

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ»
(МТУСИ)

Кафедра телевидения и звукового вещания им. С.И. Катаева

Лабораторный практикум

**ИЗУЧЕНИЕ СТАНДАРТА ПЕРЕДАЧИ МЕДИАДАНЫХ ПО
ПРОТОКОЛУ HTTP: HLS**

Лабораторная работа №71а Изучение механизмов адаптации HTTP-вещания к
изменению параметров устройства отображения

Лабораторная работа №71б Изучение механизмов адаптации HTTP-вещания к
изменению параметров канала связи

Москва 2019

План УМД на 2018/2019 уч. г.

Для студентов направлений подготовки 11.03.02, профиль «Цифровое телерадиовещание» по дисциплине «Телевидение» и 11.03.01, профиль «Аудиовизуальная техника» по дисциплине «Основы телевидения»

Лабораторный практикум

**ИЗУЧЕНИЕ СТАНДАРТА ПЕРЕДАЧИ МЕДИАДАНЫХ ПО
ПРОТОКОЛУ HTTP: HLS**

Лабораторная работа №71а Изучение механизмов адаптации HTTP-вещания к изменению параметров устройства отображения

Лабораторная работа №71б Изучение механизмов адаптации HTTP-вещания к изменению параметров канала связи

Авторы: Власюк И.В., к.т.н.
Егоров Д.А.
Селиванов В.А., к.т.н.

Издание утверждено советом факультета РиТ.
Протокол № 9 от 16 мая 2019г.
Рецензент: Балобанов А.В., к.т.н.

Цель работы: Ознакомиться с адаптивными протоколами передачи видеоданных и используемыми в них принципами переключения между разными уровнями качества потоков медиаданных. Изучить особенности вещания по протоколу НТТР.

Теоретическая часть

Интернет-телевидение — система, основанная на двусторонней цифровой передаче телевизионного сигнала через интернет-соединения посредством широкополосного подключения. Главный принцип интернет-телевидения заключается в том, что любой правообладатель – как отдельный человек, так и крупная телевещательная компания – имеет возможность поместить своё видео в сети и даже создать собственный телевизионный Интернет-канал. То есть, концепция Интернет-телевидения мало отличается от концепции паутины в целом.

ОТТ (Over-the-Top) – этот термин в отрасли связи определяет бизнес-модель с возможностью доставки медийного видеоконтента в виде совокупного набора любых телевизионных услуг через неуправляемую сеть Интернет на устройство пользователя без ограничения в принадлежности абонента к оператору связи. Для пересылки медиа контента между источником и получателем используется НТТР-протокол, выполняющий транспортировку данных, видео и аудио трафика от провайдера до потребителя в любой точке земного шара. Как только у абонента появляется доступ в Интернет, он сразу может считать себя частью мира ОТТ и стать подписчиком у множества соответствующих провайдеров телевизионных, игровых и развлекательных сервисов. Технология широкополосного доступа, использованная для подключения абонента внутри локальной операторской сети, не имеет принципиального значения. Оператор широкополосного доступа может быть в курсе содержимого IP-пакетов, но не в состоянии управлять потоком данных, влиять на содержимое контента на своё усмотрение и не несёт ответственности перед абонентом за качество сервиса.

Основной принцип технологии заключается в том, что видеосигнал, будь то ТВ-канал или видео по запросу, доставляются до абонента независимо от того, в какой сети он сейчас находится и какая скорость канала доступна. При этом абонент может потреблять услуги и контент на телевизоре с поддержкой технологии SmartTV, на обычной ТВ-приставке, подключённой к телевизору, через интернет-браузер любого устройства. Таким образом, просмотр различного видеоконтента становится возможным в любом месте и в любое время.

На сервере провайдера медиа контент представлен в виде набора потоков, нарезанных на файлы маленьких размеров (сегменты). Абонентский плеер контролирует приём отдельных сегментов видеопотока/файла и выполняет их соединение друг с другом в правильной последовательности. Для транспортировки данных и обмена контрольными сообщениями между сервером и клиентом используются стандартные операции http-протокола. Передача в форме http live streaming пройдёт через любой брандмауэр или

прокси-сервер, не будет заблокирована маршрутизатором и не потребует открытия специальных портов дополнительно к тем, которые активны по умолчанию в любом интернет-кластере, в отличие от RTP/UDP-ориентированных сессий, присущих IPTV и WebTV. Видео становится доступным для воспроизведения непосредственно по мере поступления отдельных пакетов на абонентское устройство без предварительной полной загрузки всего файла.

