Некоммерческое акционерное общество

Алматинский университет энергетики и связи

Кафедра телекоммуникационных систем

Специальность МРС

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

IP-телефония и видеосвязь

тема:

Расчет трафика сжатых пакетов

Выполнил: Ангальд Л.В

Группа МРС-07-02

Руководитель: Сейсенова Д.О.

Алматы 2011

**Содержание**

Введение

Задача 1

1.1 Провести расчёт производительности узла доступа с учётом структуры нагрузки поступающей от абонентов, пользующихся различными видами услуг

1.2 Факторы, влияющие на качество речи и выбор кодека

1.3 Расчёт числа пакетов от первой группы (телефония)

1.4 Расчёт числа пакетов от второй группы (телефония и интернет)

1.5 Расчёт числа пакетов от третьей группы абонентов (triple play)

1.6 Требования к производительности мультисервисного узла доступа

Задача 2

Требования к полосе пропускания, гарантии качества обслуживания

Задача 3

Составить математическую модель эффекта туннелирования в MPLS, которая представляет собой сеть массового обслуживания с последовательными очередями.

Заключение

Список литературы

**Введение**

Работа устройств в сети Интернет осуществляется с использованием специального протокола IP (Internet Protocol - протокол межсетевого взаимодействия). В настоящее время IP протокол используется не только в сети Интернет, но и в других сетях передачи данных с пакетной коммутацией (локальных, корпоративных, региональных). И во всех этих сетях, имеется возможность передавать речевые сообщения с использованием пакетов данных. Такой способ передачи речи получил название IP-телефония.

В широком смысле основная задача IP-телефонии заключается в обеспечении естественного речевого или видео общения как минимум двух лиц, являющихся абонентами различных коммуникационных сетей, посредством сети связи с коммутацией пакетов. IP-телефония позволяет существенно экономить требуемую полосу пропускания каналов, что неизбежно ведёт к снижению тарифов, особенно на междугородние и международные телефонные разговоры.

**Задача 1**

1.1 Провести расчёт производительности узла доступа с учётом структуры нагрузки поступающей от абонентов, пользующихся различными видами услуг

Исходные данные:

|  |  |
| --- | --- |
| Группа абонентов |  |
| 1, π1 в% | 60 |
| 2, π2 в% | 35 |
| 3, π3 в% | 5 |

|  |  |
| --- | --- |
| Вызовов в час fi | 4 |
| Средняя длительность разговора 4 минут | 2 |
| Объем переданных данных в наибольшей нагрузки V2, байт/с | 20 |
| Объем переданных данных в наибольшей нагрузки V3, байт/с | 85 |
| Время просмотра видео в час наибольшей нагрузки Тв, минут | 45 |
| Мультисервисный узел доступа обслуживает N, абонентов | 3200 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Кодек | Скорость передачи, кбит/с | Длительность датаграммы, мс | Задержка пакетизации,  мс | Полоса пропускания для двух направленного соединения. кГц | Задержка в джиттер-буфере | Теоретическая максимальная оценка MOS |
| G.711a | 64 | 20 | 1 | 174,4 | 2 дата-граммы, 40 мс | 4,4 |
| G.729 | 8 | 20 | 25 | 62,4 | 2 дата-граммы, 40 мс | 4,07 |

Расчет производительности узла доступа проводят с учетом всех абонентов, пользующихся услугами. Три группы клиентов:

* пользователи телефонии, π1
* пользователи телефонии и передачи данных, π2;
* пользователи телефонии, передачи данных и видео, π3

Каждая группа абонентов совершает в среднем fi вызовов в час средней длительностью ti минут. Для второй и третьей группы, необходимо задать объем переданных данных в час наибольшей нагрузки, величина обозначается Vj, Мбайт/с. Третья группа будет характеризоваться еще временем просмотра видео в час наибольшей нагрузки Тв минут, мультисервисный узел доступа обслуживает N абонентов.

1.2 Факторы влияющие на качество речи и выбор кодека

Первостепенными факторами, определяющими качество голоса являются выбор аудиокодека, время задержки, джиттер и потери пакетов.

Аудиокодеки - важнейший элемент терминалов Н.323. Они позволяют уменьшить необходимую ширину голосового канала при сохранении требуемого качества речи. Различных схем сжатия достаточно много, но большинство устройств Н.323 используют кодеки, стандартизированные ITU. пользовательские приложения (например, NetMeeting) могут поддерживать необходимые кодеки, выбирая тот или иной посредством протокола Н.245.

Скорость оцифровки - определенная битовая скорость, до которой кодек сжимает голосовой канал 64 Кбит/с. Для большинство кодеков она составляют 6,4 и даже 5,3 Кбит/с. Однако следует иметь в виду, что это только скорость сжатия речи. При передаче пакетированного голоса по сети расчет потерь протоколов (например, RTP/UDP/IP/Ethernet) скорость, вплоть до скорости передачи данных.

