

**ФГБОУ ВО
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»**

Кафедра МСИБ

**Курсовая работа
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В
МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ**

**По дисциплине:
Технологии обеспечения качества обслуживания (QoS)
в мультисервисных сетях**

Составители:

к.т.н., доц. Киреева Н. В.

к.т.н., доц. Буранова М.А.

Редактор:

д.т.н., проф. Лихтциндер Б.Я.

Рецензент:

д.т.н., проф. Карташевский В.Г.

Самара, 2017

Содержание

1. Качество обслуживания.....	3
2. Технологии IntServ и DiffServ	7
3. Мультипротокольная коммутация меток (протокол MPLS).....	12
4. Построение сети IPTV.....	19
5. IP-телефония.....	24
6. Типовые схемы IP-телефонии	30
7. Расчет характеристик передачи голосовых пакетов.....	33
8. Постановка задачи и исходные данные.....	39
9. Методика оценки параметров качества передачи пакетной речи.....	45
10. Требования к выполнению курсового проекта.....	46
11. Источники.....	47

1. Качество обслуживания

Под качеством обслуживания (Quality of Service, QoS) в общем случае принято понимать предоставление пользователям и приложениям в сети предсказуемого сервиса по доставке данных. Конкретное же определение и параметры качества обслуживания главным образом определяются типом приложения. Так, например, для передачи голосового трафика, важнейшими параметрами QoS являются задержка и вариация задержки на определенном интервале времени, в то время как потеря некоторой части пакетов допустима. Параметры качества обслуживания можно разбить на три группы:

- параметры пропускной способности (минимальная, средняя и максимальная скорость передачи)
- параметры задержек передачи пакетов (средние и максимальные величины задержек и вариаций задержек)
- параметры надежности передачи (уровень потерь и искажений пакетов)

Измерение указанных параметров производится на определенном интервале времени. Чем меньше этот временной интервал, тем более жесткие требования предъявляются к сети, а следовательно ко всем ее элементам, поскольку обеспечение QoS “из конца в конец” требует взаимодействия всех узлов на пути трафика и определяется надежностью, функциональностью и производительностью самого “слабого звена”. Например, очевидно, что невозможно гарантировать обеспечение приоритетной обработки VLAN в распределенной коммутируемой сети Ethernet, если по маршруту распространения данных установлен хотя бы один концентратор (hub Ethernet).

Между клиентом, потребителем услуг транспортной сети, и провайдером данных услуг может быть заключено “соглашение об уровне обслуживания” (Service Level Agreement, SLA), в котором определяются:

- плата за обслуживание в зависимости от выбранного уровня обслуживания
- параметры QoS для данного уровня (максимальная задержка и вариации, пропускная способность, максимальное время восстановления сети после аварий и т. д.)
- методы измерений вышеуказанных параметров
- штрафные санкции за не обеспечение требуемого QoS
- любые другие дополнительные статьи по обоюдному согласию

Для предоставления различным пользователям индивидуального качества обслуживания требуется реализовывать в сети различные ме-

ханизмы управления QoS. Для IP-сетей это, например, RSVP и DiffServ, поддерживающие, соответственно, качество обслуживания для микро-потоков приложений и агрегированных потоков.

1.2 Модель службы QoS

На Рисунке 1.1 представлена базовая архитектура службы QoS с элементами трех основных типов:

- средств QoS узла;
- протоколов сигнализации QoS;
- централизованных функций политики, управления и учета QoS.

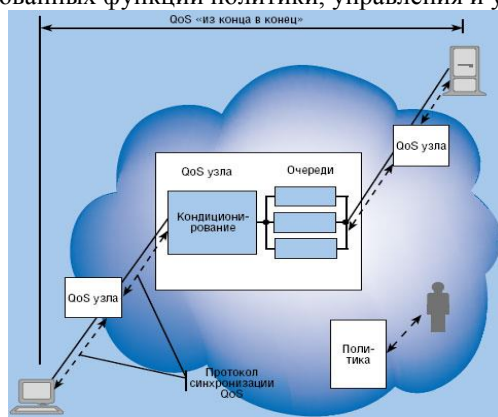


Рис. 1.1 Архитектура службы QoS

Средства QoS узла - основной исполнительный механизм службы QoS, так как именно они непосредственно влияют на процесс продвижения пакетов между входными и выходными интерфейсами коммутаторов и маршрутизаторов и, следовательно, определяют вклад данного устройства в характеристики качества обслуживания сети.

Средства QoS узла в свою очередь могут включать компоненты двух типов:

- механизмы обслуживания очередей;
- механизмы кондиционирования трафика.

Механизмы обслуживания очередей являются необходимым элементом любого устройства, работающего по принципу коммутации пакетов. Когда скорость поступления трафика становится больше скорости его продвижения, возникают очереди. Как раз в такие периоды и нужны механизмы обслуживания очередей: варьируя выборкой пак-

тов, они влияют на время их нахождения в очереди, а значит, и на величину задержки - один из важнейших параметров качества обслуживания. По умолчанию в сетевых устройствах очереди обслуживаются по простейшему алгоритму FIFO ("первым пришел - первым обслужен"), что достаточно только для реализации сервиса "по мере возможности", для поддержки же "истинных" сервисов QoS нужны более сложные механизмы, обрабатывающие несколько классов потоков, например алгоритмы приоритетного или взвешенного обслуживания.

Механизмы кондиционирования трафика решают задачу создания условий для качественного обслуживания трафика другим способом - не за счет выбора оптимального алгоритма обслуживания очереди, а за счет ее сокращения. При этом сокращение очереди достигается путем воздействия на входной трафик: например, снижения скорости поступления потока в данный узел, уменьшения его неравномерности и т. п.

Механизм кондиционирования трафика обычно включает выполнение следующих функций:

1. Классификация трафика выделяет из общей последовательности пакетов, поступающих в устройство, пакеты одного потока с общими требованиями к качеству обслуживания. Классификация может выполняться на основе различных формальных признаков пакета - адресов источника и назначения, значений портов TCP/UDP, значения приоритета, значения метки потока (в версии IPv6).
2. Профилирование трафика на основе правил (policing) подразумевает проверку соответствия каждого входного потока параметрам его профиля. В случае нарушения параметров профиля (в частности, при превышении длительности посылки или средней скорости) происходит отбрасывание или маркировка пакетов этого потока. Отбрасывание нечастых пакетов снижает интенсивность потока и приводит его параметры в соответствие с указанными в профиле. Маркировка пакетов без отбрасывания нужна для того, чтобы они все же были обслужены данным узлом (или последующими по потоку), пусть и с более низким качеством (например, с увеличенным значением задержки). Для проверки соответствия входного трафика заданному профилю механизм кондиционирования выполняет измерение параметров потока. Для этого обычно используется один из известных алгоритмов, например алгоритм "дырявого ведра" (leaky bucket) или более гибкий алгоритм GCRA.
3. Формирование трафика (shaping) предназначено для придания прошедшему профилированию трафику нужного распределения по времени. С помощью данной функции стремятся сгладить пульсации трафика, чтобы поток пакетов на выходе из устройства был бо-

лее равномерным, чем на входе. Сглаживание пульсаций уменьшает очереди в сетевых устройствах, которые будут обрабатывать трафик далее по потоку. Формирование трафика целесообразно и для восстановления временных соотношений трафика приложений, работающих с равномерными потоками, например голосовых приложений.

Механизмы кондиционирования трафика могут быть реализованы в каждом узле сети либо только в пограничных устройствах. Последний вариант часто используют провайдеры при кондиционировании трафика своих клиентов.

Протоколы сигнализации QoS нужны для того, чтобы механизмы QoS в отдельных узлах могли обмениваться служебной информацией для координации усилий по обеспечению параметров качества обслуживания на всем пути следования потока, т. е. "из конца в конец". Например, с помощью средств сигнализации приложение может резервировать себе вдоль всего маршрута следования требуемую среднюю пропускную способность (для сетей IP эту функцию поддерживает протокол RSVP).

Одно из примитивных средств сигнализации - маркировка пакета признаком с информацией о требуемом для него качестве обслуживания. Наиболее часто для этого используется поле приоритета (в пакете IPv4 - первые три бита поля Type Of Service, TOS). Перемещаясь от устройства к устройству, пакет переносит вдоль пути следования свои требования к качеству обслуживания, правда, в достаточно обобщенной форме - так как поле приоритета имеет всего несколько возможных значений, то и качество обслуживания будет предоставляться дифференцированно по нескольким агрегированным потокам сети.

Инициировать работу протокола сигнализации может не только конечный узел, но и промежуточное устройство. Например, пограничный маршрутизатор в сети провайдера способен выполнить классификацию трафика и зарезервировать данному потоку клиента некоторую пропускную способность. В этом случае координация сетевых устройств будет происходить не на всем пути следования трафика, а только в пределах сети данного провайдера, что, конечно, снижает качество обслуживания трафика.

Централизованные функции политики, управления и учета QoS не обязательно присутствуют в архитектуре службы QoS, но они очень желательны в крупных сетях. Каждый пользователь и каждое приложение стремятся получить обслуживание с максимально высоким уровнем качества (например, пропускной способности). Следовательно-

но, необходимы средства, с помощью которых администратор мог бы задавать рациональный уровень качества обслуживания для отдельных пользователей и приложений или для их групп. Функции политики позволяют администратору создавать правила, по которым сетевые устройства могут формально, на основании набора признаков, распознавать отдельные типы трафика и применять к ним определенные возможности QoS.

2. Технологии IntServ и DiffServ

DiffServ Основная идея технологии DiffServ (Differential Services) заключается в разделении трафика в сети на несколько крупных классов, для каждого из которых будет обеспечиваться определенный QoS в рамках некоторой области, называемой доменом DiffServ. На границах домена происходит кондиционирование трафика, то есть его классификация, подразумевающая анализ входящих пакетов, сопоставление полученной информации с таблицей потоков, а также маркировка пакетов специальным кодовым словом DSCP (DiffServ Code Point). Данные функции выполняет так называемый порт доступа в домен (port-access).

Далее обработка трафика на промежуточных узлах, принятие решения о направлении пакета в ту или иную очередь осуществляется исключительно по кодовому слову DSCP, расположенному в заголовке пакета IP (поле TOS). Обработка классифицированного трафика внутри домена осуществляется со скоростью коммутации – достаточно считать 6 бит кодового слова и отправить пакет в соответствующую очередь, после чего вступает в действие алгоритм «взвешенного справедливого обслуживания», рис. 2.1.