Адаптивные протоколы передачи

На сегодняшний день существует несколько основных протоколов передачи данных используемых при вещании по технологии OTT:

- Apple HTTP Live Streaming (HLS) [1, 2];
- Adobe HTTP Dynamic Streaming (HDS) [5];
- Microsoft HTTP Smooth Streaming (HSS) [3];
- MPEG Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH).

На практике же применяются лишь HLS и DASH, причем первый имеет намного большую степень распространения. HDS и HSS не стали популярны во многом из-за политики жесткой привязки к собственным программным решениям компаний-разработчиков. Минусом MPEG DASH является политика лицензирования, свойственная многим решениям MPEG, и сложная структура организации вещания. Поэтому далее будет подробнее рассмотрен протокол HLS.

Apple HLS

Компания Apple представила технологию HTTP Live Streaming в июне 2009 года в iPhone OS 3.0, что делает HLS старейшей из указанных выше технологий. На данный момент, HLS является самым распространённым протоколом вещания в интернете и используется всеми устройствами компании Apple (iPhone, iPad, iPod и т.д.), а также сеттопбоксами и некоторыми программными решениями, в частности, популярными веб браузерами.

Принцип работы

Компания Apple пошла по пути использования проверенных стандартов цифрового вещания, немного изменив их под нужды вещания поверх сети интернет. HLS работает с сегментированными потоками или файлами, упакованными в контейнер MPEG-2 TS. Для сжатия видео и аудио потоков в HLS используются широко распространённые кодеки MPEG H.264 и AAC соответственно [4]. Ставка здесь сделана на тот факт, что чем меньше изменений будет внесено в существующие стандарты и технологии, тем быстрее будет происходить интеграция HLS в существующие системы.

Процесс организации вещания по протоколу HLS можно представить следующим образом:

- выполняется сжатие видео сигнала, полученного с прямой трансляции или из файла, в формат H.264/MPEG TS с различным выходным битрейтом и разрешением (для их получения используются различные профили и уровни сжатия);
- полученный поток сегментируется для получения небольших по времени фрагментов контента (как правило, 10 секунд каждый);
- генерируется файл-плейлист (в формате m3u или m3u8), который содержит ссылки на каждый сегмент потока [2];
- пользователь выполняет загрузку сначала плейлиста, а затем сегментированного потока с обыкновенного HTTP-сервера.

Технология HLS позволяет выполнять вещание с адаптивно изменяющимся битрейтом, при этом решение о том, поток какого качества следует загружать в данный момент времени, принимает оконечное оборудование пользователя, а не видеосервер. Указанное решение, как правило, принимается на основании доступной полосы пропускания, что позволяет передавать через интернет видео с высоким уровнем качества с сохранением совместимости

- для каждого канала или файла генерируется индексный файл с указанием различных профилей (соответствующих потокам разного качества);
- оконечное пользовательское устройство выбирает поток с наиболее подходящим битрейтом на основании того, сколько времени требуется для загрузки одного сегмента.

Поскольку каждый сегмент содержит только 10 секунд видео, приёмное устройство может автоматически с интервалом 10 секунд адаптироваться к изменяющимся параметрам передачи.

Преимущества HLS

HLS является простым и эффективным решением для организации адаптивного вещания в открытых сетях. Поддержку данного стандарта легко реализовать на приёмных устройствах, что способствует его широкому внедрению в будущем.

Многие производители микросхем уже сейчас могут предоставить аппаратные решения для декодирования H.264, что позволяет использовать стандарт в мобильных устройствах благодаря низкому энергопотреблению и небольшой нагрузке на ЦП.

Наконец, использование контейнера MPEG-2 TS значительно упрощает интеграцию HLS в существующие системы цифрового телевидения.