Задержка имеет фиксированную и переменную составляющие. Фиксированная задержка определяется расстоянием, тогда как переменная зависит от меняющихся сетевых условий. Общая задержка складывается из различных компонентов. Рассмотрим наиболее значимые из них:

* Сетевая задержка вносится узловыми элементами сети VoIP. Для ее минимизации необходимо сократить число узлов сети на пути пакетов между абонентами. Некоторые провайдеры способны обеспечить задержки на своих сетях, не превышающие определенный уровень. Кроме того, для уменьшения сетевой задержки речевому трафику задают высший приоритет по отношению к нечувствительному к задержкам потоку данных.
* Задержка кодека вносится каждым алгоритмом сжатия. Например, G.723 добавляет фиксированную задержку в 30 мс. У других кодеков встроенная задержка может быть меньше, но при этом возможно снижение качества речи или увеличение требуемой полосы пропускания.
* Буфер компенсации джиттера также вносит свою задержку. Джиттером называют отклонения от средней задержки следования пакетов. Задержка может быть различной для каждого пакета, в результате чего, отправленные через равный интервал, они прибывают неравномерно, а то и не в исходной последовательности. Так как алгоритм декомпрессии требует фиксированного интервала между поступлением пакетов, в шлюзе необходим буфер компенсации джиттера. Он задерживает поступающие пакеты, чтобы передавать их устройству декомпрессии с заданным интервалом. Кроме того, он также фиксирует любые ошибки, контролируя номер последовательности в полях сообщений протокола RTP. Однако буфер компенсации зачастую вносит весьма значимую задержку. Его размер задают таким, чтобы буферизовать целое количество пакетов с учетом ожидаемого значения джиттера. Как правило, для каждого направления задержка буфера составляет 80 мс.

Выбор размера пакета также влияет на качество речи. Пакеты большого размера значительно уменьшают необходимую ширину полосы пропускания, но добавляют задержку пакетирования, так как передатчик тратит больше времени, чтобы заполнить пакет. "Накладные расходы" при пакетной передаче VoIP достаточно высоки. Рассмотрим сценарий, где голос сжимается до 8 Кбит/с, а пакеты посылаются каждые 20 мс. Таким образом, размер речевой информации в каждом пакете - 20 байт. Однако чтобы передать эти пакеты по RTP, к ним нужно добавить: заголовок Ethernet - 14 байт, заголовок IP - 20 байт, заголовок UDP - 8 байт и дополнительные 12 байт для RTP. В общей сложности 54 лишних байта, чтобы передать 20 байт голоса.

Основными механизмами обеспечения QoS (Quality of Service) являются: пакетная передача данных. NGN как сеть с коммутацией пакетов отвечает модели системы с ожиданием (ТфОП соответствует модели системы с потерей вызовов). Заявка, поступившая в момент занятости всех каналов, не покинет систему, а будет поставлена в очередь. Пакетизированный голос расходует полосу пропускания гораздо экономнее - при молчании абонентов информация не передается. Наличие «временного запаса». Временной запас (Тз) - это разница между критическим временем доставки информации к абоненту и реальным временем прохождения пакетов через сеть.

Временной запас Тз, который в традиционных сетях связи пренебрегается, в NGN оперативно предоставляется другим приложениям, что в целом благотворно сказывается на параметрах QoS /13/.

1.3 Расчёт числа пакетов от первой группы (телефония)

Рассчитаем число пакетов создаваемых пользователями телефонии, использующие выбранные ранее кодеки.

Рассчитаем параметры сети для двух кодеков соответственно варианту. При этом в секунду передаётся

, (кадров в секунду) (1.1)



Для G.711а

кадр/с (т.е. без сжатия)



G.729

кадр/с (т.е. со сжатием)



Размер пакетизированных данных

hj = Vj ·TPDU (1.2)

где Vj, - скорость кодирования, байт/с;

Т PDU -длительность одной речевой выборки (длительность пакета).

Рассчитаем Vj - скорость кодирования, байт/с; hj - размер пакетизированных данных для двух выбранных согласно варианту кодеков (индекс j соответствует 1-первый кодек без сжатия, 2- второй кодек со сжатием).

При использовании кодека скорость кодирования

Vj = RGJ/8 , (байт/с) (1.3)

Для G.711а

байт/с (т.е. без сжатия)



G.729

байт/с (т.е. со сжатием)



Следовательно, h1 = 8000 ·20·10-3=160 байт (т.е. без сжатия)

h2 = 1000 ·20·10-3=20 байт (т.е. со сжатием)

Для определения размера пакета необходимо учесть заголовки:

* IP - 20 байт;
* UDP - 8 байт;
* RTP - 12 байт.

Суммарный размер пакета для кодека без сжатия

рΣП = ро+ Шз + ГВЗ+ КЕЗб байт (1ю4)

hΣG1 = 160 + 20 + 8+ 12=200 байт (т.е. без сжатия)

hΣG2 = 20 + 20 + 8+ 12=60 байт (т.е. со сжатия)

Для определения числа пакетов, генерируемых первой группой абонентов, необходимо учесть их долю в общей структуре пользователей, количество вызовов в час наибольшей нагрузки, среднюю длительность разговора.

