

Мультисервисная сеть: качество обслуживания и мультикаст

Антон Кустов

Как повысить эффективность использования сети и увеличить производительность важных сервисов? Внедряя новые мультимедийные сервисы, вы обеспечиваете их стабильное функционирование в сети? Получите реальную выгоду от использования технологии качества обслуживания.

Современные мультисервисные сети операторов связи интенсивно охватывают все большие территории, увеличивается база их абонентов, внедряются новые сервисы. Небезызвестная технология Triple Play одними провайдерами уже освоена, а другим предстоит еще познакомиться с ней и с трудностями ее внедрения.

За внедрением Triple Play следует еще более возросшая нагрузка на пропускную способность каналов. Сами же каналы часто подвержены перегрузкам в часы пик, из-за чего в итоге страдает конечный пользователь.

Прежде всего страдает трафик, чувствительный к задержкам, искажениям, времени передачи. К чувствительному трафику следует отнести трафик VoIP и IPTV. Не стоит забывать и о служебном (административном) трафике, без которого работа сети не представляется возможной. К нему следует отнести сервисы маршрутизации (RIP, OSPF), доменных имен (DNS), сервис DHCP, SNMP и прочие. Некоторые компании в ранг важного относят трафик приложений, от стабильной и быстрой работы которых зависит вся деятельность и прибыль компании. Например, для провайдеров – это интернет-трафик. Вследствие вызванных перегрузок, естественно, уменьшается и время доступа к сервисам.

Конечно, перегрузки можно предупреждать увеличением пропускной способности каналов передачи данных, но есть ряд существенных ограничений, из-за чего данный метод не всегда может быть применим:

- Это не всегда возможно в связи с используемой физической средой передачи данных.
- Экономически неоправданно, то есть требует новых вложений (в частности – замена оборудования), что значительно может увеличить стоимость предоставляемых услуг.
- Тяжело предсказать поведение трафика, его интенсивность, скорость увеличения, так как все это зависит от большого числа параметров. Особенно это касается развивающейся, быстро растущей сети. Рост сети подразумевает не только увеличение количества абонентов, но и появление новых сервисов.

Но не все так грустно, как может показаться на первый взгляд. Еще «основатели» Интернета думали о необходимости управления качеством обслуживания в сетях IP. Внедрение (добавление) в заголовок IP-пакета байта типа обслуживания (ToS – Type of Service), положило начало созданию целого набора технологий качества обслуживания (QoS – Quality of Service).

С течением времени они развивались и дополнялись новыми алгоритмами, механизмами обслуживания очередей и механизмами предотвращения перегрузки и в настоящее время позволяют (иногда даже в корне) изменить ситуацию в IP-сетях в лучшую сторону.

QoS

Допустим, необходимо предоставить возможность получать трафик пользователями в соответствии с его важнос-

тью. Тогда необходимы механизмы отделения важного трафика от всего остального, механизмы обработки этого важного трафика в соответствии с политикой провайдера, а также возможность предотвращения перегрузки сети. Таким образом, мы подходим к теме функционирования технологии QoS.

Маркировка пакетов и их классификация

Маркировка пакетов служит для идентификации определенного типа трафика и может осуществляться следующим образом:

- установкой в заголовке IP-пакета значения поля IP-приоритета (8 классов сервиса);
- установкой в заголовке IP-пакета значения поля кода дифференцированной услуги (DSCP) (64 класса сервиса);
- установкой значения в Ethernet фрейме с использованием 802.1p приоритета в заголовке 802.1Q (8 классов сервиса);
- установкой значения MPLS EXP в MPLS-метке.

Классификация служит для разделения IP-пакетов, относящихся к различным типам трафика, в зависимости от значений полей заголовка IP-пакета.

Обработка пакетов

Сетевые устройства обладают буфером, благодаря которому есть возможность накапливать необходимое количество пакетов и обрабатывать их в зависимости от установленных приоритетов. Алгоритмы управления очере-

дями начинают работать только в моменты переполнения буфера.

На данный момент используется несколько основных алгоритмов обработки очередей:

- **Weighted Fair Queuing (WFQ)** – взвешенный алгоритм равномерного обслуживания.
- **Weighted Round Robin (WRR)** – взвешенный алгоритм кругового обслуживания. Используется механизм с учетом назначения каждому потоку трафика своего веса и обработка потока пропорционально этому весу.
- **Weighted Random Early Detection (WRED)** – взвешенный алгоритм произвольного раннего обнаружения. Используется для предотвращения перегрузки сети.

