

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕТЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ IP ТРАФИКА В ТЕХНОЛОГИИ MPLS-TE

Введение

Технология мультипротокольной коммутации меток MPLS [1] позволила провайдерам эффективно передавать IP-трафик по виртуальным каналам (LSP), задаваемым с помощью меток. Деление процесса передачи информации в технологии MPLS на две плоскости – управления и пересылки – дает возможность четко формализовать независимые задачи, решаемые на каждом уровне. Согласно предложенной концепции, в плоскости управления выполняются функции, связанные с маршрутизацией, сигнализацией, обработкой ошибок, приоритезацией потоков и т.д. Заложенное в архитектуре MPLS понятие стека меток, позволяет создавать явно заданные каналы в конце виртуальные пути для пересылки IP-трафика. При использовании технологии MPLS, основные функции, такие как вычисление пути, выделение меток, создание стека меток и т.д., выполняются пограничными маршрутизаторами, в то время как промежуточные LSR выполняют простое извлечение метки из стека и пересылку пакета на исходящий порт.

С появлением концепции трафик инжиниринга (TE) [2] операторы связи получили возможность оптимизировать использование сетевых ресурсов. На практике под TE понимается отображение IP потоков на существующую физическую топологию наиболее эффективным образом для достижения желаемых рабочих целей. Без трафика инжиниринга, трафик перемещался бы по кратчайшим путям, вычисленным с помощью протоколов внутренней маршрутизации (IGP). IGP протоколы вычисляют кратчайшие маршруты, но выбор таких путей не всегда оптимален. Пути могут перекрываться на отдельных участках, что приведет к перегрузке одних участков, в то время как другие пути будут недогружены. Одно из решений этой проблемы – манипуляция с IGP метрикой. Однако этот подход может вызвать непредвиденные перегрузки на некоторых участках сети. С использованием технологии трафика инжиниринга у операторов появилась возможность задавать обходные пути в сети для перенаправления трафика в соответствии с конфигурацией, определяемой системной политикой.

Одними из важнейших требований, предъявляемых к магистральным участкам сети, являются надежность и высокая доступность. Для реализации высокой доступности сети в плоскости пересылки данных создаются обходные пути, а задачей плоскости управления является ремаршрутизация трафика в обход поврежденных участков. Хотя основные положения ремаршрутизации LSP и соответствующие управляющие объекты для протокола RSVP-TE представлены в документе [3], новые расширения этого протокола сигнализации [4] накладывают более жесткие условия на время выбора обходного пути и определяют требования для быстрой ремаршрутизации трафика – согласно [4], предлагаемые механизмы должны позволить перенаправлять трафик по обходным путям в течение нескольких десятков миллисекунд. Обычно верхняя граница задержки ремаршрутизации определяется равной 50 мс. Для достижения быстрой конвергенции сети, определяются два метода создания обходных LSP. При использовании резервирования «один к одному» (one-to-one) создается обходной LSP для «защи-

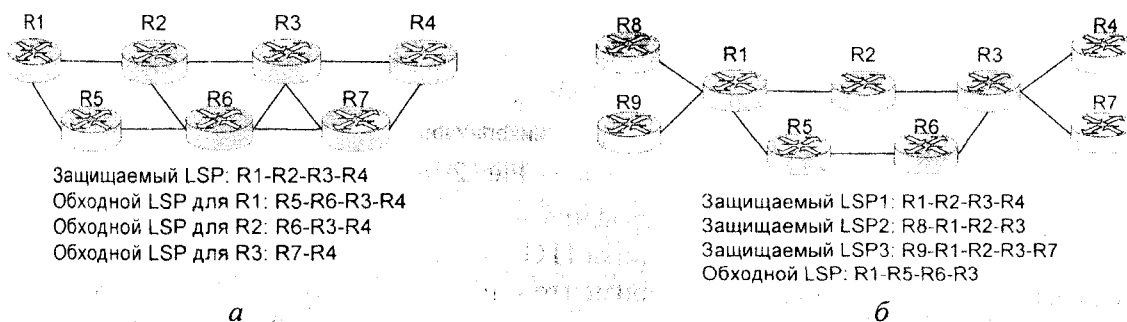


Рис. 1

щаемого» виртуального канала в каждой потенциальной точке локального восстановления (рис.1, а). «Легкое» (facility) резервирование создает обходной туннель для защиты потенциальной точки сбоя (рис.1, б); при использовании преимущества стека меток такой обходной туннель может применяться для «защиты» нескольких туннелей, имеющих сходные требования к обслуживанию.

