполняет функций транспорта или обработки видео, а только осуществляет управление и синхронизацию медиапотоков. По своей функционально-

сти *RTSP* аналогичен *HTTP*, однако позволяет инициировать запросы не только со стороны клиента, но и сервера.

Технология *RTSP*-вещания поддерживает любые мультимедиа форматы, которые могут быть описаны протоколом описания сессий *SDP* (*Session Description Protocol*). На запрос об установлении новой сессии вещания сервер отправляет *SDP*-сообщение, в котором содержится описание потока: тип контента, используемые кодеки, кадровая скорость и т. д. На основании этих данных клиентское ПО определяется с возможностью воспроизведения потока этих данных. Таким образом, серверу вещания безразличен используемый формат мультимедийного контейнера.

Особенностью традиционного вещания является ограничение размера приемного буфера, который не может быть превышен. Например, при величине буфера 5 с (рис. 2) и его текущем заполнении на 3 с, независимо от того, способно сетевое соединение загружать поток с большей скоростью или нет, сервер позволит загрузить только оставшиеся 2 с. Такой подход позволяет эффективно использовать канал передачи данных, загружая только ту часть медиапотока, которая будет воспроизведена в ближайшее время [5]. В свою очередь, это позволяет быстро обработать операции управления (пауза, перемотка и т. д.), т. к. канал связи передает контент, воспроизводимый только в данный момент.

Основным недостатком традиционного вещания является сложность построения инфраструктуры. Поскольку сервер во время вещания вынужден поддерживать постоянное сетевое соединение с каждым клиентом, возникают трудности масштабирования в связи с ограниченными ресурсами сервера. Нестабильное качество связи вызывает сложности при просмотре из-за отсутствия поддержки соединения со стороны сервера и полноценных механизмов кэширования со стороны клиента.

Видеопотоки на сервере не адаптируются, а значит, не учитываются доступная полоса пропускания (ПП) и процессорная мощность *CPU* конкретного клиентского устройства, что может создать значительные неудобства при просмотре (зависание ПО, паузы во время просмотра).

В настоящее время *RTSP* все реже используется для организации Интернет ТВ.

Схожий принцип вещания реализован в *RTMP streaming*. Как и в *RTSP*, здесь устанавлива-

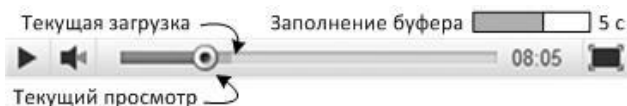


Рис. 2. Ограничение процесса буферизации при традиционном вещании

ется постоянное соединение на период вещания между проприетарным ПО Adobe: сервера *Flash Media Server* и клиента *Flash Player*. В качестве транспорта используется метод гарантированной доставки на основе *TCP/IP*.

Также *RTMP* поддерживает мультикаст-вещание (в отличие от *HTTP*-вещания, где это не реализуемо в силу специфики протокола), которое может быть запущено внутри локальной сети (подобно *IPTV*) без необходимости установления нового соединения с каждым пользователем.

Первоначально в качестве контейнера использовался собственный файловый формат *FLV* (*Flash Video*) с кодеками *VP6*, *Sorenson Spark*, *ADPCM* и *MP3*. Данный формат потокового видео приобрел наибольшую популярность в Интернет и используется на многих видеохостингах (*YouTube*, *RuTube*, *MySpace* и т. д.).

Впоследствии был разработан контейнер *F4V* на базе *ISO BMFF MPEG-4 Part 12*, поддерживающий современные аудио- и видеокодеки. В текущих версиях *Flash Media Server* и *Flash player* поддерживаются оба типа контейнеров, что позволяет работать как с новыми, так и старыми стандартами кодирования мультимедиа-данных.

К недостаткам технологии относят закрытую проприетарную платформу, необходимость покупки лицензий на серверы *RTMP*-вещания, а также возможные сложности с прохождением трафика через межсетевые экраны, *NAT* и т. д.

2.2. Прогрессивная загрузка

Прогрессивная загрузка основана на протоколе передачи гипертекста *HTTP* (*HyperText Transfer Protocol*). Основной идеей этого подхода является использование существующей инфраструктуры веб-сервера, при котором процесс вещания для клиента будет аналогичен обычной загрузке файла. При этом клиентское устройство может начать воспроизведение, загрузив необходимый минимум данных, не дожидаясь загрузки всего файла (рис. 3). Оставшаяся часть потока загружается во время просмотра.