Также существуют всевозможные модификации и дополнения к этим алгоритмам, которые могут отличаться у разных производителей сетевого оборудования.

Возможности QoS

- Выделение из общего потока данных требуемого трафика и задание для него приоритета.
- Повышение доступности приоритетного сервиса, вне зависимости от загруженности каналов.
- Обработка приоритетного трафика в зависимости от установленной политики компании.
- Улучшение характеристик трафика.
- Возможность гибко изменять ценовую политику провайдером, предоставляя различный уровень сервиса в зависимости от потребностей клиентов.

Постановка задачи

Перейдем собственно к описанию реальной задачи:

- Необходимо подготовить существующую «домовую» сеть к внедрению сервиса теле- и радиовещания в сети.
- Учесть влияние этого нового трафика на основные сетевые сервисы компании – предоставление выхода в Интернет и услуги VoIP, учесть влияние быстро растущей базы абонентов и р2р-трафика внутри локальной (пользовательской) сети.

- Необходимо также решить, как проводить модернизацию и масштабирование сети. Решение должно быть экономически оправданным.

Для начала определим требования к сети.

Требования, предъявляемые для сервисов к сети

В традиционных сетях, где трафик создают приложения файлового обмена, почтовые сервисы, сервисы баз данных, требования, предъявляемые к сети и качеству обслуживания, не столь высоки.

VoIP, видеоконференции

Для работы сервисов VoIP и видеоконференций требования к сети и качеству обслуживания сильно возрастают, так как необходимо обеспечить в сети для них:

- низкие задержки для VoIP и интерактивного видео (видеоконференции) максимум 150 мс (миллисекунд) в одну сторону (следующая International Telecommunication Union);
- максимальное значение джиттера менее 10 мс для VoIP и 30 мс для интерактивного видео;
- максимальные потери пакетов не более 0,25%.

Следует понимать, что пиковая нагрузка на каналы передачи данных в мультисервисных сетях в основном приходится на вечер, выходные дни недели и праздники.

VoD, AoD, TPB

Следует разделить эти сервисы на две категории:

- предоставление услуги VoD (Video on Demand), AoD (Audio on Demand) – видео/аудио по заказу (запросу);
- теле- и/или радиовещание (TPB).

Для этих сервисов необходима различная пропускная способность. Для технологии VoD/AoD пропускная способность прямо пропорциональна количеству заказанных различных видеопотоков. Например, уже при заказе 100 пользователями различных фильмов при потоке 4-5 Мбит/с каждый сформируется общий поток на магистраль 400-500 Мбит/с. Для сниже-

ния нагрузки на магистраль используется технология кеширующих серверов, располагающихся как можно ближе к абоненту.

Для сервиса TPB используется технология multicast, которая существенно снижает нагрузку на магистраль. Однако появляется требование поддержки оборудованием протокола групповой адресации IGMP и протоколов мультикаст маршрутизации (PIM, DVMRP).

Важные требования к сети для VoD/AoD и TPB:

- Задержка не более 4-5 секунд. Столь большая задержка возможна благодаря использованию буферизации в видеоприложениях.
- По той же причине не существует значительных требований к колебанию задержки.
- Потери должны составлять максимум 2%.

Решение задачи

Исходя из вышеназванных критериев, перейдем к практике и решим поставленную задачу. Разобьем решение на несколько этапов:

- Представление структуры и логической схемы сети.
- Внедрение технологии мультикастинга.
- Реализация технологии QoS.
- Тестирование QoS.

Структура сети

Сеть на данный момент представляет собой многоуровневую иерархическую структуру. На рисунке представлена схема сети и используемое оборудование. В нашем случае сеть построена на оборудовании компании D-Link.