Несмотря на достаточно проработанные механизмы ремаршрутизации, единственным критерием начала использования обходных путей является выход из строя канала связи и узла. Однако существует множество ситуаций в работоспособных сетях, при которых целесообразно использование обходных путей. Наиболее очевидный и проработанный критерий использования обходных путей – перегрузка отдельного участка сети. С другой стороны, изменение рабочих характеристик физического уровня могут приводить к увеличению потерь и задержек пакетов в канале. При этом, с точки зрения конечного оборудования, канал будет работоспособным. В работе представлены результаты экспериментальных исследований сетевых параметров в случае изменений характеристик физического уровня, при этом показано, что во многих ситуациях целесообразно использовать обходные пути при увеличении потерь маршруту и задержек в очереди передающего устройства.

Макет исследования сетевых параметров

Схема макета, используемого для исследования сетевых параметров, приведена на рис. 2. В качестве клиентов сети были использованы ПК, работающие под управлением операционной системы Windows 2000. Для вычисления односторонней задержки, оба компьютера были синхронизированы с использованием метода синхронизации времени для IP-сетей – протокола NTP (Network time Protocol). В качестве сервера NTP использовался ПК, работающий под управлением ОС FreeBSD. Источник и получатель трафика, а также маршрутизаторы подключены к коммутатору с использованием технологии Fast Ethernet на скорости 100 Мбит/с в полнодуплексном режиме. Для моделирования участка транспортной сети были использованы маршрутизаторы Cisco 1760. Fast Ethernet интерфейсы маршрутизаторов, так же как и компьютеры, подключены в коммутаторы Cisco Catalyst 2950. В качестве внешних сетевых подключений были использованы последовательные интерфейсы маршрутизаторов, настроенные на работы в асинхронном режиме, с максимальной скоростью передачи 115200 бит/с, дисциплина обслуживания выходной очереди – FIFO. Для проведения эксперимента каналный уровень на последовательном соединении был реализован с использованием протокола PPP (Point-to-Point Protocol). Для исследования характеристик сетевого трафика в разрыв канала связи была включена линия задержки с изменяемой задержкой от 0 до 4 мкс.

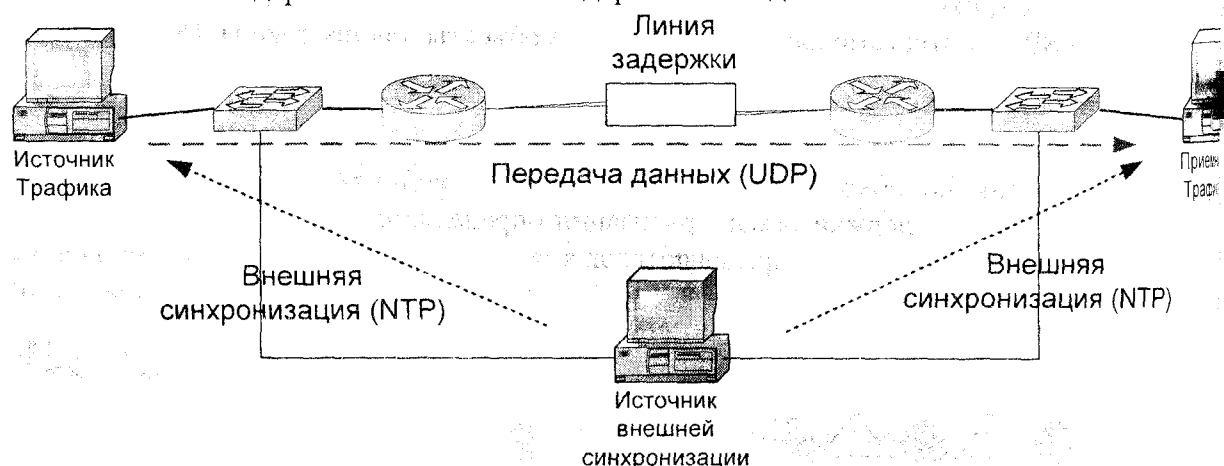


Рис. 2

Исследование характеристик трафика проводилось с использованием пакета программы D-ITG. С помощью генератора трафика ITGSend, по направлению от источника к приемнику создавался поток трафика. В эксперименте с помощью источника генерировался поток UDP пакетов с нормальным распределением интенсивности отправления пакетов. Протокол UDP

