

РЕФЕРАТ

Расчетно-пояснительная записка 34 с., 5 рис., 19 ист., 1 прил.

Ключевые слова: ретрансляция видеопотока, повторная передача видеопотока, TCP, PAR, UDP, RTP, RTCP, RTSP, RTMP, MPTCP, поток, видеопоток.

Объектом исследования является алгоритм организации ретрансляции видеопотоков.

Цель работы — проведение анализа алгоритмов организации ретрансляции видеопотоков.

В работе выполняется анализ предметной области и существующих решений, выделение критерий сравнений и сравнения существующих решений. На основе сравнения сделан вывод о существующих решениях.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	3
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	7
ВВЕДЕНИЕ	8
1 Анализ предметной области	10
1.1 Ретрансляция видеопотоков	10
1.2 Организация ретрансляции видеопотока	10
1.3 Модель взаимодействий открытых систем	11
1.4 Методы передачи информации	12
2 Обзор существующих решений	14
2.1 TCP	14
2.2 UDP	16
2.3 MPTCP	17
2.4 RTP	18
2.5 RTCP	19
2.6 RTSP	20
2.7 RTMP	23
3 Сравнение существующих решений	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	30
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	31
ПРИЛОЖЕНИЕ А	34

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Пакет — это блок данных, содержащий информацию, необходимую для доставки [4].

Задержка — время, которое требуется для передачи данных отправки данных по Сети [4].

Джиттер — изменчивость или нестабильность во времени задержки при передаче данных [4].

Пропускная способность — максимально возможное количество данных, которые могут быть переданы через канал за некоторый промежуток времени [4].

Мультиплексирование — образование из нескольких отдельных потоков общего агрегированного потока, который может быть передан по одному физическому каналу связи [5].

Компьютерная сеть — набор связанных между собой автономных компьютеров. Два компьютера называются связанными между собой, если они могут обмениваться информацией [9].

Канал передачи данных — канал электросвязи для передачи сигналов данных [9].

Трансляция — непрерывная передача аудио или видеоданных с источника на платформу для дальнейшего распространения [12].

Ретрансляция — повторная передача видеоданных без изменения его содержания [12].

Видеопоток — последовательность видеоданных, которая передается по компьютерным сетям или другим каналам связи [12].

Протокол — набор соглашений логического уровня.

Потоковая передача данных (передача потоков) — способ передачи, при котором транспортировка и воспроизведение мультимедийных данных на удаленном компьютере осуществляются в режиме реального времени [12].

Соединение — канал транспортного уровня, установленный между двумя программами с целью обмена данными [18].

Сеанс — механизм передачи непрерывного медиапотока или запуск потока с помощью данных управления [18].

Устройство-захвата — оборудование предназначенное для записи и передачи видео и аудио.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В текущей расчетно-пояснительной записке применяются следующие сокращения и обозначения.

ISO — International Standards Organization, международной организацией по стандартизации.

OSI — Open Systems Interconnect, взаимодействия открытых систем.

TCP — Transmission Control Protocol, протокол управления передачей.

UDP — User Datagram Protocol, протокол пользовательских дейтаграмм.

PAR — Positive Acknowledgment with Retransmission.

RTP — Real-Time Transport Protocol, транспортный протокол реального времени.

RTCP — Real-Time Transport Control Protocol, протокол управления передачей в реальном времени.

RTSP — Real-Time Streaming Protocol, потоковый протокол реального времени.

RTMP — Real-Time Messaging Protocol, протокол обмена сообщениями в реальном времени.

HTTP — HyperText Transfer Protocol, протокол передачи гипертекста.

MPTCP — Multipath TCP, многопутевой TCP.

QoS — Quality of Service, качество обслуживания.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из тенденций развитий современного общества является развитие интернет-технологии, которые проникли в каждый аспект жизни человека. Ежедневно растет количество устройств и платформ с поддержкой видеоконтента, критически важных предприятий и государственных служб зависят от корректной работы Сети [1].

Поэтому повышаются требования к качеству и надежности передачи видеoinформации всем пользователям. Провайдеры сетей стремятся обеспечить стабильность передачи информации, улучшая существующую инфраструктуру, но существуют факторы которые могут оказать негативное влияние на процесс передачи видеопотоков [2, 3]:

- нагрузка на сеть в текущий момент времени;
- устаревшая или неэффективная инфраструктура;
- нестабильное соединение может привести к потере пакетов данных;
- физические помехи и условия окружающей среды;
- низкая пропускная способность.

Таким образом, чтобы доставить видеoinформацию произвольному количеству пользователей возникает необходимость организации ретрансляции видеопотоков от сервера для обеспечения стабильной и надежной передачи видеoinформации. Организация ретрансляции видеопотоков становится ключевым шагом для решения этих проблем. Путем передачи трансляции видео через устройства-захвата на сервере, задача которого повторно передавать или хранить видеоматериал для повторной передачи пользователям.

Целью работы является проведение анализа алгоритмов организации ретрансляции видеопотоков.

Чтобы достигнуть поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ предметной области ретрансляции видеопотоков;
- провести обзор существующих алгоритмов организации ретрансляции видеопотоков;
- сформулировать критерии сравнения алгоритмов организации ретрансляции видеопотоков;
- классифицировать существующие алгоритмы организации ретрансляции видеопотоков.