Структура списков воспроизведения HLS

Стандартный поток HLS подразумевает использование нескольких списков воспроизведений: списка воспроизведения (*Master Playlist*) - Манифест, который ссылается на один или несколько плейлистов (*Media Playlists*). Каждый плейлист содержит ссылки на один или несколько последовательных видео сегментов. Все эти компоненты образуют логическую иерархию, которая информирует о различных уровнях качества доступного

видео и то, как обращаться к отдельным сегментам видео на каждом из этих уровней.

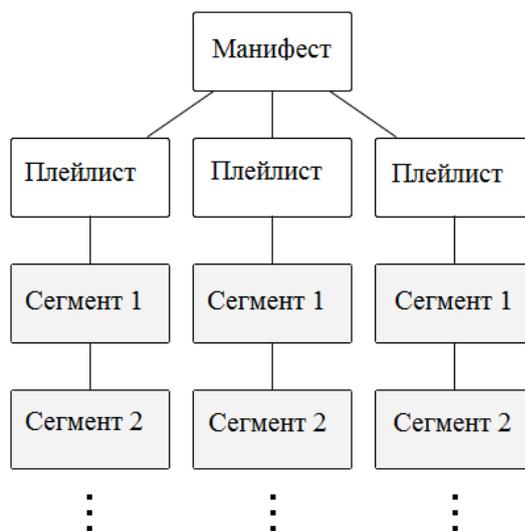


Рисунок 1 – Структура HLS

Потоки HLS могут передаваться в двух разных режимах:

- «статический» (static) режим для видео, которое можно воспроизводить с любого момента, часто называемого видео по запросу (VOD);
- «прямой эфир» (live) динамический режим, когда более поздние части видео становятся доступными с течением времени.

В статическом режиме *Master Playlist* и *Media Playlists* неизменны.

Примеры плейлистов

1. Master Playlist (# комментарии и #директивы: наличие пробела после символа «#» определяет тип, но при отсутствии поддержки директивы она считается комментарием):

```
# Объявление формата
#EXTM3U
# EXT-X-STREAM-INF – информация о потоке (требуемая
ширина полосы пропускания, кодек (опционально),
разрешение, имя), после идет ссылка на плейлист потока
(абсолютная или относительная)
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=2149280,CODECS="mp4a.40.2,avc1.64001f",RES
OLUTION=1280x720,NAME="720"
url_0/193039199_mp4_h264_aac_hd_7.m3u8
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=246440,CODECS="mp4a.40.5,avc1.42000d",RESO
LUTION=320x184,NAME="240"
url_2/193039199_mp4_h264_aac_ld_7.m3u8
```

```

#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=460560,CODECS="mp4a.40.5,avc1.420016",RESO
LUTION=512x288,NAME="380"
url_4/193039199_mp4_h264_aac_7.m3u8
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=836280,CODECS="mp4a.40.2,avc1.64001f",RESO
LUTION=848x480,NAME="480"
url_6/193039199_mp4_h264_aac_hq_7.m3u8
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=6221600,CODECS="mp4a.40.2,avc1.640028",RES
OLUTION=1920x1080,NAME="1080"
url_8/193039199_mp4_h264_aac_fhd_7.m3u8

```

2. Пример Media Playlist (офлайн):

```

# Объявление формата
#EXTM3U
# Объявление версии
#EXT-X-VERSION:3
# Тип плейлиста
#EXT-X-PLAYLIST-TYPE:VOD
# Длина фрагментов целевая
#EXT-X-TARGETDURATION:10
# Длина фрагмента
#EXTINF:10.000,
url_462/193039199_mp4_h264_aac_hd_7.ts
#EXTINF:10.000,
url_463/193039199_mp4_h264_aac_hd_7.ts
#EXTINF:10.000,
url_464/193039199_mp4_h264_aac_hd_7.ts
.....
#EXTINF:10.000,
url_523/193039199_mp4_h264_aac_hd_7.ts
#EXTINF:10.000,
url_524/193039199_mp4_h264_aac_hd_7.ts
#EXTINF:4.584,
url_525/193039199_mp4_h264_aac_hd_7.ts
# Директива окончания плейлиста
#EXT-X-ENDLIST

```

3. Пример Media Playlist (онлайн/live):

```

# Объявление формата
#EXTM3U
# Объявление версии

