

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАФИКА В СЕТЯХ MPLS С ЦЕЛЬЮ ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ

Жильцов В.А., студ.; Яремко И.Н., доц., к.т.н., доц.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

В эпоху информации связь является важнейшим инструментом в руках человечества. Она развивается, модернизируется и проникает во все сферы жизнедеятельности человека, параллельно адаптируясь к ним. Исходя из этого появляется необходимость внедрять методы оптимизации трафика, которые должны обеспечивать заданные классы обслуживания для различных типов трафика посредством перераспределения сетевых ресурсов. С внедрением приложений QoS (Quality of Service) в Интернет, было разработано много новых сетевых технологий. Так как каналы в сетях связи на транспортном уровне зачастую перегружены, то внедрение и совершенствование такой системы является актуальным в наше время. Наиболее распространенной из таких систем является технология многопротокольной коммутации по меткам MPLS, которая используется на транспортном уровне и позволяет обеспечить эффективную передачу трафика с поддержкой параметров QoS.

Целью исследования является поиск путей повышения производительности MPLS сети за счет более эффективного распределения ресурсов пропускной способности магистральных каналов связи между набором заданных путей, перераспределения нагрузки между LSP в условиях изменения трафика в сети.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- проведение анализа существующих методов оптимизации трафика в MPLS сетях;
- исследование требований QoS, предъявляемых к MPLS тоннелям;
- применение технологии Traffic Engineering (TE) для прогнозирования трафика в MPLS сетях;
- разработка алгоритма функционирования механизма оптимизации трафика сетей.

MPLS основан на принципе обмена метками. Любой переданный пакет связан с определенным классом сетевого уровня (FEC), каждый из которых идентифицируется определенной меткой. Значение метки уникально только для участка пути между соседними узлами сети MPLS, которые также известны как маршрутизаторы на основе LSR. Метка добавляется в любой пакет, а способ привязки к пакету зависит от технологии, используемой на канальном уровне. Технология многопротокольной коммутации с помощью меток MPLS считается на данный момент многими специалистами одной из наиболее перспективных и оптимальных транспортных технологий [1].

При поступлении пакетов на границу MPLS-домена пограничный маршрутизатор (LER - Label Edge Router) анализирует IP-заголовок и присваивает пакету идентификатор, называется меткой (label). LER выполняет такую важную функцию, как направление входящего трафика в один из выходных путей LSP. Для реализации этой функции в MPLS введено такое понятие, как класс эквивалентности продвижения FEC (Forwarding Equivalence Class). FEC – это классы трафика. В простейшем случае идентификатором класса является адресный префикс назначения (грубо говоря, IP-адрес или подсеть назначения). После принятия решения о принадлежности пакета к определенному классу FEC его нужно связать с существующим путем LSP. Для этой операции LER использует таблицу FTN (FEC To Next hop - отражение класса FEC на следующий хоп).

Пример MPLS сети и прохождения пакета по сети проиллюстрировано на рисунке 1.1.

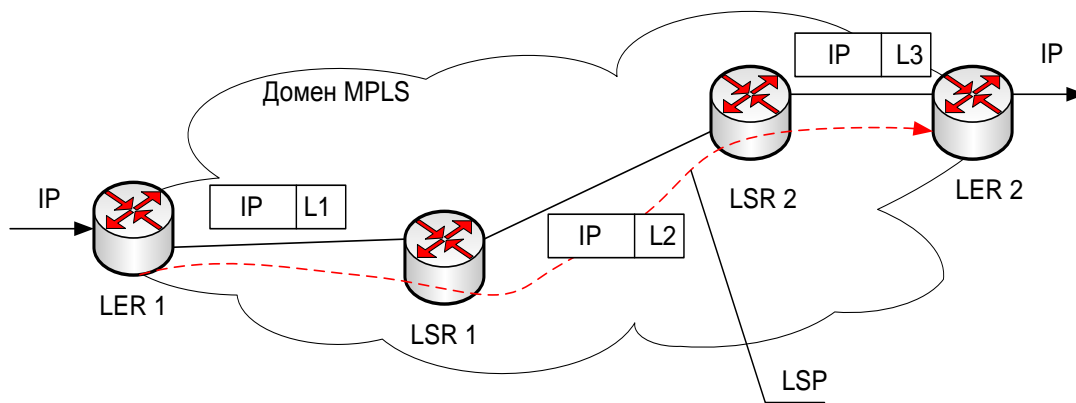


Рисунок 1 – Типовая схема MPLS сети

Сложные настройки и конфигурирования выполняются только в LER, а все промежуточные устройства LSR выполняют простую работу, продвигая пакет согласно техники виртуального канала. Выходное устройство LER удаляет метку и передает пакет в следующую сеть уже в стандартной форме IP-пакета. Таким образом, технология MPLS остается прозрачной для остальных IP-сетей [2].