Т1о = тдо∙ео∙а1∙π1∙Т (1ю5)

где N1j, - число пакетов, генерируемое первой группой пользователей в час наибольшей нагрузки;

n1j- число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом;

t1 - средняя длительность разговора в секундах для первой группы

абонентов;

f1 - число вызовов в час наибольшей нагрузки для первой группы

абонентов;

π1 - доля пользователей группы 1 в общей структуре абонентов;

N - общее число пользователей.

N11 = 50∙120∙4∙0,6∙3200=4,608·107 (т.е. без сжатия)

N12 = 50∙120∙4∙0,6∙3200=4,608·107 (т.е. со сжатием)

1.4 Расчёт числа пакетов от второй группы (телефония и интернет)

Рассуждения, приведённые для первой группы абонентов, в полной мере можно применить и ко второй группе для расчёта числа пакетов, возникающих в результате пользования голосовыми сервисами. Разница будет лишь в индексах.

N2\_Tj = n2j∙t2∙f2∙π2∙N(1.6)

где N2\_Tj - число пакетов, генерируемое второй группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании голосовых сервисов;

n2j - число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом;

t2 - средняя длительность разговора в секундах для второй группы абонентов;

f2 - число вызовов в час наибольшей нагрузки для второй группы абонентов;

π2 - доля пользователей группы 2 в общей структуре абонентов;

N - общее число пользователей.

N2\_T1 = 50∙120∙4∙0,35∙3200=2,688·107 (т.е. без сжатия)

N2\_T2 = 50∙120∙4∙0,35∙3200=2,688·107 (т.е. со сжатием)

Для расчета числа пакетов, генерируемых второй группой пользователей при использовании сервисов передачи данных, необходимо задаться размером пакетов. При построении сети NGN, как правило, на одном или нескольких участках сети на уровне звена данных используется та или иная разновидность технологии Ethernet, поэтому использовать пакеты, превышающие максимальную длину поля данных Ethernet, не имеет смысла. Использование пакетов большого размера затрудняет обеспечение качества обслуживания и на магистральной сети, и в сети доступа.

Для расчёта числа пакетов в час наибольшей нагрузки необходимо задаться объёмом переданных данных. Предположим, что абоненты второй группы относятся к интернет-серверам, т.е. в основном просматривают вебстраницы. Средний объём данных, переданных за час при таком способе подключения, составит около V2.

Число пакетов, переданных в ЧНН, будет равно:

N2\_j = π2 N V2j/h2j (1.7)

где N2\_j - количество пакетов, генерируемых в час наибольшей нагрузки абонентами второй группы при использовании сервисов передачи данных;

π2 - доля пользователей группы 2 в общей структуре абонентов;

h2j- размер поля данных пакета;

N - общее число пользователей.

N2\_1 = 0,35∙3200∙20/160=140 (т.е. без сжатия)

N2\_2 = 0,35∙3200∙20/20=1120 (т.е. со сжатием)

Суммарное число пакетов, генерируемых второй группой пользователей в ceть в час наибольшей нагрузке, будет равно

N2J=N2\_Tj + N2\_j (1.8)

N21=2,688·107+ 140 =2,6880140·107 (т.е. без сжатия)

N22=2,688·107 + 1120 =2,6881120·107 (т.е. со сжатием)

1.5 Расчёт числа пакетов от третьей группы абонентов (triple play)

Все рассуждения, проведённые относительно первых двух групп, остаются в силе и для третьей группы, применительно к сервисам передачи голоса, а именно:

Т3\_Ео =т3о е3\_Е а3 π3∙Т (1ю9)

где N3\_T - число пакетов, генерируемое третьей группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании голосовых сервисов;

n1j - число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом;

t3 - средняя длительность разговора в секундах;

f3 - число вызовов в час наибольшей нагрузки;

π3 - доля пользователей группы 3 в общей структуре абонентов;

N - общее число пользователей.

N3\_T1 =50∙120∙4∙0,05∙3200=3,84∙106 (т.е. без сжатия)

N3\_T2 =50∙120∙4∙0,05∙3200=3,84∙106 (т.е. со сжатием)

Предположим, что абоненты третьей группы относятся к «активным» пользователям интернета, т.е., используют не только http, но и ftp, а также прибегают к услугам пиринговых сетей. Объём переданных и принятых данных при таком использовании интернета составляет до V3. Число пакетов, переданных в ЧНН, будет равно

N3\_j = π3∙N∙V3/hj (1.10)

N3\_j = 0,05∙3200∙85/160=85 (т.е. без сжатия)

N3\_j = 0,05∙3200∙85/20=680 (т.е. со сжатием)

Одной из наиболее перспективных и динамически развивающихся услуг является IPTV - передача каналов телевещания с помощью протокола IP. При организации данного сервиса для каждого пользователя в транзитной сети доступа не требуется выделения индивидуальной полосы пропускания. До мультисервисного узла доходит определённое количество каналов, которые распределяются между заказчиками услуги, причём существует возможность организации широковещательной рассылки.

