

На правах рукописи

ГЕРГЕС МАНСОУР САЛАМА МАНСОУР

Исследование сетевых моделей IPTV

05.12.13- Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2012

Работа выполнена в Санкт-Петербургском университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ) на кафедре систем коммутации и распределения информации.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Гольдштейн Борис Соломонович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Комашинский Владимир Ильич

Кандидат технических наук, доцент
Семенов Юрий Владимирович

Ведущая организация: Научно-Технический Центр «Севентест»

Защита состоится «_____» _____ 2012г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д.219.004.02 при Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича по адресу: 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 61.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «_____» _____ 20 ____г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Харитонов В.Х.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. IP-телевидение (Internet Protocol Television, IPTV) — это предоставление услуг цифрового телевидения и других аудио- и видеослужб по широкополосным сетям передачи данных с использованием основных протоколов, поддерживающих информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет». Через IPTV-сеть можно оказывать прямые и по требованию цифровые телевизионные и видеослужбы путем передачи соответствующих программ на телевизионные приемники или видеотерминалы в стандартном формате, а также в формате с высоким разрешением.

Со времени принятия стандарта IEEE 802.16d/e глобальной совместимости доступа WiMax, применение сети широкополосного беспроводного доступа позволит расширить возможности оказания услуг IPTV с широким привлечением беспроводной мобильной связи. Обеспечение высокой скорости передачи данных на базе технологии WiMax (как мобильных, так и фиксированных пользователей) при просмотре телевизионных программ в режиме реального времени или при предоставлении услуги видео по требованию VoD (Video of Demand) делают весьма перспективным IP-телевидение на базе технологии WiMax. Кроме того, создание IPTV-сетей позволит пользователям не только подписаться, по их выбору, на любой канал, но и получить ряд новых услуг, таких, как услуга VoD, постановка на паузу передач прямого эфира и т.п.

Все это делает исследования, проводимые в диссертационной работе, актуальными.

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является исследование сетевых аспектов IPTV, анализ численных характеристик IPTV-трафика и качества услуг через IPTV-сеть.

Сформулированная цель определила необходимость решения следующих научных задач.

1. Разработка математической модели организации очередей для сети IPTV и ее численный анализ.
2. Анализ использования многоадресной передачи для организации IPTV-услуг и расчет вероятности блокировки в сети IPTV.
3. Оценка влияния нарушения первоначальной очередности пакетов при многолучевом распространении сигнала в IPTV-сети.
4. Расчет заполнения буфера восстановления первоначальной очередности пакетов в разных ситуациях задержек этих пакетов.
5. Разработка схемы передачи услуги VoD через IPTV-сеть WiMax с гибридным механизмом передачи и алгоритма АНТ.

Методы исследования. Для решения этих задач используются методы теории телетрафика, вычислительной математики, имитационного моделирования.

Научная новизна. Научная новизна исследования состоит в создании новых методов для исследования нового объекта в современных телекоммуникациях - IPTV-сетей. Новизна диссертационной работы заключается также в предложенной модели систем с приоритетными дисциплинами обработки услуг IPTV.

Личный вклад. Все основные результаты диссертации получены автором лично.

Практическая ценность работы. Результаты диссертационной работы используются в СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича при чтении лекций по курсу «Современные проблемы науки в области телекоммуникаций» и в Научно-техническом центре «Севентест» при разработке протокол-тестеров и средств сетевого мониторинга качества услуг IPTV. Внедрение результатов диссертационной работы подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и были одобрены на 63-й, 64-й и 65-й научно-технических конференциях студентов, аспирантов СПбГУТ, на 62-й и 63-й научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава СПбГУТ, на Международной конференции «FRUCT8, Lappeenranta, Finland 2010», на Международной конференции «FRUCT9, Petrozavodsk, Russia 2011», на Международной конференции «NEW2AN 2011, СПб, Russia 2011», а также на заседаниях кафедры Систем коммутации и распределения информации СПбГУТ в 2008, 2009, 2010 и 2011 годах.

Публикации. По материалам диссертационной работы в научно-технических журналах и в трудах международных и всероссийских научных конференций опубликовано 12 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы, 3 приложения. Объем пояснительной записки – 142 страниц, иллюстраций – 48, список литературы – 68 названий.

Основные положения, выносимые на защиту:

- формализованная модель блокировки услуг в сетях IPTV;
- формулы для расчета вероятностно-временных характеристик обслуживания IPTV-трафика и факторы, влияющие на переупорядочение пакетов при таком обслуживании;
- математическая модель для исследования распределения вероятностей заполнения буфера переупорядочения в разных сетевых конфигурациях;
- новый алгоритм АНТ, обеспечивающий качественное предоставление мобильной IPTV-услуги через широкополосную беспроводную сеть доступа.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована ее цель и задачи.

В первой главе описаны характеристики IPTV-сетей, обоснована необходимость многоадресного доступа для IPTV-сервиса, описаны технология IPTV, оценки качества IPTV-услуг, различия между IPTV и Internet TV, беспроводные WiMax-технологии для IPTV и функциональная структура IPTV-сетей. Для предоставления IPTV-услуги сеть должна состоять из следующих компонентов: головной станции, телекоммуникационных сетей (опорной или периферийной сети, сети доступа, домашней сети) и абонентских устройств. Это весьма общее описание, так как для многих подсистем IPTV и разных поставщиков услуг требуется создавать уникальную, разной степени сложности архитектуру сети, но для цели и задач исследования данной диссертационной работы является достаточным. Также в главе рассмотрена технология IPTV, обобщены особенности разных способов создания сети, используемой для передачи IPTV-сигналов. Показано, что качество обслуживания (QoS) является очень важным требованием к онлайн-услуге, а для IPTV совсем непросто удовлетворять этому требованию. Так как технология WiMax обеспечивает относительно высокую скорость передачи данных и возможность обслуживания абонентов на больших расстояниях, в диссертации предложено использование этой технологии для IPTV. Доказано, что использование преимуществ этой технологии позволяет при сохранении высокого качества передачи как видео, так и аудиоданных, сделать рентабельными доставку IPTV-услуг и организовать управление ими.