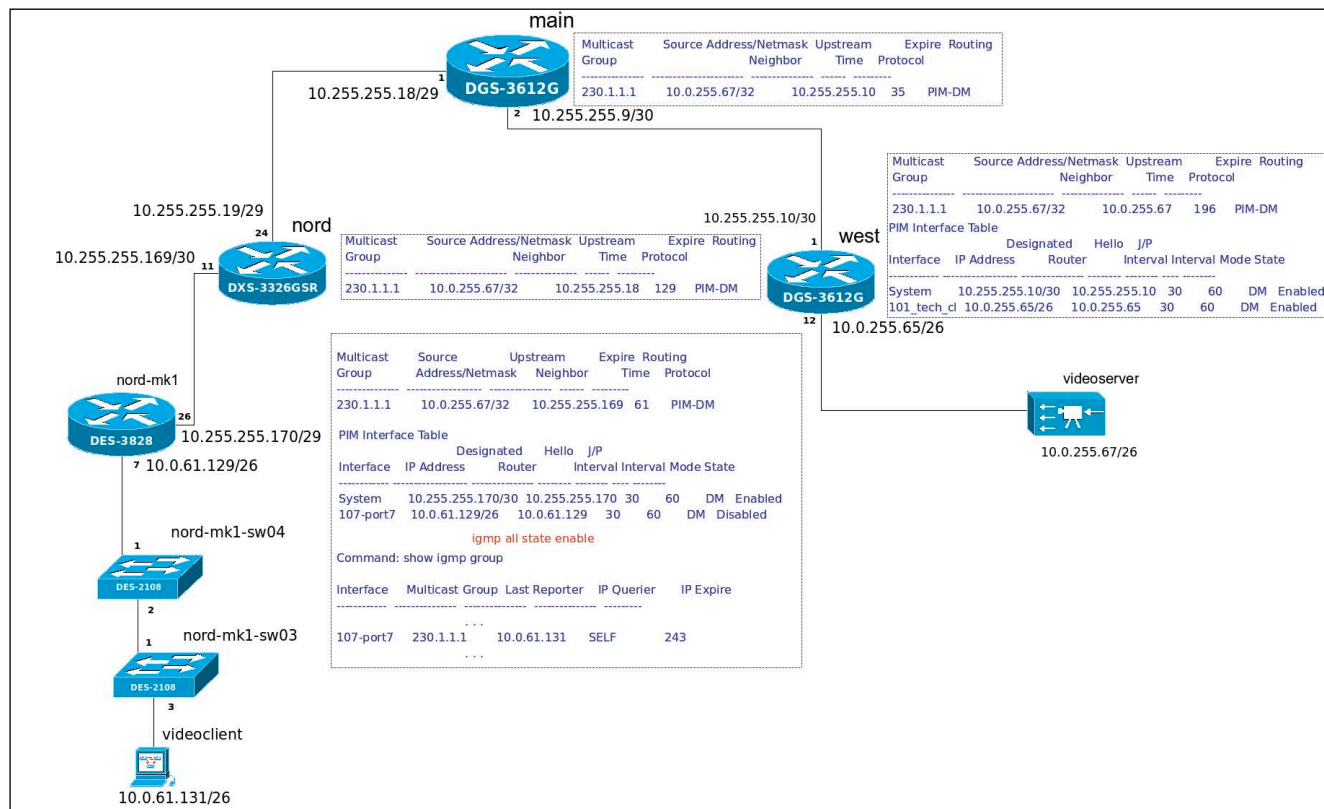
Как видно из схемы, к роутеру west DGS-3612G подключен видеосервер. Роутеры techcenter, west, nord, nord-mk9 связаны оптическими линиями связи на скорости 1 Гбит/с. Свитчи nord-sw04 и nord-sw03 подключены на скорости 100 Мбит/с. Клиентское оборудование подключается на скорости 10 Мбит/с.

Физическая структура разбита на несколько уровней:

- **Ядро системы** – techcenter.
- **Район города** – nord, west.
- **Квартал** – nord-mk9.
- **Дом** – nord-sw04.
- **Подъезд** – nord-sw03.