Например, при скорости передачи v и размере полезной нагрузки пакета h, число пакетов, возникающих при трансляции одного канала, равно:

n3j = v/hj (1.11)

n31 = 8000/160=50 (т.е. без сжатия)

n32 =1000/20= 50 (т.е. со сжатием)

Количество пакетов, передаваемых по каналами в ЧНН, составит

N3i\_Bj= π3∙N∙n3i∙t3B\_ (1.12)

где N3i\_b - число пакетов, генерируемое третьей группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании видео-сервисов сервисов;

n3i - число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом при использовании просмотре видео, сжатого по стандарту MPEG2;

t3B - среднее время просмотра каналов в ЧНН, сек;

π3- доля пользователей группы 3 в общей структуре абонентов;

N - общее число пользователей.

N31\_B1=0,05∙3200∙50∙45∙60=2,16∙107 (т.е. без сжатия)

N32\_B2=0,05∙3200∙50∙45∙60=2,16∙107 (т.е. со сжатием)

Суммарное число пакетов, генерируемых третьей группой пользователей и сеть в час наибольшей нагрузке, будет равно

N3j = N3 J\_T+N3j+N3j\_b (1.13)

N31=3,84∙106+85+2,16∙107 =2,5440085∙107 (т.е. без сжатия)

N32=3,84∙106+680+2,16∙107 = 2,544068∙107 (т.е. со сжатием)

1.6 Требования к производительности мультисервисного узла доступа

Мультисервисный узел доступа должен обслуживать трафик от всех трёх групп пользователей. Кроме того, именно узел доступа должен обеспечить поддержку качества обслуживания путем приоритезации трафика, которая должна осуществляться независимо от используемой технологии транспортной сети доступа.

Суммарное число пакетов, которое должен обработать мультисервисный узел доступа, будет равно:

hΣG1= N1j+ N2j+ N3j= n1j t∙f π1∙N+(n1j t2 f2 π2∙N+ π2∙N V2/hj)+

+( n3j t3 f3 π3∙N+ π3∙N V3/hj+ π3∙N n3j t3\_B) (1.14)

Учитывая, что:

t1=t2 = t3 = t - средняя длительность разговора в секундах;

f3 = f2= f1= f - число вызовов в ЧНН;

получим

hΣG1= N∙(n1j t f (π1+ π2+ π3)∙N V2/hj)+N/hj (π2∙V2 +π3∙V3)+ π3∙N n3j t3\_B)

Учитывая, что π1+ π2+ π3=1, получим

рΣо=Т•(т1о • е • а + (π2∙М2 +π3∙М3).ро) + π3 Т • т3о • е3\_И

hΣG1= N11+ N21+ N31= 9,84·107 байт (т.е. без сжатия)

hΣG2= N12+ N22+ N32= 9,84·107 байт (т.е. со сжатием)

Среднее число пакетов в секунду рассчитывается для двух выбранных кодеков и равно

NΣ\_секj= NΣj/3600, (1.17)

hΣ\_сек1= hΣ1/3600=2,733∙104 байт

hΣ\_сек2= hΣ2/3600=2,733∙104байт

Данные показатели позволяют оценить требования к производительности и маршрутизатора, агрегирующего трафик мультисервисной сети доступа NGN.

Анализируется как и какие группы сети больше всего загружают систему для рассчитываемых длин пакетов.

Таблица 1.1

Количество передаваемых пакетов в сек для трех групп пользователей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | количество передаваемых пакетов в сек | |
|  | G.711 а | G.729 |
| 1 группа (π1),% | 4,608·107 | 4,608·107 |
| 2 группа (π2) ,% | 2,6880140·107 | 2,6881120·107 |
| 3 группа (π3) ,% | 2,5440085∙107 | 2,544068∙107 |



Рисунок 1.2 - Пример доли передаваемых пакетов тремя группами

Из графика видно, что наибольший передаваемый трафик идет на первую группу при кодеке G.711а и G.729, которая составляет 60% от общего числа пользователей. Пользователи обычной телефонии, при ее преобладающем количестве, загружают систему больше всех.

**Задача 2**

Требования к полосе пропускания определяются гарантиями качества обслуживания, предоставляемыми оператором пользователю. Параметры QoS описаны в рекомендации ITU Y. 1541. В частности, задержка распространения из конца в конец при передаче речи не должна превышать 100 мс, а вероятность превышения задержки порога в 50 мс не должна превосходить 0,001, т.е.

tp <100, мс

p{tp>50Mc} < 0.001

Задержка из конца в конец складывается из следующих составляющих:

tp = tgfrtn + tfl + tcore + t,ea(2/1)

где tp - время передачи пакета из конца в конец;

tпакет - время пакетизации (зависит от типа трафика и кодека);

tад - время задержки при транспортировке в сети доступа;

tсore - время задержки при распространении в транзитной сети;

tбуф - время задержки в приёмном буфере.

