

# Введение

Технология многопротокольной коммутации по меткам (MultiProtocol Label Switching, MPLS) является ведущей технологией, способной стать фундаментом для инфраструктуры мультисервисных сетей следующего поколения (NGN), в рамках которых станет возможна передача любого трафика через единую телекоммуникационную инфраструктуру. MPLS сочетает в себе гибкость дейтаграммного IP и виртуальных каналов MPLS с поддержкой трафик-инжиниринга, что открывает принципиально новые возможности для использования протокола IP в современных сетях, которые ранее были технически не осуществимы.

Особенностями MPLS-TE являются:

- высокая масштабируемость;
- поддержка QoS;
- универсальность по отношению к протоколам сетевого уровня;
- значительное упрощение процедур маршрутизации;
- универсальность по отношению к транспортным технологиям (ATM, Ethernet, POS и т.п.).

Применение технологии MPLS позволяет перейти на новый уровень обслуживания и организовать предоставление услуг более высокого качества. Особенно перспективным является использование этой технологии для создания виртуальных частных сетей (VPN) и перехода к мультисервисным сетям на основе IP.

Основным подходом в маршрутизации в сетях с коммутацией пакетов вот уже долгое время является выбор маршрута на основе топологии сети без учета информации о текущей загрузке. Для каждой пары «адрес источника — адрес назначения» такие протоколы выбирают единственный маршрут, не принимая во внимание информационные потоки, протекающие через сеть. В результате все потоки между парами конечных узлов идут по кратчайшему маршруту (в соответствии с некоторой метрикой). Выбранный маршрут может быть более рациональным, если, например, в расчет принимается номинальная пропускная способность канала связи или вносимые ими задержки, либо менее рациональным, если учитывается только количество промежуточных маршрутизаторов между исходным и конечным узлами.

Такой подход приводит к тому, что даже если кратчайший путь перегружен, пакеты все равно посылаются по этому пути. Налицо явная ущербность методов распределения ресурсов сети — одни ресурсы работают с перегрузкой, а другие не используют вовсе. Традиционные методы борьбы с перегрузками эту проблему решить не могут, нужны качественно иные механизмы.

С этой целью на сетях связи осуществляется внедрение новых сетевых технологий, например MPLS, которая обеспечивает гарантированную среднюю пропускную способность в соответствии с принципами инжиниринга трафика. Наряду с этим, необходимо предусмотреть, чтобы сети были спроектированы с учетом необходимых методов оптимизации, которые позволят провайдерам максимально эффективно использовать имеющуюся инфраструктуру.

Поэтому для более эффективного использования сетевых ресурсов важными являются задачи оптимизации выбора алгоритмов маршрутизации, чтобы обеспечить производительность сети и сбалансировать нагрузку в случае изменения трафика, без необходимости изменения структуры сети и повышения емкости каналов.

Поставленная задача оптимизации обычно решается с учетом ограничений и относится к так называемым задачам NP-complіt, т.е. задачам, решение которых требует больших временных затрат\*. Некоторые пути уменьшения времени вычислений представлены в первых пяти главах. В частности, дана содержательная постановка задачи необходимости построения сетей с использованием технологии MPLS, ее преимущества и дано сравнение с другими технологиями. Рассмотрены вопросы управления трафиком и проблемы оптимизации трафика, а также дан обзор методов оптимизации трафика в сетях IP/MPLS.

Управление потоком передаваемой информации позволяет направлять потоки данных не по кратчайшему пути, вычисленному с помощью традиционного протокола маршрутизации, а через менее загруженные узлы и каналы связи. При правильном моделировании потока и правильном выборе методов оптимизации процессом нагрузка на все физические каналы связи, маршрутизаторы и коммутаторы должна быть сбалансирована таким образом, чтобы ни один из этих компонентов не был недогружен или перегружен. В результате сеть будет работать более эффективно, стабильно и предсказуемо.

В первой главе рассматриваются особенности построения сети с MPLS, отмечены ее достоинства и недостатки, во второй главе обсуждаются способы управления трафиком в сетях MPLS и представлены пути совершенствования технологии MPLS, формирование трафика и обеспечение качества услуг. В третьей главе представлен обзор методов оптимизации трафика в IP/MPLS-сетях.

