

УДК 62-503.56

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ТРАФИКА С УЧЕТОМ ПЕРЕГРУЗОК КАНАЛОВ СЕТИ MPLS-TE DIFFSERV

М.С. Ткачёв

Приведены результаты моделирования перераспределения потоков трафика при переполнении буферов очередей сетевых адаптеров маршрутизаторов и перегрузке каналов передачи в сети MPLS-TE DiffServ.

*Ключевые слова:* телекоммуникационные сети; управление трафиком; многопротокольная коммутация по меткам; классификация трафика; перегрузки каналов связи.

---

## SIMULATION OF DISTRIBUTION THE TRAFFIC FLOWS WITH ACCOUNT OVERLOAD CHANNELS OF MPLS-TE DIFFSERV NETWORK

M.S. Tkachev

It is considered results of the modeling of redistribution of traffic flows with the buffer overflow queuing of network adapters of routers and overload channels in a MPLS-TE DiffServ network.

*Keywords:* telecommunication network; control of traffic; multiprotocol label switching; traffic classification; overloading of communication channels.

**Введение.** Технология *MPLS (MultiProtocol Label Switching)* была разработана для передачи разнородного трафика и создания единого протокола передачи данных как для приложений с коммутацией каналов, так и приложений с коммутацией пакетов. В основе технологии *MPLS* лежит механизм, который позволяет при маршрутизации заглядывать не вовнутрь передаваемого пакета и исследовать таблицу маршрутизации в поисках лучшего подходящего пути, а ориентироваться по некой метке. При этом совершенно неважно, что находится под меткой – пакеты *IP (Internet Protocol)*, кадры *Ethernet* или ячейки *ATM (Asynchronous Transfer Mode)*.

Расширение технологии *MPLS – Traffic Engineering (TE)* позволяет управлять направлением прохождения трафика данных путем резервирования каналов передачи для распределения загрузки сети в целом и предотвращения перегрузок. При этом производится оценка полосы пропускания канала передачи и значения объемов трафика, проходящего по этому каналу.

Архитектура дифференцированных услуг (*DiffServ*) используется для обеспечения функций *QoS* в масштабах сети Internet. В соответствии с моделью *Diffserv* обеспечение качества обслу-

живания в сети предполагает наличие небольшого числа четко определенных “строительных” блоков, на основе которых можно создать множество различных услуг [1]. Недостаток простого совмещения технологий *DiffServ* и *MPLS-TE* состоит в том, что *MPLS-TE* “забывает” о разделении потоков по классам обслуживания (*CoS*) и функционирует в доступной полосе пропускания обобщенно (одинаково для всех классов). *DiffServ-aware-MPLS-TE*, также называемая *MPLS DiffServ-TE*, – это еще один подход к инжинирингу трафика в сети *MPLS*, и отличается он от других подходов не сигнализацией или иными сетевыми механизмами, а ориентацией целевой функции на гарантирование качества предоставления услуг согласно классам обслуживания [2].

Объектно-ориентированная модульная среда с открытой архитектурой *OMNeT++* позволяет разрабатывать и моделировать телекоммуникационные системы любой сложности [3]. В *OMNeT++* алгоритмы взаимодействия сетевых компонентов описываются сразу на двух языках программирования – *NED (Network Description)* и *C++*. Язык программирования *NED* модифицирует разрозненные сетевые компоненты, наполняя их необходимым функционалом, и соединяет их в одно большое

целое – сеть *MPLS-TE DiffServ*. При этом каждый модуль передает свои свойства для правильной работы более сложного модуля, частью которого он является. Математические вычисления и порядок пересылки сетевых сообщений описываются с помощью языка программирования *C++*. Благодаря этим свойствам среда моделирования *OMNeT++* является очень гибкой и хорошо подходит для моделирования процессов балансировки нагрузки и управления трафиком в сетях *MPLS-TE* [3].

Целью настоящей работы является моделирование и описание перераспределения потоков трафика при переполнении буферов очередей сетевых адаптеров маршрутизаторов и перегрузке каналов в сети *MPLS-TE DiffServ*. Рассматривается небольшая топология сети *MPLS-TE DiffServ*, состоящая из четырех маршрутизаторов и трех конечных узлов, каждый из которых среда *OMNeT++* представляет набором функциональных подмодулей. Передача разнородного трафика ведется от конечных узлов под номерами один и два в сторону узла три. При этом первоначально выбранный маршрут не справляется с большим объемом разнородного трафика, и спустя некоторое время происходит балансировка поступающего трафика на второй, альтернативный маршрут.