Каждое устройство MPLS-сети включает в себя ряд блоков, относящихся как к управлению, так и к продвижению данных. Блок продвижения по меткам передает IP-пакет не на основе IP-адреса назначения, а на основе поля метки. При принятии решения о выборе следующего хопа блок продвижения по меткам использует таблицу коммутации, которая в стандарте MPLS носит название таблицы продвижения, пример которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример таблицы продвижения в технологии MPLS

| Входящий интерфейс | Метка | Следующий хоп | Действие |
|--------------------|-------|---------------|----------|
| S0 | 245 | S1 | 256 |
| S0 | 18 | S2 | 20 |

Наиболее важной задачей при построении сетей передачи данных также является оптимизация трафика и выбор алгоритмов маршрутизации, которые должны обеспечивать производительность сети и ее адаптацию к изменениям трафика, без необходимости изменения структуры сети и повышения ёмкости каналов. Для достижения этой используются различные средства [3]:

- натурное моделирование;
- имитационное моделирование;
- математические оптимизационные модели.

Оптимизация – процесс выбора наилучшего варианта из нескольких возможных.

Методы оптимизации любой сети, в том числе и сети с многопротокольной коммутацией по меткам (MPLS), включают в себя распределение ресурсов пропускной способности между набором заданных путей с коммутацией по меткам (LSP) и преобразование их в физическую сеть трактов с ограничением производительности. Процесс оптимизации также определяет пороги производительности трактов, связанных с использованием некоторой схемы резервирования пропускной способности для защиты обслуживания. Защита обслуживания управляет качеством обслуживания (QoS), предложенной для конкретных типов обслуживания при помощи ограничения пропускной способности или предоставления приоритета доступа одного типа трафика над другим.

Каждый метод оптимизации имеет свои цели и критерии, посредством которых достигаются желаемые результаты. Результаты же должны удовлетворять имеющимся граничным условиям. При оптимизации сетей MPLS речь идет о некотором оптимальном тоннеле LSP, который, при соблюдении требований по качеству обслуживания, гарантирует

достижение максимальной пропускной способности сети. Уровень нагрузки на каждой линии связи непосредственно характеризует вероятность возникновения ситуаций перегрузки, косвенно задержку и потери пакетов данных. Таким образом, соблюдение параметров качества обслуживания определяется коэффициентом использования линии связи. Можно определить пороговое значение для возможно наибольшего коэффициента использования линии, при достижении которого еще гарантируются параметры качества обслуживания.

Проблема оптимизации заключается в следующем: для всех требований по распределению потоков заданной трафик-матрицы должны быть найдены те пути, которые обеспечивают оптимальное распределение нагрузки всех требований. Полученный в итоге путь LSP должен выполнять все поставленные граничные условия. При этом сумма всех требований на распределение потоков на отдельно взятом ребре не должна превышать его пропускной способности. Некоторый путь LSP, который удовлетворяет всем граничным условиям, называется допустимым. Так как задержка сильно зависит от числа прыжков (Hops), то необходимо, по возможности, ограничивать длину пути.

Чтобы выбрать один из множества вариантов тоннелей, используются следующие два критерия для оценки его качества и оптимальности:

- для заданной трафик-матрицы максимальная нагрузка на ребро должна быть, по возможности, минимальной;
- для всех требований на распределение потоков трафик-матрицы пути, по возможности, должны быть кратчайшими. Длина пути определяется числом промежуточных узлов.

Одной из ключевых задач при обеспечении заданного качества обслуживания в сети передачи данных является управление трафиком (Traffic engineering, TE). Под управлением трафиком понимается совокупность алгоритмических средств, реализованных как аппаратно, так и программно, направленных на обеспечение функционирования данной сети с требуемым качеством обслуживания и эффективным использованием ресурсов сети. С точки зрения топологии сети, управление трафиком включает в себя сетевое планирование и оптимизацию [4].