Применение низкоскоростных кодеков «съедает» основную часть бюджета задержки. Задержка в приёмном буфере также велика, поэтому на сеть доступа и транспортная сеть должны обеспечивать минимальную задержку.

Допустим, что задержка сети доступа не должна превышать 5 мс. Время обработки заголовка IP-пакета близко к постоянному. Распределение интервалов между поступлениями пакетов соответствует экспоненциальному закону. Поэтому для описания процесса, происходящего на агрегирующем маршрутизаторе, можно воспользоваться моделью M/G/1.

Для данной модели известна формула, определяющая среднее время вызова в системе (формула Полячека- Хинчина) /19/.

**(**2.2)



где τj , - средняя длительность обслуживания одного пакета;

- квадрат коэффициента вариации,



λj, - параметр потока, из первой задачи NΣ\_секj ;

tа∂- среднее время задержки пакета в сети доступа, t = 0,005 с.

Ненулевой коэффициент вариации учитывает возможные отклонения при использовании в заголовках IP полей ToS. Кроме того, время обработки IP-пакета в значительной мере зависит от используемых на маршрутизаторе правил обработки.

Из формулы (2.2) следует зависимость максимальной величины для средней длительности обслуживания одного пакета от среднего времени задержки в сети доступа.

(2.3)



Построим данные зависимости при помощи прикладной программы MathCad.



Рисунок 3- Зависимость максимальной величины для средней длительности обслуживания одного пакета от среднего времени задержки в сети доступа для кодека G.711

Интенсивность обслуживания связана со средним временем задержки пакета в сети доступа обратно пропорционально:

(2.4)



Для G.711а



Для G.729



Время должно выбираться как минимальное из двух возможных значений. Первое значение - величина, полученная из последней формулы. Второе значение - та величина, которая определяется из условия ограничения загрузки системы - р. Обычно эта величина не должна превышать 0,5.

При среднем значении задержки в сети доступа 5 мс коэффициент использования равен:

ρj=λj∙τj(0.005) (2.5)

ρ1=



ρ2=



При таком высоком использовании малейшие флуктуации параметров могут привести к нестабильной работе системы. Определим параметры-системы при её использовании на 50%. Средняя длительность обслуживания будет равна

(2.6)



Определим интенсивность обслуживания при этом

(2.7)



Задержка и сети доступа рассчитывается по формуле:



Рассчитывать вероятность при известных λ и τ нецелесообразно, т.к. в Y.1541 вероятность P{t>50Mc} < 0.001 определена для передачи из конца в конец.



При известном среднем размере пакета h, определяем требуемую полосу пропускания

φj = βj∙hj (бит/с) (2.8)



Сравним полученные результаты



Рисунок 2 – Полоса пропускания

Из графика видно, что для передачи одной и той же информации, то есть одного объема при использовании услуги Triple Play, необходима различная полоса пропускания, в нашем случае при использовании кодека G.711 а с длиной пакета 160 байт необходима большая полоса пропускания, чем при использовании кодека G.729 с длиной пакета 20 байт.

Предположим, что в структурном составе абонентов отсутствуют группы пользователей использующие видео. При этом в вышеприведённом анализе следует опустить расчёт числа пакетов, возникающих при использовании сервисов высокоскоростной передачи данных и видеоуслуг.

Число генерирующих пакетов, возникающих в ЧНН, будет равно

N1 = Ntel + Nint = N •(2 9)



N2 = Ntel + Nint = N •



где Ntel - число пакетов телефонии, генерируемое всеми пользователями

в час наибольшей нагрузки;

Nint - число пакетов интернета, генерируемое второй группой

пользователей в час наибольшей нагрузки

π2H - доля пользователей группы 2 в общей структуре абонентов

nj - число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом при

использовании кодека G.711;

t- средняя длительность разговора в секундах;

f — число вызовов в час наибольшей нагрузки;

N — общее число пользователей.

Число пакетов в секунду:

(2 10)



Среднее время обслуживания одного пакета при норме задержки 5 мс:



Коэффициент использования:

ρj=λ j∙τj (0.005),



При использовании системы на 50%:



Требуемая пропускная способность:

φj = βj∙hj (бит/с)



Для второго кодека проводим аналогичные вычисления. Сравним полученные результаты.



Рисунок 3 - Пример отображения результатов расчета: требуемая полоса пропускания

Из графика видно, что для передачи информации одного объема, необходима различная полоса пропускания, в данном случае при использовании кодека G.711а с длиной пакета 160 байт необходима большая полоса пропускания, чем при использовании кодека G.729 с длиной пакета 20 байт.