В четвертой главе рассмотрены методы распределения многопродуктовых потоков и существующие подходы к решению задачи определения оптимального дизайна путей с коммутацией по меткам (Label

---

\* Точнее, к недетерминированным полиномиальным задачам (nondeterministic polynomial time problem, NP). Это задачи, которые можно решить на машине Тьюринга за время, полиномиально зависящее от числа переменных. К таким задачам относятся, например, поиск пути на графе или классическая задача о коммивояжере. — *Прим. ред.*

Switched Path, LSP), а также предложен эвристический алгоритм пропорционального распределения потоков, который позволяет получить квазиоптимальный дизайн LSP. Из существующих методов решения задачи оптимизации рассмотрены метод минимального разреза и метод линейного программирования.

Точное решение задач оптимизации можно получить с помощью линейного программирования, однако сложность вычислений при линейном программировании быстро возрастает с увеличением числа узлов в сети и для больших сетей является критической, что приводит к необходимости использования эвристических методов.

В пятой главе рассматриваются вопросы выбора оптимальных путей LSP с дифференциальным обслуживанием трафика при наличии нескольких ограничений. Решение поставленной задачи предлагается осуществить путем использования метода неопределенных множителей Лагранжа. Задача разбита на две части. В первой решается вопрос, связанный с необходимостью перенаправления потоков при выходе из строя ранее выбранного пути. Это приводит к увеличению нагрузки на «резервные» пути и, следовательно, к необходимости увеличения пропускной способности «резервных» путей на величину определенную так называемым коэффициентом отказоустойчивости. Во второй части с учетом результатов, полученных в первой, решается задача выбора квазиоптимальных путей.

Во последних двух главах рассмотрены вопросы обеспечения высоких показателей готовности. Известно, что коэффициент готовности зависит от времени наработки на отказ и времени восстановления. В свою очередь время восстановления зависит от момента обнаружения отказа, его локализации и времени, за который произойдет устранение отказа.

В главе 6 рассмотрены как общие подходы к локализации отказов, так и частные, среди которых метод наложенных сетей и метод локализации отказов путем использования тест-станций. В качестве примера реальной системы мониторинга рассмотрена система Nagios.

Глава 7 содержит материал, посвященный общим вопросам резервирования и восстановления. Рассмотрены методы защиты звена, пути, сегмента. Приведены рекомендации по использованию методов защиты. В качестве одной из мер по обеспечению QoS представлен метод на основе использования приоритетов. Большой раздел посвящен защите и восстановлению в сетях GMPLS (раздел 7.5). Следует заметить, что вопросам защиты и восстановления, помимо упомянутых выше, посвящены как монографии (например, [138]), так и множество статей в журналах [139–152 и др.]. Авторы не ставили перед собой задачу дать полный обзор литературы по данной тематике, а лишь пытались обратить внимание читателя на эту проблему.

Монография может быть использована при развертывании опытной зоны или пуско-наладочных испытаний нового сегмента, что позволяет выяснить все потенциально возможные «узкие места», минимальный

разрез в сети, которые могут возникнуть в сети через 1–2 года после начала эксплуатации. При эксплуатации, в случаях внедрения новых услуг, изменения плана маршрутизации и т.п. любые изменения в структуре трафика могут привести к негативным последствиям на сети. Используя разные классы обслуживания и измеряя коэффициенты отказоустойчивости связи, можно посмотреть реакцию сети на изменение структуры трафика или увеличения объема передаваемой информации в сети, а также на возникновение неисправности трактов.

Полученные результаты, с одной стороны, представляют научный интерес, с другой стороны, могут быть использованы специалистами при составлении проекта модернизации мультисервисной сети связи к внедрению на сетях связи. Работа не претендует на детальный охват всех вопросов оптимизации телекоммутационных сетей. Однако авторы надеются, что методики, представленные в ней, будут полезны широкому кругу читателей.

При подготовке рукописи использован ряд первоисточников. В основном это англоязычные статьи и материалы IEEE. В поиске работ по тематике представленного в монографии материала и переводе ряда статей принимали участие магистранты и аспиранты СибГУТИ О. Артемьева, А. Бахарев, А. Бритова, которым авторы выражают искреннюю благодарность.