HTTP, в отличие от *RTSP*, является протоколом без учета состояния (*stateless*). На запрос



Рис. 3. Процесс буферизации при прогрессивной загрузке

клиента сервер просто посылает некоторые данные, но при этом не запоминает клиента или его состояние. Каждый *HTTP*-запрос является полностью автономной одноразовой сессией. Изначальная ориентированность сетевого оборудования к протоколу *HTTP* позволяет легко организовать вещание на базе обычных веб-серверов, а значит, открывается возможность масштабирования подобных решений и применения кэширующих систем.

Недостатки технологии проявляются в ситуациях, когда скорость соединения клиента с сервером ниже скорости просматриваемого видеопотока. В результате возможны ситуации, когда данные для просмотра еще не загружены и происходит пауза при воспроизведении. Частые паузы при просмотре крайне негативно сказываются на *QoE* абонента. Для борьбы с этим явлением используют процесс буферизации – предварительное накопление данных для последующего воспроизведения. Другой вариант – организация вещания этого же контента в пониженном качестве, с выбором скорости видеопотока, соответствующей сетевому соединению.

В отличие от традиционного вещания, где приемный буфер ограничен, реализация прогрессивной загрузки требует выделения дискового пространства, достаточного для размещения всего скачиваемого видеопотока.

Наиболее популярная технология прогрессивной загрузки реализована с использованием элемента языка разметки *HTML5 video*, позволяющего встраивать видеопроигрыватель непосредственно в браузер без использования каких-либо сторонних приложений для просмотра.

Вопрос о выборе единого мультимедиа-формата в стандарте *HTML5* еще окончательно не решен. В результате в зависимости от браузера в *HTML5 video* поддерживается контейнер *MP4* (с кодеками *H.264/AAC*), *WebM* (*VP8/Vorbis*) и *OGG* (*Theora/Vorbis*).

Несмотря на имеющиеся трудности, стандарт вещания *HTML5 video* имеет большой потенциал, и крупные видеохостинги (*YouTube, Vimeo*) уже предлагают к использованию проигрыватели *HTML5* в тестовом режиме для своих видеосервисов.

2.3. Адаптивное вещание

В течение сессии вещания пропускная способность сети абонента и загрузка *CPU*-устройства может в значительной степени меняться. Технология прогрессивной загрузки не позволяет изменять характеристики видеопотока после начала воспроизведения. В результате использование такого сервиса возможно только при наличии у пользователя высокоскоростного канала доступа в Интернет, что снижает потенциальную базу клиентов этой услуги [6].

Проигрыватель *HTML5* позволяет перед стартом вещания выполнить проверку доступной ПП и выбрать соответствующий для нее видеопоток, однако это все еще не гарантирует непрерывного просмотра в условиях динамически меняющихся характеристик.

Дальнейшим развитием потокового вещания стали технологии адаптивного вещания, разрабатываемые с расчетом на эффективную работу в больших распределенных сетях Интернет и практически полностью базирующиеся на протоколе *HTTP*. Отметим, что в реализации данной технологии термин «адаптивное вещание» используется скорее как маркетинговый ход, потому что адаптация в первоначальном смысле, основанная на масштабируемом кодировании видео (*SVC, Scalable Video Coding*), здесь не используется. Фактически речь идет о более продвинутом способе доставки контента методом прогрессивной загрузки, при котором осуществляются выбор и передача видеофрагментов разного качества, наиболее подходящих к текущим условиям вещания (рис. 4).

Исходный видеопоток «разрезается» по границам *GOP*-последовательности на множество коротких сегментов (*chunks*), как правило,



Рис. 4. Адаптивное *HTTP*-вещание

длительностью в несколько секунд. Полученные фрагменты не имеют связей с другими *GOP*, всегда начинаются с ключевых кадров и полностью декодируются независимо друг от друга на приемной стороне.

Видеосегменты помещают на веб-сервер, откуда последовательно загружаются клиентом методом обычной прогрессивной *HTTP*-загрузки. Поскольку сегменты образованы из единого видеопотока без каких-либо пробелов и дублирования информации, то их воспроизведение будет непрерывным, при этом практически не требуется буферизация данных.

«Адаптация» вещания в данной технологии заключается в создании из исходного видео нескольких версий видео с различными скоростями. Поскольку сервер обычно позволяет загружать данные со скоростью доступной пропускной способности сети, то клиент *Internet TV* может легко оценить пользовательскую ПП сети и заранее принять решение о загрузке сегмента нужного качества. Размер буфера воспроизведения при этом полностью настраивается.

В традиционном вещании и прогрессивной загрузке после начала вещания качество видеопотока остается неизменным. В случае ухудшения сетевого соединения клиент будет вынужден продолжить загрузку видеопотока высокого качества. При адаптивном *HTTP*-вещании программный клиент может плавно и практически незаметно переключиться на более низкое качество вещания, соответствующее текущим требованиям ПП *IP*-сети и загрузке *CPU* приемного устройства.