был выбран в связи с необходимостью исследования характеристик агрегированного потока с учетом показателей отдельных «микротоков». Использование TCP, особенно на линиях с высоким значением задержки, привело бы к множественным повторным передачам потерянных пакетов и искажениям конечных результатов. Учитывая, что эксперимент проводился для исследования параметров магистральных участков сети, вопросы, связанные с исправлением ошибок, сбора фрагментированных пакетов не рассматриваются и должны решаться конечной системой. Для каждого значения задержки проводилось две серии экспериментов с разными размерами пакетов – 512 и 1024 байт. В ходе исследования изменялось МО интенсивности генерации трафика – 10 пак/с, 20 пак/с, 30 пак/с и 40 пак/с. На приемной стороне с помощью компонента ITGResv производилась запись и последующая обработка результатов эксперимента. Время передачи трафика для каждого эксперимента – 120 с.

Результаты эксперимента

В ходе эксперимента производились измерения основных сетевых характеристик – потерь и задержек пакетов. На рис. 1, а, б приведены абсолютные значения потерь пакетов для каждого значения вносимой задержки. Как видно, потери пакетов увеличиваются по мере роста физической задержки в линии передачи, значительный рост потерь пакетов наблюдается при увеличении задержки с 2 до 4 мкс. Потери при нулевом значении задержки в линии вызваны переполнением очереди в передающем маршрутизаторе и зависят лишь от интенсивности поступающего трафика, размера, дисциплины обслуживания очереди и пропускной способности исходящего канала. Очевидно, что при увеличении интенсивности поступления пакетов, потери, связанные с переполнением очереди также будут возрастать (на рис. 3: а – абсолютные потери пакетов: размер пакета 1024 байт, б – 512 байт) и образовывать «постоянную» составляющую, на которую не влияют характеристики среды передачи.

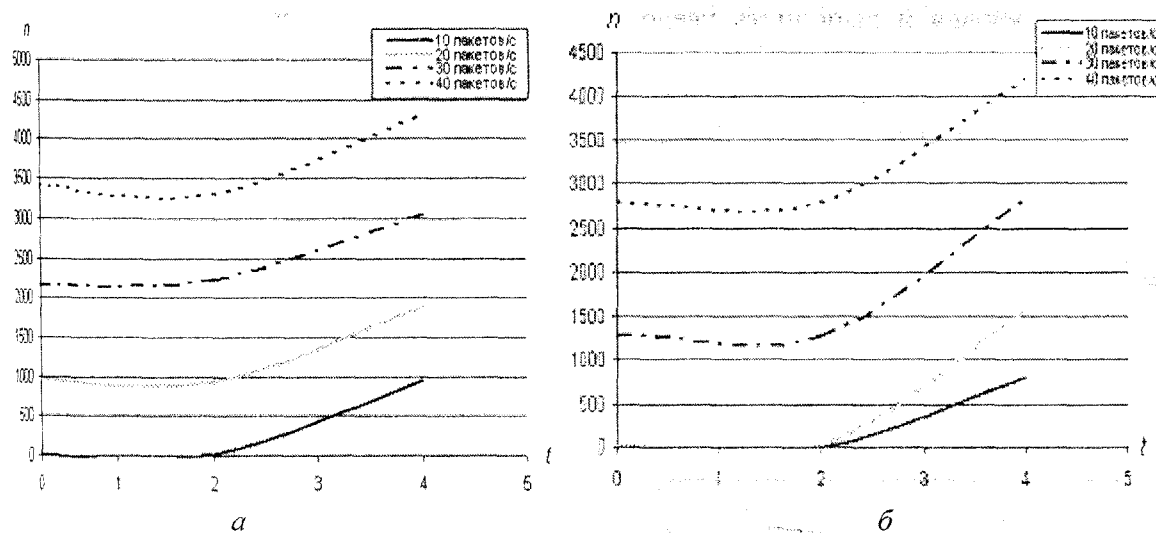


Рис. 3

На рис. 4 представлены вероятностные характеристики потерь пакетов: а – 1024 байт, б – 512 байт.

