

УДК 681.3:519.2

Т.А. Радивилова

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

АНАЛИЗ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕТИ В УСЛОВИЯХ САМОПОДОБНОЙ НАГРУЗКИ

Рассмотрены методы организации очередей в узлах связи, виды коммутации информационных потоков в компьютерных сетях, методы маршрутизации и управления интенсивностью входного трафика. Описана математическая модель самоподобного трафика, которая позволяет проводить имитационное моделирование с заданными размерами буферной памяти и пропускной способности каналов. На основе описанной модели проведено имитационное моделирование, которое показывает возможность управления потоками данных, которые поступают для обработки на узел связи. Описанный подход базируется на определении предельно допустимой нагрузки канала путем мониторинга входного трафика.

Ключевые слова: самоподобные данные, трафик, модель трафика, имитационное моделирование, компьютерная сеть.

Введение

Многочисленные исследования процессов в сети Интернет показали, что статистические характеристики трафика обладают свойством временной масштабной инвариантности (самоподобием) [1 – 4]. Причина такого эффекта – в особенностях распределения файлов по серверам, их размерах, а также в типичном поведении пользователей. Оказалось, что изначально не проявляющие свойств самоподобия потоки данных, пройдя обработку на узловых серверах и активных сетевых элементах, начинают подавать ярко выраженные признаки самоподобия. Самоподобный трафик имеет особую структуру, сохраняющуюся на многих масштабах – в реализации всегда присутствует некоторое количество очень больших выбросов при относительно небольшом среднем уровне трафика. Эти выбросы вызывают значительные задержки и потери пакетов, даже когда суммарная потребность всех потоков далека от максимально допустимых значений. В классическом случае для пуассоновского входного потока нам будет достаточно буферов умеренного размера: очередь может образоваться в краткосрочной перспективе, но за долгий период времени буферы очистятся. Однако при самоподобной нагрузке образуются очереди гораздо большей длины.

Трафик компьютерных сетей при высоких коэффициентах использования проявляет свойства самоподобия. Из-за этого возможна быстрая перегрузка буферов устройств при небольших коэффициентах использования. Особенно это проявляется, если размер буферов был рассчитан для нагрузки с классическими распределениями потоков.

Для большинства сетей реальной является ситуация, когда поступающая извне нагрузка может стать больше той, которая может быть обслужена даже при оптимальной маршрутизации. При этом,

если не принять мер по ограничению поступающего трафика, очереди на наиболее нагруженных линиях будут неограниченно расти и в конце концов превысят размеры буферов в соответствующих узлах. Это приводит к тому, что пакеты, вновь поступающие в узлы, у которых нет свободного места в буфере, будут сброшены и должны будут передаваться повторно, что приводит к нерациональной трате ресурсов сети. Таким образом, при увеличении поступающей нагрузки реальная пропускная способность сети уменьшается, а задержка информации растёт.

Очевидно, что для повышения качества сети необходимо снижение числа потерянных пакетов до минимально возможного уровня.

Наиболее простой, но в то же время самый дорогостоящий метод – увеличение ширины полосы пропускания канала связи, подключенного к маршрутизатору, и увеличение быстродействия самого маршрутизатора.

Более дешевыми и не менее эффективными средствами организации эффективного обмена информацией в сети являются методы коммутации, маршрутизация и управления информационными потоками.

Возможно добиться улучшения пропускной способности соединения, применяя специальные методы организации очередей. Эти методы можно разбить на три основные группы: специальные стратегии организации очередей, шейпинг трафика и ограничение скорости.

Организация очередей. Образование очередей происходит только в случае, когда интерфейс слишком занят. Если же он свободен, то пакеты передаются без всякой дополнительной обработки. Все стандартные очереди работают по принципу FIFO (first in, first out): пакет, который пришел раньше всех, будет передан первым и т.д. Если очередь заполнена до отказа и приходят новые пакеты, то про-

исходит «отброс хвоста». Более изощренные способы организации очередей часто используют несколько очередей. Пакеты классифицируются в соответствии с потребностями пользователя и затем сортируются по соответствующим очередям. Затем, при освобождении интерфейса, с помощью специального алгоритма выбирается очередь, пакет из которой будет отправлен. Например, маршрутизаторы Cisco поддерживают несколько стратегий организации очередей: FIFO, WQF, RED, по приоритету, произвольные. Следует отметить, что все специальные методики организации очередей дают эффект только в случаях, когда невозможно немедленно отправить пакет через интерфейс. Если же интерфейс свободен и в очереди не находится пакетов, то новый пакет пересылается сразу же.