```

```
#EXT-X-VERSION:3
# Номер последовательности
#EXT-X-MEDIA-SEQUENCE:3359689
# Длина фрагментов целевая
#EXT-X-TARGETDURATION:4
# Длина фрагмента
#EXTINF:4.000,
https://e3-online-
video.rbc.ru/online2/rbctv_576p/1559570783000.ts
#EXTINF:4.000,
https://e3-online-
video.rbc.ru/online2/rbctv_576p/1559570787000.ts
#EXTINF:4.000,
https://e3-online-
video.rbc.ru/online2/rbctv_576p/1559570791000.ts
#EXTINF:4.000,
https://e3-online-
video.rbc.ru/online2/rbctv_576p/1559570795000.ts
```

Отсутствие директивы окончания плейлиста указывает на необходимость его перезагрузки

Режим «Live» может работать одним из двух способов. Наиболее распространен следующий: каждый плейлист содержит только последний сегмент видео и небольшое количество предыдущих. В данном режиме возможность перемотки ограничена длиной и количеством сегментов. В альтернативной «Live» конфигурации новые видеосегменты добавляются в конец плейлиста, но старые сегменты не удаляются. Эта конфигурация позволяет плееру возвращаться к началу в любое время трансляции и беспрепятственно переходить к статическому плейлисту, когда событие заканчивается.

Алгоритм работы плеера

Можно выделить три основные функции:

- Загрузка и обработка файлов Playlist;
- Обработка HTMLvideo элемента;
- Подача битов содержимого в буфер источника, путем загрузки и ремультимплексирования видео сегментов.

Управление Playlist

Загрузчик плейлиста обрабатывает все детали запроса, анализа, обновления и переключения плейлистов во время работы. Этот процесс описывается схемой:

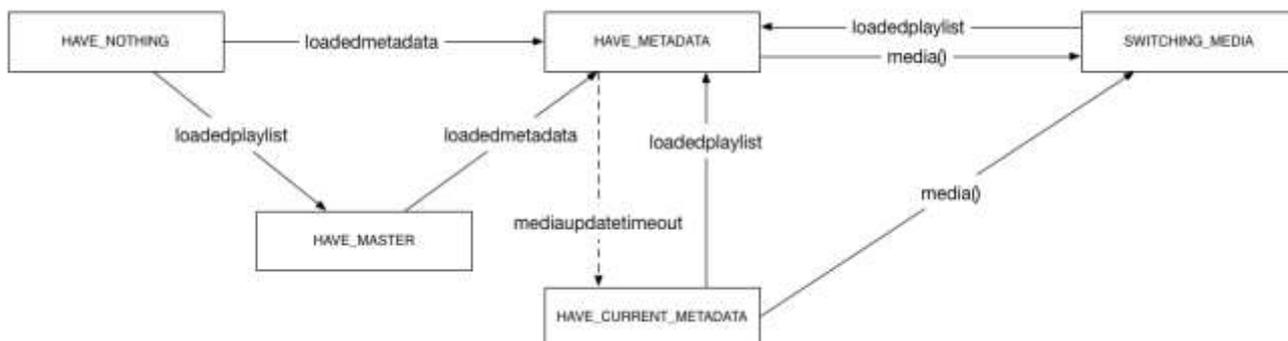


Рисунок 2 – Процесс работы загрузчика плейлиста

Во время воспроизведения видео по запросу загрузчик переходит в состояние HAVE_METADATA и остаётся там, пока не сработает переключатель качества (quality switch, состояние SWITCHING_MEDIA), после чего он выбирает альтернативный плейлист. При работе в режиме live загрузчик периодически загружает плейлист, чтобы узнать о новых видео сегментах.

Трансмуксинг

Трансмуксинг (ремультимплексирование) - это процесс преобразования медиафайлов, хранящихся в одном формате контейнера, в другой контейнер без изменения базовых медиаданных.

У большинства браузеров нет поддержки типа файла, в котором хранятся видеосегменты HLS. Чтобы добиться HLS-воспроизведения, в этих браузерах, применяется специальный javascript, который выполняет адаптацию форматов. Safari и Chrome имеют встроенную поддержку HLS.

Управление буфером

Для обеспечения непрерывного воспроизведения нужно реализовать буферизацию потока, что обеспечивает устойчивость к потерям в канале и при изменении условий передачи и текущей скорости скачивания фрагментов.