Значительный рост вероятности потери на участке 2 – 4 мкс связан с ухудшением характеристик физического уровня. С точки зрения оконечного оборудования, этот канал связи будет работоспособным, однако, учитывая значительные потери в нем (80 – 90 % при задержке 4 мкс. с учетом потерь в очереди) выполнять передачу информации по нему невозможно. Согласно [5] при передаче речи поверх IP допустимые значения потерь пакетов в зависимости от типа кодека и технологии восстановления потерь пакетов, без значительной деградации качества речи, потери могут варьироваться в пределах 5 – 6 %. Однако при передаче пакетов данных (т.е. сегментов протокола TCP), каждый потерянный пакет потребует передать повторно. Поэтому максимальная допустимая граница потерь не должна превышать 5 %, при

увеличении вероятности потери пакетов необходимо выполнять ремаршрутизацию потока по обходным путям.

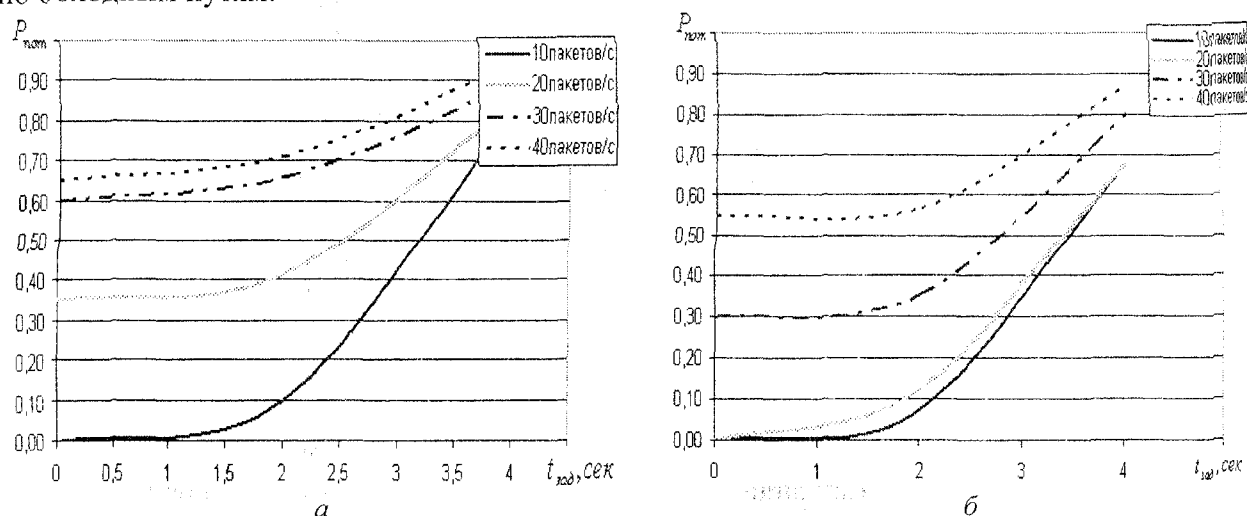


Рис. 4

Поскольку основную составляющую потерь, при передаче трафика по качественной среде передачи (что характерно, например, для ВОЛС) составляют потери в очередях передающего устройства, количественное измерение потерь на практике возможно проводить путем мониторинга очереди на исходящих интерфейсах и при превышении пороговых значений, выполнять полную или частичную ремаршрутизацию по обходным путям. В случае больших потерь в канале связи, которые значительно превышают допустимый порог, мониторинг должен выполняться на принимающей стороне по номерам последовательности пакетов сетевого или транспортного уровня и выполнять уведомление отправителя с использованием протокола сигнализации.

Согласно [5] для передачи речевых пакетов по IP-сетям, односторонняя задержка (т.е. время передачи речевого пакета от источника к получателю) не должно превышать 150 мс.

