

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ

В. В. Соснин, Нгуен Дык Тай (Санкт-Петербург)

Введение

В настоящее время сеть Интернет активно используется для передачи данных мультимедийных приложений. Поэтому в задачах имитационного моделирования некоторых систем (например, систем IP-телефонии) Интернет входит в качестве сегмента транспортной подсистемы в создаваемую модель. Анализ работы этого сегмента с помощью теории массового обслуживания – очень сложная задача, так как Интернет в общем случае нужно рассматривать как сеть массового обслуживания с множеством альтернативных путей, с существенной долей потерь пакетов и непростейшими потоками заявок, циркулирующими в сети. Следовательно, для исследования подобных систем необходимо применять имитационное моделирование. Целью авторов стала разработка подхода к созданию упрощенной модели Интернета, учитывающей те его особенности, которые существенны при передаче мультимедийного трафика. Для этого статистическими методами исследовались полученные экспериментальным образом характеристики передачи пакетов.

Известно [1], что трафик, генерируемый мультимедийными приложениями, чувствителен к уровню среднего значения U и вариации задержки J передачи пакетов, а также к проценту потерь P . Поэтому в работе исследовались в первую очередь именно эти характеристики. Кроме того, важно оценить вероятность изменения маршрута следования пакетов в течение обычного сеанса связи, так как если окажется, что эта вероятность достаточно мала и ею можно пренебречь, то это позволит существенным образом упростить создаваемую упрощенную модель Интернета.

В процессе работы были решены следующие задачи: 1) выполнено множество экспериментов для сбора характеристик передачи пакетов в Интернет; 2) осуществлен статистический анализ собранных экспериментальных данных; 3) предложены рекомендации, которые следует учитывать при создании упрощенной модели Интернета.

Постановка задачи

Сбор экспериментальных данных проводился с помощью утилит PING и PATH-PING, входящих в состав операционной системы Windows. Для этого на выполнение в течение суток были запущены bat-файлы одного из следующих типов:

Bat-файл №1	<code>ping -t -l 1000 212.58.224.138 >> bbc.co.uk.txt</code>
Bat-файл №2	<code>:beginning pathping -n -q 1 202.139.106.174 >> Australia.txt goto beginning</code>

В приведенном примере (bat-файл № 1) сбор статистики осуществляется при отправке пакетов размером 1000 байт с текущего компьютера на компьютер с ip-адресом 212.58.224.138, который находится в Великобритании и который мы будем называть *сервером назначения*. Утилита PING позволяет измерить время двойного оборота (round trip time, RTT) до сервера назначения для посылаемого пакета.

Утилита PATHPING (bat-файл № 2) позволяет измерить RTT не только до обозначенных серверов назначения, но и до всех маршрутизаторов, находящихся на пути следования до нужного сервера. Поэтому в результате эксперимента удалось осуще-

ствить замер RTT до серверов разной степени удаленности, которую будем для удобства измерять количеством *хопов* [3].

Эксперименты по отправке пакетов проводились с серверами крупных компаний следующих стран: Сингапур, Бразилия, Канада, США, Куба, Япония, ЮАР, Вьетнам, Франция, Австралия, Чили, Россия, Новая Зеландия, Китай, Великобритания. Отправка производилась с компьютеров из Санкт-Петербурга и Ангарска (Иркутская область). Всего было отправлено около 2 миллионов ping-пакетов.

Описанный метод измерений RTT отличается от метода, используемого в проекте PingER Стэнфордского университета США [2]. В проекте PingER каждые полчаса производится единовременная отправка 11 пакетов и для них замеряется RTT (на что уходит обычно не более 10 секунд). Однако этот метод отличается от реальных условий использования Интернета, например, приложениями для ведения аудио- и видеоконференций в режиме реального времени. Используемый авторами подход позволяет в указанном случае более объективно оценить характеристики передачи пакетов.