Вторая глава. Исследуется возможность приложения теории телетрафика к IPTV-сетям и приводятся возможные математические модели для расчета вероятности блокировки. Дается анализ поведения очередей с учетом факторов, влияющих на их перераспределение при многоадресной передаче контента через WiMax. Этот анализ использует имитационные методы и аналитические методы расчета распределения вероятностей заполнения буфера. Отмечается, что IPTV – это услуга в режиме реального времени, к которой предъявляются очень строгие требования системой качества обслуживания QoS. В связи с этим в главе рассчитаны вероятности блокировки и другие характеристики IPTV-приложения для модели IPTV класса M/M/k/C и изучено несколько других моделей теории телетрафика для этих же целей. Предложены технологии аналитического и имитационного моделирования, которые позволяют вычислить распределение вероятностей заполнения буфера.

Исследована применимость технологии IPTV при одновременной многолучевой передаче (доступ SMP) и кратко обсужден выбор пути при SMP-передаче. В силу сложности механизмов SMP-передачи, анализ состоит из описания аналитического метода и событийного моделирования. Далее кратко описывается модель поведения предлагаемого механизма распределения данных при SMP-передаче в IPTV-сети. Начинается это

исследование с описания самого механизма распределения данных, а затем подробно описываются аналитическая и имитационная модели поведения пакетов СМР. На рис. 1 представлена эта модель механизма распределения данных СМР-передачи для TV. Поток данных делится на сегменты, каждый из которых, в свою очередь, делится на k еще более малых частей, k частей передаются с помощью группы путей, т.е. одновременно k разными альтернативными сетями. Маршрутизатор приема вновь объединяет эти пути. К сожалению, эти части могут прийти на принимающий маршрутизатор через разные временные интервалы из-за того, что задержки имеют стохастический характер. По этой причине части могут прийти в «неправильном порядке». Так как эти k -части будут передаваться через разные пути, это может быть незаметно. Последовательность k -частей в одном пути не должна быть нарушена, так как пакеты обычно не могут обгонять друг друга. Нарушение последовательности пакетов при многолучевой передаче может оказать серьезное влияние на потребительские свойства СМР.

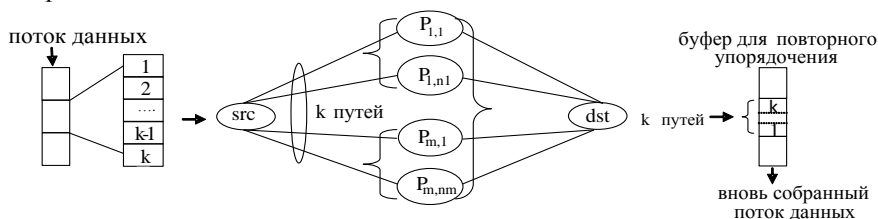


Рис. 1 Модель механизма распределения данных, k –количество пакетов в сегментах; m – количество сегментов; src– преобразование частоты дискретизации; dst–место назначения

Для того чтобы нивелировать асинхронность прибытия пакетов, в принимающем маршрутизаторе предлагается создать ограниченный буфер для упорядочения пакетов. Однако когда буфер уже заполнен, а на принимающий маршрутизатор все еще приходят пакеты, то эти пакеты теряются. Потерю пакетов следует минимизировать, так как потеря пакетов негативно сказывается на качестве QoS услуги IPTV. Таким образом, важно сделать переполнение буфера минимально возможным. Этого можно добиться, в частности, путем выбора путей с подходящими характеристиками задержки. Далее в работе определяются основные необходимые условия распределения задержек, позволяющие гарантировать, что пакеты прибывают к месту назначения в первоначальном порядке. Для дальнейшего изложения введем следующие обозначения: d_i – задержка пакета i , Δ'_i – интервал времени между отправлением пакетов $i-1$ и i , T_i – время передачи пакета i , R_i – время прибытия пакета i в пункт назначения, Δ^r_i – интервал времени между прибытием пакетов $i-1$ и i . Очевидно, что существует только два ограничения для того, чтобы произошла задержка пакета i : 1) $d_i \geq 0$, задержка возможна только при положительном значении d_i , 2) $d_i \geq d_{i-1} - \Delta^r_i$,

что означает, что i не может обогнать пакет $i-1$. Тем не менее, пакеты могут прибыть в пункт назначения одновременно. Поэтому d_i может быть представлена вероятностной функцией $f(d_{i-1}, \Delta_i^t)$, которая удовлетворяет

$$\text{условию: } f(d_{i-1}, \Delta_i^t) \geq \begin{cases} d_{i-1} - \Delta_i^t, & d_{i-1} - \Delta_i^t \geq 0 \\ 0 & d_{i-1} - \Delta_i^t < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Чтобы быть уверенными, что задержка не отличается от нормы, нам потребуется строгое ограничение на $f(d_{i-1}, \Delta_i^t)$. В особом случае, если пакеты передаются с одинаковой скоростью, т.е. каждые k единиц времени, имеем постоянный интервал времени между прибытием смежных пакетов $\Delta_i^t = k \forall i$, и тогда (1) удовлетворяется. Для простоты допустим, что задержка выражается неким целочисленным значением, кратным единице времени. Следовательно, $f(d_{i-1})$ может быть любым целым числом, удовлетворяющим условию:

$$d_i = f(d_{i-1}) \geq \begin{cases} d_{i-1} - k, & d_{i-1} > k \\ 0 & d_{i-1} < k \end{cases} \quad (2)$$