Используемое оборудование

Имя	Модель	Интерфейсы	Мультикаст	QoS	Уровень	Производительность
main	DGS-3612G	8 портов SFP 4 комбо-порта SFP/1000BASE-T	IGMP v1, v2, v3 PIM	Class of Service на основе: - MAC-адреса - TOS - DSCP - IP-адреса - Номера порта TCP/UDP - VLAN ID - Содержимого пакетов, определяемых пользователем - WRED	3	24 Гбит/с
nord	DXS-3326GSR	20 SFP портов 4 комбо-порта SFP/10/100/1000BASE-T Gigabit	IGMP v1, v2, v3 PIM	Class of Service на основе: - MAC-адреса - TOS - DSCP - IP-адреса - Номера порта TCP/UDP - VLAN ID - Содержимого пакетов, определяемых пользователем - WRED	3	128 Гбит/с
nord-mk1	DES-3828	24 порта 10/100BASE-TX 2 комбо-порта 10/100/1000BASE-T/SFP	IGMP v1,v2,v3 PIM	Class of Service на основе: - MAC-адреса - TOS - DSCP - IP-адреса - Номера порта TCP/UDP - VLAN ID - Содержимого пакетов, определяемых пользователем - WRED	3	12.8 Гбит/с
nord-mk-sw04, sw03	DES-2108	8 портов 10/100BASE-TX	IGMP Snooping v2	QoS на основе портов	2	1.6Гбит/с
–	DES-3526	24 порта 10/100BASE-TX 2 комбо-порта 1000BASE-T/MiniGBIC (SFP)	IGMP Snooping v3	Class of Service на основе: - MAC-адреса - TOS - DSCP - IP-адреса - Номера порта TCP/UDP - Содержимого пакетов, определяемых пользователем портов	2	8.8 Гбит/с



Структурная схема сети

Каждый дом подключен оптическим каналом связи. Внутри дома клиенты подключены по технологии 100BASE-T Ethernet.

Достоинства сетевого оборудования этой компании применительно к нашим задачам:

- низкая стоимость;
- адекватная служба технической поддержки.

Недостатки:

- сыроватость программного обеспечения, что со временем исправляется, если сообщать о неполадках;
- не всегда соответствуют в полной мере заявленные возможности реальным;
- реализация функционирования работы протоколов не всегда соответствует стандартам из теории, что влечет за собой проблемы.

В **таблице** приведена информация о некоторых возможностях используемого оборудования. Подробное описание оборудования можно найти на официальном сайте компании D-Link.

Стоит упомянуть, что настроить более-менее корректную конфигурацию в сетевом оборудовании удалось лишь при активном общении со службой технической поддержки.

Внедрение мультикастинга

Технология мультикастинга предусматривает распространение данных от источника – группе получателей. Например – распространение телевизионных каналов ограниченной группе абонентов, при условии, что каждый абонент получает только тот канал, который он заказывал. Для достижения этой цели в IP-сетях часто используется связка протоколов IGMP и PIM, хотя есть и другие, менее распространенные варианты.

IGMP + PIM

Для включения в мультикаст группы абонентов, находящихся в непосредственно присоединенных к маршрутизатору сетях, используется протокол IGMP. Для подключения к группе сначала посылается IGMP-сообщение «всем клиентам» о включении в группу, при этом локальный мультикаст-сервер подготавливает маршрут. Маршрутизатор регулярно отправляет запросы с требованием подтверждения участия в группе. Клиент посылает отклик-подтверждение для каждой из групп, если у него (клиента) есть хотя бы один процесс – член группы. Если при очередном запросе клиент не подтверждает членство в группе, то он покидает группу. На основе этих запросов-откликов мультикастинг-маршрутизатор составляет и поддерживает таблицу интерфейсов, которые имеют одного или более клиентов, входящих в мультикастинг-группы.

Для передачи групповых дейтаграмм в другие сети (через систему сетей) используются различные протоколы мультикаст-маршрутизации.

Наиболее используемых современными протоколами мультикаст-маршрутизации являются два протокола PIM (Protocol Independent Multicast) – PIM DM (Dense Mode) и PIM SM (Sparse Mode).

В нашем случае по протоколу PIM передается информация о мультикаст-группах всем роутерам, вплоть до nord-mk1. Использование протокола PIM DM в этом случае обусловлено большой плотностью получателей и архитектурой сети. Он не требует доступа к внутренним таблицам маршрутизации, поэтому достигается независимость от протоколов маршрутизации (OSPF, RIP, статическая маршрутизация). PIM DM реализует метод RPF (Reverse Path Forwarding) с усечением (Prune). То есть при отсутствии получателей на очередном маршрутизаторе отправляется сообщение Prune и данный маршрутизатор отсекается от дерева рассылки. Каждые 3 минуты рассылаются пробные дейтаграммы, так как за это время истекает срок сообщения Prune. Время Prune можно задавать в конфигурации маршрутизатора.