1 Анализ предметной области

1.1 Ретрансляция видеопотоков

Ретрансляция видеопотоков — это повторная передача видеопотоков через компьютерные Сети с целью распространения или обработки. Ретрансляция начинается с захвата видеопотока с источника, такого как веб-камера, IP-камера, экран компьютера или другое устройство, которое генерирует видеоданные. Ретрансляция может быть использована для одновременной трансляции видеопотока на несколько устройств, при этом видеопотоки могут подвергаться различным видам обработки: сжатию, кодированию, фильтрации или масштабированию, в зависимости от конкретных потребностей.

1.2 Организация ретрансляции видеопотока

Трансляция формируется надежной системой ретрансляции, в качестве такой системы выступает сервер, который принимает видеопоток от устройства-захвата. Трансляция совершается путем использования протокола, таких как UDP, RTP, RTSP, RTMP и других. Сетевой протокол в свою очередь должен гарантировать доставку и управление трансляцией, при этом подстраивающийся под условия Сети. Таким образом для передачи обычно используется один из двух способов.

Последовательный — видеофайл воспроизводится с жесткого диска сервера провайдера услуг. Как правило, при передаче таким способом качество изображения и звука выше. К недостаткам стоит отнести то, что невозможно переключить ролик с одного момента на другой, не дождавшись его буферизации. То есть, интересующий фрагмент должен быть загружен, чтобы пользователь смог его просмотреть.

В реальном времени — требует наличия потокового сервера. Этот метод больше подходит для передачи видеофайлов большой длительности. Пользователь может выбрать место, с которого он хочет начать просмотр. Также

этот вид потокового передачи мультимедиа используется для трансляции с веб-камеры или захвата экрана.

1.3 Модель взаимодействий открытых систем

Все устройства в компьютерной сети взаимодействуют по концептуальной модели взаимодействия открытых систем OSI/ISO. Её предложили в 1984 году инженеры из ISO, которая работала над единым стандартом передачи данных по Интернету. Модель OSI включает семь уровней, причём каждый из них выполняет определённую функцию и определяется набором протоколов [4, 5].

Модель TCP/IP — это стек протоколов, которые задают правила передачи данных по Сети. TCP/IP состоит из 4 уровней и покрывает функционал семи уровневой модели OSI/ISO [4, 5].

На рисунке 1.1 представлено сравнение моделей OSI/ISO и TCP/IP.

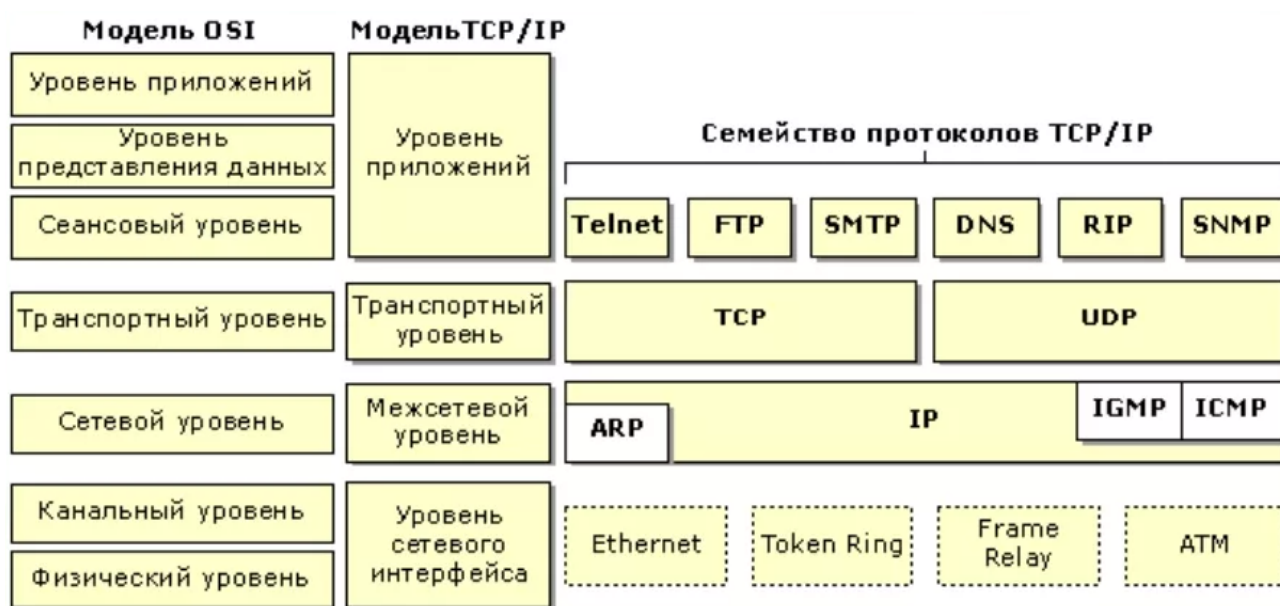


Рисунок 1.1 – Модель OSI и TCP/IP [4, 5]

В таблице 1.1 представлены уровни ТСП/IP.