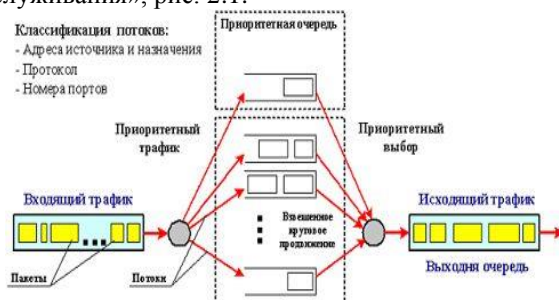


Рис. 2.1. Механизм взвешенного справедливого обслуживания

Возможны различные реализации данного алгоритма в оборудовании разных производителей. Например, в маршрутизаторах Cisco компании Cisco Systems для классификации используется два младших бита из трехразрядного подполя IP Precedence поля TOS. По умолчанию, классу 0 выделяется 10% полосы пропускания, классу 1, 2 и 3 – 20%, 30% и 40% соответственно. Для очередей, основанных на классах QoS, пакеты, не назначенные ни в одну группу, принадлежат группе 0 и автоматически имеют 1% от общей пропускной способности на всю группу. Общий вес остальных групп не может превышать 99%, а если после назначения всех весов остается свободная полоса пропускания в канале, она автоматически отводится под группу 0.

Другой пример реализации - коммутаторы Opti Switch компании Optical Access, которые предлагают администратору при настройке параметров QoS выбрать один из режимов работы с 4-мя очередями:

1. взвешенное круговое обслуживание (Weighted Round Robin, WRR)
2. смешанное обслуживание 1/3
3. смешанное обслуживание 2/2
4. обслуживание с прямым приоритетом (Strict Priority, SP)

В первом случае, каждой очереди назначаются весовые коэффициенты, задаваемые в количестве пакетов или байтов (по умолчанию 1, 2, 3 и 4), в соответствии с которыми происходит продвижение пакетов из очередей. Так, по умолчанию, из высокоприоритетной очереди в выходной буфер будет перенаправляться четыре пакета, а из низкоприоритетной - один. В случае использования механизма прямого приоритета (пункт 4) будет действовать довольно грубое, но эффективное правило – очереди с более низким приоритетом не обслуживаются, если есть хотя бы один необработанный пакет в высокоприоритетной очереди. Этот механизм аналогичен механизму, реализованному в стандарте 802.1Q/p. Во втором и третьем случае имеет место смешанное обслуживание, когда часть очередей работает по WRR-алгоритму, а часть – по SP.

Другим важным средством обеспечения QoS в технологии DiffServ является механизм формирования трафика. Данный механизм предназначен для сглаживания пульсаций «взрывного» трафика, уменьшения неравномерности продвижения пакетов. В аппаратной реализации стандарта DiffServ используется механизм, работающий по алгоритму «token bucket» или «маркерное ведро», рис. 2.2.

Суть алгоритма «token bucket» заключается в следующем. Максимальная средняя скорость отправки потока пакетов из управляющего узла зависит от скорости прибытия в него разрешений на передачу N единиц данных. Очередной пакет может быть отправлен только при

получении числа разрешений, достаточного для передачи данных, объем которых больше или равен размеру пакета.

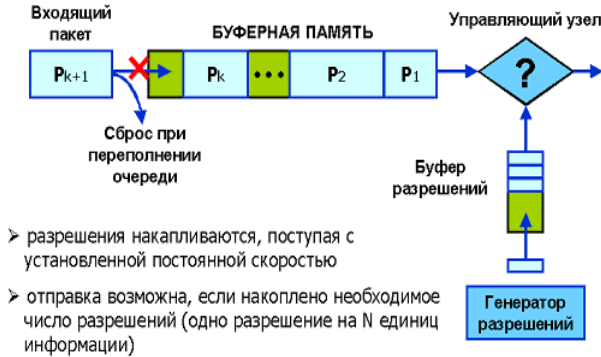


Рис. 2.2. Алгоритм "token bucket"

Если пакет поступит в управляющее устройство, не располагающее необходимым количеством разрешений, он будет отброшен также как и пакет, поступивший в переполненный буфер-формирователь.

На рис. 2.3 графически показано, как происходит формирование и сглаживание пульсаций взрывного трафика по алгоритму "token bucket". Пусть имеется некий буфер с конечным объемом. Поступающий со скоростью интерфейса или, для коммутаторов Ethernet, со «скоростью провода» трафик постепенно заполняет буфер-формирователь (коричневая область). Генератор разрешений выдает токены с постоянной скоростью, создавая прообраз идеального трафика, к форме которого стремятся привести входной трафик (скорость генерации показана красной линией). Воздействие механизма, работающего по алгоритму "token bucket", придает трафику на выходе нужную "временную форму" (светло-зеленая область).

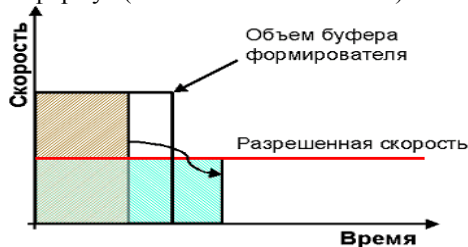


Рис. 2.3. Формирование трафика

Основные понятия технологии DiffServ

Соглашение об уровне сервиса (Service Level Agreement, SLA) – договор на предоставление услуг между клиентом и провайдером с подробным перечнем предоставляемых услуг. Провайдер услуг должен гарантировать, что трафик клиента будет обслуживаться в соответствии с оговоренными в SLA параметрами QoS.

Поток (flow) – последовательность пакетов, движущихся от источника А в пункт назначения В (С), каждый из которых может быть однозначно идентифицирован по 16-байтной комбинации из первых 64 байт IP-заголовка и/или заголовка TCP/UDP (номер порта приложения).

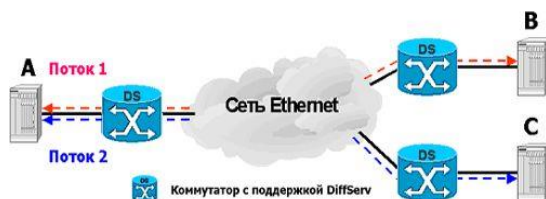


Рис. 2.4. Пути следования пакетов

Порт доступа (port access) - порт коммутатора для подключения пользователя. Точка классификации/ кондиционирования трафика. Функции порта:

1. анализ входящего трафика (чтение заголовков L3 и L4)
2. проверка на соответствие в таблице потоков коммутатора и распределение пакетов по очередям в соответствии с описанием потоков
3. фильтрация неклассифицированного трафика (пакетов, не принадлежащих ни одному логическому потоку)
4. установленное ограничение скорости для каждого потока (алгоритм "token bucket")
5. маркировка IP-заголовка пакетов в поле TOS кодовым словом DSCP (DS Code Point)

Внутренний порт (interior port) – соединяет два объекта в домене DiffServ. Например, это магистральные порты коммутаторов Gigabit Ethernet, связанных по оптоволокну. Функции порта:

1. анализ входящего трафика (чтение DSCP)
2. распределение пакетов по очередям в соответствии с DSCP
3. переназначение кодового слова в случае, если порт является выходным из домена DiffServ, для обеспечения соответствия уровней QoS между коммутаторами различных производителей

Внешний порт (exterior port) – соединяет домен DiffServ с внешним миром (вершина домена). Функции порта аналогичны функ-

циям порта доступа. Внешний порт обрабатывает трафик, входящий в домен.

IntServ *IntServ*(Integrated Services) больше подходит для концентрации трафика в пограничной сети IP и не рекомендована для применения в транзитных сетях IP (из-за проблем с масштабируемостью).

Модель с интеграцией услуг была предложена в начале 90-х годов и разрабатывалась для обслуживания единичных потоков, которым предоставляется два вида услуг: гарантированные и с управляемой нагрузкой. Гарантированные услуги позволяют обеспечить определенному объему трафика подпадающее количественному вычислению максимальное значение задержки при прохождении пакетов из конца в конец. Услуги с управляемым уровнем нагрузки предоставляют определенному объему трафика обслуживание *best-effort* при виртуальной низкой сетевой нагрузке без строгих гарантий.

Рассмотрим структурную схему *IntServ* (рис. 2.5).

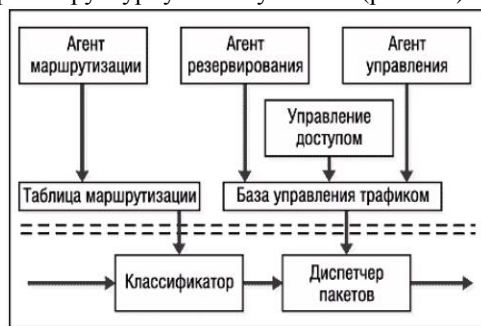


Рис. 2.5. Модель IntServ

В каждом узле, поддерживающем *IntServ*, должно быть несколько обязательных элементов:

- *классификатор* - направляет поступающий пакет в один из классов обслуживания согласно информации, полученной из заголовков (сетевого и транспортного уровней) пакета.;
- *диспетчер пакетов* - извлекает из каждой очереди пакеты и направляет их на *канальный уровень*. Для *IntServ* предложен двухступенчатый диспетчер пакетов;
- *блок управления доступом (admission control)* - принимает решения о возможности получения трафиком требуемого количества ресурсов, не влияя при этом на ранее предоставленные гарантии. Управление доступом выполняется на каждом узле для принятия или от-

клонения запроса на выделение ресурсов по всему пути прохождения потока;

- *протокол резервирования ресурсов* - информирует участников соединения (отправителя, получателя, промежуточные маршрутизаторы) о требуемых параметрах обслуживания. Для модели *IntServ* рекомендуется использовать протокол *RSVP*.

Основным недостатком модели считается низкая масштабируемость. Производительность *IntServ* зависит от количества обрабатываемых потоков, следовательно, такую сервисную модель практически невозможно реализовать в сети с миллионами пользователей.

Но самый большой недостаток *IntServ* связан с масштабируемостью *SVP*, особенно в высокоскоростных магистральных сетях. Действительно, объем ресурсов, которые необходимы маршрутизатору для обработки и хранения информации *RSVP*, увеличивается пропорционально количеству потоков *QoS*. Измерения трафика показывают, что большинство соединений IP "из конца в конец" существует очень недолго, и в каждый момент времени магистральным маршрутизатором поддерживается несколько тысяч активных соединений. Следовательно, многочисленные потоки *IntServ* в канале с большой пропускной способностью значительно увеличивают нагрузку на маршрутизаторы. Более того, каждый раз при изменении топологии все зарезервированные пути необходимо прокладывать заново.