Шейпинг. При применении шейпинга происходит подсчет трафика для конкретного интерфейса. Шейпинг может применяться ко всему трафику или же только к тому, который удовлетворяет какому-либо списку. Это происходит не зависимо от того, свободен ли интерфейс, или в очереди находятся пакеты. Когда трафик достигает некоторого заданного пользователем значения, следующие поступающие пакеты становятся в очередь и задерживаются. Таким образом, потребляемая пропускная способность ограничивается на настраиваемое значение.

Ограничение скорости, иногда называемое также ограничением трафика, похоже на шейпинг. Отличие заключается в том, что чрезмерный трафик обрабатывается отдельно от обычного, по правилам, настраиваемым пользователем. Наиболее распространенный способ обработки лишнего трафика – отброс его, но существуют и другие способы, например, уменьшение значения поля приоритета в IP-заголовке.

Коммутация информационных потоков в сетях

Различают следующие виды коммутаций информационных потоков в сетях:

- коммутация каналов, которая в общем случае может осуществляться на физическом или логическом уровнях;
- коммутация сообщений;
- коммутация пакетов.

Коммутация каналов (КК) предполагает закрепление канала, связывающего абонентов сети, на все время сеанса связи.

К недостаткам метода коммутации каналов можно отнести: невозможность трансформации скоростей и кодов, что определяет необходимость использования однотипной оконечной аппаратуры; трудности организации многоадресной и циркулярной передачи информации; потерю заявок на уста-

новление соединения в случае отсутствия свободных каналов или малую полезную загрузку каналов при необходимости обеспечить достаточно малую вероятность потерь.

От этих недостатков практически свободны сети с *коммутацией сообщений*, в которых подлежащее передаче сообщение поступает из сходящего канала в память, а затем выдается в требуемый исходящий канал. Сети с коммутацией сообщений, особенно при высоких коэффициентах использования каналов связи, требуют весьма больших объемов запоминающих устройств в узлах коммутации [3].

Метод коммутации пакетов (КП) сохраняет основные преимущества метода коммутации сообщений, но значительно снижает требования к объему ЗУ в узлах коммутации, т.к. размер пакета существенно меньше размера сообщения.

К достоинствам метода КП следует отнести:

- возможность эффективного использования пропускной способности сети при передаче коротких порций информации;
- возможность обеспечения малого времени задержки пакетов без закрепления для взаимодействующих абонентов пропускной способности каналов;
- высокую надежность и живучесть, связанные с возможностью использования альтернативных маршрутов при выходе из строя отдельных каналов связи или узлов сети, - увеличение скрытности передачи информации, т.к. отдельные пакеты сообщения следуют своими маршрутами и через промежуточные узлы сообщение в полном объеме не проходит.

Вместе с тем для метода КП характерны и определенные недостатки [7]:

- при некоторых условиях работы сети (например при большом графике) времена доставки информации могут быть слишком большими;
- метод не обеспечивает прозрачности во времени при передаче информации, т.е. среднеквадратическое отклонение времени доставки отдельных пакетов может быть не нулевым, а в случае коммутации дейтаграмм отдельные пакеты могут прибывать к получателю с нарушением их последовательности;
- в определенных условиях метод КП уступает методу КК по показателю использования пропускной способности. Анализ показывает, что области эффективного использования различных методов коммутации зависят от длины передаваемых сообщений, от уровня загрузки сети, времени распространения в канале, времени обработки в узле коммутации и т.п.

Стремления преодолеть недостатки "чистых" методов коммутации вызвало появление большого числа гибридных методов коммутации, являющихся

синтезом методов КК и КП, а также методов адаптивной коммутации, при которой алгоритм коммутации динамически меняется в зависимости от состояния сети в данный момент [7].