При традиционной маршрутизации IP-трафик маршрутизируется путем его передачи от одной точки назначения в другой и направляется в пункт назначения по маршруту, имеет наименьшую суммарную метрику сетевого уровня. Этот путь может не быть оптимальным, поскольку он зависит от информации о статической метрике канала. В данном случае, при выборе пути не учитываются свободные сетевые ресурсы, текущая загрузка каналов, а также требования к обслуживанию трафика. Таким образом, если кратчайший путь уже перегружен, то пакеты все равно будут направляться по этому пути, в результате чего будет наблюдаться картина перегруженности одних каналов связи и простой других. Следует заметить, что при наличии в сети нескольких равноценных альтернативных маршрутов, трафик делится между ними, и нагрузка на маршрутизаторы и каналы связи распределяется более сбалансировано. Но, если маршруты не являются полностью равноценными, распределение трафика между ними не происходит.

Применение механизмов TE позволяет лучше использовать сетевые ресурсы за счет перевода части трафика с более загруженной на менее загруженный участок сети. При этом не только лучше используется доступная полоса пропускания, но и достигается более высокое качество обслуживания трафика, так как уменьшается вероятность перегрузки в сети. Кроме того, для услуг, которые требуют выполнения заданных норм качества обслуживания QoS, например, заданного коэффициента потерь пакетов и/или задержки/джиттера, инжиниринг трафика позволяет обеспечивать надлежащее QoS путем назначения явно соответствующих маршрутов. Как эксплуатационный инструмент, инжиниринг трафика регулярно оптимизирует использование сетевых ресурсов при изменениях распределения нагрузки в сети [5].

Задача TE состоит в определении маршрутов потоков трафика по сети, то есть для каждого потока необходимо указать точную последовательность промежуточных маршрутизаторов и их интерфейсов на пути между входной и выходной точкой потока. При этом все ресурсы сети должны быть нагружены наиболее сбалансированно.

Другим способом постановки задачи TE является поиск такого набора путей, при которых все значения коэффициентов использования ресурсов не будут превышать определённый заданный порог K_{max} . Данный подход более простой в реализации, так как связанный с перебором меньшего количества вариантов и поэтому чаще используется на практике.

Существуют следующие механизмы Traffic engineering в MPLS:

- на применение тоннелей LSP, которые формируются на основе протокола RSVP-TE;
- на протоколах маршрутизации внутреннего шлюза, основанные на расширенных протоколах определения состояния канала;
- на алгоритме вычисления пути, который определяет пути LSP;
- на механизмах доступа к ресурсам сети.

При решении задач управления трафиком необходимо решить три основные задачи:

- определить соответствия пакетов к определённому классу FEC;
- определить соответствия FEC и каналов передачи данных;
- определить соответствия каналов передачи данных физической топологии сети через маршруты с коммутацией по меткам.

Также для решения задачи TE технология MPLS использует расширенные протоколы маршрутизации, которые работают на основе алгоритма состояния каналов связи. Сегодня такие расширения стандартизированы для протоколов OSPF и IS-IS. Причиной использования протоколов маршрутизации данного класса является то, что они, в отличие от дистанционно-векторных протоколов, к которым относится, например, RIP, дают маршрутизатору полную информацию о топологии сети. OSPF и IS-IS рассылают сообщения для каждого маршрутизатора, содержащие полную информацию о топологии сети, метрики сети по всем каналам, с целью обеспечения вычисления кратчайшего пути к адресату. Управление трафиком реализуется благодаря тому, что в данные протоколы включены дополнительные типы сообщений, в которых по сети распространяется информация о начальной и доступную пропускную способность каждого канала. Благодаря данной информации маршрутизатор LSR, согласно с заданными требованиями к качеству обслуживания, определяет путь передачи трафика.

В технологии MPLS TE пути LSP называют TE-туннелями, которые прокладываются не распределённым способом вдоль путей, находимых обычными протоколами маршрутизации независимо в каждом отдельном устройстве LSR. Вместо этого TE-туннели формируются в соответствии с техникой маршрутизации от источника, когда централизованно задаются промежуточные узлы маршрута. В этом отношении TE-туннели подобны PVC-каналам в технологиях ATM и Frame Relay. Источником маршрута для TE-туннеля выступает его начальный узел, а рассчитываться такой маршрут может как этим же начальным узлом, так и внешней по отношению к сети программной системой или администратором [6].