3. Мультипротокольная коммутация меток (протокол MPLS)

MPLS (MultiProtocol Label Switching) — это технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях, основанная на использовании меток. MPLS разрабатывается и позиционируется как способ построения высокоскоростных IP-магистралей, однако область ее применения не ограничивается протоколом IP, а распространяется на трафик любого маршрутизируемого сетевого протокола.

В традиционных сетях IP, в общем случае, маршрутизация пакетов осуществляется на основе IP адреса назначения (destination IP address). Каждый маршрутизатор в сети обладает информацией о том, через какой интерфейс и какому соседу необходимо перенаправить пришедший IP-пакет. Мультипротокольная коммутация по меткам предлагает несколько другой подход. Каждому IP-пакету назначается некая метка. Маршрутизаторы принимают решение о передаче пакета следующему устройству на основании значения метки. Метка добавляется в составе MPLS заголовка, который добавляется между заголов-

ком кадра (второй уровень OSI) и заголовком пакета (третий уровень модели OSI).

Заголовок кадра	MPLS заголовок	Заголовок IP пакета	IP пакет
--------------------	-------------------	------------------------	-------------

Формат MPLS заголовка представлен ниже

Биты	0	19	20	22	23	24	31
	Метка			CoS	S	TTL	

Описание полей MPLS-заголовка:

CoS – поле описывающее класс обслуживания пакета (аналог IP precedence);

TTL – time-to-live – аналог IP TTL;

S – поле-флаг обозначающий то, что метка последняя в “стеке”.
Одному пакету может быть назначено несколько меток (“стек” меток).

В рамках архитектуры MPLS различают следующие типы устройств:

- LSR – Label-Switch Router или P – маршрутизатор, поддерживающий коммутацию по меткам и традиционную IP-маршрутизацию.
- Edge LSR или PE – маршрутизатор, подключённый к устройствам, не осуществляющим коммутацию по меткам (устройства могут использовать другую политику маршрутизации или вообще не поддерживают MPLS).
- MPLS domain – MPLS-домен – группа соединённых устройств осуществляющих коммутацию по меткам, находящихся под единым административным подчинением и функционирующих в соответствии с единой политикой маршрутизации. MPLS домен образуется LSR-ами, а на границе домена размещаются устройства E-LSR.

Основным преимуществом MPLS считается ускорение скорости продвижения пакетов (IP) в ядре сети. Однако существуют и другие, не менее важные, приложения для этой технологии. Например, MPLS Traffic Engineering (TE).

3.1 Traffic Engineering (TE)

Traffic Engineering (TE) – это возможность управления направлением прохождения трафика с целью выполнения определенных условий (резервирование каналов, распределение загрузки сети, балансировка и предотвращение перегрузок).

Обычные протоколы маршрутизации (IGP протоколы IS-IS, OSPF) предоставляют ограниченные возможности по управлению трафиком на основе метрик составляющих сеть линков.

Основной механизм TE в MPLS – использование одноплатных туннелей (MPLS TE tunnel) для задания пути прохождения определенного трафика. Например, для одного вида трафика, например высокоприоритетного голосового можно проложить один путь через сеть, а для низкоприоритетного – другой. Так как туннели – одноплатные, то обратный путь может быть совершенно другим.

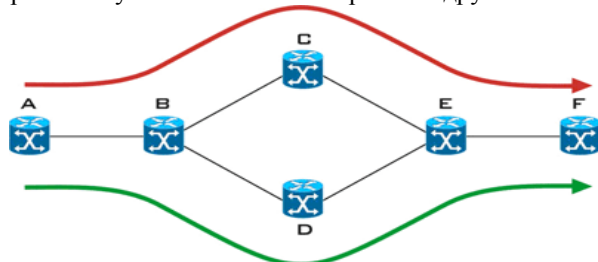


Рис. 3.1. Использование одноплатных туннелей

Технологически MPLS TE основывается на формировании маршрутов прохождения пакетов (LSP) через сеть с помощью механизма создания туннелей (MPLS Tunnel), который в свою очередь базируется на стекировании меток (Labels Stack).

Примитивный MPLS TE можно обеспечить, вручную установив туннели, соответствующие требуемым направлениям прохождения трафика.

3.2 Характеристики качества обслуживания

Реальное качество речи в случае IP-телефонии подвержено воздействию множества факторов и может варьироваться в значительных пределах в зависимости от клиентского программного и аппаратного обеспечения, шлюзового оборудования, пропускной способности и загруженности IP-сети. Всё это сказывается на таких технических характеристиках передачи, как *задержка*, *вариация задержки*, *доля потерянных пакетов*.

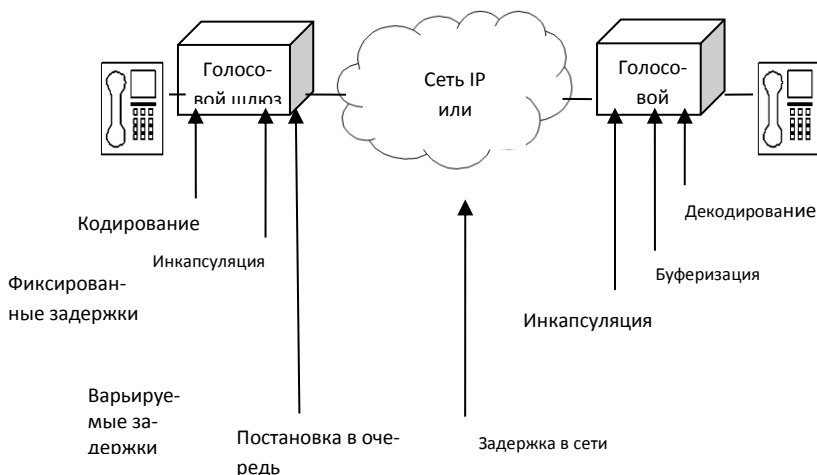


Рис. 3.2 Распределение задержек по линии передачи.

Общая задержка складывается из задержки на обработку в шлюзе и задержки при передаче по сети (рис. 3.2). Задержка на обработку в шлюзе включает задержку на компрессию (декомпрессию) речи и дополнительные задержки на передачу информации между подсистемами шлюза и на размещение сжатых данных в пакеты. *Задержка на обработку в шлюзе составляет не менее 15-45 мс.*

Однако, в целом задержка в шлюзе относительно невелика по сравнению с характерными задержками в сети, к тому же последние гораздо менее предсказуемы и зависят от конфигурации сети, её загруженности в конкретный момент, числа транзитных маршрутизаторов, максимально допустимого размера пакета и других факторов. В частности, каждый промежуточный маршрутизатор обычно вносит задержку около 10 мс, а если он перегружен, то и больше. Между тем, качество речи имеет приемлемый уровень при *общей задержке не более 300 мс*. Если задержка превышает эту величину, то речь начинает звучать как при плохой сотовой связи.

Так как задержки в IP-сетях непредсказуемы, то это приводит к вариации задержки, т.е. к поступлению пакетов со сжатой речью через нерегулярные промежутки времени. Кроме того, из-за различий в маршрутах пакеты могут поступать не в том порядке, в каком они были отправлены. Для компенсации вариации задержки шлюз на дальнем

конце может отложить воспроизведение речи для повышения качества её звучания на время, равное величине типичной вариации задержки. При этом данные помещаются в так называемый буфер синхронизации. Чем больше вариация задержки в сети, тем вместительнее должен быть буфер — и тем больше будет общая задержка. Далее будем полагать, что *иллюз компенсирует вариации задержки*.

Передача голоса по сети осуществляется в *протокольных блоках данных UDP*. Это связано с тем, что повторная передача потерянных или испорченных пакетов, как то предусматривает TCP, привела бы к ещё большим задержкам и оказалась бы в итоге бесполезной. Однако в результате ничто не страхует от потери пакетов. Как следствие, при перегруженности сети или низком качестве линий связи значительный процент пакетов может оказаться утерян или испорчен. *При потерях свыше 5% речь становится неразборчивой*.

Разработкой норм на качество обслуживания в сетях IP-телефонии занимаются организации МСЭ-Т (Международный союз электросвязи), IETF (Internet Engineering Task Force, Группа инженерных проблем Интернета) и ETSI (European Telecommunication Standards Institute, Европейский институт стандартов в области связи). В периоде 2001-2004гг. в рамках исследовательских комиссий (ИК) 2, 12, 13 и 16 МСЭ-Т запланированы работы по определению и нормированию показателей производительности сетей IP-телефонии и соответственно IP-сетей, по определению QoS классов в IP сетях. Показатели качества обслуживания в сетях IP и нормы на них еще не установлены.

Впервые работа по определению и стандартизации классов качества услуг IP-телефонии была начата в рамках проекта TIPHON (Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks) института ETSI. Группа TIPHON предложила четыре класса услуг IP-телефонии (табл. 1).

Табл. 3.1. Классы услуг IP-телефонии в проекте ETSI TIPRON.

Классы услуг	4(наивысший)	3 (высокий)	2 (средний)	1 (доступный)
Качество речи	Лучше, чем с G.711	Эквивалентное или лучшее, чем с G.726 (32 кбит/с)	Эквивалентное или лучше, чем с GSM-FR	Не определяется
Аргументация	Лучше, чем в ТфОП	Эквивалентное ТфОП	Эквивалентное сетям аналоговой беспроводной связи	Эквивалентное Интернет
Сквозная односторонняя задержка	<150мс	<250мс	<350мс	<450мс
Вариация односторонней задержки	<10мс	<20мс	<40мс	
Потери пакетов	<0.5%	<1%	<2%	

Предварительные предлагаемые показатели согласно Рекомендации МСЭ I.380 приведены в табл. 2. Рекомендуются только критерий отказа: коэффициент потери пакетов более 0.75. Нормы для остальных показателей качества обслуживания еще не разработаны.

Таблица 3.2. Предварительные показатели качества обслуживания в IP-сетях

Функции службы передачи данных	Показатели для критериев оценки		
	Скорость	Правильность	Определенность
Доступ	Время доступа		
Передача сообщений пользователя	Среднее время переноса пакета IP Изменение времени переноса пакета IP Пропускная способность для пакетов IP	Коэффициент ошибок в пакетах IP Скорость появления ложных пакетов IP	Коэффициент потери пакетов IP
Освобождение	Время освобождения		
Критерий отказа: коэффициент готовности службы IP, среднее время между отказами службы IP			

В сентябре 2001 г. была одобрена Рекомендация МСЭ-Т Y.1541, определяющая параметры производительности и соответствующие классы IP-сетей, которые приведены на табл. 3.