**Моделирование топологии и оценка загруженности каналов сети *MPLS-TE DiffServ*.** Для детального рассмотрения процесса обнаружения перегрузки в каналах выбранного основного маршрута сеть *MPLS-TE DiffServ* была упрощена следующим образом.

Количество маршрутизаторов выбрано так, чтобы было всего два маршрута до узла назначения. Модель сети *MPLS-TE DiffServ* состоит из четырех модулей *LSR (Label Switching Router)* – маршрутизаторов и трех конечных устройств с названиями *host1*, *host2* и *host3* (рисунок 1).

Пропускная способность каналов передачи данных выбрана намного меньше, чем обычно предоставляется в небольших сетях *MPLS-TE DiffServ*. Таким образом, пропускная способность для всех каналов передачи данных, соединяющих все сетевые компоненты сети установлена в 600 кбит/с.

Временная задержка для каналов, соединяющих конечные устройства с *LSR*-маршрутизаторами, установлена равной 10 миллисекундам, а для каналов, соединяющих *LSR*-маршрутизаторы – 5 миллисекундам.

В данной статье под пользовательскими данными понимаются потоки данных, передаваемые программными приложениями пользователей сети между конечными устройствами. Для отображения возможностей передачи пользовательского разнородного трафика были выбраны три наиболее

популярных вида трафика – голосовой, видео и остальной, пакеты которого не превышают размер в 128 байт. Конечное устройство *host1* передает видео и голосовой трафик пакетами с размерами 500 и 178 байт соответственно в направлении конечного устройства *host3*. В это же самое время конечное устройство *host2* передает обычные данные пакетами по 128 байт, также в направлении *host3*.

Модуль *ThruputMeteringChannel* позволяет делать замеры в режиме реального времени таких физических характеристик каналов передачи как текущая полоса пропускания, средняя пропускная способность и количество процентов среднего использования канала передачи данных. Данные показатели снимаются с выходных сетевых интерфейсов как маршрутизатором, так и конечными устройствами.

С момента начала передачи данных рассчитан и выбран как основной канал для их передачи маршрут, состоящий из *LSR*-маршрутизаторов под номерами 1, 2 и 4 (рисунок 2).

Интенсивность исходящего трафика от конечного устройства *host1* на 100 % заполняет канал передачи в направлении маршрутизатора *LSR1*, и постепенно начинает переполнять буферы сетевых очередей всех маршрутизаторов на пути следования к конечному устройству *host3*. При этом остальные каналы передачи данных используются только для передачи служебной информации.

Уже на 2-й секунде моделирования на исходящих интерфейсах *LSR*-маршрутизаторов выбранного основного маршрута, а именно на *LSR*-маршрутизаторах под номерами 1, 2 и 4, фиксируется загрузка каналов передачи данных более чем на 95 % (рисунок 3).

В следующие 3 секунды модуль *ThruputMeteringChannel* фиксирует на исходящих сетевых интерфейсах маршрутизатора *LSR1* загрузку канала передачи до 99,8 %.

**Моделирование перенаправления потоков трафика с учетом перегрузки основного маршрута передачи данных.** При первой же ошибке протоколов сигнализации по превышению временного интервала ожидания ответа от маршрутизатора *LSR1*, меняется таблица маршрутизации. Затем на базе измененной таблицы маршрутизации перерасчитывается база данных оптимальных путей *TED (Traffic Engineering Database)*. А уже к началу 6 секунды данные начинают передаваться по альтернативному маршруту, а именно через *LSR*-маршрутизаторы под номерами 1, 3 и 4 (рисунок 4). При этом количество процентов среднего использования каналов передачи данных, замеряемое на исходящих интерфейсах *LSR*-маршрутизаторов под номерами 1, 3 и 4, начинает быстро увеличиваться.