Любая вероятностная функция, соответствующая f по (2), может быть представлена в виде цепи Маркова, как это показано на рис. 2, иллюстрирующем случай при $k=1$, т.е. пакеты отправляются каждую единицу времени. Здесь установлено, что i соответствует i единицам времени, стрелки соответствуют переходам между состояниями с соответствующими вероятностями. Эти вероятности перехода могут быть представлены в виде матрицы вероятностей перехода p , состоящей из элементов $p_{i,j}$. При конечной максимальной задержке d_n матрица вероятностей перехода будет иметь вид:

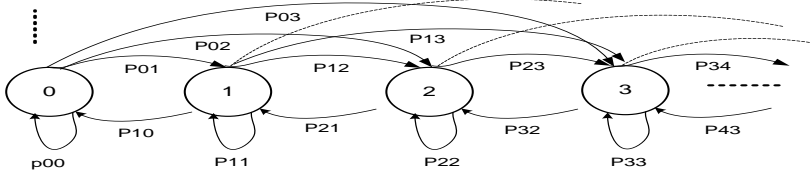


Рис. 2 Представление задержки в виде однородной цепи Маркова при $k=1$

$$P = \begin{pmatrix} p_{0,0} & p_{0,1} & p_{0,2} & \dots & p_{0,n-1} & p_{0,n} \\ p_{1,0} & p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,n-1} & p_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ p_{k,0} & p_{k,1} & p_{k,2} & \dots & p_{k,n-1} & p_{k,n} \\ 0 & p_{k+1,1} & p_{k+1,2} & \dots & p_{k+1,n-1} & p_{k+1,n} \\ 0 & 0 & p_{k+2,2} & \dots & p_{k+2,n-1} & p_{k+2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{n,n-1} & p_{n,n} \end{pmatrix}$$

Матрица p состоит из четырех частей: На главной диагонали расположены вероятности текущего состояния задержки. Выше главной диагонали

расположены вероятности перехода, которые увеличивают длительность текущих состояний задержки. Ниже главной диагонали расположены вероятности перехода, которые иллюстрируют укорочение текущего состояния задержки. Максимальное укорочение состояния задержки зависит от интервала времени между прибытием пакетов $i-1$ и i . Поэтому не все состояния меньше текущего состояния. Это можно выразить равенством $p_{i,j} = 0 \forall i < j - k - 1$. При заданной задержке d мы должны решить задачи в контрольных точках: $d = d.p$ (3)

Так что результирующая матрица вероятностей перехода, а следовательно, и представленная цепь Маркова, является неприводимой и периодичной. Таким образом, доказано, что процесс задержек является рекуррентным. Матрица вероятностей переходов p может быть использована в нашей имитационной модели для того, чтобы доказать, что 1) задержка пакетов соответствует заданному распределению задержек d и 2) при передаче по одному пути очередность пакетов не нарушается. Но прежде чем использовать матрицу p , нужно решить уравнение (3). Алгоритм описывает задачу линейного программирования (ЛП) вычисления матрицы вероятностей перехода. Это можно выразить уравнением (4).

Алгоритм: Определение матрицы переходов

Максимизирующий $f(p) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n p_{i,j}$ (4)

При условии, что $\sum_{i=0}^n p_{i,j} \cdot x_i = x_j \forall j$, (5)

$$\sum_{j=0}^n p_{i,j} = 1, \forall i, \quad (6)$$

$$p_{i,j} = 0, \quad i < j - k - 1; \quad (7)$$

$$0 < p_{i,j} < 1, \quad j - k < i < j; \quad (8)$$

$$c_1 < p_{i,j} < c_2, \quad i = 1 \quad (9)$$

$$0 < p_{i,j} < 1, \quad i > j \quad (10)$$

Ограничения, накладываемые на переменные: уравнение (5) описывает $n+1$ уравнений контрольных точек, которые выведены из уравнения (3). Сумма элементов всех строк и столбцов в матрице p должна удовлетворять нормировочному условию, т.е. сумма всех вероятностей равна 1, что описывается уравнением (6). Уравнения (7) описывают вероятности переходов, расположенных ниже главной диагонали матрицы p .

Для того чтобы подтвердить, что значение следующей задержки не меньше значения текущей задержки минус интервал времени между отправлением пакетов $i-1$ и i из источника, эти вероятности должны быть равны 0. Вероятности между главной диагональю и нулевыми значениями

определяют неравенство (8). Эти вероятности отражают медленное уменьшение задержек без необходимости переупорядочения пакетов. Вероятности на главной диагонали матрицы определяются неравенством (9), то есть задержки остаются постоянными. Увеличение задержек между отправлением двух пакетов иллюстрируется неравенством (10). Определена применимость TV при одновременной многолучевой передаче (СМР) и кратко обсужден вопрос выбора пути при СМР-передаче.

В третьей главе предлагается адаптивная гибридная схема (Adaptive Hybrid Transmission (АНТ)) предоставления мобильных IPTV-услуг по запросу через широкополосную беспроводную сеть доступа WiMax, 802.16e. В предлагаемом алгоритме используется гибридный механизм, который объединяет многоканальную многоадресную и одноканальную схемы передачи, что позволит не только уменьшить вероятность блокировки канала, но и снизить общую нагрузку беспроводной системы, имеющей, как уже говорилось, очень ограниченные ресурсы. Системы услуг видео по запросу VoD могут быть подразделены на систему обеспечения услугой VoD (TVoD), которая основана на одноадресной передаче, и услугой, подобной услуге VoD (NVoD), которая основана на широкополосной (т.е. многоадресной) передаче. Это означает, что в TVoD-системе каждому клиенту выделяется отдельный канал, что позволяет получать запрошенное видео без задержки, как если бы фильм уже находился в видеомагнитофоне клиента. АНТ-схема объединяет TVoD-схему передачи, основанную на одноадресной передаче, и NVoD-схему, основанную на многоадресной передаче. Благодаря адаптивной схеме распределения ресурсов, которая приводит к самой низкой вероятности блокировки сервиса, АНТ-схема более фокусируется на определении, какой контент будет передаваться через NVoD-схему в пределах ограниченного ресурса в зоне мобильной станции WiMax. Предложенный сценарий услуги видео по запросу для IPTV показан на рис. 3.