Таблица 3.3. Классы QoS IP-сетей МСЭ-Т

Параметр	Характер значений производительности сети	Значение по умолчанию	Класс 0	Класс 1 (интер-активный)	Класс 2 (не интер-активный)	Класс 3 (U-неопределенный)
IPTD	Максимальное значение среднего от IPTD	Нет	150 мс	400 мс	1 с	U
IPDV	$IPDV = IPTD_{upper} - IPTD_{min}$	Нет	50 мс	50 мс	1 с	U
IPLR	Максимальное значение вероятности потерь	Нет	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	U
IPER	Верхний предел	$1 \cdot 10^{-4}$	По умолчанию	По умолчанию	По умолчанию	U

Обозначения:

IPTD – задержка передачи IP пакета,

IPDV – вариация задержки IP пакета,

IPLR – коэффициент потери IP пакета,

IPER – коэффициент ошибки передачи IP пакета.

Для контроля качества речи в IP сетях используются субъективные и объективные оценки. Рекомендация МСЭ-Т P.800 описывает методологию субъективной оценки. В ней описываются условия проведения тестовых испытаний, содержание речевых образцов, система оценок и методики анализа полученных результатов. Испытания по данной методологии позволяют получить значение средней субъективной оценки MOS (Mean Opinion Score). В силу субъективности метода для получения достоверных результатов требуется проведение большого числа тестовых испытаний.

Рекомендация МСЭ-Т G.107 описывает объективную оценку качества речи на основе данных о параметрах передачи. Объективные оценки качества передачи речи получаются с помощью технических средств, обеспечивающих лучшую повторяемость результатов. Объективная оценка вычисляется в единицах фактора R на основании таких параметров передачи, как задержка передачи, потеря пакетов и тип

кодека. Объективные методы позволяют предсказать ожидаемое качество речи, но не способны оценивать качество речи так, как это делает человек. В табл.4 приведены категории качества речи, MOS оценки и R оценки.

Таблица 3.4. Сопоставление оценок R, категорий качества речи и оценок MOS

Значение фактора R	Категория качества речи	Значение оценки MOS
$90 < R < 100$	Самая высокая	4.34 – 4.50
$80 < R < 90$	Высокая	4.03 – 4.34
$70 < R < 80$	Средняя	3.60 – 4.03
$60 < R < 70$	Низкая	3.10 – 3.60
$50 < R < 60$	Плохая	3.3 – 3.10

4. Построение сети IPTV

Архитектура решения «IPTV» зависит от архитектуры магистральной сети и сети доступа оператора связи и обычно имеет распределенную структуру.

Основные элементы решения, такие как, Middleware, защиты контента от несанкционированного доступа (CAS/DRM), система управления видеосерверами размещаются в «Дата центре» Оператора связи, когда видеосерверы выносятся ближе к абонентам, т.е. сетям доступа Оператора.

4.1 Головная станция



Рис. 4.1. Головная станция

Головная станция - важный компонент решения «IPTV» при построении услуг цифрового телевидения. Головная станция является

программно-аппаратным комплексом, который обеспечивает прием сигнала от радио и телевизионных станций и спутников, обеспечивает раскодирование и демультимплексирование цифровых сигналов и MPEG-кодирование аналоговых сигналов с последующим мультимплексированием подготовленных материалов в IP-поток.

Компонентами Головной станции являются:



Рис. 4.2. Компоненты Головной станции

- **антенный пост** – обеспечивает прием сигналов от эфирных станций и спутников; - Цифровые спутниковые приемники – дескрипторы – обеспечивают раскодирование цифровых сигналов, полученных с Антенного поста и передачу материалов Стримеру / мультимплексору;
- **узел цифрового кодирования** – обеспечивает MPEG-кодирование аналоговых и цифровых сигналов и передачу материалов Стримеру / мультимплексору;
- **стример / мультимплексор** - ключевой элемент Головной станции, обеспечивает мультимплексирование материалов и IP-вещание таким образом, что каждый канал имеет свой уникальный адрес и порт IP вещания.

4.2 Система закрытия контента

Система защиты контента от несанкционированного доступа (CAS/DRM) обеспечивает безопасность услуг и защиту видео материалов от несанкционированного просмотра и цифрового копирования (соблюдение авторских прав).

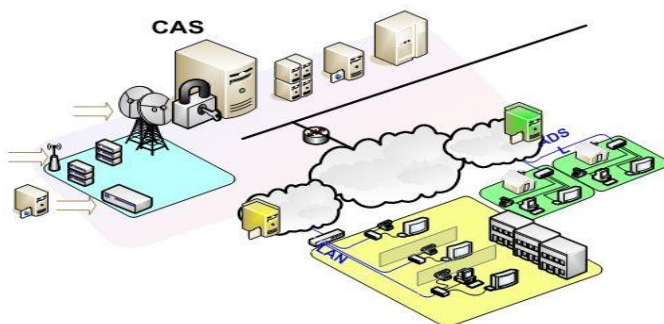


Рис. 4.3. Система защиты контента

Система CAS/DRM осуществляет шифрацию аудио- и видеоматериалов, при этом доступ к материалам абонентам разрешается по авторизации абонентов собственными средствами CAS/DRM или средствами других систем – middleware, биллинг. В качестве средств авторизации используются программные ключи и самые современные и надежные алгоритмы. Дешифрация аудио- и видеоматериалов осуществляется непосредственно на стороне абонента посредством STB.

4.3 Middleware

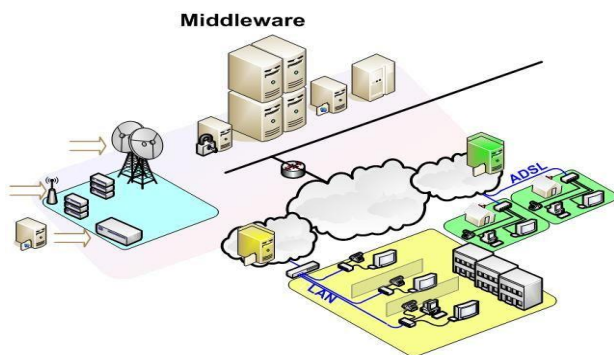


Рис. 4.4. Middleware

Middleware – программно аппаратный комплекс, который обеспечивает управление всеми компонентами решения «IPTV», обрабатывает запросы от абонентских устройств, обеспечивает взаимодействие с системами Оператора связи. Middleware позволяет осуществлять:

- авторизацию абонента;

- формирование программы передач EPG;
- формирование интерфейса и инструментов управления решением «IPTV»;
- взаимодействие с системами CAS, VoD, головной станцией, STB-устройствами;
- взаимодействие с биллинговыми системами и системами поддержки бизнеса Оператора связи (OSS/BSS/CRM и т.п.).

Middleware имеет открытую архитектуру, что позволяет оперативно масштабировать компоненты решения, и расширять спектр услуг. Программируемый абонентский интерфейс позволяет в полной мере учитывать потребности операторов связи и их абонентов.

4.4 Абонентское устройство

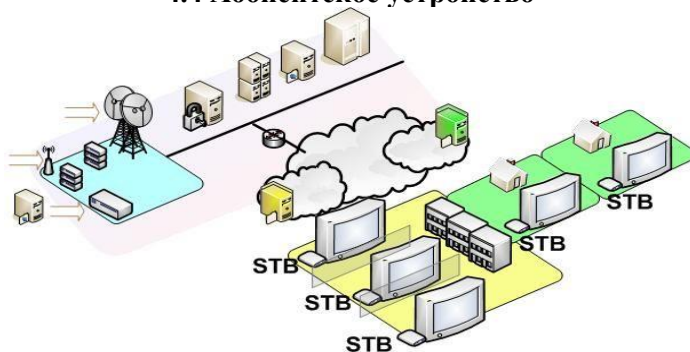


Рис. 4.5. Абонентское устройство

Абонентское устройство является связующим звеном между системами формирования и доставки аудио- и видеоматериалов и телевизором абонента. STB-устройство представляет собой миникомпьютер с операционной системой и WEB-браузером.

Обмен командами управления и медиа материалами осуществляется через сетевой интерфейс.

4.5 Система распределения контента



Рис. 4.6. Система распределения контента

При построении услуг IPTV сосредотачивать аудио и видео материалы в единой точке обмена – не целесообразно. Данный шаг приводит к повышенной загрузке сети, нерациональному использованию компонентов решения, отсутствию возможности предоставлять качественные услуги большому количеству абонентов.

Как следствие, необходимо качественно распределить в сети Заказчика видеосерверы, что бы было обеспечены условия:

- минимальная загрузка сетевой инфраструктуры Заказчика;
- равномерное распределение нагрузки на видео серверы.

Для решения данной задачи используется система распределения контента. Система распределения получает от middleware запросы абонентов на доступ к контенту, определяет, на каком сервере с минимальной загрузкой и в максимальной близости к абоненту находятся требуемые данные, и разрешает абоненту получить их с выбранного сервера. Если на минимально загруженном, но максимально приближенном к абоненту, сервере требуемого контента не обнаружено, то запрос будет переадресован на другой, схожий по условиям, сервер.

4.6 Видео сервер



Рис. 4.7. Видео сервер

Видеосерверы используются для реализации услуг NVoD, VoD, PVR. Видеосервер представляет собой дисковый массив большой емкости с установленным программным обеспечением.

Программное обеспечение реализует multicast – трансляцию видеоматериалов для услуги NVoD и unicast – трансляцию при предоставлении услуги VoD.

Видеосервер позволяет осуществлять перехват и запись multicast-потокa, то есть поддерживать услугу PVR.

5. IP-телефония

IP-телефония - голосовая связь по протоколу IP. Под IP-телефонией подразумевается набор коммуникационных протоколов, технологий и методов, обеспечивающих двустороннее голосовое общение (в том числе при видеообщении) по сети Интернет или по любым другим IP-сетям. Сигнал по каналу связи передается в цифровом виде и, как правило, перед передачей преобразовывается (сжимается) с тем, чтобы удалить избыток информации.

IP-телефония опирается на две основные операции: преобразование двунаправленной аналоговой речи в цифровую форму внутри кодирующего/декодировющего устройства (кодека) и упаковку в пакеты для передачи по IP. Эти базовые функции IP-телефонии могут быть реализованы где угодно — от настольных телефонов до высокоскоростных шлюзов. Однако внедрение телефонов на базе IP для конечных пользователей предполагает замену

имеющихся телефонных аппаратов — вряд ли многие организации могут себе это позволить. Поэтому реализации IP-телефонии будут, скорее всего, использовать шлюзы.

Шлюз выполняет пять основных функций:

- интерфейса с УАТС, ТФОП и другими телефонными сетями;
- базовые функции обслуживания вызова (соединение/разъединение и т.п.);
- компрессию/декомпрессию речи в реальном времени;
- упаковку и распаковку сжатой речи в пакеты;
- интерфейса с IP-сетью.