Маршрутизация и управление интенсивностью

Возможны различные критерии классификации методов маршрутизации, используемых в информационных сетях. Один из них состоит в разделении всех методов маршрутизации по признаку централизации управления на централизованные, распределенные (децентрализованные) и зоновые.

В централизованных методах выбор маршрутов осуществляется в центральном узле (ЦУ), а в распределенных – в узлах сети. При этом узлы могут обмениваться друг с другом некоторой служебной информацией.

В случае централизованных методов маршрутизации каждый узел сети передает сообщения о своем состоянии в ЦУ, который составляет глобальную картину состояния сети. На основе этой информации ЦУ может определять наилучшие маршруты распределения информационных потоков по сети.

Методы зоновой маршрутизации основываются на разбиении всей сети на зоны и использовании в пределах каждой зоны и между зонами своих (возможно различных) методов маршрутизации.

Чтобы соединить достоинства централизованных и децентрализованных методов маршрутизации, были предложены гибридные методы маршрутизации, когда ЦУ следит за глобальной ситуацией, а остальные узлы оперативно реагируют на локальные изменения графика и компонентов сети. При этом каждый узел может самостоятельно решать, по какому из разрешенных ЦУ альтернативных путей направить пакет с учетом текущей локальной обстановки.

Другая классификация методов маршрутизации основана на том, изменяются ли маршруты в зависимости от интенсивности входных потоков. В статических (фиксированных) методах маршрутизации путь, используемый парой "отправитель – получатель информации", фиксирован и не зависит от колебаний графика. Он может меняться только в случае выхода из строя какого-либо узла или линии связи, т.е. при изменении топологии сети. Такой метод маршрутизации может быть рекомендован либо для очень простых сетей, либо когда эффективность работы сети не существенна, т.к. при нем не может быть достигнута большая пропускная способность сети при вариации входного графика [1].

Некоторое промежуточное положение между статическими и динамическими (адаптивными) методами маршрутизации занимают квазистатические

методы [8]. Если в статических методах маршрут каждого сообщения (пакета) известен заранее до его входа в сеть, а в динамических методах он заранее не известен, и направление дальнейшей передачи в каждом узле выбирается, исходя из текущей информации о состоянии сети, то в квазистатических методах совокупность локальных маршрутных таблиц каждого узла не фиксирована и меняется (хотя и относительно медленно), при изменении интенсивностей входных потоков [2], [4].

Кроме этого, все методы маршрутизации можно условно разделить на две группы: основанные на использовании некоторого математического аппарата для получения оптимальных по выбранному критерию маршрутов и эвристические методы маршрутизации.

Конкретный метод маршрутизации обычно реализуется в рамках протокола сетевого уровня, который управляет пакетами при их движении по сети до места назначения.

Управление потоком может потребоваться на участках передачи между абонентами и входным узлом сети или между двумя узлами сети [1].

Целями управления потоками в сети могут быть:

- сохранение средней задержки в сети на разумном уровне;
- соблюдение справедливости по отношению ко всем абонентам;
- недопущение переполнения буферов и уменьшения пропускной способности сети.

Однако, ни один из вышеперечисленных методов предотвращения перегрузки не дает достаточно высокого качества обслуживания. К тому же они не учитывают параметры входного потока, которые влияют на возникновение очередей при прохождении трафика через систему связи.

Имитационное моделирование

Для создания условий эксплуатации, соответствующих интенсивной нагрузке и перегрузке в сети, необходимы инструменты, которые могут легко смоделировать реальный трафик и его прохождение по сети требуемой конфигурации. Имитационное моделирование позволяет исследовать поведение сети при различных вариациях нагрузок и конфигурациях сети.

С помощью имитационного моделирования можно строить и анализировать системы, разрабатывать механизмы обеспечения устойчивости систем, принципы управления для систем с изменяющимися параметрами, можно построить регулятор, обеспечивающий оптимальное управление по заданным критериям. Поэтому имитационное моделирование является основным инструментом анализа компьютерных сетей.

