

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАФИКА НА ОСНОВЕ СБАЛАНСИРОВАННОЙ ЗАГРУЗКИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

С.Г. Семенов

(представил д.т.н., проф. В.А. Краснобаев)

*Рассмотрена упрощенная схема информационно-телекоммуникационной сети, а также методы достижения сбалансированности загрузки всех ресурсов сети за счет рационального выбора путей прохождения трафика через сеть.*

**Постановка проблемы в общем виде.** Компьютеры и компьютерные сети являются неотъемлемыми компонентами современных технологий управления. Возросшие вычислительные и коммуникационные возможности стали предпосылкой для создания нового класса сетевых приложений. Совокупность сетевых устройств, протоколов и средств управления составляют основу интегрированной среды обработки, хранения и передачи данных – распределенной инфраструктуры современных компьютерных телекоммуникаций. В результате выражение «компьютер – это сеть», получила инверсную формулировку «сеть – это распределенное вычислительное устройство для обработки и передачи пакетного трафика». В последнее время сети IP эксплуатируются все активнее. Операторы стараются выжать из сети максимум возможного, а значит, методы оптимизации сетей IP, приобретают все большую популярность. Максимальный эффект от сети IP не может быть получен без рационального использования всех сетевых ресурсов – в первую очередь маршрутизаторов и каналов связи. Функционирование пакетной сети можно считать эффективным, когда каждый ресурс загружен, но не перегружен. Это значит, что коэффициент использования ресурса должен приближаться к единице, но не настолько, чтобы очереди пакетов к нему – неизбежное явление в пакетных сетях – были бы постоянно большими, приводя к задержкам и потерям из-за переполнения внутренних буферов в маршрутизаторах.

**Анализ литературы** показал, что до недавнего времени задача оптимального использования ресурсов сети IP решалась путем перераспределения ресурсов отдельного маршрутизатора между различными протекающими через него потоками [1 – 3]. В то же время такое мощное средство, как выбор путей прохождения трафика через сеть, традиционно применялось в сетях IP в очень ограниченных масштабах. А ведь от

путей следования трафика (при его фиксированной интенсивности) в первую очередь зависит загрузка маршрутизаторов и каналов, а значит, и эффективность использования сети.

**Цель статьи.** Показать, что загрузка всех ресурсов сети должна быть максимально возможной для повышения объемов передаваемого трафика.

Известно, что все протоколы маршрутизации – как дистанционно-векторные (например, RIP), так и состояния связей (OSPF и IS-IS), определяют для трафика, направленного в конкретную сеть, кратчайший маршрут в соответствии с некоторой метрикой. Выбранный путь может быть более рациональным, если в расчет принимается номинальная пропускная способность каналов связи или вносимые ими задержки, либо менее рациональным, если учитывается только количество промежуточных маршрутизаторов между исходной и конечной сетями, но в любом случае выбирается единственный маршрут даже при наличии нескольких альтернативных. Классическим примером неэффективности такого подхода служит сеть с топологией, приведенной на рис. 1. Несмотря на то, что между маршрутизаторами А и Е имеется два пути: верхний, через маршрутизатор В, и нижний, через маршрутизаторы С и D,

– весь трафик от А к Е в соответствии с принципами маршрутизации, принятыми в сетях IP, направляется по верхнему пути, только по-

тому, что нижний путь немного длиннее, чем верхний (в нем на один транзитный узел больше), так как он игнорируется, хотя мог бы задействоваться параллельно с верхним путем. Заметим, что при наличии в сети нескольких альтернативных маршрутов равной метрики, трафик делится между ними, и нагрузка на маршрутизаторы и каналы связи распределяется более сбалансированно. Но когда метрики альтернативных маршрутов даже незначительно хуже, чем у кратчайшего маршрута, этот инструмент не работает.

Еще один недостаток традиционных методов маршрутизации трафика в сетях IP заключается в том, что пути выбираются без учета текущей загрузки ресурсов сети. Так, в сети, изображенной на рис. 1, верхний путь задействуется и в том случае, если его ресурсов постоянно не хватает для обслуживания трафика от А к Е, а нижний простаивает, несмотря на то, что ресурсов маршрутизаторов В и С хватило бы для качественной передачи трафика.