Протоколы обеспечивают регистрацию IP-устройства (шлюз, терминал или IP-телефон) на сервере провайдера, вызов или переадресацию вызова, установление голосового или видеосоединения, передачу имени или номера абонента. В настоящее время широкое распространение получили следующие протоколы.

5.1 Протокол H.323

Стандарт H.323 был принят в 1996 г., в 1998 г. появилась вторая его версия. Вообще говоря, это не один стандарт, а целая серия стандартов для поддержки мультимедийных коммуникаций по сетям без обеспечения качества услуг. H.323 не привязан к какому-либо конкретному типу сети и протоколу транспортного уровня. Нижележащая сеть может представлять собой Ethernet, Fast Ethernet, Token Ring и др., а транспортным протоколом может быть не только TCP/IP, но и, например, IPX/SPX. Однако H.323 нашёл применение именно в сетях на базе IP. Стек протоколов H.323 показан на рис. 4.8.

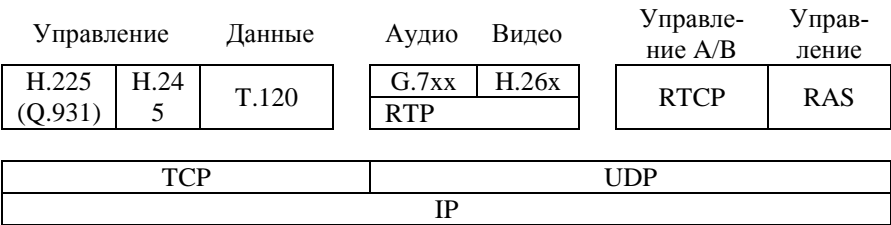


Рис. 5.1. Стек протоколов H.323

Протокол сигнализации вызова Q.931 предназначен для установления и контроля соединения между двумя устройствами H.323.

Протокол управляющего канала H.245 предназначен для передачи разного рода служебной информации во время сеанса H.323, применя-

ется для согласования параметров сеанса, управления потоками, открытия и закрытия логических каналов.

Протокол T.120 поддерживает конференции документов.

Стандарты G.7xx обеспечивают сжатие голоса и аудиоинформации для передачи по пакетным сетям.

Стандарты на видеокодеки H.26x обеспечивают кодирование кадров и высокое качество изображения за счёт методики прогнозирования движения.

Протокол передачи в реальном времени RTP и протокол управления передачей в реальном времени RTCP оптимизируют доставку потоков аудио и видео, обеспечивая качество услуг. Вторая версия H.323 поддерживает качество услуг с помощью протокола резервирования ресурсов RSVP.

Протокол RAS обеспечивает взаимодействие с привратником.

Стандарт H.323 определяет четыре основных компонента для систем коммуникаций по сети: терминалы, шлюзы, привратники и устройства управления конференциями. Примерная архитектура сети H.323 приведена на рис. 5.2.

Терминалы H.323 — это конечные точки сети, с помощью которых пользователи могут взаимодействовать друг с другом в реальном времени. Типичными примерами терминалов H.323 могут служить клиентские ПК с программным обеспечением аудио- или видеоконференций, H.323-совместимые телефоны на базе Ethernet.

Устройство управления конференциями состоит из обязательного контроллера и одного или более необязательных процессоров. Контроллер обслуживает переговоры между терминалами по выяснению и согласованию возможностей и параметров обработки аудио- и видеосигналов. Процессор коммутирует и обрабатывает аудио, видео, данные.

Шлюз является необязательным компонентом и применяется только в случае необходимости организации взаимодействия с другими сетями. Основная функция шлюза состоит в преобразовании форматов и протоколов передачи. Шлюз позволяет связать терминалы H.323 с другими, не поддерживающими данный стандарт устройствами, в частности, с обычными телефонами. Терминалы передают шлюзам необходимую информацию с помощью протоколов H.245 и Q.931. Многие функции шлюзов оставлены на рассмотрение разработчика, например, стандарт не оговаривает, сколько терминалов, соединений и конференций должен поддерживать шлюз и какие преобразования форматов и протоколов он обязан выполнять.

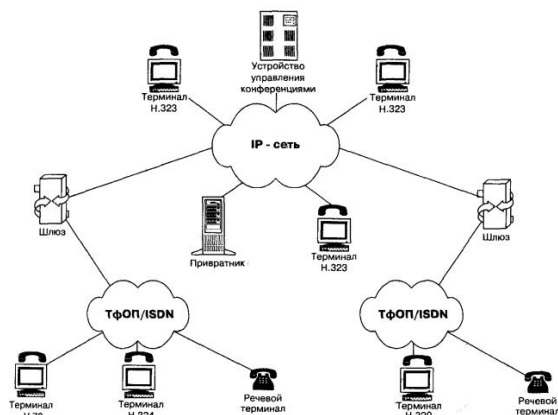


Рис. 5.2. Сеть H.323 имеет четыре основных компонента: терминалы, шлюзы, привратники и MCU

Разнообразие существующих и разрабатываемых стандартов не исчерпывается H.323. Система сигнализации №7 конкурирует в некоторых отношениях с H.323, она представляет собой более развитую технологию контроля вызовов и поддерживает технологии беспроводной связи. Очевидно, производители будут поддерживать оба стандарта (H.323 и SS7) в своих продуктах IP-телефонии.

5.2 SIP протокол

Протокол инициирования сеансов - Session Initiation Protocol (SIP) является протоколом прикладного уровня и предназначается для организации, модификации и завершения сеансов связи: мультимедийных конференций, телефонных соединений и распределения мультимедийной информации.

SIP не был первым протоколом, предназначенным для передачи голоса по IP-сетям. Вначале для этих целей использовался H.232, но он имел большой недостаток – бинарную реализацию. Это значит, что все устройства на пути следования протокола должны быть на сто процентов совместимыми с действующей версией протокола. Естественно, это значительно ограничивало возможности производителей оборудования, которые для уменьшения стоимости своих продуктов иногда грешат вольной трактовкой стандартов.

Для осуществления клиент-серверного взаимодействия используются несколько устройств:

- Терминал/компьютер с программно реализованным телефоном или аппаратно реализованный VoIP-телефон. Поскольку передача голоса требует двунаправленного взаимодействия, то в терминале реализованы и клиентские и серверные агенты. Они называются User Agent Client и User Agent Server.

- Прокси-сервер выполняет основную работу по управлению сессией обмена сообщениями (непосредственно SIP не передает голос, это протокол, помогающий организовать это). Он принимает запросы от клиентов, обрабатывает их и дает ответ пользователю. Прокси выполняет такие задачи, как определение местонахождения пользователя, установка соединения, маршрутизация вызовов.

- Сервер местоположения, или сервер регистрации, занимается определением местоположения пользователя в сети, то есть определением возможных маршрутов к нему. Эта информация добывается в результате регистрации терминала (команда REGISTER). Регистрация может проводиться разово (стационарный телефон) или периодически (мобильный).

- Сервер переадресации занимается переводом вызова от известного абоненту адреса к реально действующему.

Следует отметить, что протокол SIP рассчитан не только на организацию передачи голоса, но и на передачу любой мультимедийной информации, например, видеоизображения.

5.3 Организация SIP сети

Для организации связи по IP-сети необходим поставщик услуг. Его задача – это реализация и поддержка работы прокси-сервера (и других серверов, которые могут быть совмещены в едином устройстве). Адрес прокси-сервера сообщается абоненту, и эта информация используется для настройки терминального оборудования. Со стороны клиентов используется голосовое оборудование – VoIP-телефоны, VoIP-шлюзы. На рисунке 6.1. изображено типичное решение. Нужно сказать, что протокол SIP разработан так, что может работать через шлюз NAT. Кстати, все необходимые серверы компания может реализовать самостоятельно, и таким образом можно обойтись без услуг оператора. Но в этом случае ее абонентами будут только клиенты компании.



Рис. 5.3. Архитектура сети реализации IP-телефонии с использованием SIP-протокола.

Абонентское терминальное оборудование посылает запрос прокси-серверу с просьбой установить связь с другим телефоном. Сервер определяет местоположение вызываемого абонента, по сети Интернет отправляет ему запрос на связь и дает вызывающему абоненту ответ о возможности или невозможности провести разговор. Далее абонентские терминалы могут взаимодействовать друг с другом непосредственно

Прокси и другие серверы могут быть как специфическими аппаратно-программными решениями, так и обычными x86-компьютерами с соответствующим программным обеспечением. В числе первых можно назвать, например, Cisco SIP Proxy Server, Avaya SIP Communication Server, Nortel Communication Server – эти программы часто интегрируются в аппаратный комплекс соответствующего производителя. Среди программных решений обрели популярность Asterisk, FreeSwitch, Microsoft Office Live Communications Server.

Со стороны клиента можно использовать программные телефоны (3CX VOIP Phone, Best Phone, X-Lite, AGEPhone и др). Существуют и более удобные, классические телефонные аппараты, приспособленные для использования протокола SIP. Например, Cisco Unified IP Phone, 3Com IP Phone 31xx, Nortel IP Phone.

6 Типовые схемы IP-телефонии

Cisco

Системы от Cisco – это, практически, стандарт для управления коммуникациями в офисе, начиная от роутеров и шлюзов и заканчивая интегрированными программными решениями. Система Cisco способна предоставить следующие решения:

- вычислительные системы;
- организация Ethernet;
- построение телефонии.

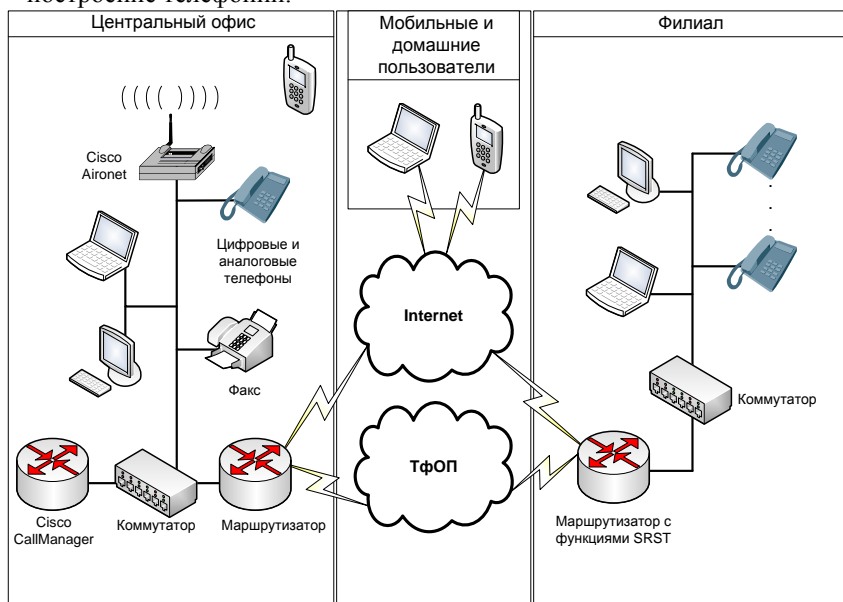


Рис. 6.1. Типовая схема IP-телефонии от Cisco

Задача построения телефонии, решается посредством развертывания Cisco AVVID. Эта архитектура включает коммутаторы, маршрутизаторы, шлюзы и другое сетевое оборудование и позволяет добиться хорошего качества связи, а также организовать видеотелефонию. Общее управление системой осуществляется с помощью Cisco CallManager.