Реализация

Итак, приступим к настройке мультикаста. В нашем случае для «обычной» маршрутизации используется протокол OSPF. Настраиваем OSPF на обоих интерфейсах маршрутизаторов.

Пример настройки на маршрутизаторе nord-mk1:

```
config ospf ipif System area 0.0.0.0 priority 1
hello_interval 10 dead_interval 40
config ospf ipif System authentication none
metric 1 state enable active
config ospf router_id 10.255.255.170
enable ospf
```

Проверить правильность настройки интерфейсов можно, выполнив следующую команду:

```
sh ospf neighbour
```

Результат вывода команды должен быть приблизительно таким:

IP Address of Neighbor	Router ID of Neighbor	Neighbor Priority	Neighbor State
10.255.255.17	192.168.149.5	1	Full

Total Entries : 1

После тщетных попыток заставить работать мультикаст, пришлось обратиться в службу технической поддержки компании D-Link. На запрос были получены новые версии прошивок для nord и nord-mk1, и ситуация исправилась.

Следует также обратить внимание на следующую «особенность». В тексте конфигурационного файла nord-mk1 присутствуют вот такие записи:

```
disable gvrp
config gvrp 25-28 state disable ingress checking
enable acceptable_frame admit_all pvid 1
```

Несмотря на, казалось бы, глобальное запрещение gvrp, вторая строка влияет на работу, причем именно мультикаста.

Как оказалось, необходимо в качестве pvid выставить 1, несмотря на вот эти строки в нашей конфигурации:

```
config vlan default delete 1-28
```



```
config vlan default advertisement enable
create vlan 20-mik9jan-1 tag 20
config vlan 20-mik9jan-1 add tagged 26
config vlan 20-mik9jan-1 advertisement disable
```

Для каждого из маршрутизаторов DGS-3612G, DXS-3326GSR, nord-mk1 выполняем следующие команды:

```
enable igmp_snooping
config igmp_snooping all state enable
config igmp all state enable
enable pim
config pim all state enable
create pim crp group 224.0.0.0/4 rp System
```

Для свитча nord-mk1 обязательным является включение PIM DM совместно с IGMP на всех интерфейсах, где требуется получение мультикаст-трафика. Эти и некоторые другие, менее значительные, особенности (ошибки) реализации удалось решить только при активном сотрудничестве со службой технической поддержки компании D-Link.

Проверяем функционирование протоколов.

```
DES-3800:admin#show igmp
```

IGMP Interface Configurations							
QI : Query Interval MRT : Maximum Response Time RV : Robustness Value LMQI : Last Member Query Interval							
Interface	IP Address/Netmask	Version	QI	MRT	RV	LMQI	State
System	10.255.255.170/30	2	125	10	2	1	Enabled
101-port1	10.0.60.1/26	2	125	10	2	1	Enabled
102-port2	10.0.60.65/26	2	125	10	2	1	Enabled
...							
116-port16	10.0.63.193/26	2	125	10	2	1	Enabled
Total Entries: 21							

```
DES-3800:admin#show pim neighbor
```

PIM Neighbor Address Table		
Interface Name	Neighbor Address	Expired Time
System	10.255.255.169	96
Total Entries: 1		

```
DES-3800:admin#sh igmp group
```

Interface	Multicast Group	Last Reporter IP	Querier	IP Expire
101-port1	230.1.1.1	10.0.60.4	SELF	145
101-port1	230.1.1.2	10.0.61.3	SELF	250
...				
106-port6	239.255.255.250	10.0.61.77	SELF	216

```
DES-3800:admin#sh ipmc cache
```

Multicast Group	Source Address/Netmask	Upstream Neighbor	Expire Time	Routing Protocol
230.1.1.1	10.0.6.144/32	10.255.255.169	163	PIM-DM
230.1.1.2	10.0.6.144/32	10.255.255.169	183	PIM-DM
...				
230.1.1.1.6	10.0.6.144/32	10.255.255.169	209	PIM-DM
Total Entries: 21				

Не углубляясь в тонкости подбора параметров протоколов PIM DM и IGMP, настройку мультикаста в данном сегменте сети можно считать завершенной. Таким образом, сеть подготовлена к внедрению сервиса теле- и радиовещания, и решена первая часть задачи.