Таблица 1.1 – Уровни ТСП/IP

Обозначение	Уровень	Назначение
L4	Прикладной	Взаимодействие с приложениями и процессами; установление, поддержание и корректного завершения сеансов соединений, аутентификация; корректное отображение данных.
L3	Транспортный	Обеспечивает надежную доставку данных со сквозным обнаружением и устранением ошибок.
L2	Сетевой	Поиск и выбор оптимального маршрута между географически удаленными сетями.
L1	Канальный	Отвечает за механические, электрические, процедурные и функциональные характеристики установления и завершения соединения между устройствами; отвечает за методы передачи и контроля данных; определяет формат данных для передачи.

1.4 Методы передачи информации

В компьютерных сетях информация передается тремя основными методами: unicast, broadcast и multicast. Каждый из трех методов передачи использует различные типы назначения IP-адресов, которые предназначены для конкретных задач и существуют требования, которые необходимо будет поддерживать для каждой из них [6].

Broadcast или широковещательная передача пакетов — процесс передачи, при котором информация отправляется одним узлом и доставляется всем узлам в сети с использованием специального IP-адреса. В таком случае все клиенты получают информацию без необходимости запрашивать ее, поэтому

данный метод используется лишь для передачи служебной информации [6, 7].

Unicast или одноадресная рассылка — процесс передачи, при котором информация отправляется от одного отправителя к одному получателю. Каждый получатель запрашивает персональный видео-контент в произвольное и удобное ему время. Число таких клиентов может быть ограничено лишь пропускной способности и скорости сети [6].

Multicast или многоадресная рассылка — процесс передачи, при котором информация отправляется от одного отправителя к нескольким выбранным получателям, находящимся в группе в частной сети. Multicast использует специальный класс IP-адресов назначения, при этом каждый адрес привязан к группе получателей. Данный метод был разработан для того, чтобы не нагружать Сеть, путем отправки пакета выбранной группе получателей [6].

Таким образом, для передачи видеопотоков используются unicast или multicast. Multicast отлично подходит для внутренней потоковой передачи в частных сетях, в то время как unicast является лучшим вариантом для передачи в общедоступной сети, поскольку она не предполагает специализированной и ручной настройки Сети [8].

2 Обзор существующих решений

Согласно общепринятым нормам взаимодействия открытых систем, передачи данных между сервером и клиентом регламентируется протоколами транспортного уровня, на котором выполняется сегментация данных от отправителя и организацию потока на получателе [4, 9].

Вместе с этим решаются задачи:

- мультиплексирование;
- установление и управление соединением;
- управление потоком;
- надежность передачи данных.

Таким образом, протоколы прикладного и транспортного уровня для передачи видеопотоков реализованы поверх двух важных протоколов транспортного уровня — TCP и UDP.

2.1 TCP

TCP — протокол с установлением соединения, обеспечивающий надежную доставку данных со сквозным обнаружением и устранением ошибок. Надежность в TCP обеспечивается благодаря механизму подтверждения приема повторной передачей PAR, в случае его потери или искажения. Согласно TCP гарантируется доставка данных и соединение ложно установиться до начала передачи данных, путем «тройного рукопожатия». По такому же принципу происходит разъединение соединения [4, 5].

На рисунках 2.1 представлены процессы соединения и разъединения между сервером и клиентом.

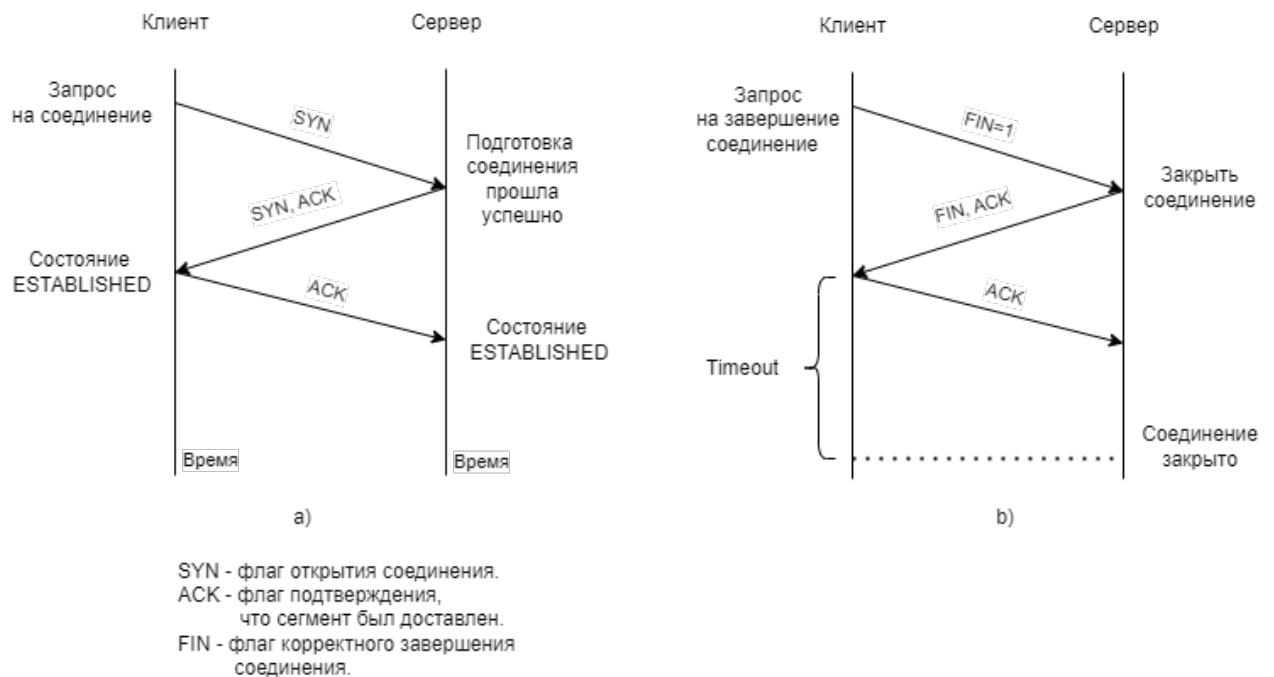


Рисунок 2.1 – Схема процессов соединения (a) и разъединения (b) [4]