Отметим, что исследования проводились для случая, когда в сегменте Интернет от источника до провайдера услуг Интернета (назовем его *первым* сегментом) обеспечивался уровень задержек, существенно меньший полного значения RTT. То же самое можно сказать о *последнем* сегменте (сегменте от поставщика услуг Интернета до указанного сервера), так как в экспериментах использовались серверы крупных фирм, заведомо имеющих высокоскоростные каналы подключения к Интернету. Это есть два необходимых условия для обеспечения объективности получаемых характеристик той части Интернета, которая является общей для среднего пользователя.

В процессе выполнения утилиты PATHPING определяет точки маршрута (в виде ip-адресов), по которому двигался пакет до пункта назначения. Это позволило, анализируя результаты последовательного вызова этой утилиты, оценить частоту смены маршрутов следования пакетов. Расчет частоты смены маршрутов проводился следующим образом. Результаты экспериментов для каждого сервера назначения заносились в табл.1. Причем сменой маршрута авторами считалась смена хотя бы одного ip-адреса одного из промежуточных узлов маршрута.

Таблица 1

Расчет частоты смены маршрутов

Номер хопа i	1	2	3	...	N
Число смен ip-адреса A_i	0	1	5	...	4

Затем частота смены маршрутов вычислялась по формуле $\frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n \cdot k}$, где k – количество вызовов утилиты PATHPING. Произведение $n \cdot k$ – это количество ping-пакетов, отправленных в результате всех экспериментов.

Для удобства анализа стандартного вывода утилиты PATHPING авторами была написана программа на языке C++, которая выделяет из текстовых данных замеры RTT и ip-адреса промежуточных точек маршрута, а затем выводит статистическую информацию об исследуемых характеристиках.

Обсуждение результатов

На рис. 1 сравниваются экспериментально полученные характеристики RTT при отправке пакетов разного размера. Под обозначением RTT_z понимается RTT, измеренное при отправке пакетов, имеющих размер z байт. Аналогично J_z – вариация задержки RTT при отправке пакетов, имеющих размер z байт. На рис.1, а видно, что время двойного оборота с некоторым округлением можно считать не зависящим от размера пакета (отклонения составляют не более 15% при отличии размера пакетов в 17 раз). К подобному выводу можно прийти, анализируя [2], где сравнение производилось для пакетов, отличающихся по размеру в 10 раз. На рис.2, б можно наблюдать характер зависимости для вариации задержки, которую в широких пределах можно также считать не зависящей от размера пакета.

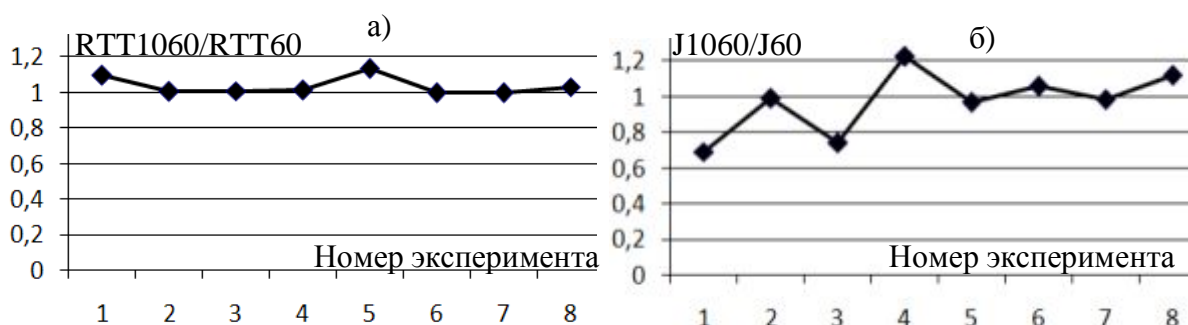


Рис. 1. Сравнение характеристик для разных размеров пакета:
а – среднее значение задержки; б – вариация задержки

На рис. 2 представлены результаты измерения RTT и J в зависимости от номера хопа. Очевидно, что значения варьируются слишком существенно, поэтому крайне сложно дать какие-либо аппроксимации, пригодные для практического использования.