Реализация QoS

Для обеспечения стабильного функционирования этого нового сервиса необходимо назначить приоритеты для всех важных сервисов – VoIP, предоставление услуг Интернета, административных сервисов, мультикаст-трафика. Необходимо также выбрать метод обработки классифицированных пакетов.

Приоритеты и механизм ACL

Маркировку пакетов необходимо производить максимально близко к абоненту, то есть на оборудовании, к которому он непосредственно подключен. Для маркировки пакетов используется механизм ACL (Access Control List).

Стандартом IEEE 802.1d определены 8 уровней приоритетов:

- **Level 7** – для трафика, связанного с управлением сетью, например, для сообщений с настройками маршрутизатора.
- **Level 6** – для голосового трафика, особенно чувствительного к неустойчивой синхронизации (т.е. к изменчивости задержек).
- **Level 5** – для видеоданных, требующих широкой полосы пропускания и чувствительных к неустойчивой синхронизации.
- **Level 4** – для трафика с контролируемой нагрузкой на сеть, но чувствительного к задержкам – например, для транзакций SNA (системной сетевой архитектуры IBM).
- **Level 3** – для трафика, требующего передачи при первой возможности или с преимуществом относительно других видов трафика – например, для важного рабочего трафика, допускающего некоторую задержку.
- **Level 2** – для выделения резерва полосы пропускания.
- **Level 1** – для некритичного «фонового» трафика, например, для неконтролируемой передачи данных, которая допускается, но не должна никоим образом сказываться на других задачах и пользователях.
- **Level 0** – для трафика, передаваемого только при наличии возможностей.

В нашей конфигурации управление сетевым оборудованием вынесено в отдельный vlan (3-manage), поэтому необходимо определить для всего 3-manage vlan – 7 уровень приоритета (IEEE 802.1d).

В nord-mk1 строки конфигурации выглядят следующим образом:

```
// Создаем правило
create access_profile ip vlan profile id 3
config access_profile profile_id 3 add access_id 1
ip vlan 3-manage port 1 permit priority 7 replace_priority
// для 3-manage vlan задаем 7 приоритет на 1 порту
...
config access_profile profile_id 3 add access_id 1
ip vlan 3-manage port 28 permit priority 7 replace_priority
```

Создаем для VoIP следующую конфигурацию:

```
create access_profile ip source_ip_mask 255.255.255.255
profile_id 4
config access_profile profile_id 4 add access_id 29
ip source_ip 192.168.149.1 port 1 permit priority 6
replace_priority
...
config access_profile profile_id 4 add access_id 29
ip source_ip 192.168.149.1 port 28 permit priority 6
replace_priority
```

Для всего мультикаст-трафика задаем 6 приоритет:

```
create access_profile ip destination_ip_mask 240.0.0.0
profile_id 6
config access_profile profile_id 6 add access_id 1
ip destination_ip 224.0.0.0 port 1 permit priority 5
replace_priority
...
```

```
config access_profile profile_id 6 add access_id 1
ip destination ip 224.0.0.0 port 28 permit priority 5
replace_priority
```

Здесь на самом деле можно выделить нужный диапазон мультикаст-адресов и задать приоритет именно этому диапазону. Таким образом, можно дифференцировать нужный мультикаст-трафик от служебного или менее значимого для конкретной решаемой задачи.

С остальными сервисами поступаем аналогично.

Для того чтобы nord-mk1-sw04 (DES-2108) «понимал» заданные nord-mk1 приоритеты, необходимо, чтобы uplink его был тегированный.

Текущая конфигурация не обеспечивает полноценную реализацию QoS для каждого абонента, то есть исходящий трафик от абонента маркируется только после приема его nord-mk1. Вследствие этого может возникнуть перегрузка на nord-mk1-sw04 (см. **рисунок**), когда абоненты создадут исходящий поток, превышающий пропускную способность uplink-канала (100 Мбит/с) на nord-mk1 (nord-mk1).