Адаптивный режим переключения

Технология HLS обеспечивает максимально возможное качество просмотра, с учетом доступной полосы пропускания и кодировки. Это не всегда означает использование доступной версии с наивысшим битрейтом. Например, если разрешение проигрывателя равно 800 на 450 пикселей, то будет нецелесообразной загрузка фрагментов в 4k. По умолчанию проигрыватель пытается загрузить вариант с наивысшим битрейтом, который меньше, чем самая последняя обнаруженная полоса пропускания сегмента с учетом условия, что разрешение скачиваемого сегмента максимально близкое к размерам области воспроизведения с округлением в большую сторону.

Всякий раз, когда загружается новый сегмент, вычисляется битрейт на основе его размера и времени, затраченного на загрузку:



Рисунок 3 – Доступная информация о битрейте

Сначала отфильтровываются все версии, которые имеют битрейт выше, чем текущий.

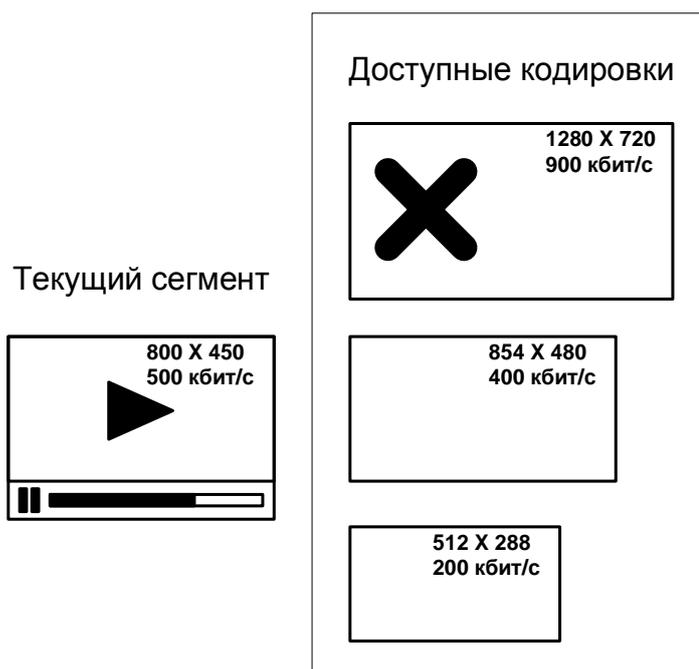


Рисунок 4 – Фильтрация битрейта

Затем избавляются от разрешений, которые больше, чем текущий размер проигрывателя:



Рисунок 5 – Фильтрация разрешения

Мы не хотим значительного снижения качества лишь потому, что видеоплеер слишком мал, поэтому обратно добавляется вариант в высоком разрешении. Самое высокое значение битрейта, которое остается, - это то, которое используется в текущем сегменте:



Рисунок 6 – Окончательный выбор

Если окажется, что никакая скорость передачи не будет приемлемой на основе описанной выше логики фильтрации, то будет использоваться первая позиция, указанная в главном плейлисте.

Если необходимо, чтобы плеер использовал другой набор приоритетов, можно полностью заменить логику выбора. Например, всегда можно выбрать наиболее подходящее представление по разрешению, хотя это может означать потерю скорости во время воспроизведения.

Ограничения

Как отмечено выше, управление битрейтом потока осуществляется исключительно абонентским устройством. Данный «демократический» подход может стать источником некоторых проблем в том случае, если администратор хочет вручную настраивать качество видео для определённого контента.

Встроенная поддержка HLS отсутствует в некоторых WEB-браузерах. Использование стандартов MPEG влечёт за собой необходимость уплаты производителями устройств и ПО лицензионных отчислений, что является барьером для появления ПО с открытым кодом, поддерживающего HLS.

DRM-шифрование применяется к целому сегменту. Это значит, что заголовки транспортного потока MPEG-2 TS также шифруются, что влечёт невозможность использования некоторых дополнительных функций.

Передача по сетям с потерями

Перечень показателей качества для каналов связи представлен в рекомендации Международного союза электросвязи Y.1540 [6]. В данной рекомендации выделяются следующие основные показатели производительности IP-соединения:

- коэффициент потери пакетов (IP Packet Loss Ratio, IPLR);
- задержка передачи пакетов по сети (IP Packet Transfer Delay, IPTD);
- изменение (вариация) задержки пакетов (IP Packet Delay Variation, IPDV, Jitter);

доступная пропускная способность (throughput).