Также TCP регулирует скорость отправки в соответствии со своей оценкой пропускной способности Сети, потери и задержку, и если они ухудшились, это снизит скорость потока, а если они улучшились, это увеличит скорость потока. В случае потери пакета во время передачи, пакет передается повторно [4, 5, 10].

TCP использует метрики, собираемые в процессе работы протокола, чтобы определить дальнейшее взаимодействие. Из полученных метрик вычисляется размер TCP-окна, показывающий количество байт, которые принимающая сторона готова принять в текущий момент без подтверждения [4].

RTT (Round-Trip Time) необходимое время для отправки данных клиенту и обратно, которое включает время задежки на передачу данных и подтверждения получения пакета. У RTT есть отклонение — devRTT (deviation of Round-Trip Time). DevRTT и среднее RTT используются для управления потоком, определения промежутка времени, после которого пакеты будут считаться утерянными [11].

RTT рассчитывается по следующей формуле:

$$RTT_i = t_r - t_0,$$

где t_r — время получения подтверждения пакета, t_0 — время отправки пакета, RTT_i — RTT i -ого пакета.

Среднее значение RTT рассчитывается по следующей формуле:

$$RTT_{average} = \alpha RTT_{average} - \beta RTT_i,$$

где $\alpha = 0,875$ и $\beta = 0,125$.

Отклонение RTT рассчитывается по следующей формуле:

$$DevRTT_i = |RTT_i - RTT_{average}|,$$

Среднее отклонение RTT рассчитывается по формуле:

$$DevRTT_{average} = \alpha DevRTT_{average} - \beta DevRTT_i,$$

где $\alpha = 0,75$ и $\beta = 0,25$.

Timeout рассчитывается по следующей формуле:

$$timeout = RTT_{average} - 4DevRTT_{average},$$

2.2 UDP

UDP — протокол без установления соединения. Поскольку протокол UDP таких проверок не совершает и нет механизма PAR, что обеспечивает более быструю передачу данных, но не предоставляет надежность их передачи.

UDP выполняет три действия:

- идентифицирует процесс отправки и получения, используя номера портов;
- запускает проверку на ошибку в заголовке;
- записывает проверку в заголовке.

Поэтому UDP не восстанавливает потерянные пакеты [4, 5, 10].

Таким образом, UDP применяется для передачи видеопотоков в реальном времени, потеря пакета данных не приведет к задержке видео для восстановления пакета, но при этом качество видео будет ухудшаться в зависимости от того, сколько пакетов было потеряно.

Для передачи видеопотоков используются протоколы транспортного уровня без установления соединения. Так как UDP не может гарантировать качество видео при потере последовательности пакетов, то его используют в сочетании с специальными протоколами, которые преобразуют исходные данные таким образом, что они могут быть переданы в сеть, как непрерывная последовательность, обеспечивается наилучшая потоковую передачу видео, чем TCP. Использование передовых технологий сжатия и буферизации позволяет просматривать потоковый контент с любого места, не дожидаясь его полной загрузки на компьютер пользователя. При этом протоколы формируют полезную нагрузку пакетов, включая необходимые поля и данные [12].

2.3 МРТСП

МРТСП [13] — протокол транспортного уровня, использующий несколько каналов передачи данных, который является набором расширений к протоколу TCP, разработанный IETF в 2013 году.

Протокол использует обратное мультиплексирование, разбивая один МРТСП-поток на несколько TCP-потоков, каждый из которых проходит через отдельный канал передачи данных и имеет отдельный идентификатор. Каждый TCP-поток может использовать разные пути для передачи данных.

На устройстве клиента МРТСП собирает все ТСП–потоки в МРТСП–поток, т.е. в единую последовательность. МРТСП обеспечивает контроль за передачей данных, адаптируясь к пропускной способности Сети. К примеру, если один из путей недоступен или обладает плохим качеством связи, то автоматически переключается на другой путь. Таким образом, МРТСП поддерживает беспроводные сети, где качество соединений может меняться в зависимости от местности и времени [13, 14].

МРТСП может использовать все доступные сетевые интерфейсы для передачи данных одновременно и балансировать нагрузки между интерфейсами, что позволяет достичь увеличение пропускной способности и уменьшение задержки, так как данные могут быть переданы по самому быстрому каналу. Однако, внедрение МРТСП требует поддержки со стороны устройств, настройки и управления соединением.