Следует сказать, что Cisco предлагает не только широкий выбор инфраструктурного оборудования, но и нестандартные решения на уровне терминалов.

Еще один важный момент: несмотря на то, что компания идеологически является противником смешанной аналогово-цифровой архитектуры, очевидные практические соображения заставили ее разработать мультисервисные маршрутизаторы и голосовые шлюзы, позволяющие стыковку оборудования с телефонной сетью общего назначения.

Теперь рассмотрим более подробно сетевую инфраструктуру, она представляет собой сеть на базе технологий Ethernet/Fast Ethernet, в рамках которой будут размещены как абонентские телефоны и персональные компьютеры, так и управляющие устройства телефонной сети. Основным устройством, используемым для управления сетью Cisco IP-телефонии, является сервер Cisco CallManager. Пользовательские IP-телефоны, так же, как и серверы CallManager, подключаются к коммутаторам локальной сети.

Cisco CallManager способен функционировать в крупных организациях, имеющих множество филиалов. Наиболее распространённая топология построения комплекса телефонии – централизованная. В централизованной топологии CallManager находится в центральном офисе и осуществляет управление всеми телефонами организации, в том числе и телефонами филиалов. Это удобная топология, поскольку под управлением единого кластера все функции работают без ограничений, имеется централизованное управление, логирование и администрирование. Подобная архитектура имеет ряд достоинств, такие как:

- простота и экономичность внедрения телефонии и видео для небольших удаленных отделений;
- возможность централизованной настройки и управления телефонной и видеосистемой;
- простота организации доступа удаленных абонентов к современным сервисам телефонии, развернутым в центральном отделении;
- возможность использования ресурсов корпоративной сети передачи данных для установления телефонных соединений между различными отделениями, объединенными сетью IP телефонии;
- нет необходимости иметь опытный персонал службы технической поддержки в каждом удаленном подразделении.

Минус централизованной топологии в том, что телефоны филиалов зависят от связи с центральным сервером. Чаще всего это каналы VPN поверх Internet-соединений. В моменты пропадания связи телефоны будут "отваливаться". Именно в этих случаях к нам на помощь приходит технология SRST.

Cisco Unified Survivable Site Telephony (SRST) – это служба, обеспечивающая сервис для телефонов в филиалах, в тех случаях, когда связь с Cisco CallManager по каким-то причинам прервалась. По срав-

нению с сервисами Cisco CallManager, SRST конечно предлагает только ограниченные функции. Система SRST автоматически обнаруживает факт сбоя и затем происходит автоконфигурирование маршрутизатора, в результате которого тот уже сможет выполнять часть функций CallManager для телефонов филиала. После восстановления связи с Cisco CallManager все телефоны автоматически переключаются обратно.

Наружная точка доступа Cisco Aironet – это гибкая платформа, сочетающая в себе возможности точки доступа и моста (в том числе моста для рабочих групп). Устройства Cisco Aironet позволяют создать высокоскоростные и эффективные беспроводные соединения между несколькими сетями фиксированной или мобильной связи и клиентами. Типичные варианты использования устройств Cisco Aironet:

- сетевые соединения в рамках комплексов зданий;
- наружная инфраструктура для мобильных сетей и пользователей;
- публичный доступ вне помещений;
- временные сети для портативного развертывания или военных операций.

Обеспечение услуг телефонии на базе сети передачи данных позволяет избавиться от необходимости эксплуатации отдельных сетей для передачи данных и телефонной связи и обеспечивает возможность более полного удовлетворения потребностей предприятий в услугах телефонии. Продукция Cisco IP-телефонии позволит заказчику уменьшить расходы на внедрение, поддержку и расширение объединенной сети и, как следствие, повысить рентабельность телекоммуникационной сети.

7. Расчет характеристик передачи голосовых пакетов

Задержка передачи голосового пакета состоит из задержки в шлюзах и задержки в сети.

7.1. Оценка средней задержки пакета

1. Задержка голосового пакета равна

$$T = T_{\text{ш}} + T_{\text{с}}, \quad (7.1)$$

где $T_{\text{ш}}$ – задержка в шлюзах, сек,

$T_{\text{с}}$ – задержка в сети, сек.

2. Задержка в шлюзах равна

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{н}} + T_{\text{к}} + T_{\text{п}} + T_{\text{б}}, \quad (7.2)$$

где $T_{\text{н}}$ – задержка накопления, сек; вызвана необходимостью подготовки кадра из последовательных речевых отсчетов. Величина данной задержки будет равна размеру (длительности) кадра выбранного кодека (табл.7.1),

$T_{\text{к}}$ – задержка кодирования, сек; вызвана необходимостью предварительного анализа отсчетов. Задержка кодирования зависит от сложности алгоритма кодирования (табл.7.1),

$T_{\text{п}}$ – задержка формирования пакетов, сек; вызвана процессом подготовки голосовых пакетов как информационных единиц. В одном пакете может быть собрано несколько кадров кодека.

$$T_{\text{п}} = k * T_{\text{н}} + T_3 \quad (7.3)$$

где k – число кадров в пакете,

T_3 – длина заголовка пакета, сек.

$$T_3 = L_3 / B_{\text{к}}, \quad (7.4)$$

где L_3 – размер заголовка пакета, бит,

$B_{\text{к}}$ – скорость передачи, бит/с (табл.7.1).

Если не используется механизм сжатия заголовков (CRTP), то $L_3 = L_{\text{RTP}} + L_{\text{UDP}} + L_{\text{IP}} + L_2$, где L_{RTP} – длина заголовка протокола RTP (12 байт), L_{UDP} – длина заголовка протокола UDP (8 байт), L_{IP} – длина заголовка IP (20 байт), L_2 – длина заголовка протокола второго уровня. Для протокола второго уровня PPP длина заголовка равна 7 байт. Если используется механизм сжатия заголовков (CRTP), то $L_3 = 4$ байта.

$$L_3 = \begin{cases} L_{RTP} + L_{UDP} + L_{IP} + L_2 \\ 4 + L_2 \end{cases},$$

(7.5)

Рассмотренные выше задержки (T_n , T_k , T_n) связаны со шлюзом на передающей стороне. Задержками кодека в шлюзе на приемной стороне будем пренебрегать. В шлюзе на приемной стороне будем учитывать только задержку в сглаживающем буфере (T_b).

Задержка в сглаживающем буфере (T_b) может быть фиксированной или переменной, она должна быть меньше или равна вариации задержки голосового пакета.

Таблица 7.1. Характеристики кодеков

Кодек	Скорость передачи кодека, Кбит/с, V_k	Задержка накопления (длительность кадра), мс, T_n	Длина кадра кодека, бит, L_k	Задержка кодирования (предварительного анализа), мс, T_k
G.711	64	0.125	8	0
G.729	8	10	80	5
G.728	16	0.625	10	до 2.5
G.723	5.3	30	192	7.5
	6.3	30	160	7.5

3. *Задержка в сети* возникает при передаче пакета по сети. Она включает задержки в узлах сети (маршрутизаторах), связанные с ожиданием пакета в очередях и передачей (обслуживанием) пакета, и задержки распространения сигнала в каналах.

Средняя задержка пакета в потоке сеанса, идущем по пути p , равна

$$T_p = \sum_{\substack{\text{по всем } (i,j) \\ \text{на пути } p}} \left(W + \frac{1}{\mu_{ij}} + \tau_{ij} \right), \quad (7.6)$$

где W — среднее время ожидания пакета сеанса p в очереди на передачу по линии (i,j) , сек;

$1/\mu_{ij}$ — среднее время передачи пакета сеанса p по линии (i,j) , сек;

τ_{ij} — среднее время на обработку и распространение сигнала в линии (i,j) , сек.

$$\langle \text{время передачи пакета} \rangle = \frac{1}{\mu} = \frac{L}{B}, \quad (7.7)$$

где L — длина пакета, бит;
 B — скорость передачи по линии, бит/с.

$$\langle \text{время распространения сигнала} \rangle = \tau = \frac{S}{V}, \quad (7.8)$$

где S — длина линии, км;
 V — скорость распространения электромагнитной энергии в линии, км/с.

4. *Задержка ожидания пакета в узле* зависит от механизма обслуживания, применяемого в узле к пакету. Механизмы обслуживания в большинстве случаев аппроксимируются системами массового обслуживания $M/G/1/\infty$ с нестандартными дисциплинами обслуживания. В табл. 7.2 дана аппроксимация некоторых механизмов обслуживания.

Таблица 7.2. Аппроксимация механизмов обслуживания

Механизм обслуживания	Аппроксимация механизма	
	Система обслуживания	Дисциплина обслуживания
FIFO	$M/G/1/\infty$, $M/M/1/\infty$, $M/D/1/\infty$	FIFO
PQ	$M/G/1/\infty$, $M/M/1/$, $M/D/1/$	PQ с относительным приоритетом

Традиционным для Интернет механизмом обслуживания является механизм “первым пришел – первым обслужен” (FIFO, first-in, first-out), в соответствии с которым пакеты передаются в том порядке, в котором они были поставлены в выходную очередь. Механизм аппроксимируется системой $M/G/1/$ ($M/M/1/$, $M/D/1/$) с дисциплиной FIFO. Для оценки задержки ожидания и вариации задержки пакетов, обслуживаемых механизмом FIFO, имеются аналитические выражения первого и второго моментов времени ожидания пакета.

Механизм приоритетного обслуживания (PQ, Priority Queuing) предполагает наличие четырех очередей с высоким, средним, обычным и низким приоритетами. Очередь по приоритету оперирует не с сеансами, а с пакетами (точнее классами пакетов). Пакеты из менее приоритетной очереди обслуживаются только тогда, когда обслужены все пакеты из более приоритетных очередей. Механизм аппроксимируется

системой $M/G/1/\infty$ ($M/M/1/\infty$, $M/D/1/\infty$) с дисциплиной PQ. Для оценки задержки и вариации задержки пакетов, обслуживаемых механизмом PQ, имеются аналитические выражения первого и второго моментов времени ожидания пакета.