Возможность адаптации также позволяет ускорить старт вещания. В начальный момент времени клиенту *Internet TV* отправляется видеопоток пониженного качества, который не требует больших ресурсов, а спустя некоторое время определяются реальные характеристики устройства клиента и подгружается основной видеопоток требуемого качества.

Поскольку базой технологии адаптивного вещания является *HTTP*-протокол, работающие на ее основе сервисы хорошо интегрируются и масштабируются.

Важной задачей провайдера *Internet TV* является создание удобной платформы предоставления своих услуг, позволяющей сформировать у пользователя положительный опыт взаимодействия (*UX, user experience*) с системой Интернет ТВ и предложить качественную услугу,

способную конкурировать с существующими системами ТВ-вещания.

В настоящий момент среди технологий адаптивного вещания *Internet TV* выделяются решения от *Apple (HLS)*, *Adobe (HDS)* и *Microsoft (Smooth Streaming)*.

2.4. MPEG-DASH

Из рассмотрения современных технологий «*IPTV Int*» становится видно, что *HTTP*-протокол укрепляется в качестве основы для развертывания сервисов вещания в сети Интернет [7]. Это объясняется следующими причинами.

1. Протокол *HTTP*, изначально разработанный для Интернета, позволяет избежать проблем, присущих другим протоколам (настройка *NAT* и межсетевых экранов), но при этом гарантирует надежную доставку благодаря использованию протоколов *TCP/IP*. Использование стандартных веб-серверов обеспечивает простое и недорогое решение для развертывания сетей доставки контента или построения серверных ферм вещания.

2. Технология *HTTP*-вещания позволяет передать управление сессией вещания клиенту. От него, в общем случае, требуется только установление одного или нескольких *TCP*-соединений с веб-сервером. Клиент может выбирать первоначальное качество вещания в соответствии с доступной ПП, а простой механизм изменения скорости потока «на лету» в рамках сервиса даже не требует «переговоров» с сервером.

Однако даже при наличии протоколов адаптивного вещания от *Adobe, Apple* и *Microsoft*, значительно продвинувших Интернет ТВ, остается много нерешенных проблем. Каждая из представленных платформ является закрытой, со своими собственными форматами манифест-файлов, контейнеров, кодеков и протоколов вещания. Производители сетевого оборудования вынуждены поддерживать различные версии своих продуктов для полного охвата рынка интернет-вещания, что значительно увеличивает расходы и в целом сдерживает развитие отрасли.

Исходя из этих соображений, рабочая группа *MPEG* в апреле 2012 г. выпускает первый стандарт адаптивного вещания *MPEG-DASH*, который призван унифицировать имеющиеся подходы для предоставления услуг *Internet TV*.

Спецификации *MPEG-DASH* определяют только формат медиасегментов и файлов описания

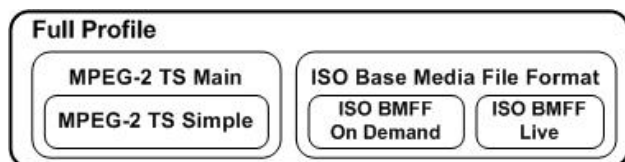


Рис. 5. Доступные профили *MPEG-DASH*

медиапрезентации (*MPD, Media Presentation Description*), в котором приводятся характеристики доступного контента. Допускается инкапсуляция любого типа медиаданных в медиасегменты. В стандарт включены (рис. 5) четыре профиля: *MPEG-2 TS (Main u Simple)* и *ISO BMFF (On Demand u Live)*. Это позволяет всем трем коммерческим решениям (*HLS, HDS, Smooth Streaming*) относительно легко мигрировать на стандарт *MPEG-DASH*.

Остальные элементы системы вещания: доставка *MPD*-файлов, формат транспортных потоков, поведение клиента при загрузке и воспроизведении контента, эвристический анализ – находятся за пределами стандарта.

Заключение

1. Сравнительный анализ технологий «*IPTV Int*» и «*IPTV Ln*» (рис. 1) показывает их единство: в основе обеих технологий лежит протокол *IP*, кроме того, услуга зачастую предоставляется для одних и тех же устройств и может быть получена с использованием единого программного обеспечения. Схожие принципы работы приводят к тому, что за небольшим исключением применяются одинаковые стандарты кодирования и транспорта мультимедиа-контента. Главным же различием является использование управляемой операторской сети передачи данных с гарантированным уровнем *QoS* для «*IPTV Ln*» и публичной неуправляемой (без прямого взаимодействия с конкретным оператором связи) сети Интернет для услуг «*IPTV Int*».