2.4 RTP

RTP [15] — прикладной протокол сквозной доставки данных в режиме реального времени, включая видео и аудио. RTP позволяет компенсировать негативное влияние задержек на качество видео и аудио, но при этом не гарантирует своевременную доставку пакетов, т.е. не обеспечивает QoS. Также не предоставляет функции исправления ошибок и управления потоком. RTP совместно используется с UDP используя его функции. RTP предусматривает индикацию типа полезной нагрузки и порядкового номера пакета в потоке, а также применение временных меток. Отправитель помечает каждый RTP-пакет временной меткой, получатель извлекает ее и вычисляет суммарную задержку. Разница в задержке разных пакетов позволяет определить джиттер и смягчить его влияние — все пакеты будут выдаваться приложению с одинаковой задержкой [15, 16, 17].

Однако RTP может использоваться с ТСП. Также RTP поддерживает передачу данных нескольким адресатам с использованием многоадресной

рассылки, если это предусмотрено базовой сетью [15].

На рисунке 2.2 представлена схема передачи пакета между клиентом и сервером по протоколу RTP поверх UDP.

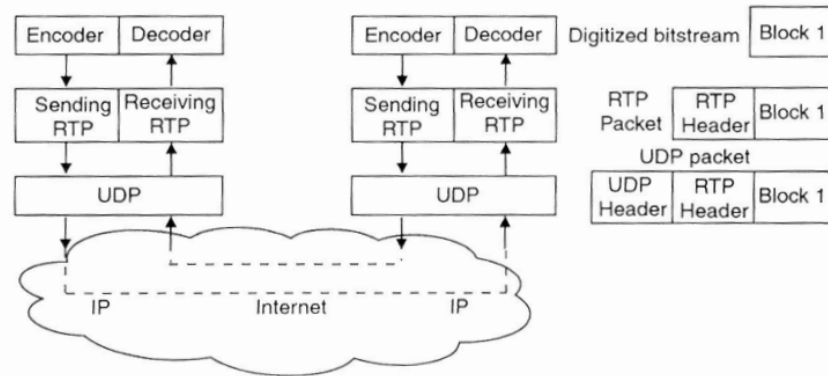


Рисунок 2.2 – Схема передачи пакета между клиентом и сервером по RTP поверх UDP [17]

2.5 RTCP

RTCP [15] — протокол управления, созданный для совместной работы с RTP, он помогает осуществлять синхронизацию видео и звука, обеспечивать QoS, т.е. обратную связь участников сеанса RTP и контроль качества передачи данных. Также RTCP передает сведения о числе переданных и потерянных пакетов, значения джиттера, задержке и т.д. Базовый протокол должен обеспечивать мультиплексирование пакетов данных и управления, в UDP это обычно реализуется с использованием отдельных номеров портов.

Основными функциями RTCP являются:

- мониторинг качества обслуживания и контроль перегрузки;
- идентификация источника RTP;
- оценка размера сеанса и масштабирование.

Пакеты RTCP содержат прямую информацию для мониторинга качества обслуживания. Отчеты отправителя (SR) и отчеты получателя (RR) обмениваются информацией о потерях пакетов, задержке и джиттера. Эта информация может быть использована для реализации механизма управления пото-

ком, подобного TCP. Средство управления сетью может отслеживать загрузку Сети на основе пакетов RTCP без получения фактических данных или обнаруживать неисправные участки Сети [15, 17].

На рисунке 2.3 представлена схема передачи пакета между клиентом и сервером по протоколу RTCP.

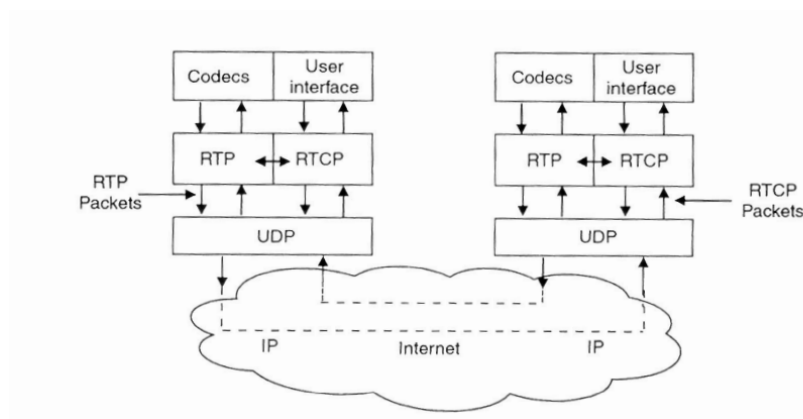


Рисунок 2.3 – Схема передачи пакета между клиентом и сервером по RTCP [17]

2.6 RTSP

RTSP [18] — протокол управления прикладного уровня для инициализации и направления потоковых данных от видеосервера, реализующий возможности «удаленного управления», который был разработан в 1996 году для управления развлекательными и коммуникационными системами видеотрансляций.

RTSP требует двух типов компонентов для успешного выполнения потоковой передачи — клиента и сервера. Сервер обслуживает потоковые данные, а клиент запрашивает их. отдельного сервера для приема запросов от нескольких клиентов и потоковой передачи данных, который поддерживает сеанс RTSP постоянного соединения с клиентами RTSP, помеченный идентификатор, при этом во время соединения сеанс не привязывается к использованию транспортного протокола, поскольку он реализует надежность на прикладном уровне. RTSP не навязывает использования определенного формата медиафайлов. Во время сеанса, клиент RTSP может открывать и закрывать

множество надежных транспортных подключений к серверу для выдачи запросов RTSP. Таким образом, могут передаваться несколькими различными способами [18]:

- постоянные транспортные соединения, используемые для нескольких транзакций запрос–ответ;
- одно подключение на транзакцию запроса–ответа;
- режим без установления соединения.