Один из мощных, но не применяемых ранее в сетях IP методов влияния на эффективное использование ресурсов, – технология Traffic Engineering

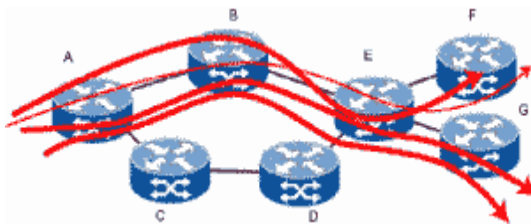


Рис. 1. Вариант загрузки ресурсов сети

(ТЕ). В узком смысле, наиболее соответствующем названию, под ТЕ понимаются методы и механизмы достижения сбалансированности загрузки всех ресурсов сети за счет рационального выбора путей прохождения трафика через сеть. Постановку задачи в соответствии с таким пониманием технологии ТЕ иллюстрирует рис. 2.

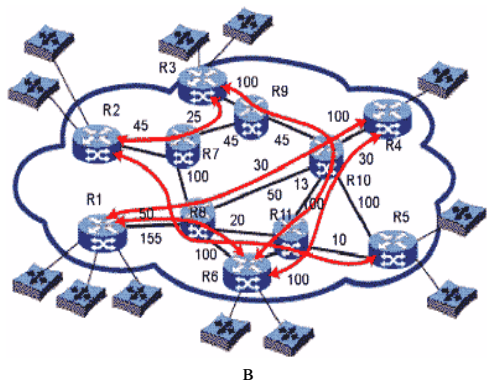
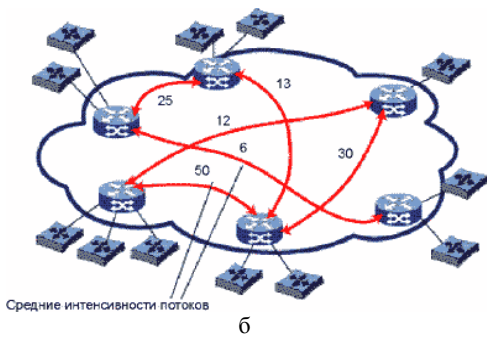
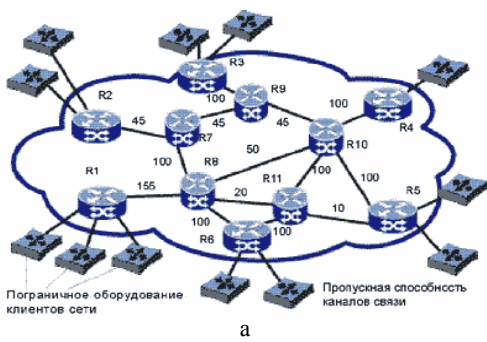


Рис. 2. Распределение нагрузки по сети чувствительность к задержкам, вариации задержек и допустимый процент потерь пакетов. Однако, поскольку оценить такого рода параметры трафика более сложно, чем среднюю интенсивность, а их влияние на функционирование сети менее значительно, чтобы найти оптимальное распределение

ресурсов сети за счет рационального выбора путей прохождения трафика через сеть. Постановку задачи в соответствии с таким пониманием технологии ТЕ иллюстрирует рис. 2. Исходными данными для выбора путей являются, во-первых, характеристики передающей сети – топология, а также производительность составляющих ее маршрутизаторов и каналов связи (рис. 2, а), а во-вторых, сведения о нагрузке сети, т.е. о потоках трафика, которые она должна передать между своими пограничными маршрутизаторами (рис. 2, б). Каждый поток характеризуется точкой входа в сеть, точкой выхода из нее и некоторыми параметрами трафика. Так как при выборе путей мы стремимся обеспечить равномерную загрузку маршрутизаторов и каналов связи, то для каждого потока, как минимум, нужно учитывать его среднюю интенсивность. Для более тонкой оптимизации трафика в сети можно привлекать и более детальное описание каждого потока: например, величину возможной пульсации трафика или требования к качеству обслуживания –

путей прохождения потоков через сеть, учитываются только параметры их средней интенсивности. Задача ТЕ состоит в определении маршрутов потоков трафика через сеть, т.е. для каждого потока требуется указать точную последовательность промежуточных маршрутизаторов и их интерфейсов на пути между входной и выходной точкой потока. При этом все ресурсы сети должны быть загружены как можно более сбалансированно.

Другим способом постановки задачи может стать поиск такого набора путей, при которых все значения коэффициентов использования ресурсов не будут превышать некоторый заданный порог  $K_{max}$ . Подобный подход более прост в реализации, так как связан с перебором меньшего количества вариантов. На рис. 2, в показано одно из возможных решений поставленной задачи, гарантирующее, что максимальный коэффициент использования ресурсов не превышает 0,6.