мультисервисный пакет кодек тунеллирование

**Задача 3**

Составить математическую модель эффекта туннелирования в MPLS, которая представляет собой сеть массового обслуживания с последовательными очередями.

Определить:

- время пребывания пакета в туннеле из N узлов V1 (N);

- время V2(N) пребывания пакета в LSP - пути сети MPLS из N узлов (маршрутизаторов) без организации LSР – туннеля для различных нагрузок ρ1, ρ2, ρ3, обслуживаемых узлом LSP-маршрута.

Построить виртуальный тракт LSP, коммутируемый по меткам.

Построить графики по результатам расчетов при различных ρ.

Провести расчет математической модели эффекта туннелирования в MPLS , применив MATHCAD или другую программу.

На основе результатов расчета сравнить различные варианты и сделать выводы о возможности организации туннеля между первым узлом и узлом N.

Исходные данные

Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| число маршрутизаторов N | ρ1 | ρ2 | ρ3 | , с-1 | m |
| 10 | 0.75 | 0.85 | 0.95 | 1000 | 1.08 |

Здесь:

-интенсивность входного потока заявок.



-среднее время обслуживания в системе М/М/m в стационарных условиях



нагрузка, обслуживаемая узлом LSР- маршрута.



m- поправочный коэффициент

# Решение

Основное отличие технологии MPLS – IP - маршрутизаторы анализируют заголовок каждого пакета, чтобы выбрать направление для его пересылки к следующему маршрутизатору, в технологии MPLS заголовок анализируется только один раз на входе в сеть, после чего устанавливается соответствие между пакетом и потоком.

Принцип коммутации MPLS основывается на обмене меток. Любой передаваемый пакет ассоциируется с тем или иным классом сетевого уровня FEC (Forwarding Equivalence Class), каждый из которых идентифицируется определенной меткой. Значение метки уникально лишь для участка пути между соседними узлами сети MPLS, которые называются также маршрутизаторами, коммутирующими по меткам LSR (Label Switching Router). На рисунке 1 пограничный маршрутизатор LSR1 - входной, а LSR4 -выходной маршрутизатор. Последовательность маршрутизаторов (LSR1,..., LSR4), через которые проходят пакеты, принадлежащие одному FEC, образует виртуальный тракт LSP, коммутируемый по меткам, LSP (Label Switching Path).

Таким образом, главная особенность MPLS - отделение процесса коммутации пакета от анализа IР - адресов в его заголовке, что открывает ряд возможностей.



Рисунок 3.1

Существует еще одно весьма важное достоинство MPLS – возможность в рамках архитектуры MPLS вместе с пакетом передавать не одну метку, а стек меток.

Операции добавления/изъятия метки определены как операции на стеке (push/pop). Результат коммутации задает лишь верхняя метка стека, нижние же передаются прозрачно до операции изъятия верхней. Такой подход позволяет создавать иерархию потоков в сети MPLS и организовывать туннельные передачи.

Речь идет о возможности управления в MPLS всем трактом передачи пакета без специфицирования в явном виде промежуточных маршрутизаторов. Это достигается путем создания туннелей через промежуточные маршрутизаторы, которые могут охватывать несколько сетевых сегментов, как это изображено на рисунке 1.

Все пограничные маршрутизаторы MPLS (LER1, LER2, LER3 и LER4) используют протокол BGP и создают коммутируемый по меткам тракт LSP между ними (LSP1). LER1 знает о том, что его следующий пункт назначения - LER2, поскольку он передает данные от отправителя, которые должны пройти через два сегмента сети. В свою очередь, LER3 знает о том, что его следующий пункт назначения - LER4, и т.д. Эти пограничные четыре LER будут использовать протокол LDP для получения и хранения меток от выходного LER (LER4 в данном сценарии) вплоть до входного LER (LER1).



Рисунок 3.2

Однако для того, чтобы данные были переданы от LER1 к LER2, они должны пройти через несколько (в данном случае три) транзитных маршрутизаторов LSR. Таким образом, между двумя LER (LER1 и LER2) создается отдельный тракт LSP (LSP2) (рис.2) , который охватывает LSR1, LSR2 и LSR3. Он, в сущности, представляет собой туннель между этими двумя LER. Метки в этом тракте отличаются от меток, которые LER создали для LSPl.



Рисунок 3.3

Это справедливо и для LER3 и LER4, равно как и для LSR, находящихся между ними. Для этого последнего сегмента создается тракт LSP3. Для достижения этого результата, при передаче пакета через два сетевых сегмента используется концепция стека меток. Поскольку пакет должен следовать через LSP1, LSP2 и LSP3, он будет переносить одновременно две отдельные метки. Пары, используемые для каждого сегмента, следующие: для первого сегмента - метка для LSP1 и LSP2, для второго сегмента - метка для LSP1 и LSP3.