RTSP управляет потоком, который может быть отправлен по отдельному протоколу, независимому от канала управления. Так RTSP используется TCP для передачи и приема команд управления, в то время как данные передаются по UDP. При этом RTSP использует RTP и RTCP для передачи потоков в реальном времени, что в свою очередь обеспечивает воспроизведение RTSP-потока во время загрузки потока и получение потока продолжается если сервер не получает запросов, что называется сегментация потока передачи данных. Кроме того, в течение всего срока службы один медиапоток может управляться запросами RTSP, выдаваемыми последовательно по разным TCP-соединениям, поэтому сервис поддерживать «состояние сеанса», чтобы сопоставлять запросы с потоком [18].

RTSP не конкретизируется на формате передачи данных, поэтому позволяет клиенту выбрать подходящую комбинацию видеоданных, но поддержка кодеков ограничена, что может ограничивать качество видео. У RTSP передается поток с минимальной задержкой, которая достигается до 2 секунд. Каждый поток идентифицируется по URL-адресу RTSP, который указывает на сервер обрабатывающий этот поток.

Помимо параметров видео, необходимо определять сетевой адрес назначения и порт, что выделяет несколько режимов работы [18]:

- многоадресная рассылка и сервер выбирает адрес;
- многоадресная рассылка и клиент выбирает адрес;
- одноадресная рассылка.

На рисунке 2.4 представлена схема передачи видеопотока между серверами и клиентом по протоколу RTSP.

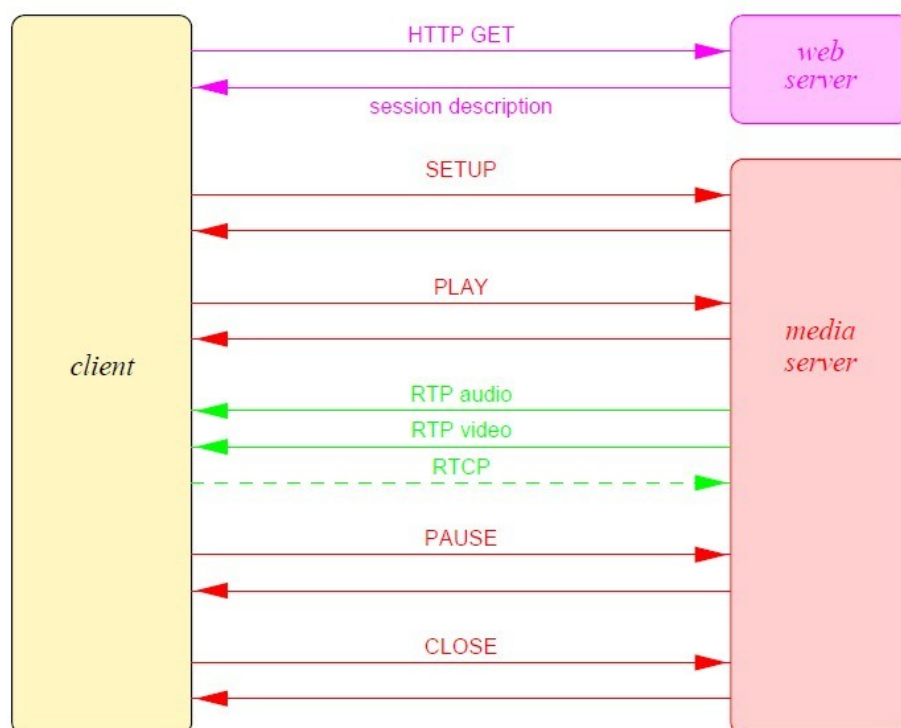


Рисунок 2.4 – Схема передачи видеопотока между серверами и клиентом по протоколу RTSP

Основные методы протокола, который идентифицируется по запросу:

- DESCRIBE — запрос описания содержимого, например, в формате SDP;
- OPTIONS — запрос поддерживаемых методов;
- PLAY — запрос начала вещания содержимого;
- PAUSE — запрос временной остановки вещания;
- RECORD — запрос на записывание содержимого сервером;
- REDIRECT — запрос на перенаправление на другое содержимое;
- SETUP — запрос установки транспортного механизма для содержимого;
- ANNOUNCE — запрос на обновление данных описания содержимого;
- TEARDOWN — запрос на остановку потока и освобождение ресурсов.

По функциональности RTSP совпадает с HTTP и может взаимодействовать с ним, только если первоначально взаимодействие с потоком осуществляется через веб-страницу с помощью специального программного обеспечения. Однако RTSP принципиально отличается от HTTP тем, что доставка данных осуществляется вне диапазона по другому протоколу, но для работы с кэшами, прокси-серверами и аутентификацией используется аналогичный функционал HTTP. Таким образом RTSP несовместим с HTTP. Также RTSP требует большей пропускной способности, что делает его менее подходящим для мобильных устройств [18, 19].