При использовании коммутаторов серии DES-3526 (26 портов) взамен DES-2108 (8 портов) этот недостаток полностью устраняется тем, что в DES-3526 существует механизм ACL, что позволяет перенести маркирование трафика максимально близко к абонентам. Конфигурация ACL DES-3828 полностью совместима с DES-3526. В итоге получаем схему, в которой нужный исходящий и входящий трафик абонента промаркирован на всем пути следования пакетов. Таким образом, реализуется полноценное качество обслуживания для каждого абонента.

Использование DES-2108 обусловлено двумя причинами:

- стоимость коммутатора DES-2108 в 3 раза ниже DES-3526;
- небольшое количество подключений в подъезде.

По мере развития сети, увеличения плотности абонентов, повышения нагрузки на каналы в «узких» местах коммутаторы DES-2108 будут заменяться.

Методы обработки классифицированных пакетов

Для обработки классифицированных пакетов в выбранном оборудовании есть возможность выбрать один из двух методов:

- Метод Strict. Кратко, алгоритм работы следующий: в первую очередь обрабатываются наиболее приоритетные пакеты, остальные – отбрасываются.
- Wighted Round Robin (Взвешенное круговое обслуживание). Обработка приоритетов происходит в зависимости от их «веса», задаваемого в конфигурации коммутатора.

Пример:

```
config scheduling 0 max_packet 1
config scheduling 1 max_packet 2
config scheduling 2 max_packet 3
config scheduling 3 max_packet 4
config scheduling 4 max_packet 5
config scheduling 5 max_packet 6
config scheduling 6 max_packet 7
config scheduling 7 max_packet 8
```

В примере для каждого уровня QoS задается количество пакетов, которые будут обработаны в первую очередь. То есть при наличии в буфере устройства трафика с 8 приоритетами сначала будут обработаны 8 пакетов 7 уровня QoS, затем 7 пакетов 6 уровня QoS и так далее по убыванию.

Масштабируемость и модернизация сети


Масштабируемость и модернизация на уровне доступа абонента реализуется заменой свитчей DES-2108. В качестве замены выступает свитч DES-3526 (см. **таблицу**), обладающий большим количеством портов, наличием 2 комбо-портов 1000BASE-T/SFP Gigabit Ethernet, продвинутой функциональностью. Стоимость «на порт» DES-3526 равна стоимости «на порт» DES-2108.

Использование приоритетов для выбранного трафика позволит обеспечить стабильное функционирование важных сервисов без увеличения пропускной способности канала, что сэкономит и оттянет затраты на замену вышестоящего оборудования. При дальнейшем увеличении количества абонентов и загруженности каналов управляемый коммутатор Fast Ethernet уровня 3 DES-3828 может быть заменен на аналогичный по функциональности DGS-3627G. Этот коммутатор обеспечивает высокую плотность гигабитных портов, оснащенных слотами SPF для гибкого подключения по оптике, а также слотами для установки модулей расширения с портами 10 Gigabit Ethernet.

Так как все используемые коммутаторы стэкируемые (за исключением DES-2108), то использование технологии виртуального стека также позволяет масштабировать сеть, добавляя необходимое количество портов.

Итог

Для утверждения, что сеть готова к предоставлению сервисов VoIP и видеоконференций, необходимо проводить полноценное тестирование. Предварительное же тестирование показало, что предоставление сервиса TPV возможно уже сейчас. Тестирование проводилось постепенным увеличением нагрузки на канал различными сервисами, а также генерацией искусственного трафика, близкого по характеристикам к текущим и возможным сервисам в сети. При увеличении нагрузки на канал искажений и заметных потерь в приоритезированном видео замечено не было. Для получения точных результатов, а также выявления зависимостей влияния параметров сети (задержки, джиттера и т. д.) на сервис TPV необходимо проводить полномасштабное тестирование. Но тестирование и оценка влияния параметров сети на видео- и аудиосервисы выходит далеко за рамки этой статьи.

Надеюсь, данная статья поможет разобраться с практическими основами внедрения QoS, повысить эффективность работы сети, а также поможет обеспечить стабильную работу нужных именно вам сервисов. 

1. Шринивас Вегешна «Качество обслуживания в сетях IP», Cisco, издательство «Вильямс», 2003 г.
2. <http://www.dlink.ru/technical>.
3. Кустов А. Как организовать сервис телерадиовещания в сети. //Системный администратор, №9, 2007 г. – С. 52-56.