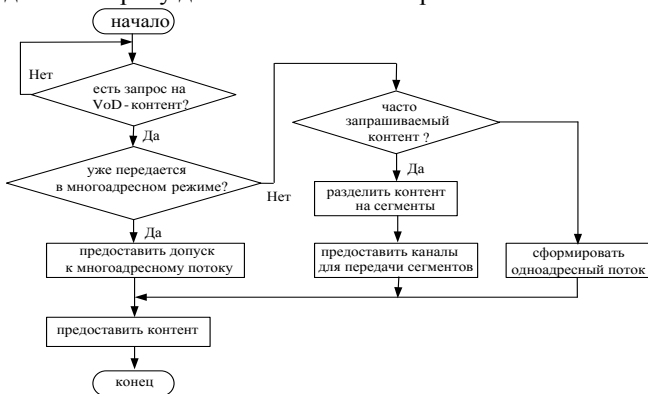


Рис. 3 Предлагаемая процедура обслуживания для IPTV VoD-сервиса

Сценарий услуги видео по запросу для IPTV состоит в следующем.

- 1) Контент видео с его метаданными и данными защиты, которые созданы и контролируются провайдером контента, передаются поставщику услуг.
- 2) Согласно соглашению, поставщик услуг готовит контент для провайдера контента.
- 3) После выбора видео конечным пользователем к поставщику услуг отправляются запрос (ы) и уведомление, что требуемое содержание отправляется (или нет) в многоадресном режиме. Если там уже существуют многоадресный поток для виртуального интерфейса (V), сервер сообщает потребителю групповой адрес многоадресного видеопотока, после чего потребитель может присоединиться к многоадресному потоку передачи.
- 4) Если же многоадресный поток видео передачи еще не создан, поставщик услуг взаимодействует с сетью и с помощью функции управления интенсивностью обновления вновь поступающего видеопотока определяет, является ли этот контент часто запрашиваемым. Если видео не является часто запрашиваемым, оно передается в одноадресном режиме. Если же это часто запрашиваемый контент, контроллер множества базовых станций запускает алгоритм многоканальной передачи контента, а затем, при необходимости, определяет условия отправления контента конечному пользователю.
- 5) После завершения шага 4, поставщик услуг предоставляет информацию доступа к контенту (например, многоканальный адрес передачи контента), а затем конечный пользователь может получить видео.

Полная архитектура мобильной IPTV VoD-сети с множеством базовых станций представлена на рис. 4. WiMax-стандарт определяет два типа MBS-доступа: через одну BS и через группу станций. Группа BS создает зону MBS в WiMAX-сети.

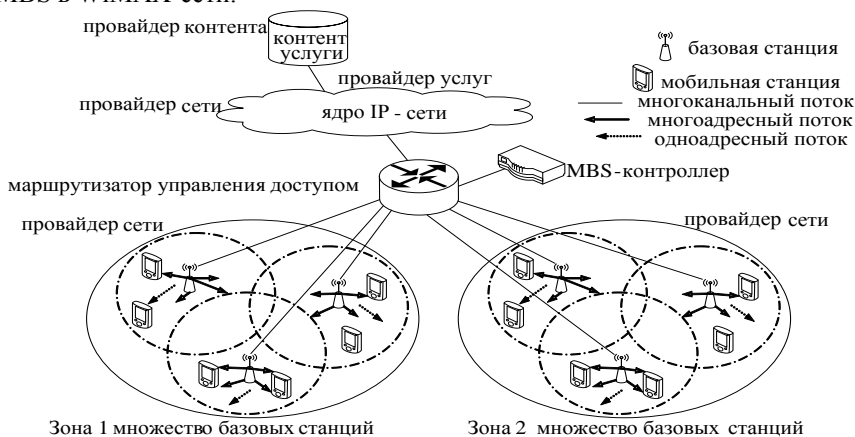


Рис.4 Архитектура сети для мобильных станций с использованием базовых станций

Базовая станция может синхронно передавать многоадресные данные с идентификатором соединения (CID) и ведомством защиты (SA) при передаче данных в той же самой MBS-зоне. Заметим, что когда все станции BS находятся в одной зоне MBS, то у них для одного многоадресного MBS-потока один и тот же многоадресный идентификатор CID (MCID). Чтобы эффективно управлять мобильными VoD-услугами, добавлено одно дополнительное функциональное устройство, а именно, MBS-контроллер, а предложенная АНТ-схема используется здесь для соответствующего контроля системы. Функции каждого объекта в предложенной архитектуре подробно описаны следующим образом: Диспетчер MBS создает и сохраняет информацию о сеансе связи. Он также передает пакеты от разделённого контента (content chopper). Для того чтобы организовать доставку многоадресного VoD-контента через одноадресный канал и при этом не нарушить нормативы времени задержки запуска, контент следует разделить. Предположим, что есть i_{th} кинофильм длиной L_i . При многоканальной многоадресной передаче число каналов n_i , необходимых для передачи i_{th} видео размером L_i , соответствует требованию к времени задержки запуска VoD $sd < 10$ с для следующего уравнения:

$$n_i = \left\lceil \log_2 \left(\frac{L_i}{sd} + 1 \right) \right\rceil \quad \text{где } L_i - \text{длина видео} \quad (11)$$

Это уравнение адаптировано для расчета минимальной задержки запуска. Первоначально оно использовалось при скоростном вещании. После расчета числа каналов разделитель поделит данный контент ровно на N сегментов:

$$N = \sum_{j=0}^{n_i-1} 2^j = 2^{n_i} - 1, \quad \text{где } n_i - \text{номер канала} \quad (12)$$

Это можно увидеть на Рис. 5, где даны несколько примеров числа сеансов, нужных для многоканальной мультиадресной передачи. Для анализа предложенного механизма рассматриваем группу из K видео V_1, \dots, V_k , каждое длиной L со скоростью прибытия $\lambda_1, \dots, \lambda_k$, соответственно, которые передаются через C каналов. Кроме того, принимаем, что при $1 \leq i < j \leq K$, т.е. популярность этих видео увеличивается с индексом так, что V_1 – наименее, а V_k – наиболее популярное видео.