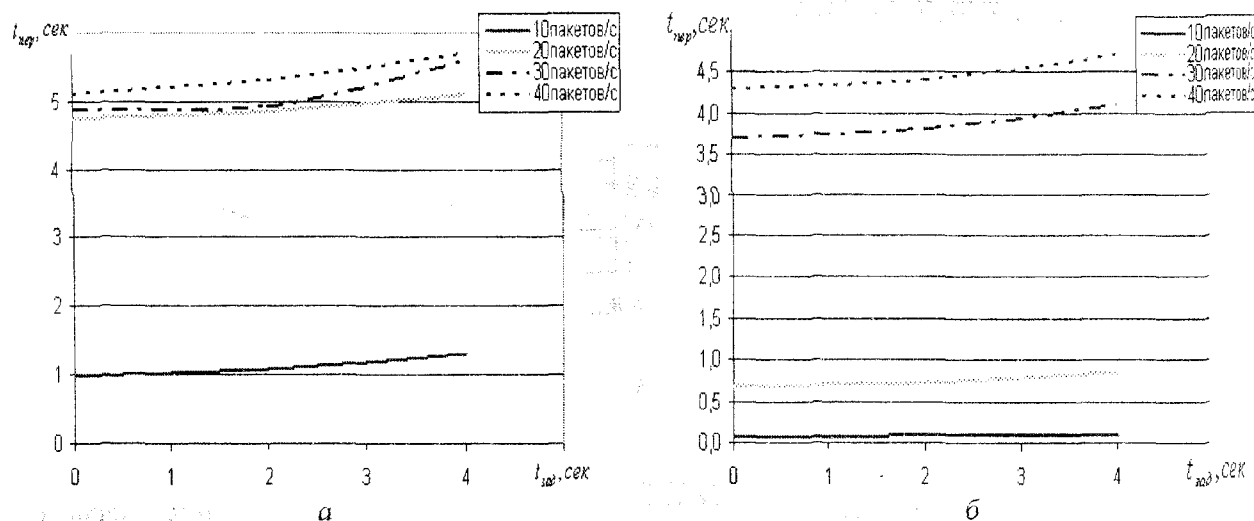


Рис. 5

Дальнейшее увеличение задержки речевых пакетов приводит к значительной деградации качества речи. На рис. 5 представлены характеристики задержек пакетов в моделируемой сети, размер пакета: а – 1024 байт, б – 512 байт.

Из рис. 5 видно, что изменение характеристик физического уровня практически не влияет на значение задержек пакетов. Основной составляющей задержки, является время ожидания обслуживания в очереди передающего устройства. На практике измерение односторонней задержки

ки пакетов затруднительно и требует централизованной синхронизации источника и получателя с использованием протокола NTP. Локальную задержку пакетов на магистральных участках с высокой точностью можно прогнозировать путем мониторинга очереди пакетов на передающем устройстве. Кроме того, следует учитывать различные требования к обслуживанию трафика речи и данных. Минимизировать задержку речевых пакетов в локальном узле, можно используя дисциплины обслуживания очереди. Кроме того, при постоянной загрузке очереди возможно выполнение ремаршрутизации отдельных потоков по резервным путям.

Выводы

Учитывая, что магистральные участки NGN-сетей строятся с использованием технологии MPLS-TE, актуальным является вопрос обеспечения качества обслуживания и высокой доступности сети с использованием механизмов ремаршрутизации. В работе представлены результаты экспериментального исследования сетевых параметров трафика на участке сети MPLS-TE. Показано, что изменение характеристик физического уровня может приводить к значительному росту потерь в канале связи. Кроме того, в результате эксперимента показано, что ухудшение характеристик физического уровня практически не влияет на временные параметры, такие как задержка и джиттер. Проведенное исследование показало возможность «прогноза» изменения параметров потоков, таких как задержки и потери, путем локального мониторинга очереди на внешних интерфейсах, т.к. эта составляющая задержки вносит основной вес в результирующее значение. На основании проведенного исследования, предложены критерии для выполнения ремаршрутизации в сетях MPLS-TE, такие как вероятность потери пакета и средний размер очереди, с которым связана величина задержки пакетов. Для повышения качества обслуживания предлагается выполнять ремаршрутизацию, основанную на контенте, т.е. для трафика данных основным критерием ремаршрутизации считать превышение граничных значений потерь, а для речевого трафика – увеличение задержки.

Список литературы: 1. Rosen E. and others RFC-3031. Multiprotocol Label Switching Architecture // IETF Standard, 2001. 2. Awduche D. et al. RFC3272 Overview and principles of internet traffic engineering // IETF Standard, 2002. 3. Farrel A., RFC-3479 - RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels // IETF Standard, 2001. 4. Tunnels, Pan P., Swallow G., Atlas A., RFC-4090 - Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP // IETF Standard, 2005. 5. Roger Britt, Mark Armstrong, Voice Quality Recommendations for IP Telephony // Nortel Networks, 2000.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 15.03.2006