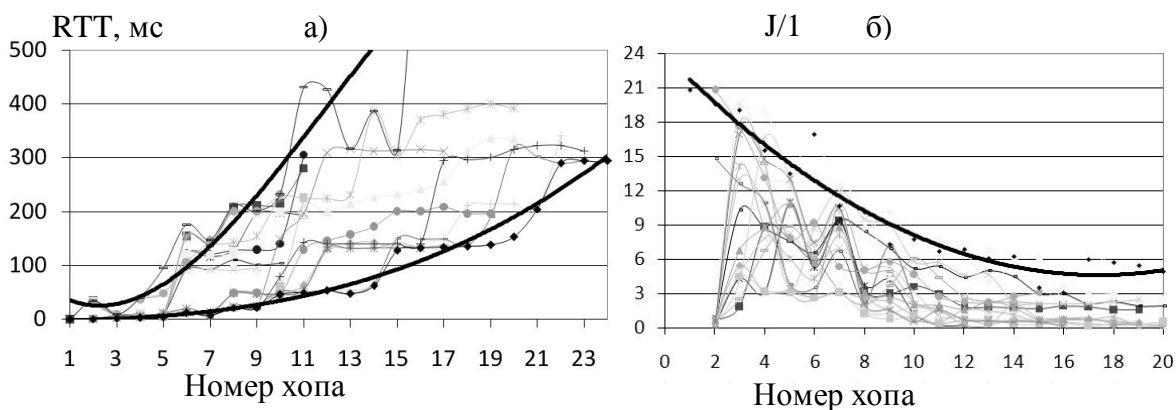


Рис. 2. Результаты статистической обработки экспериментальных данных:
а – среднее значение задержки; б – вариация задержки

В табл. 2 приведены результаты оценки частоты смены маршрутов. Усредненное значение $1/42$ показывает, что в среднем по неизменному маршруту шли 97.6% пакетов, а каждый 42-й пакет достигал сервер назначения по измененному маршруту.

Таблица 2

Расчет частоты смены маршрутов

Страна	Число хопов до сервера назначения	Число изменений маршрута	Изменений на пакет
1. Сингапур	22	0	0,0000
2. Бразилия	25	3845	0,0831
3. Канада	20	3	0,0001
4. США	11	0	0,0000
5. Куба	26	1148	0,0194
6. Япония	24	30	0,0002
7. ЮАР	29	68	0,0014
...
16. Вьетнам	12	3	0,0000
ИТОГО			1/42

Полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации, которые следует учитывать при моделировании работы Интернета. Пусть для моделируемой системы выполняются следующие условия:

1. Трафик, уходящий из моделируемой системы в Интернет, не может существенным образом повлиять на Интернет в целом;
2. Вероятностью 2.4% изменения маршрута пакета можно пренебречь (для проверки достоверности этого допущения необходимо провести дополнительные исследования). Это будет означать, что пакеты будут приходить к серверу назначения в порядке отправления;
3. Первый сегмент обеспечивает значения RTT, J и P существенно меньшие, чем эти значения в целом для сегмента Интернета;
4. Значение RTT не зависит от закона распределения межпакетных интервалов. Этот вывод частично следует из результатов работы, так как в каждом из экспериментов этот интервал имел отличный от других закон распределения (в силу логики работы утилит PING и PATHPING).

В этом случае в качестве упрощенной модели Интернета можно рассматривать одноканальную систему массового обслуживания, в которой задержка обеспечивается заявкам по некоторому закону распределения вне зависимости от размера пакетов и межпакетных интервалов.

Заключение

1. Задержка и вариация задержки передачи пакетов по Интернет не зависят от таких параметров трафика, как размер пакетов и межпакетный интервал.
2. Представляется невозможным дать оценку задержек в зависимости от числа хопов рассматриваемого маршрута следования пакетов.
3. В среднем в сети Интернет 41 из 42 пакетов идут по неизменному маршруту.
4. При сформулированных допущениях моделью Интернета может быть одно-канальная система массового обслуживания.

Литература

1. ITU-T recommendation Y.1541. Amendment 1: An example showing how to calculate IPDV across multiple sections. – Geneva, 2006.
2. The PingER project: <http://www-iepm.slac.stanford.edu/pinger/> - ссылка актуальна на 10 сентября 2009 г.
3. **Олифер В. Г., Олифер Н. А.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. Спб.: Питер, 2007. 958 с.