В технологии MPLS TE информация про найденный рациональный путь используется полностью – то есть запоминается не только первый транзитный узел, как в основном режиме маршрутизации IP, а все промежуточные узлы пути вместе с начальным и конечным, то есть маршрутизация производится от источника. Поэтому достаточно, чтобы поиском TE-туннелей занимались только пограничные LSR сети, а внутренние – только поставляли им информацию о текущем состоянии сети, которая необходима для принятия решений. Такой подход применяется не только в MPLS, но и в других технологиях (например, в протоколе PNNI ATM), владеет несколькими преимуществами в сравнении с распределённой моделью поиска пути, который лежит в основе стандартных протоколов маршрутизации IP. Во-первых, он позволяет использовать «внешние» решения, когда пути являются любой

системой оптимизации сети в автономном режиме, а потом прокладываются в сети. Во-вторых, каждый из пограничных LSR может работать с собственной версией алгоритма, в то время как при распределённом поиске на всех LSR необходим идентичный алгоритм, что усложняет построение сети с оборудованием разных производителей. И, в-третьих, такой подход разгружает внутренние LSR от работы по поиску туннелей.

После нахождения пути, независимо от того, найденный он был пограничным LSR или внешней системой, его необходимо установить. Для этого в MPLS TE используется специальный протокол сигнализации, который умеет распространять по сети информацию про явный (explicit) маршрут. В данный момент в MPLS TE используется два таких протокола: RSVP с расширением и CR-LDP. Сообщения этих протоколов передаются от одного узла сети к другому соответственно данным о IP-адресах маршрута. MPLS поддерживает два типа явных путей [7]:

- строгий TE-туннель, который определяет все промежуточные узлы между двумя пограничными устройствами;
- свободный TE-туннель, который определяет только часть промежуточных узлов от одного пограничного устройства до другого, а остальные промежуточные узлы выбираются устройством LSR самостоятельно.

На рис. 2 представлены оба типа туннелей.