Для построения адекватной модели необходима информация об объектах моделирования. Сеть с физической стороны представляет собой объединение в одну систему некоторого числа компьютеров, коммутаторов и маршрутизаторов, соединенных между собой линиями связи. Выделим отдельные звенья в этой системе, исходя из задач, которые они выполняют в системе:

1. компьютер – источник и приемник сигнала с возможностью управления и буферизации данных;
2. линия связи (кабели, хабы) – звено задержки;
3. коммутатор, модем, сервер – звено задержки с возможностями управляемости и буферизации;
4. маршрутизатор – звено, управляющее потоком данных с возможностью буферизации.

Под буферизацией понимается возможность хранения некоторого объема передаваемых данных внутри устройства. Основную часть системы – "исполнительный механизм" занимает сервер и маршрутизатор. С физической стороны они представляют собой входной буфер – емкостной элемент, элемент коммутации пакетов и выходные буфера.

При имитационном моделировании компьютерных сетей в каком-либо пакете Network simulator (NS, Opnet, Netwiser, Simulink and i.e.) мы задаем все существующие характеристики компьютерной сети, ее элементов, включая методы организации очереди коммутации, управления информационными потоками, маршрутизацию и параметры входного трафика. На рис. 1 показан пример компьютерной сети в виде схемы моделирования для пакета Opnet Modeler. Данная сеть состоит из четырех рабочих станций, сервера, маршрутизатора Cisco и хабов, соединенных между собой кабелями.

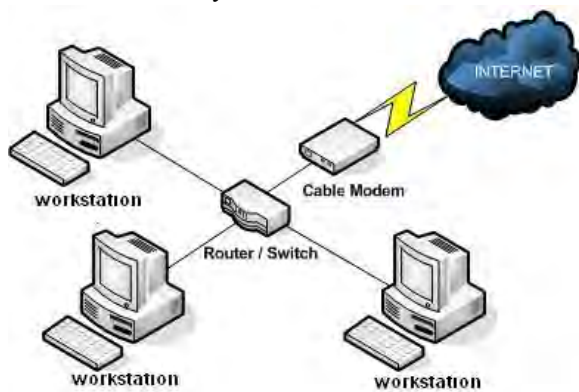


Рис. 1. Пример компьютерной сети

В то время как существует множество пакетов, позволяющих построить компьютерные сети различной конфигурации, не существует универсальной модели самоподобного компьютерного трафика, позволяющей моделировать трафик с заданными характеристиками.

В работе предложена математическая модель трафика, учитывающая параметры, которые обу-

славливают возникновение очередей при прохождении трафика через систему связи. Основным критерием адекватности модели является идентичность зависимостей длины очереди и вероятности потерь от коэффициента загрузки канала связи. В работе показано, что длина очереди в буфере узла канала определяется тремя основными параметрами: интенсивностью трафика \bar{X} , параметром Фано F (отношение дисперсии числа событий на временном интервале к математическому ожиданию этой величины) и показателем Херста H . Большие значения параметра Фано соответствуют большему разбросу значений входного потока, который даже при небольшой интенсивности создает очереди. Показатель Херста характеризует долгосрочную зависимость процесса. В частности, это означает, что за высокими значениями процесса с большой вероятностью также будут следовать высокие, что не дает достаточно быстро освободиться буферу.

Модель трафика, предложенная в работе, представляет собой самоподобный случайный процесс с дискретным временем, основой которого является фрактальный гауссовский шум, полученный для заданного значения показателя Херста. Входными параметрами модели являются оценки интенсивности, параметра Фано и показателя Херста входного трафика.

Модельный трафик является экспонентой фрактального гауссовского шума $Y(t) = b \cdot e^{k \cdot X(t)}$, где X – реализация фрактального гауссовского шума, построенного методом последовательных случайных сложений; b, k – параметры, зависящие от интенсивности и параметра Фано входного трафика.

Полученная математическая модель самоподобного трафика позволяет проводить имитационное моделирование с заданными размерами буферной памяти и пропускной способностью каналов. Исследования, проведенные в работе, показали, что при загрузке системы на 80 – 90%, для минимизации потерь размер буфера должен превышать интенсивность трафика в сотни раз.