Уровень популярности контента (частоты запроса), вычисленный и присвоенный поставщиком услуг, определяется на основе статистических данных и стратегии обслуживания провайдера. При проведении численного анализа предполагалось, что запросы разных видео поступают в соответствии с *Zipf*-распределением. Основываясь на этом допущении и модели запроса видео, вычисляем по формуле Эрланга вероятность потерь данных при их передаче, установив модель $M/M/C/S$.

$$S = \{x | 0 \leq x \leq C\} \quad (13)$$

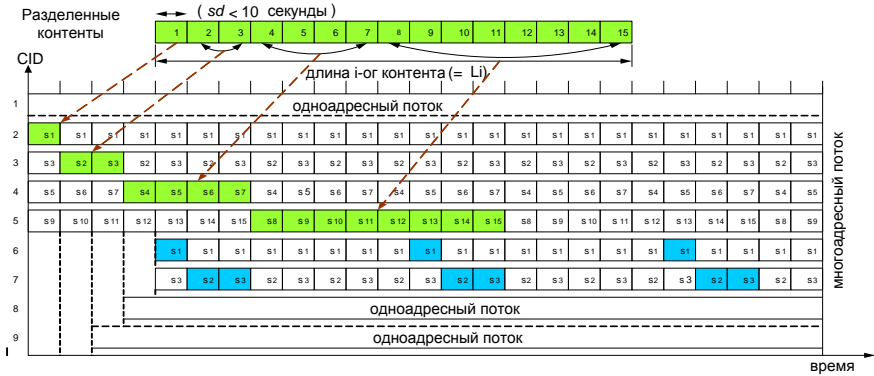


Рис. 5 Распределение контента для многоканальной многоадресной передачи

На рис. 6 представлена диаграмма состояний передачи для предлагаемой схемы. Представим эту формулу для установившегося значения вероятности блокировки. Пусть P_x – вероятность того, что существует одноадресный поток, который можно получить по формуле 14.

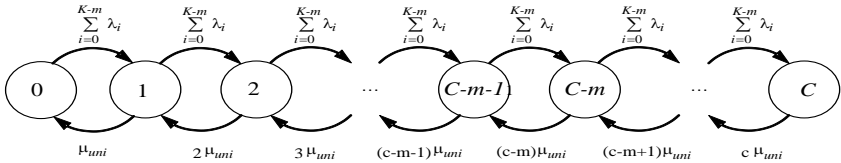


Рис. 6 Диаграмма переходов для предложенного алгоритма

C – пропускная способность системы, λ_i – скорость запроса контента i , m – общее количество многоадресного контента, M – общее число каналов, зарезервированных для многоканальной системы передачи, L_i – длина i -го контента, N – объем памяти сервера, необходимый для одновременного выполнения нескольких сеансов передачи данных, μ_i – скорость обслуживания потока i (= скорости обслуживания контента L_i без возникновения блокировки), μ_{uni} – средняя скорость обслуживания одноадресного потока, P_{uni} – вероятность обслуживания одноадресного видео V_i , μ – индекс обслуживания видео нормального размера в одноадресном потоке, K – общее количество контента, x – среднее число соединений.

$$P_x = \begin{cases} P_0 \prod_{j=0}^{x-1} \frac{\sum_{i=1}^{K-m} \lambda_i}{(j+1)\mu_{uni}} = p_0 \left(\frac{\sum_{i=1}^{K-m} \lambda_i}{\mu_{uni}} \right) \cdot \frac{1}{x!} & \text{для } 0 \leq x \leq c - m, \\ P_0 \left(\frac{\sum_{i=1}^{K-m} \lambda_i}{\mu_{uni}} \right)^x \left(\frac{\sum_{i=m}^K \lambda_i}{\mu_{uni}} \right)^{c-x} \cdot \frac{1}{x!} & \text{для } c - m < x \leq c, \\ 0 & \text{для } c < x. \end{cases} \quad (14)$$

Так как статистическая вероятность не зависит от распределения времени обслуживания, а зависит от среднего значения этого распределения, рассчитаем среднюю интенсивность обслуживания по формуле (15):

$$\mu_{uni} = \sum_{i=1}^{K-m} P_{uni_i} \cdot \mu_i, \quad \text{где } P_{uni_i} = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^K \lambda_j}, \quad \mu_i = \frac{1}{L_i} \quad (15)$$

Для получения уравнения нормализации, применим формулу:

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^C \left(\left(\sum_{i=0}^c \lambda_i \right) / \mu_{uni} \right)^j \frac{1}{j!} \right]^{-1}. \quad (16)$$

Наконец, для расчета вероятности блокировки применим следующую формулу:

$$P_{\text{blocking}} = \frac{\rho^{c-m}}{(c-m)!} / \sum_{i=0}^{c-m} \frac{\rho^i}{i!}, \quad \text{где } \rho = \sum_{i=1}^{k-m} (\lambda_i \cdot P_{uni_i}) / \sum_{i=1}^{k-m} (\mu_i \cdot P_{uni_i}) \quad (17)$$

Так как VoD-система делит контент на две подгруппы – популярное и непопулярное видео, первой из перечисленных подгрупп присваивается M каналов для многоканальной многоадресной передачи, а последней отдаются остающиеся $C-M$ каналов для одноадресной передачи. Формула (18) позволяет вычислить минимальную вероятность блокировки мобильной беспроводной системы и оптимальное распределение ресурсов передачи. Применение этой формулы является попыткой определить оптимальное число каналов, необходимых для передачи видео с рассчитанным выше показателем прибытия при минимизации полосы пропускания.