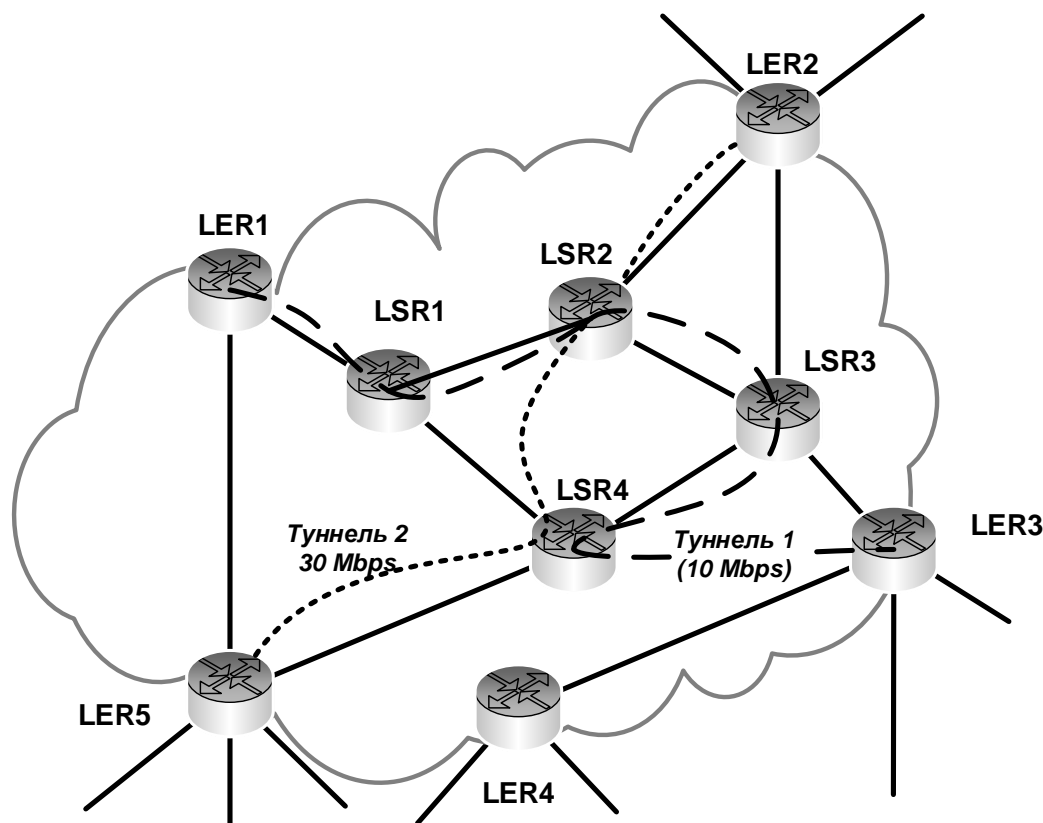


Рисунок 2 – Два типа TE-туннелей в технологии MPLS

Туннель 1 является примером строгого туннеля, при задании которого внешняя система указала начальный, конечный узлы туннеля, а также все промежуточные узлы, то есть последовательность IP-адресов для устройств LER1, LSR1, LSR2, LSR3, LER3. Таким образом, решена задача инжиниринга трафика за счёт выбора пути с достаточной неиспользуемой пропускной способностью. При формировании туннеля 1 задается не только последовательность LSR, но и требуемая пропускная способность пути. Несмотря на то что выбор пути происходит в автономном режиме, все устройства сети вдоль туннеля 1 проверяют, действительно ли они обладают запрошенной неиспользуемой пропускной способностью, и только в случае положительного ответа туннель прокладывается.

При установлении туннеля 2 (свободного) задается только начальный и конечный узлы, то есть устройства LER5 и LER2. Промежуточные устройства LSR4 и LSR2 находятся автоматически начальным узлом туннеля 2, то есть устройством LER5, а затем с помощью сигнального протокола устройство LER5 сообщает этим и конечному устройствам о необходимости прокладки туннеля [8].

При установлении нового TE-туннеля в сообщениях сигнализации рядом с последовательностью адресов пути указывается также и резервированная пропускная способность. Каждый LSR, получив такое сообщение, вычитает запрашиваемую пропускную способность из пула свободной пропускной способности соответствующего интерфейса, а затем объявляет остаток в сообщениях протокола маршрутизации.

В данном примере туннель 1 резервирует для трафика 10 Мбит/с, а туннель 2 — 30 Мбит/с. Эти значения определяются администратором, и технология MPLS TE никак не влияет на их выбор, она только реализует запрошенное резервирование. Чаще всего администратор оценивает резервируемую для туннеля пропускную способность на основании измерений трафика в сети, характера его изменения или других параметров. Некоторые функции MPLS TE позволяют затем автоматически регулировать величину зарезервированной пропускной способности на основании автоматических измерений реальной интенсивности трафика, проходящего через туннель.

Следовательно, устройство LER должно сначала провести классификацию трафика, затем выполнить профилирование, удостоверившись, что средняя скорость потока не превышает зарезервированную, и наконец, начать маркировать пакеты, используя начальную метку TE-туннеля, чтобы передавать трафик через сеть с помощью техники MPLS. В этом случае расчеты, выполненные на этапе выбора пути для туннеля, дадут нужный результат – баланс ресурсов сети при соблюдении средней скорости для каждого потока.

Таким образом, в статье рассмотрены и проанализированы основные методы оптимизации трафика в сетях многопротокольной коммутации по меткам (MPLS).

Перечень ссылок

1. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 4-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2010. – 944 с.
2. Гулевич, Д. С. Технология MPLS [Электронный ресурс] / Д. С. Гулевич // Интернет университет информационных технологий. – Режим доступа: URL: <http://www.intuit.ru/departament/network/ndnets/9/>
3. Гольдштейн, А. Б. Технология и продукты MPLS / А. Б. Гольдштейн, Б. С. Гольдштейн. – Санкт-Петербург: БХВ – Санкт-Петербург, 2005. – 304 с.
4. Олвейн, В. Структурная реализация современной технологии MPLS / В. Олвейн. – пер. с англ. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 480 с.
5. Столингс, В. Современные компьютерные сети / В. Столингс. – пер.с англ. - Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Воронеж, Ростов-на-Дону, Екатеринбург, Самара, Киев, Харьков, Минск : Изд.-во «Питер», 2003.
6. Олифер, В. Г. Виртуальные частные сети на основе MPLS / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер // Журнал сетевых решений LAN. - № 3. – 2002.
7. Гольдштейн, А. Б. Технология и протоколы MPLS [Электронный ресурс] / А. Б. Гольдштейн, Б. С. Гольдштейн. – Санкт-Петербург : BHV, «БХВ-Санкт-Петербург». – Режим доступа : <http://zxcv.stsland.ru/200105multiservice/index.htm>
8. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. - 3-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2006.