Это измеряемые показатели — метрики (KPI), обычно получаемые с помощью измерительного оборудования. На их основании рассчитываются показатели качества — Key Quality Indicators (KQI), которые и определяют собственно качество услуги связи, а отнюдь не метрики, которые операторы зачастую пытаются продать в договорах на услуги связи.

Обычно для проводных сетей нормируется $IPLR < 0.01$, $IPTD < 300ms$, $IPDV < 30ms$. Но в случае беспроводных сетей эти значения могут кратковременно или долговременно превышать приведенные значения. В проводных сетях, как правило, такие значения достигаются только при значительной перегруженности.

Порядок выполнения работы

Лабораторный макет состоит из страницы лабораторной работы, расположенной по адресу <http://tvmtucihls.surge.sh>, и эмулятора потерь, интерфейс которого показан на рисунке 7, а персональные профили, согласно варианту по номеру бригады – в таблице 1.

Таблица 1 – персональные наборы профилей

№ бригады	Профили
1	4, 5, 11, 12, 13
2	1, 2, 4, 8, 15
3	1, 2, 4, 9, 10
4	3, 4, 7, 12, 13
5	1, 3, 7, 9, 15
6	6: 2, 4, 6, 8, 14
7	7: 4, 6, 12, 14, 15
8	8: 1, 5, 9, 10, 15
9	9: 1, 2, 7, 11, 14
10	10: 1, 2, 3, 6, 15

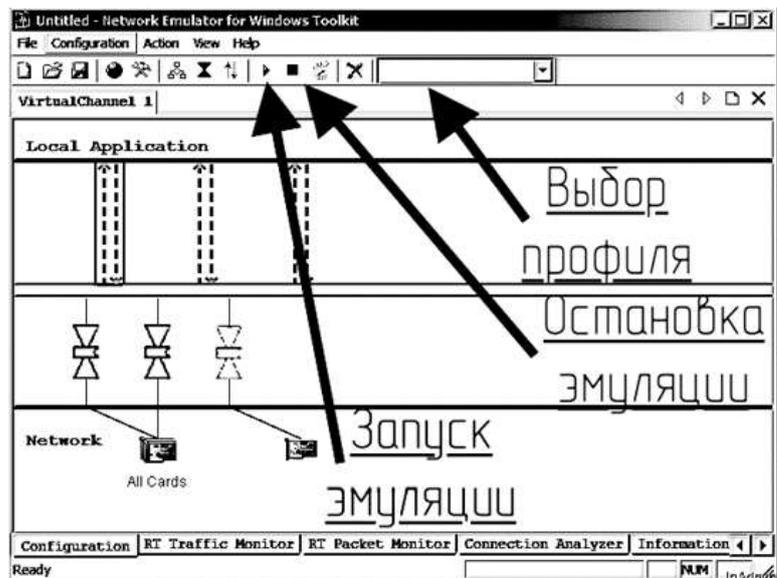


Рисунок 7 – интерфейс эмулятора потерь

1. Лабораторная работа №71а Изучение механизмов адаптации HTTP-вещания к изменению параметров устройства отображения
 - 1.1.Получить персональный набор профилей от преподавателя, открыть страницу лабораторной работы (<http://tvmtucihls.surge.sh>).
 - 1.2.Открыть программу **Network Emulator Toolkit**, предназначенную для эмуляции заданных сетевых условий.
 - 1.3.Начать воспроизведение в плеере, через 40 с., развернуть плеер на весь экран, подождать 40 с.
 - 1.4.Сформировать отчет кнопкой в интерфейсе (metrics permalink) и скопировать ссылку отчета на персональный носитель.
2. Лабораторная работа №71б Изучение механизмов адаптации HTTP-вещания к изменению параметров канала связи
 - 2.1.Получить персональный набор профилей от преподавателя, открыть страницу лабораторной работы (<http://tvmtucihls.surge.sh>)
 - 2.2.Открыть программу **Network Emulator Toolkit**, предназначенную для эмуляции заданных сетевых условий.
 - 2.3.Свернуть плеер и смоделировать в **Network Emulator Toolkit** несколько каналов связи по профилям, указанным преподавателем, повторяя развертывание и свертывание плеера по аналогии с предыдущим пунктом.