$$P_{\min}(C, M) = \min_{0 \leq M < C} \left(\left(\rho^{c-m} / (c-m)! \right) / \left(1 / \sum_{i=0}^{c-m} \frac{\rho^i}{i!} \right) \right) \quad (18)$$

Затем принимаем допущение, что при обслуживании IPTV VoD-запроса базовой станции без возникновения блокировки, поставщик услуг получает доход R за оказанные услуги. При блокировке запроса допускаем, что поставщик услуг немедленно теряет доход в размере L . Под распределением ресурсов понимается, например, если в единицу времени система оказывает услуги в среднем N клиентам и отклоняет запросы M клиентов, тогда доход системы составляет:

$$\text{Доход} = \sum N \cdot R - \sum M \cdot L \quad (19)$$

Наконец, определяем полный доход системы по формуле:

$$\text{Доход} = \sum_{i=1}^c i \cdot \mu_i \cdot R \cdot \left(\frac{\rho^i}{i!} / \sum_j \frac{\rho^j}{j!} \right) - L \cdot \lambda \cdot \left(\frac{\rho^c}{c!} / \sum_{j=0}^c \frac{\rho^j}{j!} \right) \quad (20)$$

Четвертая глава. Представлена и описана модель функционирования схемы передачи, а также произведены оценка и анализ показателей, полученных путем моделирования. В этой главе обсуждаются результаты анализа работы IPTV-системы. Работа системы анализировалась на основании моделирования с использованием программы Matlab. Основной целью этой главы является исследование работы IPTV с точки зрения вероятности блокировки IPTV. Представлены соотношения между блокировкой, производительностью и двумя основными транспортными параметрами (интервалом между моментами прибытия запросов $i-1$ и i и временем обслуживания). Основная задача этого исследования – определение вероятности блокировки в разных пунктах и на разных уровнях IPTV-сети. Разумеется, число таких пунктов и уровней ограничено.

Исследуем занятость буфера повторного упорядочения пакетов при разном распределении задержек на трассе. Дальнейшие результаты имеют аналитический характер, так как они получены с помощью абстрактных моделей. Однако они позволяют более глубоко проникнуть в суть рассматриваемого практического вопроса (как выбрать наиболее подходящие тракты передачи). Сначала исследуем поведение системы при аналогичных распределениях задержек на трассе с равными средними значениями и с равными стандартными отклонениями. После этого изучим различные распределения задержек на трассе, то есть распределения задержек с равными средними значениями задержки, но с разными стандартными отклонениями. В последнем разделе исследуем влияние различных параметров задержки на трассе для одного типа распределения и покажем результаты при одновременной передаче по двум и по трем параллельным путям.

Теперь исследуем поведение буфера повторного упорядочения при разных типах распределения задержки. По этой причине для путей рассматриваются три различных распределения задержки: усеченное Гауссово (обозначается *gaus*), равномерное (*uni*) и бимодальное распределение (*bi*). Проводим исследование одновременной передачи по двум путям. Занятость буфера с различными комбинациями распределений задержки изображена на рис. 7; на оси Y располагаются значения вероятности того, что пакеты будут сохранены в буфере повторного упорядочения, характеристики наполняемости которого будут представлены на оси X . Для простоты построен график только *bi*, где *bi* - распределение занятости буфера. Уклон и большая занятость буфера не очень вероятны. Однако для двух бимодальных распределений задержки большая доля масс вероятности заполняет буфер более чем 30 пакетами. Нужно отметить, что максимальное количество пакетов в буфере в исследуемом сценарии $O_{\max} = 50$.

В этой работе исследуются критерии выбора пути. Понятно, что алгоритм выбора должен выбрать те пути, которые обеспечивают самую

короткую задержку. Как правило, это важно, когда заявка на трафик исходит от интерактивного приложения в реальном времени с ограничениями времени обслуживания, например передача IPTV-трафика или VoIP. Считаем, что усеченные распределения задержки подобны распределению Гаусса. Исследуем поведение системы при прохождении пакетов по трем путям.

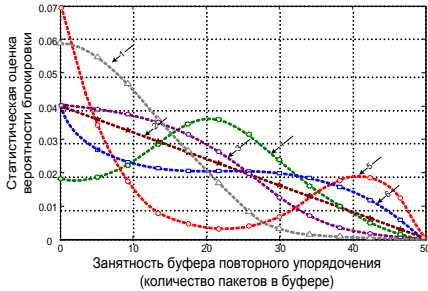


Рис. 7 Занятость буфера повторного упорядочения в случае различных распределений задержки (1–gaus, 2–uni, 3–uni, 4–bi, 5–bi, 6–bi,uni)

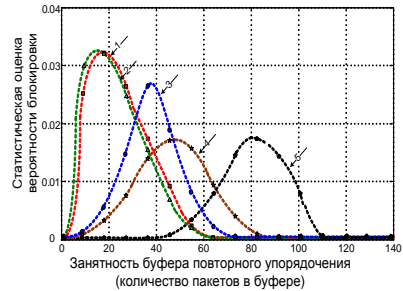


Рис. 8 Занятость буфера при прохождении пакетов данных одновременно по трем путям (1–случай (a), 2–случай (b), 3–случай (c), 4–случай (d), 5–случай (e))