2. Анализ тенденций развития технологий показывает, что *HTTP*-протокол становится основой для различных платформ «*IPTV Int*». Однако существующее многообразие технологий доставки мультимедиа-контента хотя и приводит к конкуренции и созданию новых продуктов, но и ведет к негативным последствиям: закрытости платформ, использованию различных форматов

кодирования, представления и передачи информации, патентным разбирательствам, что не способствует развитию отрасли.

3. Недавно принятый стандарт *MPEG-DASH*, который вобрал в себя положительные свойства различных технологий вещания, призван создать универсальную систему доставки контента по протоколу *IP*.

4. Сходство инфраструктур «*IPTV Int*» и «*IPTV Ln*» с учетом дальнейшего развития технологий широкополосного доступа и роста пропускной способности магистральных каналов связи, в конечном счете приведет к их конвергенции. Провайдеры «*IPTV Ln*» уже сейчас внедряют необходимые атрибуты «*IPTV Int*» (например, сети доставки контента, веб-сервисы и т. д.) в свои системы вещания и в перспективе сами станут провайдерами «*IPTV Int*», выйдя за границы своих сетей.

5. Представленная на рис. 1 классификация технологий по принципу цифрового ТВ-вещания на основе модели *OSI* позволила дать сравнительный анализ технологий ТВ-вещания в мультисервисных сетях передачи данных и перспективы их развития.

Список литературы

1. Карякин В.Л. Цифровое телевидение: учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Солон-Пресс, 2013. 448 с.
2. Сэнджой П. Распределение цифрового видео по широкополосным, телевизионным, мобильным и конвергентным сетям. Тенденции, проблемы и решения / пер. с англ. под ред. Ю.Б. Зубарева. М.: Техносфера, 2012. 440 с.
3. Slater N., Welch J. Video over IP: a case study: white paper. 2005. P. 6. URL: <http://www.csce.uark.edu/~jgauch/library/Video/Slater.2005.pdf> (дата обращения: 01.10.2013).
4. Zambelli A. IIS smooth streaming technical overview // Microsoft Corporation. March 2009. P. 17.
5. Mingfey Y. How does video streaming work? URL: <http://mingfeiy.com> (дата обращения: 01.10.2013).
6. Mahfoufi Y. What you should know about video and HTML5 // Alcatel-Lucent. April 30, 2012. URL: <http://www2.alcatel-lucent.com> (дата обращения: 01.10.2013).
7. Stockhammer T. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP – design principles and standards // Multimedia System Conference. 2011. P. 133–144.

Technology of broadcasting television in multi-service networks

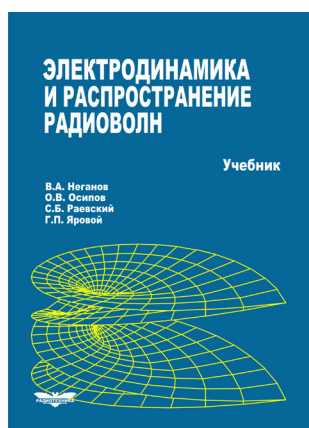
V.L. Karyakin, S.G. Kosenko, D.V. Karyakin

Deals with modern technology provide digital television broadcasting in broadband access networks and their classification based on the model of OSI. The evolution of multimedia content delivery protocols for IP-networks. A comparative analysis of technologies encoding and transmission of multimedia content for the organization of services in the local and global data networks.

Keywords: multimedia content delivery technology, IPTV, Internet TV, classification, OSI model, multimedia streaming protocols, MPEG-DASH.

Неганов, В.А.

Электродинамика и распространение радиоволн: учебник / В.А. Неганов [и др.]; под ред. В.А. Неганова и С.Б. Раевского. – Изд. 4-е, доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2009. – 744 с.



ISBN 978-5-88070-154-4

УДК 537.87(075.3)

ББК 22.3

Н 41

Книга написана активно работающими в области электродинамики учеными. Излагаются теория электромагнитного поля с акцентом на радиотехническую электродинамику и анализ волновых процессов; рассматриваются отражение и преломление волн, излучение и дифракция; описываются основные закономерности распространения электромагнитных волн в различных безграничных средах (изотропных, анизотропных, диспергирующих, неоднородных), в направляющих и резонансных структурах, в природных условиях. Осуждаются методы математического моделирования в электродинамике, опирающегося на применение ЭВМ.

Отличительной особенностью книги является обсуждение современных проблем электродинамики: расчет электромагнитных волн в ближних зонах излучающих структур (самосогласованный метод расчета), комплексных волн в волноведущих структурах и др.

Предназначается для студентов радиотехнических и радиофизических специальностей вузов, а также инженеров-радиотехников и радиофизиков.