2.7 RTMP

RTMP [20] — проприетарный протокол прикладного уровня, разработанный Adobe в 2009 году, для высокоэффективной потоковой передачи видео в реальном времени через Интернет между Adobe Flash и сервером. RTMP предоставляет двустороннюю многоканальную службу передачи сообщений с использованием надёжного транспортного потока путем использования протокола TCP, используемого для передачи параллельных потоков видео, аудио и текстовых сообщений с второстепенной тактовой информацией между парой общающихся пользователей. Различные классы сообщений получают раз-

ные приоритеты, что влияет на их очерёдность в транспортном потоке, когда пропускная способность ограничена.

RTMP нацелена на обеспечение стабильной и плавной передачи увеличивающихся объемов данных, необходимых для передачи и приема видео в реальном времени, что достигается посредством сегментации потока данных на небольшие одинаковые части (аудио — 64 байта, видео — 128 байтов), их последовательную передачу через постоянное TCP-соединение на принимающее устройство, которое затем снова собирает их в видеопоток. Для трансляции с устройства-источника видеопоток передается сервер кодировщик, данный этап называется «первой милей». Затем сервер обрабатывает поток и передает его дальше для ретрансляции на устройства клиентов, этап называется «последняя миля». С этого момента поток перехватывается поток другой связи (HLS, MPEG-DASH или WebRTC) или Adobe Flash [20].

Таким образом постоянное соединение обеспечивает надежность доставки видеопотока, которое не отключается при нестабильной передаче данных между сервисом и клиентом, что обеспечивает низкую задержку передачи данных до 5 секунд. Благодаря постоянному соединению клиент может подключаться к и отключаться от трансляции, перематывать ее, но оно трудно поддерживается в определенных условиях Сети. У RTMP низкая пропускная способность, что может стать причиной потери пакетов без восстановления, что может ухудшить качество видео. RTMP протокол не поддерживает HTML5-плеерами и не совместим с HTTP. Поскольку он требует аутентификации, RTMP является гораздо более безопасным протоколом потоковой передачи. [20].

3 Сравнение существующих решений

В качестве критерий сравнение протоколов для организации ретрансляции видеопотоков необходимо наличие тех или иных возможностей:

- 1) метод передачи потока;
- 2) проприетарность;
- 3) установка соединения;
- 4) гарантированная доставка;
- 5) упорядоченная передача — данные доставляются в том порядке, в котором были отправлены;
- 6) поддержка нескольких интерфейсов;
- 7) зависимость — протокол реализован таким образом, что работает поверх нижележащих протоколов;
- 8) задержка;
- 9) многопоточность;
- 10) управление и контроль потоком.

В таблицах 3.2–3.1 представлено сравнение рассмотренных протоколов для организации передачи видеопотоков.

Таблица 3.1 – Сравнение рассмотренных протоколов (Часть 1)

Протокол	Номер критерия									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCP	Unicast	Нет	«Тройное рукопожатие»	Механизмы подтверждения, повторной передачи и контроля порядка пакетов	Да	Нет	Нет	от 100 мс.	Нет	TCP-окна
UDP	Unicast	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	от 1 мс.	Нет	Нет
MPTCP	Unicast	Нет	«Тройное рукопожатие»	Да	Да	Да	TCP	30-100 мс.	Да	Использует несколько путей для передачи данных
RTP	Multicast	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	TCP/ UDP	от 10 мс.	Да	Контроль битрейта

Таблица 3.2 – Сравнение рассмотренных протоколов (Часть 2)

Протокол	Номер критерия									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RTCP	Multicast	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	RTP	от 10 мс.	Да	Сбор информации о качестве передачи данных, синхронизация участников и управления параметрами потока данных
RTSP	Multicast	Нет	Постоянное соединение	Функции TCP	Функции TCP	Нет	RTP / TCP / UDP	2 с.	Да	Управление воспроизведением, паузой, перемоткой и другими параметрами потока
RTMP	Unicast	Да	Постоянное соединение	Функции TCP	Функции TCP	Нет	TCP	5 с.	Да	Контроль битрейта и параметров передачи потока

Протокол UDP обладает ограниченным набором действий, на основе которого можно будет реализовать свой протокол для передачи видеопотока. Как было уже сказано TCP в Сети не используется для передачи видеопотоков из-за высокой задержки, хотя присутствуют TCP-окна, что позволяет подстроиться под пропускную способность Сети. Все же TCP и UDP напрямую не используются для передачи видеопотоков, но поверх них реализуются протоколы RTP, RTSP, RTMP.

Протокол RTP предоставляет минимальные набор действия для передачи потоков в реальном времени, потоки на отправку и получения данных. Хотя RTP обладает неупорядоченной доставкой, на получателе восстанавливает порядок данных на основе временных меток, чтобы обеспечить корректное воспроизведение в реальном времени. Протокол RTCP работает вместе с RTP и предназначен для сбора статистики и информации о RTP-потоке, обеспечения QoS, контроль стабильности потока и синхронизации участников сессии. Таким образом благодаря RTCP/RTP обеспечивается передачи видеопотока с адаптацией к Сети, но по сравнению с RTSP и RTMP набор функций намного меньше.

RTSP и RTMP предоставляют набором функций для работы пользователю с видеопотоком и обеспечивает упорядоченную доставку и реализованы поверх с RTP/TCP/UDP, что делает их более гибкими, но RTMP на получателе принимается Adobe плеером.