Результаты численного эксперимента позволяют для известного значения пропускной способности C и полученных параметров входного потока данных определять средний размер буферной памяти Buf , необходимый для нормального прохождения (потери данных не превышают 7%) участка трафика через коммутатор:

$$Buf = f(C, \bar{X}, F, H).$$

Если вычисляемый размер буфера Buf больше существующего B , то при помощи коммутации или маршрутизации данные передаются либо в резервный канал, либо на коммутатор с дополнительным буфером (рис. 2).



Рис. 2. Управление трафиком в моделируемой сети

Выводы

В работе проведено имитационное моделирование, которое показывает возможность управления потоками данных, которые поступают для обработки на узел связи. Управление данными позволяет улучшить качество обслуживания сети и избежать переполнения буферной памяти в узлах связи. Данный подход базируется на определении предельно допустимой нагрузки канала путем мониторинга входного трафика.

Дальнейшие исследования предполагают исследования влияния мультифрактальных свойств трафика на загрузку сети и процессы, происходящие в мультисервисных сетях.

Список литературы

1. Stollings W. *High-speed networks and Internets. Performance and quality of service* / W. Stollings. – New Jersey, 2002.
2. Vern Paxson. *Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling* / Vern Paxson, Sally Floyd // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – June 1995. – Vol. 3, № 3. – P. 226-244.
3. Leland W.E. *On the selfsimilarnature of Ethernet traffic* / W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, D.V. Wilson // *IEEE/ACM Transactions of Networking*. – 1994. – 2(1). – P. 1-15.
4. Цыбаков Б.С. *Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса* / Б.С. Цыбаков // *Радиотехника*. – 1999. – № 5. – С. 24-31.

5. *Управление трафиком: очереди и шейпинг*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.nestor.minsk.by/>

6. Кульгин М. *Практика построения компьютерных сетей. Для профессионалов* / М. Кульгин. – СПб.: Питер, 2001.

7. *Advanced Networking Training for Master Students Through OPNET Projects* / J. Theunis, P. Leys, J. Potemans, Bart Van den Broeck, E. Van Lil, A. Van de Capelle // *OPNETWORK 2003, Washington D.C., USA, August 2003*.

8. Кириченко Л.О. *Управление параметрами сети на основе мониторинга входной загрузки* / Л.О. Кириченко, Т.А. Радивилова // *Материалы 2-й Международной научной конференции «Современные информационные системы. Проблемы и тенденции развития»*. – Харьков-Туансе, 2007. – С. 89-90.

9. Kirichenko Ludmila. *Comparative analysis of statistical properties of the Hurst exponent estimates obtained by different methods* / Ludmila Kirichenko, Tamara Radivilova // *Information Models of Knowledge. ITHEA, Kiev-Sofia, 2010*. – P.451-459.

Поступила в редколлегию 10.08.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Г. Удовенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖІ В УМОВАХ САМОПОДІБНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Т.А. Радівілова

Розглянуті методи організації черг у вузлах зв'язку, види комутації інформаційних потоків в комп'ютерних мережах, методи маршрутизації і керування інтенсивністю вхідного трафіка. Описано математичну модель самоподібного трафіка, яка дозволяє проводити імітаційне моделювання із заданими розмірами буферної пам'яті та пропускної здатності каналів. На основі описаної моделі проведено імітаційне моделювання, яке показує можливість управління потоками даних, які надходять для обробки на вузол зв'язку. Описаний підхід базується на визначенні гранично допустимого навантаження каналу шляхом моніторингу вхідного трафіка.

Ключові слова: самоподібні дані, трафік, модель трафіка, імітаційне моделювання, комп'ютерна мережа.

PRODUCTIVITY ANALYSIS IN A SELF-SIMILAR NETWORK LOAD

T.A. Radivilova

A method of queuing in communication centers, switching types of information flows in computer networks, routing methods and intensity control incoming traffic. The mathematical model of self-similar traffic, which allows the simulation of a given size of buffer memory and bandwidth. Based on the described model was simulation, which shows the ability to manage data flows, which come to be processed by a communication. The described approach is based on determining the maximum permissible load channel by monitoring incoming traffic.

Keywords: self-similar data traffic, traffic patterns, simulation, computer network.