2.4. Сформировать отчет кнопкой в интерфейсе (metrics permalink) и скопировать ссылку отчета на персональный носитель.

Содержание отчета

Отчет по лабораторному практикуму должен содержать титульный лист, цель работы и содержательную часть.

Содержательная часть отчета по лабораторному практикуму должна состоять из HTML-страницы, полученной в ходе выполнения работы, с выводами по каждому изменению условий воспроизведения и соответствующим изменениям буфера и качества видео.

Контрольные вопросы¹

1. Зачем в HLS применяются различные варианты видео по разрешению?
2. Возможно ли создать плейлист с вариантами видео одного разрешения, но различного качества?
3. Как обеспечивается оповещение о новых фрагментах при использовании режима прямой трансляции?
4. Как плеер «понимает», что плейлист содержит прямую трансляцию?
5. Что, помимо задержки кодера и декодера, обуславливает задержку в режиме прямого эфира? Как можно её уменьшить, и какой будет эффект от данных изменений?
6. Поясните логику плеера при выборе уровня качества, изменится ли загружаемое качество при развертывании на полный экран?
7. Устройство с разрешением экрана FullHD, загрузило HLS плейлист с вариантом потока 4к, при каких условиях оно будет использоваться?
8. На сайте rbc.ru есть миниплеер, занимающий область 300x169. Загружается плейлист (см. Приложение А). Какое качество будет выбрано плеером? При каких условиях будет возможно воспроизведение?
9. На сайте rbc.ru есть миниплеер, занимающий область 300x169. Загружается плейлист (см. Приложение А). Какое качество будет выбрано при развертывании плеера на полный экран ?
10. На сайте rbc.ru есть миниплеер, занимающий область 300x169. Загружается плейлист (см. Приложение А). После перемещения абонента скорость соединения «вниз» на мобильном устройстве упала до 1,5 мегабит в секунду. Какое качество будет выбрано плеером для загрузки?

¹ Некоторые вопросы подразумевают уточнение у преподавателя вводных данных.

Литература

1. HTTP Live Streaming, R. Pantos [Электронный доступ] <http://tools.ietf.org/html/draftpantos-http-live-streaming-06>
2. Timed Metadata for HTTP Live Streaming, [Электронный доступ] http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/AudioVideo/Conceptual/HTTP_Live_Streaming_Metadata_Spec/Introduction/Introduction.html
3. IIS Smooth Streaming Transport Protocol, [Электронный доступ] <http://www.iis.net/community/files/media/smoothspecs/%5BMS-SMTH%5D.pdf>
4. International Organization for Standardization (2003). "MPEG-4 Part 14: MP4 file format; ISO/IEC 14496-14:2003"
5. HTTP Dynamic Streaming on the Adobe Flash Platform, [Электронный доступ] http://www.adobe.com/products/httpdynamicstreaming/pdfs/httpdynamicstreaming_wp_ue.pdf
6. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters // Рекомендация МСЭ-Т Y.1540, 07.2016.

Приложение А – Пример плейлиста для подготовки ответов на контрольные вопросы

```
#EXTM3U
#EXT-X-VERSION:3
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=2500000,RESOLUTION=1024x576,NAME="576p"
https://e3-online-
video.rbc.ru/online2/rbctv\_576p/index.m3u8?e=e3&t=yiPHLL
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=1200000,RESOLUTION=854x480,NAME="480p"
https://e3-online-
video.rbc.ru/online2/rbctv\_480p/index.m3u8?e=e3&t=yiPHLL
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=480000,RESOLUTION=640x360,NAME="360p"
https://e3-online-
video.rbc.ru/online2/rbctv\_360p/index.m3u8?e=e3&t=yiPHLL
#EXT-X-STREAM-INF:PROGRAM-
ID=1,BANDWIDTH=280000,RESOLUTION=398x224,NAME="224p"
https://e3-online-
video.rbc.ru/online2/rbctv\_224p/index.m3u8?e=e3&t=yiPHLL
```