Результаты этого исследования представлены на рис. 8 в виде функции распределения вероятностей для пяти сценариев: а) все пути имеют одинаковые параметры $\mu = 50$, $\sigma = 10$; б) все пути имеют одинаковые параметры: $\mu = 25$, $\sigma = 10$; в) два пути имеют параметры: $\mu = 50$, $\sigma = 10$, а один путь имеет параметры $\mu = 25$, $\sigma = 10$; г) два пути имеют параметры: $\mu = 25$, $\sigma = 10$, а один путь имеет параметры $\mu = 50$, $\sigma = 10$ и е) два пути имеют параметры $\mu = 25$, $\sigma = 5$, а один путь имеет параметры $\mu = 50$, $\sigma = 10$. На рис. 8 видно, что в случаях а) и б) наблюдается похожее распределение занятости буфера. Из этого следует, что задержка сама по себе не оказывает влияния на занятость буфера, что уже было продемонстрировано для соответствующей занятости буфера по двум путям. Для случаев в) и г) примечательно то, что в случае г), с точки зрения занятости буфера, имеет место почти в два раза большее время задержки, чем в случае в). Интуитивно может показаться, что чем больше путей с небольшой задержкой по времени, тем выше будет качество передачи данных, но как можно увидеть на примере случая г), это неверно. Рассмотрим этот случай подробнее. Допустим наличие одиночного пакета с действительно большим временем задержки. К тому времени, когда этот запоздавший пакет придет, буфер повторного упорядочения может быть заполнен пакетами из путей с малым временем задержки. Этот пример показывает, что путь с большой задержкой пакетов является доминирующим среди прочих путей, ибо оказывает наибольшее влияние на занятость буфера. Выбор путей должен выровнять изменение диапазона средних задержек. Недавно полученные

данные для систем передачи речи через IP показывают, что в этом случае пользователь не замечает, проводится ли передача по пути с высоким или низким уровнем задержки. Так что и при трансляции телевидения, возможно, было бы разумнее выбрать путь с более высокой средней задержкой, чтобы разгрузить буфер повторного упорядочения и избежать потери пакетов. Наконец, для случаев d) и e) можно видеть, что в случае e), с точки зрения занятости буфера, система работает хуже, чем в случае d). Здесь стандартное отклонение на более коротких путях меньше, чем в d), и таким образом, большие и малые задержки маловероятны.

Услуга передачи видео по запросу (VoD) на базе IP-сети превращается в передачу все более и более растущего специализированного одноадресного потока. Если VoD сервер обладает достаточной пропускной способностью или интенсивность входного потока запросов обслуживания умеренно низкая, то для сервера эта одноадресная передача является простой и не доставляет проблем. Однако в реальности количество запросов разных видео чрезвычайно неравномерно, и поэтому во время популярных мероприятий или при возникновении событий, вызывающих особый общественный резонанс, часто возникает концентрация запросов одного и того же контента и даже “взрыв” запросов. Такие ситуации становятся критическими для серверов одноадресной передачи, потому что возможности сервера ограничены его конструкцией, и это приводит к высокой вероятности блокировки сервиса. Передача часто запрашиваемого видео посредством мультисессии мультитрассов, а менее популярного видео посредством одноканальной передачи, приводит к уменьшению вероятности блокировки сервиса. Предоставление IPTV-услуги и, особенно, видео по запросу (VoD) (известные спортивные игры, популярные фильмы), в ближайшем будущем будет ведущей технологией. Многоадресная передача будет осуществляться для мобильного IPTV по WiMax-сетям беспроводного доступа в соответствии с QoS. Преимущества широкополосного доступа в сеть Интернет и масштабируемых видеотехнологий позволили Интернет-телевидению протокола IP стать приложением, составляющим серьезную конкуренцию современным провайдерам городских сетей. Предлагаем гибридную схему сети широкополосного доступа для мобильных IPTV-услуг по запросу. Предложенный алгоритм использует гибридный механизм, который комбинирует многоканальную многоадресную и одноканальную схемы и уменьшает не только вероятность блокировки сервиса, но и полное потребление полосы пропускания сетей IPTV. Чтобы оценить IPTV-VoD, сравниваем предложенный алгоритм с традиционной одноадресной и многоадресной схемами передачи. Основываясь на вычислении оптимального количества передаваемого в мультиадресном режиме видео, на рис. 9 представлено сравнение количества сеансов передачи популярного видео в мультиадресном режиме с передачей видео, где норма

прибытия запроса $\lambda = 6 / \text{мин.}$, а длина видео 50 минут. При всех равных условиях, для обслуживания очень популярного видео с помощью многоканальной системы передачи требуется намного меньше сеансов, и это позволяет улучшить эффективность всей системы с точки зрения уменьшения вероятности блокировки VoD-запроса. Для оценки выполнения алгоритма параметрам присвоены следующие значения. Сервер MBS может обслуживать 300 параллельных каналов, и 100 запросов, средняя длина которых 90 минут (5400 секунд). Показатель прибытия запросов λ изменяется от 5/60 до 20/60 и рассчитывается для Zipf-распределения. Чтобы найти лучшее распределение, которое минимизирует вероятность блокировки обслуживания, применён наш адаптивный метод распределения ресурсов. На рис. 10 представлена вероятность блокировки при разных показателях запроса (request rates) и при передаче контента в количестве, изменяющемся от 1 до 25, как и в ранее рассмотренной модели. Анализ результатов показывает, что лучшая передача видео по многоадресным каналам за несколько сеансов характерна для 8 особо популярных видео. Этот результат определяет, сколько контента нужно доставить для оптимальной работы канала передачи. Основываясь на предыдущем распределении контента, сравниваем возможность возникновения блокировки сервиса при старом и предложенном нами механизме передачи контента.



Рис. 9. Сравнение числа сеансов, необходимых для часто запрашиваемого видео непредсказуемой длины (1 – одноадресный, 2 – многоадресный)

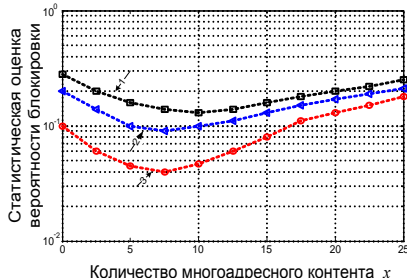


Рис. 10. Распределение контента по нескольким многоадресным каналам (1 – средняя скорость запроса 12/60, 2 – 10/60, 3 – 8/60)

Как можно видеть на рис.11, вероятность блокировки сервиса VoD растет с увеличением абсолютной скорости запросов сервиса. Установлено, что при скорости запросов сервиса $\lambda=3/\text{мин}$, клиенты не замечают задержки в поступлении видео. Однако с увеличением скорости запросов вероятности блокировки становятся различными. В этом случае предложенный нами алгоритм может обеспечить низкую вероятность блокировки. Теперь оценим выгодность каждой схемы с точки зрения поставщика IPTV-услуг.