Среднее время ожидания пакета в системе $M/G/1/\infty$ с FIFO равно

$$\overline{W} = \frac{\lambda \overline{X^2}}{2(1 - \rho)}, \quad (7.9)$$

где λ - интенсивность поступлений пакетов в очередь,

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ - коэффициент загрузки линии,

μ - интенсивность обслуживания пакетов,

$\overline{X^2} = (\overline{X})^2 + \sigma^2$ - второй момент длительности передачи пакета,

\overline{X} - первый момент длительности передачи пакета,

σ^2 - дисперсия длительности передачи пакета.

Для потоков с экспоненциально распределенной длиной пакета

$$\overline{X^2} = \frac{2}{\mu^2}.$$

Для потоков с детерминированной длиной пакета $\overline{X^2} = \frac{1}{\mu^2}$.

Среднее время ожидания пакета в системе $M/G/1/\infty$ с комбинированным потоком с FIFO равно

$$\overline{W} = \frac{\sum_m \lambda_m * \overline{X_m^2}}{2(1 - \rho)}, \quad (7.10)$$

где λ_m - интенсивность поступления пакетов m-типа, для пакетов m-типа средняя длина равна L_m ,

$\rho = \sum_m \rho_m$ - коэффициент загрузки линии,

$\rho_m = \frac{\lambda_m}{\mu_m}$ - коэффициент использования линии пакетами m-типа,

$\overline{X_m^2}$ - второй момент длительности передачи пакета m-типа.

Среднее время ожидания пакета k-приоритета в системе M/G/1/
 ∞ с PQ равно

$$\overline{W_k} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * \overline{X_i^2}}{2(1 - \rho_1 - \dots - \rho_{k-1})(1 - \rho_1 - \dots - \rho_k)}, \quad (7.11)$$

где λ_i - интенсивность поступлений пакетов i-приоритета, первый приоритет – наивысший,

n – число приоритетов,

$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ - коэффициент использования линии пакетами i-приоритета,

$\overline{X_i^2}$ - второй момент длительности обслуживания пакетов i-приоритета.

При n=2 получим

$$\overline{W_1} = \frac{\lambda_1 * \overline{X_1^2} + \lambda_2 * \overline{X_2^2}}{2(1 - \rho_1)}, \overline{W_2} = \frac{\overline{W_1}}{1 - \rho}, \rho = \rho_1 + \rho_2. \quad (7.12)$$

7.2. Оценка вариации задержки пакета

Будем полагать, что времена ожидания пакетов в узлах являются независимыми случайными величинами, имеющие моменты первого и второго порядков.

Вариация задержки пакета в потоке сеанса, идущем по пути p, равна

$$\nu_p = \sqrt{\sum_{(i,j) \in p} \sigma^2(W_{i,j})}, \quad (7.13)$$

где $\sigma^2(W_{i,j})$ - дисперсия времени ожидания в узле на участке (i,j) пути p.

Дисперсия времени ожидания пакета в очереди в системе $M/G/1/\infty$ с FIFO равна

$$\sigma^2(W) = \frac{\lambda * \overline{X^3}}{3(1-\rho)} + \frac{(\lambda * \overline{X^2})^2}{4(1-\rho)^2}, \quad (7.14)$$

где $\overline{X^3}$ - третий момент длительности передачи пакета.

Для экспоненциального закона длины пакета $\overline{X^3} = \frac{6}{\mu^3}$.

Для детерминированных длин пакетов $\overline{X^3} = \frac{1}{\mu^3}$.

Дисперсия времени ожидания пакета в очереди в системе $M/G/1/\infty$ с комбинированным потоком с FIFO равна

$$\sigma^2(W) = \frac{\sum_m \lambda_m * \overline{X_m^3}}{3(1-\rho)} + \frac{\left(\sum_m \lambda_m * \overline{X_m^2} \right)^2}{4(1-\rho)^2}, \quad (7.15)$$

где $\overline{X_m^3}$ - третий момент длительности передачи пакета m-типа.

Дисперсия времени ожидания пакета в очереди в системе $M/G/1/\infty$ с PQ равна

$$\sigma^2(W_k) = \overline{W_k^2} - (\overline{W_k})^2,$$

(7.16)

$\overline{W_k}$ - первый момент времени ожидания (средняя задержка ожидания) в очереди пакета k-приоритета,

$\overline{W_k^2}$ - второй момент времени ожидания в очереди пакета k-приоритета, $k = \overline{1, n}$, n - число приоритетов.

$$\overline{W_k^2} = \frac{G_n}{3(1-R_{k-1})^2(1-R_k)} + \frac{M_n M_k}{2(1-R_{k-1})^2(1-R_k)^2} + \frac{M_n M_{k-1}}{2(1-R_{k-1})^3(1-R_k)}, \quad (7.17)$$

где $M_k = \sum_{j=1}^k \lambda_j * \overline{X_j^2}$, $R_k = \sum_{j=1}^k \rho_j$, $G_k = \sum_{j=1}^k \lambda_j * \overline{X_j^3}$.

8. Постановка задачи и исходные данные

Для IP-сети, представленной на рис. 8.1, оценить возможность использования IP-телефонии: оценить среднюю задержку голосовых пакетов. Сравнить данную характеристику для двух механизмов поддержания качества обслуживания: кодек и сжатие заголовка (CRTP), алгоритм обслуживания очереди FIFO или кодека и сжатия заголовка (CRTP)PQ.

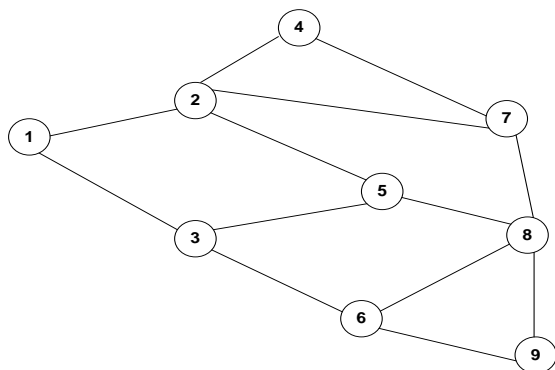
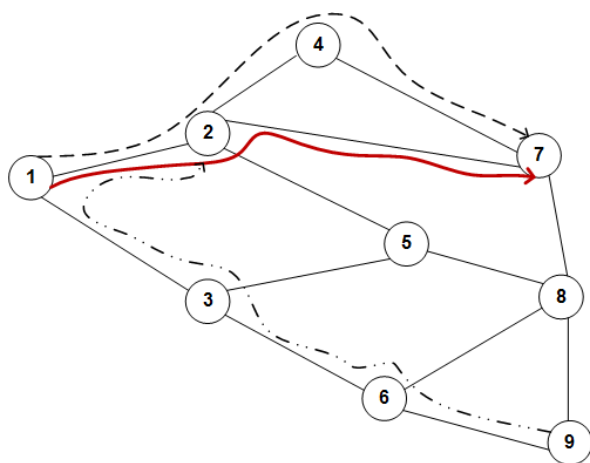


Рис. 8.1. Исходная IP-сеть

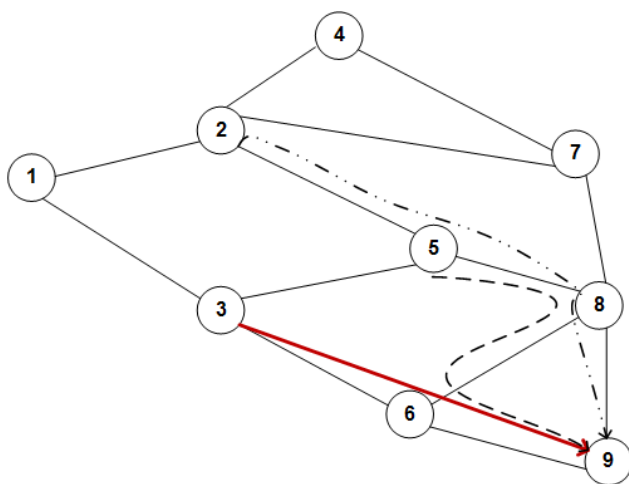
Схемы распределения маршрутов передачи трафика по вариантам

Схема 1



λ 17
 λ' 17
 λ 92

Схема 2



λ 29
 λ' 39
 λ 59

Схема 3

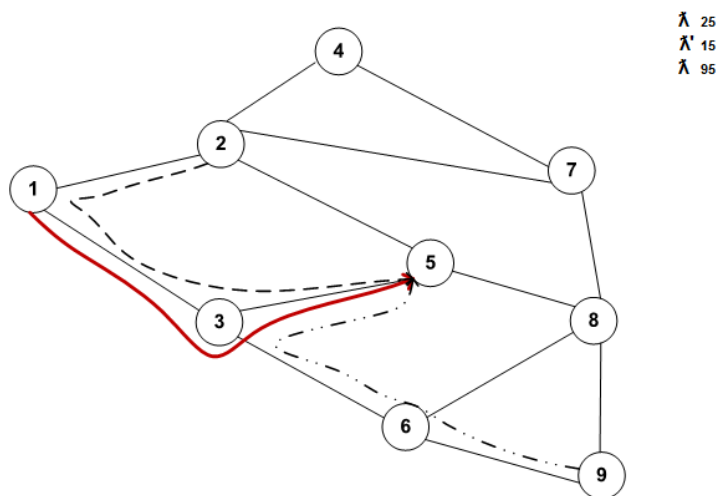


Схема 4

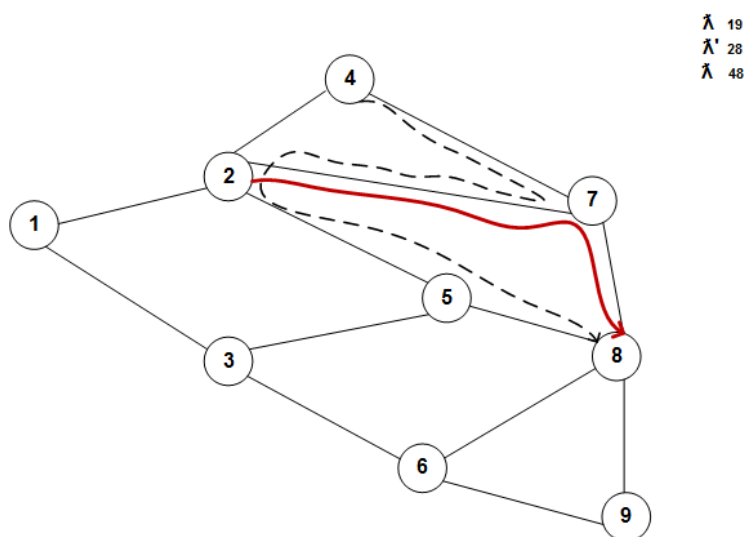
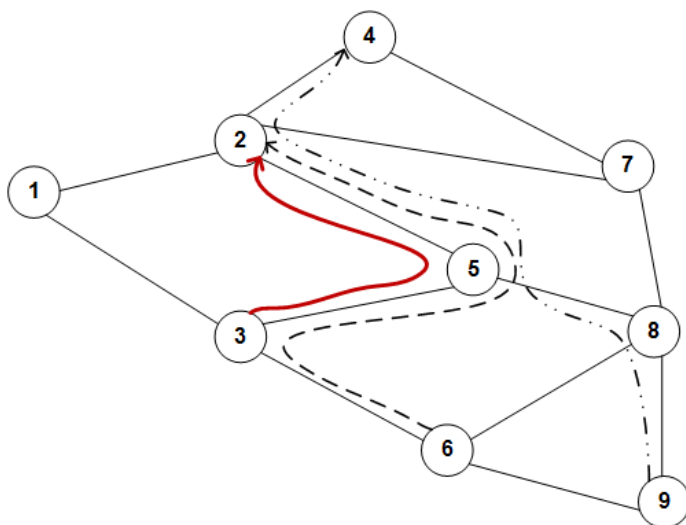