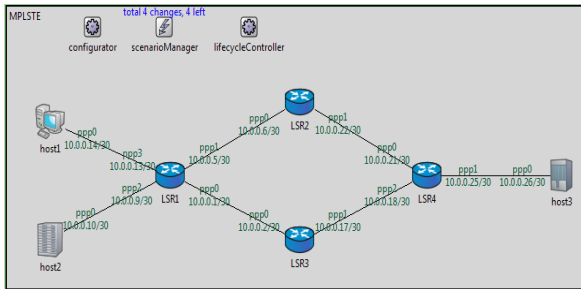


Рисунок 1 – Модель сети *MPLS-TE DiffServ*, состоящей из четырех *LSR*-маршрутизаторов и трех конечных устройств

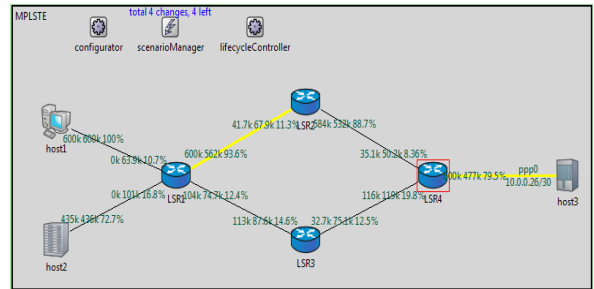


Рисунок 2 – Выбор первоначального маршрута для передачи данных

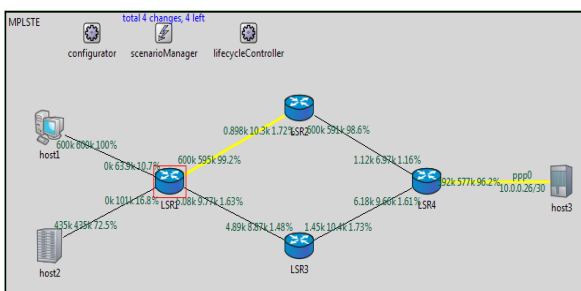


Рисунок 3 – Загрузка каналов основного маршрута более чем на 95 %

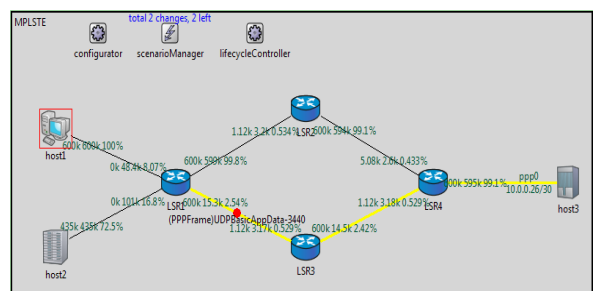


Рисунок 4 – Использование альтернативного маршрута

Благодаря использованию альтернативного маршрута для поступающих пакетов, пакеты данных, которые уже находились в очереди на обслуживание в маршрутизаторе *LSR1*, начинают продолжать передаваться дальше, к узлу назначения.

Спустя сотые доли секунды по основному маршруту передается сообщение протокола сигнализации о разрыве сетевого пути, которое означает прекращение на время использование данного маршрута для передачи данных. При этом прекращается передача даже сообщений протоколов сигнализации. Таким образом, альтернативный маршрут становится основным для передачи данных к конечному узлу назначения *host3*.

**Заключение.** Таким образом, среда моделирования *OMNeT++* позволяет детально рассмотреть процесс обнаружения перегрузок в каналах передачи данных. При этом дополнительные вспомогательные модули, такие как *ThruputMeteringChannel*, обеспечивают количественное представление объемов обрабатываемого разнородного сетевого трафика, проходящего через выходные сетевые интерфейсы маршрутизаторов сети *MPLS-TE DiffServ*.

Благодаря работе протоколов сигнализации и резервирования каналов передачи данных, об-

наружение перегрузок и перенаправление трафика на альтернативные, менее загруженные маршруты происходит за считанные доли секунды с минимальными потерями пользовательских данных. При этом пересчитывается база данных оптимальных маршрутов *TED*, и перегруженный маршрут на время становится “невидим”, даже для протоколов сигнализации и резервирования сетевых ресурсов.

Такой подход к перегруженным каналам передачи данных позволяет убрать поступающую нагрузку на заполненные буферы очередей маршрутизаторов основного маршрута сети *MPLS-TE DiffServ*, что предотвращает потерю этих поступающих пакетов. При этом основной маршрут продолжает передачу накопленных в буферах очередей данных.

#### Литература

1. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP / Ш. Вегенша; пер. с англ. М.: Изд. дом “Вильямс”, 2003. 386 с.
2. Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS / Б.С. Гольдштейн, А.Б. Гольдштейн. СПб.: БХВ–Санкт-Петербург, 2005. 304 с.
3. <http://omnetpp.org>.