Рис. 12 показывает результаты, полученные с помощью модели расчета вознаграждения/штрафа поставщика услуг. Предполагалось, что при успешной работе базовой станции за передачу одного VoD IPTV без блокировки, система получает вознаграждение в размере $R (= 10\$)$. В противном случае, если запрос пользователя отклоняется, предполагалось, что поставщик услуг сразу же теряет $L (= 5\$)$.

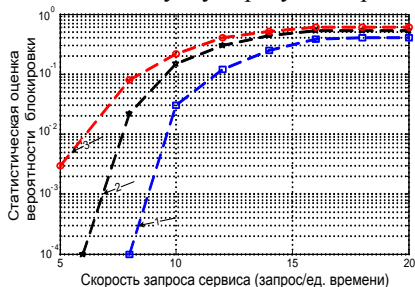


Рис. 11 Вероятность блокировки VoD-сервиса (1– предлагаемый алгоритм, 2 – одноадресный, 3– многоадресный)

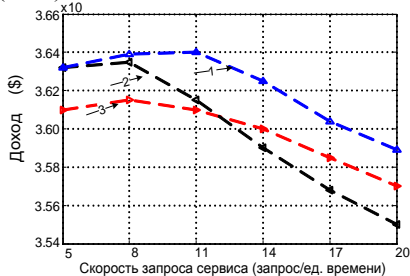


Рис. 12 Доход IPTV-провайдера сервиса (1– предлагаемый алгоритм, 2 – только одноадресный, 3– только многоадресный)

Этот график показывает, что поскольку трафик растет, доход, полученный при использовании каждого из этих алгоритмов, немного уменьшается из-за вероятности блокировки услуги. Как уже говорилось ранее, если контент пользуется большим спросом (например, популярная спортивная игра или фильмы), то предложенный нами алгоритм может обеспечить более высокий доход.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проведенные в диссертационной работе, позволили получить следующие основные результаты.

1. Подробно описаны IPTV-сети и проблемы, возникающие в результате блокировки пакетов данных из-за особенностей архитектуры IPTV.
2. Определены проблемы применения технологии IPTV при одновременной многолучевой передаче (доступе SMP) и обсуждены вопросы выбора пути при SMP-передаче.
3. Разработаны варианты распределения вероятности заполнения буфера повторного упорядочения задержек в разных путях.
4. Исследовано поведение буфера повторного упорядочения пакетов данных при разных типах распределения задержки, - усеченном Гауссовом, равномерном и бимодальном распределениях, - с целью оценки поведения системы в разных условиях обслуживания.
5. Разработан АНТ-алгоритм, с помощью которого можно эффективно оказывать мобильную IPTV-услугу через широкополосную сеть беспроводного доступа.

6. Предложена АНТ-модель механизмов передачи, комбинирующая многоканальную многоадресную передачу и одноадресную схему для того, чтобы не только уменьшить вероятность блокировки услуг, но и снизить общее потребление полосы пропускания беспроводной системы.
7. Предложена модель определения размера прибыли/штрафа поставщика IPTV-услуг.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

1. М.С. Гергес, Варианты применения теории массового обслуживания в сетях IPTV, 62-я НТК: Тез. Докл. СПбГУТ. СПб, 2010г, С. 36-37.
2. B.S. Goldstein, M.S. Gerges, Performance evaluation of packet-reordering on concurrent multipath transmission for IPTV, 8th FRUCT Conference, Lappeenranta, Finland 9-12, November 2010.
3. М.С. Гергес, Оценка производительности алгоритма поддержки очередности пакетов в сети IPTV, Проблемы информатики. 2011г. № 1. С. 27-32.
4. А.А. Бородинский, А.Б. Гольдштейн, М.С. Гергес, Особенности построения системы эксплуатационного управления услугами IPTV, 63-я НТК: Тез. Докл. СПбГУТ. СПб, 2011г, С. 199-200.
5. М.С. Гергес, Оценка производительности алгоритма поддержки очередности пакетов в сети IPTV, 63-я НТК: Тез. Докл. СПбГУТ. СПб, 2011г, С. 211-215.
6. М.С. Гергес, Улучшение схемы передачи IPTV-VoD в широкополосных сетях, 63-я НТК: Тез. Докл. СПбГУТ. СПб, Февраль 2011г, С. 186-187.
7. M.S. Gerges, Improving IPTV on-demand Transmission Scheme for Broadband Network, 9th FRUCT Conference, Petrozavodsk, Russia, 2011.
8. Б.С. Гольдштейн, М.С. Гергес, Об одном подходе к организации IPTV-услуги «Видео по запросу» с применением гибридного механизма, Техника Связи № 1, 2011, С. 16-21.
9. М.С. Гергес, Улучшение качества передачи IPTV-услуги видео по запросу через широкополосную сеть доступа, Проблемы информатики. 2011г. №3. С. 79-88.
10. B.S. Goldstein, M.S. Gerges, Improving IPTV on-demand Transmission Scheme over WiMax, NEW2AN conf., St. Petersburg, Russia, August 2011, S.Balandin et al. (Eds.): NEW2AN/ruSMART, IEEE, 2011, LNCS 6869, pp. 541–549.
11. М.С. Гергес, Оценка показателей выполнения повторного упорядочивания пакетов в сети IPTV, Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. № 4, 2011, С. 37-41.
12. М.С. Гергес, Схема передачи данных услуги Интернет-телевидения "Видео по запросу" с применением гибридного механизма, Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. № 1, 2012.

Подписано к печати 24.11.2011.

Тираж 80 экз. Объем 1 печ. л. Заказ №

Тип. СПбГУТ, 191186 СПб, наб. р. Мойки, 61