MPTCP хоть и предоставляет возможность использовать сразу несколько каналов, но имеет избыточных функций, так как основывается на TCP. MPTCP находится в разработке и из проведенного сравнения видно, что данный протокол является надежным и адаптируемым к условиям Сети, что делает его многообещающим в качестве использования, разработке алгоритма или улучшения для передачи видеопотоков. Также данный протокол может использоваться совместно с протоколами RTSP, RTP или RTMP, по той причине, что данные протоколы были реализованы поверх TCP или UDP.

Протоколы RTP/RTCP/RTSP используют multicast и поэтому не подходят к использованию в общедоступной Сети, так требует достаточно специализированной и ручной настройки.

Таким образом на основе сравнения существующих решений, протоколы RTP/RTCP/RTSP рекомендуется использовать для передачи видеопотоков в частных сетях, MPTCP же для передачи видеопотока в общедоступной сети, необходимости надежности получения видеопотока или разработке нового решения на основе данного протокола. RTMP не рекомендуется использовать для передачи видеопотока, так как данный протокол используется совместно с Adobe Flash Player, который уже вытесняется из повседневного использования в сети по причине безопасности браузеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы были изучены:

- проведен анализ предметной области ретрансляции видеопотоков;
- проведен обзор существующих алгоритмов организации ретрансляции видеопотоков;
- сформулированы критерии сравнения алгоритмов организации ретрансляции видеопотоков;
- классифицированы существующие алгоритмы организации ретрансляции видеопотоков.

Была достигнута поставленная цель данной работы. В ходе работы было выяснено, что многие протоколы для организации передачи видеопотока реализованы поверх одного из протоколов транспортного уровня TCP и UDP, или могут использовать их оба — TCP для надежности, а UDP для уменьшения задержки. Для организации передачи данных были рассмотрены протоколы: RTP/RTCP, RTSP, RTMP и MPTCP, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Список использованных источников

1. Mediascope представила данные о медиапотреблении россиян в 2022 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://licensingrussia.ru/article/11208-mediascope-predstavila-dannye-o-mediapotreblenii-rossiian-v-> (Дата обращения: 30.10.2023).
2. Обмен видеоданными посредством Ethernet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/94438/20-22.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Дата обращения: 30.10.2023).
3. Тренды медиапотребления в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adindex.ru/publication/analitics/search/2023/11/20/317349.shtml> (Дата обращения: 30.10.2023).
4. Хант Крэйг. TCP/IP: Сетевое администрирование, 3-е издание. — СПб: Символ-Плюс, 2008. — С. 816.
5. Чепшел Л. Титтел Э. TCP/IP: учебный курс, Пер. с англ. — СПб: БХВ-Петербург, 2003. — С. 976.
6. Streaming media over multicast [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59829/WL_Thesis_Final.pdf?sequence=1 (Дата обращения: 25.12.2023).
7. Unicast vs Multicast vs Broadcast: What's the Difference? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.haivision.com/blog/all/broadcast-unicast-multicast-explained/> (Дата обращения: 25.12.2023).
8. Difference between Unicast Vs Multicast [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.haivision.com/blog/broadcast-video/>

- difference-between-unicast-vs-multicast/ (Дата обращения: 25.12.2023).
9. Tanenbaum. Andrew S. . Компьютерные сети, 4-е издание. — М. : Питер, 2003. — С. 994.
 10. А. Лейкин. Протоколы транспортного уровня UDP, TCP и SCTP: достоинства и недостатки [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/336748145_Protokoly_transportnogo_urovna_UDP_TCP_i_SCTP_dostoinstva_i_nedostatki (Дата обращения: 05.11.2023).
 11. RFC 1889. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt> (Дата обращения: 06.11.2023).
 12. Беднаж В.А. Огурцова А.М. Основы протоколы передачи потокового видео [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vdocuments.mx/-5750a9aa1a28abcf0cd1ffec.html?page=1> (Дата обращения: 05.11.2023).
 13. RFC 6824. TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6824#section-3> (Дата обращения: 04.12.2023).
 14. RFC 8684. TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6824#section-3> (Дата обращения: 04.12.2023).
 15. K. Tommi. Protocol overview: RTP and RTCP [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.127.842&rep=rep1&type=pdf> (Дата обращения: 06.11.2023).

16. Гольдштейн Б. С. Гойхман В. Ю. Столповская Ю. В. Протоколы IP-телефонии: RTP, RTCP : учебное пособие. — СПб: СПбГУТ, 2014. — С. 59.
17. K. Tommi. RTP, RTCP and RTSP — Internet Protocols fro RealTime Multimedia Communication [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cse.wustl.edu/~jain/books/ftp/rtp.pdf> (Дата обращения: 06.11.2023).
18. RFC 2326. Real Time Streaming Protocol (RTSP) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://2rfc.net/2326> (Дата обращения: 13.11.2023).
19. RFC 2069. An Extension to HTTP : Digest Access Authentication [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt> (Дата обращения: 13.11.2023).
20. Adobe RTMP Specification [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rtmp.veriskope.com/docs/сpec/> (Дата обращения: 13.11.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Презентация к данной работе

Презентация содержит 15 слайдов.