Схема 5

λ 62
 λ' 32
 λ 94



Используется протокол маршрутизации RIP. Каждый узел выполняет алгоритм Беллмана-Форда. Варианты маршрутов представлены на схемах по вариантам. В табл.8.1–8.6 приведены следующие исходные данные:

1. длины линий S , км;
2. скорость распространения сигнала в среде передачи V , км/с;
3. длины пакетов распределены экспоненциально, средняя длина информационного пакета L , бит;
4. допустимый размер очереди на передачу N , пак.;
5. пропускные способности линий B , Кбит/с (считать 1 Кбит = 1000 бит);
6. интенсивности имеющихся сеансов λ , пак./мин.;
7. вероятность ошибки в разряде — p_b ;
8. тип кодека;
9. число кадров кодека в голосовом пакете k ;
10. разработать сеть IP телефонии на базе оборудования фирм – разработчиков по вариантам.

Табл.8.1. Интенсивности сеансов

m	Интенсивности сеансов, пак./мин.			Номер схемы распределения маршрутов
	для передачи данных		для передачи речи	
0	$\lambda_{1,7} = 600$	$\lambda_{9,2} = 100$	$\lambda_{1,7} = 400$	1 схема
1	$\lambda_{2,9} = 300$	$\lambda_{5,9} = 400$	$\lambda_{3,9} = 500$	2 схема
2	$\lambda_{2,5} = 200$	$\lambda_{9,5} = 200$	$\lambda_{1,5} = 500$	3 схема
3	$\lambda_{1,9} = 600$	$\lambda_{4,8} = 200$	$\lambda_{2,8} = 400$	4 схема
4	$\lambda_{9,4} = 250$	$\lambda_{3,2} = 250$	$\lambda_{8,2} = 350$	5 схема
5	$\lambda_{1,7} = 100$	$\lambda_{9,2} = 500$	$\lambda_{1,7} = 350$	1 схема
6	$\lambda_{2,9} = 150$	$\lambda_{5,9} = 200$	$\lambda_{3,9} = 150$	2 схема
7	$\lambda_{2,5} = 300$	$\lambda_{9,5} = 350$	$\lambda_{1,5} = 600$	3 схема
8	$\lambda_{1,9} = 450$	$\lambda_{4,8} = 400$	$\lambda_{2,8} = 450$	4 схема
9	$\lambda_{9,4} = 200$	$\lambda_{3,2} = 350$	$\lambda_{8,2} = 600$	5 схема

(i,j) — сеанс, где i — узел-источник, j — узел-адресат.

m — последняя цифра номера зачётной книжки.

Считать канал несимметричным, поэтому необходимо учитывать направление движения вдоль маршрута.

Табл.8.2. Характеристики линий

m	S , км	V , км/с	B , Кбит/с	L , бит	p_b
0	1500	150 000	50	2048	10^{-6}
1	1000	150 000	56	2240	10^{-6}
2	1500	200 000	64	2560	10^{-6}
3	2000	200 000	128	5120	10^{-7}
4	2000	250 000	512	20000	10^{-7}
5	2500	300 000	128	6400	10^{-7}
6	2000	300 000	64	5000	10^{-7}
7	2000	250 000	56	2000	10^{-6}
8	1500	250 000	50	1800	10^{-6}
9	1000	200 000	32	1500	10^{-6}

m — последняя цифра номера зачётной книжки.

Табл.8.3. Допустимая длина очереди, тип кодека и число кадров кодека в IP-пакете

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N , пак.	10	12	11	13	12	10	12	11	12	13
Кодек	G.729	G.728	G.723 (5.3 кбит/с)	G.729	G.728	G.723 (6.3 кбит/с)	G.729	G.728	G.729	G.729
k	3	4	1	4	3	1	2	2	5	6

n — предпоследняя цифра номера зачётной книжки.

Таблица 8.4. Характеристики кодеков

Кодек	Скорость передачи кодека, Кбит/с, V_k	Задержка накопления (длительность кадра), мс, T_n	Длина кадра кодека, бит, L_k	Задержка кодирования (предварительного анализа), мс, T_k
G.711	64	0.125	8	0
G.729	8	10	80	5
G.728	16	0.625	10	до 2.5
G.723	5.3	30	192	7.5
	6.3	30	160	7.5

Табл.8.5. Классы услуг IP-телефонии в проекте ETSI TIPPHON.

Класс услуги	4 (наивысший)	3 (высокий)	2 (средний)	1 (доступный)
Качество речи	Лучше, чем с G.711	Эквивалентное или лучшее, чем с G.726 (32 кбит/с)	Эквивалентное или лучшее, чем с GSM-FR	Не определяется
Аргументация	Лучше, чем в ТфОП	Эквивалентное ТфОП	Эквивалентное сетям аналоговой беспроводной связи	Эквивалентное Интернет
Сквозная односторонняя задержка	<150мс	<250мс	<350мс	<450мс
Вариация односторонней задержки	<10мс	<20мс	<40мс	
Потери пакетов	<0.5%	<1%	<2%	

Табл.8.6 Фирмы-производители оборудования IP-телефонии

m	1, 6	2, 7	3, 8	4, 9	5, 0
Фирма	Cisco	D-link	Alcatel-Lucent	Cisco	D-link

9. Методика оценки параметров качества передачи пакетной речи

1. Использовать имеющиеся сеансы, представленные на схеме. (табл.8.1).

2. Определить длину голосового пакета

$$L_{\Gamma} = k * L_k + L_z, \quad (9.1)$$

где k – число кадров кодера в пакете (табл. 8.3),

L_k – длина кадра кодека (табл. 8.3, 8.4),

L_z – длина заголовка пакета (7.5).

Оценить протокольную избыточность для голосовых сеансов

$$П_{\Gamma} = L_z / (L_{\Gamma} + L_z) * 100\%. \quad (9.2)$$

4. Для имеющихся сеансов передачи данных и голоса оценить среднюю задержку пакета (раздел 7.1) при различных механизмах поддержки качества обслуживания, указанных в табл.9.1. Табл.9.1 является результирующей, она содержит расчетные параметры качества услуги IP-телефонии.

При выполнении этого пункта следует обратить внимание на аппроксимацию механизма FIFO системами и дисциплинами обслуживания (табл.7.2).

Табл. 9.1. Параметры качества обслуживания для расчетных вариантов

Механизмы поддержки качества обслуживания	Длина голосового пакета, бит	Длина информационного пакета, бит	Параметры качества обслуживания	
			Задержка, мс	Вариация задержки, мс.
Кодек, CRTP, FIFO				
Кодек, PQ,				

10. Требования к выполнению курсового проекта

Курсовой проект должен быть выполнен в соответствии с требованиями [16], курсовой проект должен содержать:

1. Краткое описание стандарта H.323 и SIP (стек протоколов, сетевые компоненты).
2. Краткое описание оборудования IP-телефонии одной из фирм-разработчиков оборудования в соответствии с номером варианта. Описание включает характеристики оборудования, схему узла IP-телефонии, схему организации связи.
3. Постановку задачи и исходные данные.
4. Расчет параметров качества передачи голосовых пакетов заданных сеансов для наборов механизмов поддержки качества обслуживания, указанных в первом столбце табл.9.1.
5. Результирующую таблицу 9.1 и выводы о рекомендуемых механизмах поддержки качества услуги IP-телефонии соответствующего класса.
6. Список используемых источников.

11. Источники

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети – принципы, технологии, протоколы. СПб, Питер, 2010.
2. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – СПб.: Наука и Техника, 2004. –с. 131-216.
3. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 392 с.: ил.
4. Росляков А.В. Основы IP-телефонии/ Учеб. пособие. – М.: ИРИАС, 2007. – 256 с.: ил.
5. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных: Пер. с англ. –М.: Мир, 1989. –544с.
6. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей: Учебник. –М.: Эдиториал УРСС, 2001. –320с.
7. Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. IP-телефония. –М.: Радио и связь, 2001. –336с.
8. Ефимушкин В.А., Вискова Е.В. Классы качества услуг IP-телефонии. Перспективы внедрения// Вестник связи. –2002. –№1. –С.28-30.
9. Жданов А.Г., Рассказов Д.А., Смирнов Д.А., Шипилов М.М. Передача речи по сетям с коммутацией пакетов (IP-телефония)/Под ред. В.Ю. Бабкова и М.А. Вознюка.–СПб.: СПбГУТ, 2001. –148с.
10. Качество обслуживания в сетях IP.:Пер. с англ. –М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. –368с.
11. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / Пер. с англ. под ред. Б.С. Цыбакова. –М.: Мир, 1979. –600с.
12. Мартин Дж. Системный анализ передачи данных. Т.2. –М.: Мир, 1975. –432с.
13. Передача голосовых данных по сетям Cisco Frame Relay, ATM и IP.:Пер. с англ. –М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. –512с.
14. Яшков С.Ф. Анализ очередей в ЭВМ. –М.: Радио и связь, 1989. –216с.
15. www.cisco.ru
16. РД ПГУТИ 2.11.7 -2016 Организация и проведение курсового проектирования. Положение