Когда пакет покидает первую сеть и принимается пограничным маршрутизатором LER2 (рис.3), тот удаляет метку для LSP2 и заменяет её на метку для LSP3, заменяя при этом метку LSP1 внутри пакета на метку следующей пересылки. LER4 удаляет обе метки перед отправкой пакета адресату.

Математическая модель эффекта туннелирования в MPLS представляет собой сеть массового обслуживания с последовательными очередями.

Оцениваемыми параметрами являются:

- Среднее время обслуживания без прерывания (период занятости) и среднее время пребывания пакета в n-м узле.

- Обслуживаемые за период занятости (т.е. непрерывно, без освобождения) пакеты объединяются в группу на выходе узла и называются пачкой.

- Средняя длина такой пачки выражается числом пакетов. На вход граничного узла 1 поступает пуассоновский поток сообщений с интенсивностью входного потока заявок и средним временем обслуживания в системе М/М/m в стационарных условиях (при является также пуассоновским с той же интенсивностью ). Но при последовательно соединенных очередях мы не можем рассматривать каждый узел независимо от других.



Если мы рассматриваем два следующих один за другим сообщения на узле n (n 2), интервал времени между поступлением этих двух сообщений зависит от времен поступления и обслуживания на предыдущих узлах.



Рисунок 3.4

Специфическое поведение первого узла (n = 1) очевидно и связано с тем, что сообщения поступают напрямую, не проходя через какой-либо узел. Специфика режима работы второго узла (n = 2) может рассматриваться как реальный источник пачек сообщений. Сложность поведения пакетов в нем обусловлена двумя явлениями:

1. сцеплением пачек, исходящих от первого узла;
2. фрагментацией этих же пачек.

Первое явление сцепления относится не только ко второму, но и к любому не первому узлу n (n 1) и связано с тем, первый пакет k - ой пачки догоняет на этом узле последний пакет (k - l) - ой пачки, и обе пачки – k - я и (k - 1)-я - соответствующим образом сцепляются, как это показано на рисунке 4. Второе явление фрагментации, которое иллюстрирует рисунок 5, не столь очевидно и имеет место только во втором узле, но тоже вполне наглядно. Пусть в первом узле обслуживается пакет номер j из пачки k и в этот момент на тот же первый узел поступает следующий пакет номер j + 1, время обслуживания которого превышает время обслуживания пакета j. Пусть на следующем втором узле в этот момент нет очереди, и пакет j обслуживается, как только он поступает на узел 2, пакеты j + 1 и j начинают обслуживаться одновременно на узлах 1 и 2, соответственно. Когда пакет j затем покидает узел 2, пакет j+1 всё ещё продолжает обрабатываться на узле 1, поскольку время его обслуживания дольше.



Рисунок 3.5

Математический анализ этих двух явлений эффекта туннелирования MPLS позволяет вывести следующую формулу для времени пребывания пакета в туннеле из N узлов:

,(3.1)



где - постоянная Эйлера (),



N > 2.

Формула (3.1) позволяет рассчитать целесообразность организации туннеля в LSP для индивидуальных пар «исходящий узел - узел назначения» при заданных загрузке сети р и нормативах качества обслуживания. С ее помощью дается можно показать, что отдельные туннелированные LSP в наиболее реалистических случаях, вероятно, должны являться предпочтительным режимом работы.

Рассмотрим маршрут в МРLS - сети, который состоит из N узлов и физических каналов передачи данных между ними. Маршрут соответствует трем объектам: LSRи (LSR источника), LSRн (LSR назначения) и классом обслуживания трафика, передачи.

Пусть -прежнему означает число запросов, а 1/ означает усредненное время определяемым допустимым временем интенсивности пуассоновского потока обслуживания сообщений в узле. Соответственно, означает нагрузку, обслуживаемую узлом LSР- маршрута. Обслуживание же этой нагрузки узлами, входящими в данный LSP- маршрут, и является основной работой данного фрагмента сети MPLS.



В контексте поставленной задачи поиска стратегии принятия решения об организации LSP- туннеля для оценки альтернативного варианта суммарного времени V2(N) пребывания пакета в LSP- пути без туннеля допустимо использовать В-формулу Эрланга в качестве адекватной оценки, позволяющей произвести сравнение с V1 (N).

На рисунке 6 представлены оба варианта передачи сообщений при наличии или при отсутствии LSP- туннеля. В первом случае суммарное время пребывания пакета в сети равно V1 (N), а во втором случае время пребывания того же пакета в сети равно V2(N). Для аналитического исследования ситуации отсутствия LSР- туннеля узел n, передающий пакеты по LSP, целесообразно описать с помощью модели M/M/1/K со скоростью передачи пакетов в секунду и максимальным числом k пакетов, и которое он может хранить в своей буферной памяти. Пакеты в этой модели являются теми же самыми, что в случае организации туннеля, а ограничение на размер буфера выбрано так, чтобы условия в вариантах наличия или отсутствия туннеля были бы абсолютно одинаковы.