Для решения задачи ТЕ используются расширения протоколов маршрутизации, работающих на основе алгоритма состояния связей. Располагая таким графом, а также параметрами потоков, для которых нужно определить пути ТЕ, маршрутизатор может найти рациональное решение, удовлетворяющее, например, одному из сформулированных выше ограничений на коэффициенты использования ресурсов сети, обеспечив тем самым ее сбалансированную загрузку. Для упрощения задачи оптимизации выбор путей для некоторого набора потоков может осуществляться по очереди, при этом в качестве ограничения выступает суммарная загрузка каждого ресурса сети. В качестве ограничений выступают максимально допустимые значения коэффициентов загрузки каналов связи, устанавливаемые индивидуально или же имеющее общее значение.

Понятно, что поиск путей ТЕ по очереди снижает качество решения – при одновременном рассмотрении всех потоков можно найти более рациональную загрузку ресурсов. В примере, показанном на рис. 3, ограничением является максимально допустимое

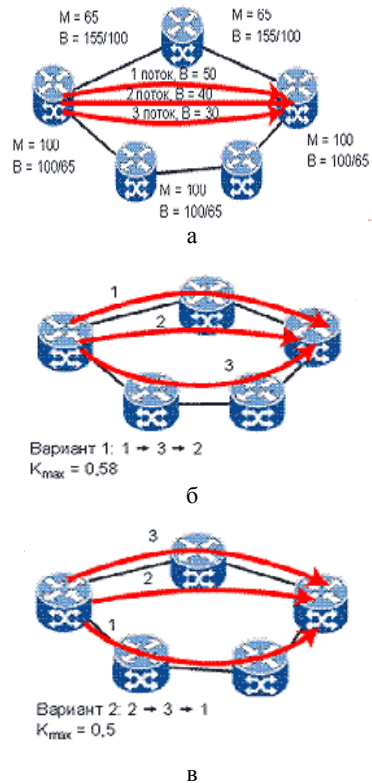


Рис. 3. Анализ качества потоков

значение коэффициента использования ресурсов, равное 0,65. В варианте 1 решение было найдено при очередности рассмотрения потоков 1 -> 2 -> 3. Для первого потока был выбран путь А-В-С, так как в этом случае он, с одной стороны, удовлетворяет ограничению (все ресурсы вдоль пути – каналы А-В, А-С и соответствующие интерфейсы маршрутизаторов оказываются загруженными на  $50/155 = 0,32$ ), а с другой – обладает минимальной метрикой ( $65 + 65 = 130$ ). Для второго потока также был выбран путь А-В-С, так как и в этом случае ограничение удовлетворяется – результирующей коэффициент использования оказывается равным  $50 + 40/155 = 0,58$ . Третий поток направляется по пути А-D-E-С и загружает ресурсы каналов А-D, D-E и E-С на 0,3. Решение 1 можно назвать удовлетворительным, так как коэффициент использования любого ресурса в сети не превышает 0,58.

Однако существует лучший способ, представленный в варианте 2. Здесь по верхнему пути А-В-С были направлены потоки 2 и 3, а поток 1 – по нижнему пути А-D-E-С. Ресурсы верхнего пути оказываются загружены на 0,45, а нижнего – на 0,5, т. е. налицо более равномерная загрузка ресурсов, а максимальный коэффициент использования по всем ресурсам сети не превышает 0,5. Этот вариант может быть получен при одновременном рассмотрении всех трех потоков с учетом ограничения  $\min(\max K_i)$  или же при рассмотрении потоков по очереди в последовательности 2 -> 3 -> 1.

**Выводы.** Для сбалансированной загрузки сети, обеспечивающей соблюдение параметров качества обслуживания с максимально возможным при этом коэффициентом загрузки ресурсов сети, применяются методы Traffic Engineering (TE). Методы TE опираются на расширенные протоколы маршрутизации, которые включают в информацию о состоянии связей данные о текущей свободной пропускной способности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Блек Ю. Сети ЭВМ. Протоколы, стандарты, интерфейсы. – М.: Мир, 1990. – 320 с.
2. Девис Д., Барбер Д. Вычислительные сети и сетевые протоколы. – М.: Мир, 1992. – 562 с.
3. Протоколы информационно-вычислительных сетей: Справочник // С.А. Аничкин, С.А. Белов, и др. – М.: Радио и связь, 1990. – 504 с.
4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – С.-Пб.: Питер, 2004. – 863 с.

Поступила 18.08.2004

**СЕМЕНОВ Сергей Геннадиевич**, зам. нач. информационно-вычислительного центра Харьковского университета Воздушных Сил. В 1994 году окончил ХВУ, в 2000 году –

*НЮАУ. Область научных интересов – оптимизация вычислительных сетей.*