Рисунок 3.6

Инженерные различия между MPLS и традиционным туннелированием состоит в модели топологии MPLS. Традиционные туннели всегда проходят от одной границы до другой насквозь через сеть. В случае MPLS туннели могут создаваться внутри сети для управления трафиком только в части сети т.е. в LSP из М маршрутизаторов от входящего LSR1 до исходящего LSRm можно создать LSP-туннель, например, от входящего LSR5 до исходящего LSRn, при N<M. Т.е. даже создаваемые на короткое время LSР - туннели в MPLS могут начинаться внутри сети, а не из пользовательского приложения на границе сети. Это особенно важно для практического применения представленной модели: пользователи будут продолжать применять обычные IР- пакеты и адресацию в своих приложениях и даже в локальных сетях.

Произведем расчет для определения организации туннеля.

Шаг 1. Полагается N = М=10.

Шаг 2. Для n = 1,2, ..., N определим величины размера пачки в Kn по формуле

.(3.2)



При =0.75, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 4 | 7 | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 | 25 | 28 | 31 |

При =0.85, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 6,7 | 12,3 | 18 | 23,7 | 29,3 | 35 | 40,7 | 46,3 | 52 | 57,7 |

При =0.95, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 20 | 39 | 58 | 77 | 96 | 115 | 134 | 153 | 172 | 191 |

Шаг 3. Определим время V2(N) пребывания пакета в LSP - пути сети MPLS из N узлов (маршрутизаторов) без организации LSР - туннеля при наличии ограниченной очереди к узлу n длиной Kn по формуле

. (3.3)



Для =0.75, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V2(N) | 1,3 | 4,2 | 7,7 | 11,8 | 15,7 | 20 | 24,2 | 28,5 | 32,9 |
| N | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Для =0.85, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V2(N) | -8,5 | -5,9 | --1 | 5,2 | 11,8 | 18,8 | 25,9 | 33,1 | 40,3 |
| N | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Для =0.95, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V2(N) | -189,4 | -209,7 | -208,5 | -196,3 | -179 | -159,2 | -138,4 | -117,1 | -95,6 |
| N | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Шаг 4. Определим время V1(N) пребывания пакета в LSР - туннеле из N узлов по формуле (1)



Для =0.75, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V1(N) | 5,4 | 8 | 11,4 | 15,2 | 19,2 | 23,5 | 28 | 32,6 | 37,4 |
| N | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Для =0.85, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V1(N) | 6.6 | 9.9 | 13.9 | 18.3 | 23 | 28 | 33.1 | 38.3 | 43.7 |
| N | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Для =0.95, =



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V1(N) | 9 | 13.6 | 18.8 | 24.4 | 30.3 | 36.4 | 42.8 | 49.2 | 55.8 |
| N | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Шаг 5. Сравним полученные величины V1(N) и V2(N). При положительной разнице V1(N) и V2(N) организация туннеля между первым узлом и узлом N не представляется целесообразной.

Построим графики по полученным результатам:



Рисунок 3.7 - График зависимости V1(N) и V2(N) от N при =0.75



Рисунок 3.8 - График зависимости V1(N) и V2(N) от N при =0.85



Рисунок 3.9 - График зависимости V1(N) и V2(N) от N при =0.95



Данный алгоритм позволяет выбрать эффективный LSР - туннель где-то внутри фрагмента сети MPLS из М узлов (маршрутизаторов) или отказаться от данных попыток. Само по себе решение об организации LSР- туннеля согласно предложенному здесь алгоритму сводится к анализу двух (с туннелем и без туннеля) значений среднего совокупного времени пребывания пакета в узлах. Сеть включает 10 узлов, соединяемых LSP, через которые можно создавать LSP- туннели.

Из рисунков видно, что при р = 0,75, р = 0,85, р = 0,95 организация туннеля не требуется.

**Заключение**

В настоящее время IP-телефония получила достаточно широкое распространение. Многие компании имеют представительства в разных странах мира и им приходиться тратить большие средства на междугородние и международные переговоры, поэтому IP-телефония, позволяющая тратить на это меньше средств, была сразу же востребована потребителем. Также развитие IP-телефонии уже сейчас вынуждает операторов традиционной связи снижать тарифы на междугородние и международные переговоры.

Продолжает развиваться Национальная сеть передачи данных, осуществляется модернизация и реконструкция телефонной сети общего пользования, формируются информационные ресурсы, расширяется перечень современных и перспективных услуг телекоммуникаций, включающий такие услуги как: электронный документооборот; электронная коммерция; дистанционное обучение; мультимедиа; телеконференции; IP-телефония.

# Список литературы

1. Кузнецов А.Е., Пинчук А. В., Суховицкий А.Л. Построение сетей IP-телефонии / Компьютерная телефония.- 2000.- №6.

2. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей: Изд. «Питер», 1999.

3. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа. т. 2.- М.: Радио и связь, 1999.

4. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Интеллектуальные сети.- М.: Радио и связь, 2000.