

УДК 004.92

О.М. Тарасюк, А.В. Горбенко, Мохамед Саид Газал

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

АНАЛИЗ ИЗБЫТОЧНОСТИ ПРОТОКОЛОВ СТЕКА ТСР/IP

Проведен анализ доли служебной информации в сетевом пакете, проходящем через стек протоколов ТСР/IP, и выполнена оценка влияния размера пакета и соотношения служебных данных и полезной нагрузки на производительность компьютерной сети. Проанализированы возможные способы повышения производительности компьютерных сетей и проблемы их применения при использовании беспроводных сетевых технологий.

Ключевые слова: стек протоколов ТСР/IP, производительность, кадр, служебная информация.

Введение. Постановка задачи

С распространением компьютерных сетей (КС) всё большую актуальность приобретает проблема повышения производительности. Производительность компьютерной сети - это эффективность выполнения её функций, таких как обеспечение быстрой и безошибочной передачи данных, совместное использование ресурсов, обеспечение защиты данных, обмен электронной почтой в пределах предприятия и в глобальных масштабах и др. [1]. Однако на практике реальная скорость приёма/передачи данных оказывается существенно ниже, чем битовая скорость, поддерживаемая используемой технологией. Особенно остро эта проблема стоит в беспроводных сетях. Реальная пропускная способность зависит от используемой технологии, количества абонентов в сети, протяженности и качества каналов связи, уровня электромагнитных помех, используемого сетевого оборудования, протоколов и многих других факторов.

В данной статье исследуется избыточность стека протоколов ТСР/IP и её влияние на производительность КС. Стек протоколов ТСР/IP был разработан по инициативе Министерства обороны США в 1983 году для связи экспериментальной сети ARPAnet с другими сетями как набор общих протоколов для разнородной вычислительной среды. Сегодня стек ТСР/IP представляет собой один из самых распространенных стеков транспортных протоколов вычислительных сетей. Только в сети Internet объединено около 10 миллионов компьютеров по всему миру, которые взаимодействуют друг с другом с помощью стека протоколов ТСР/IP. Однако разработанные более 20 лет назад протоколы не учитывают в полной мере всех особенностей современных компьютерных сетей, такие как высокая скорость передачи (100 Мбит/с и выше), значительная интенсивность узлов компьютерной сети, активное использование беспроводной среды передачи и др.

Одной из причин снижения производительности компьютерных сетей является избыточность сетевых протоколов (наличие служебной информации), а также неэффективный размер сетевого пакета. В [1] проведен анализ производительности компьютерной сети Ethernet в зависимости от используемого размера

поля данных. В результате было установлено, что полезная пропускная способность Ethernet при использовании кадров максимальной длины составляет 97,6% от номинальной битовой скорости передачи, а при использовании кадров минимальной длины - снижается до 54,8%. Как видно, размер сетевого пакета и доля служебной информации могут оказывать существенное влияние на производительность компьютерной сети. Однако, проведенный анализ не учитывал избыточности, вносимой протоколами более верхнего уровня стека ТСР/IP.

Целью статьи является анализ факторов, влияющих на производительность компьютерных сетей, в частности, влияние доли служебной информации, добавляемой в сетевой пакет на каждом уровне инкапсуляции стека ТСР/IP, на пропускную способность сети, а так же анализ методов повышения производительности в современных компьютерных сетях.

Факторы, влияющие на производительность компьютерной сети

При анализе всех факторов, влияющих на производительность компьютерной сети, были выделены следующие:

- метод множественного доступа к среде передачи, используемый конкретной сетевой технологией, а также режим работы: дуплексный или полудуплексный;
- время ожидания доступа к среде передачи;
- избыточность сетевых протоколов или доля служебной информации в передаваемом сетевом пакете;
- размер межкадрового интервала;
- алгоритм протокола, используемого для передачи данных: с подтверждением или без подтверждения, если с подтверждением, то какая конкретно реализация (с остановкой и ожиданием, с выборочным подтверждением, с использованием окна передачи и др.);
- вероятность битовой ошибки (качество линии связи) и, как следствие, количество (и объем) повторных передач;
- загруженность компьютерной сети, вероятность потери пакетов из-за перегрузки сетевого оборудования (коммутаторов и маршрутизаторов) и, как следствие, количество (и объем) повторных передач;

• алгоритм реакции на потерю сетевого пакета, а также осведомленность протокола о причине потери пакета (был ли он потерян по причине перегрузки сетевого оборудования или же отброшен получателем из-за несовпадения контрольной суммы вследствие воздействия электромагнитных помех).

В результате проведенного анализа можно сделать общий вывод о том, что производительность транспортных протоколов с установлением логического соединения и с подтверждением (типа *TCP – Transmission Control Protocol*), существенно зависит от вероятностей искажения сетевого пакета или его потери вследствие перегрузки сетевого оборудования, а также от осведомленности протокола о причине потери и используемого алгоритма реакции на перегрузку.

На производительность же современных компьютерных сетей, использующих транспортные протоколы без установления логического соединения и без подтверждений (например, *UDP – User Datagram Protocol*), основное влияние оказывает отношение объема служебной информации к объему полезных данных, а также интервал следования сетевых пакетов. Проанализируем далее влияние на производительность КС объема служебной информации, вносимой цепочкой протоколов «*HTTP->TCP->IP->Fast Ethernet*» (рис. 1).

Формат сетевых пакетов

Протокол Fast Ethernet. Кадр *Fast Ethernet* содержит такие поля [2]: преамбула (8 байт), адрес получателя (6 байт), адрес отправителя (6 байт), управление (2 байта), данные (от 46 до 1500 байт) и контрольная сумма (4 байта). Таким образом, служебные данные занимают 26 байт, полезные данные – min 46 байт, max 1500 байт.

Протокол IP. Заголовок *IP*-пакета содержит такие поля [4]: номер версии (4 бита), длина заголовка (4 бита), тип сервиса (1 байт), общая длина (2 байта), идентификатор пакета (2 байта), флаги (3 бита), смещение фрагмента (13 бит), время жизни (1 байт), идентификатор протокола верхнего уровня (1 байт), контрольная сумма (2 байта), адрес источника (4 байта) и адрес назначения (4 байта), опции и выравнивание (переменной длины). Объем заголовка, как правило, составляет 20 байт.

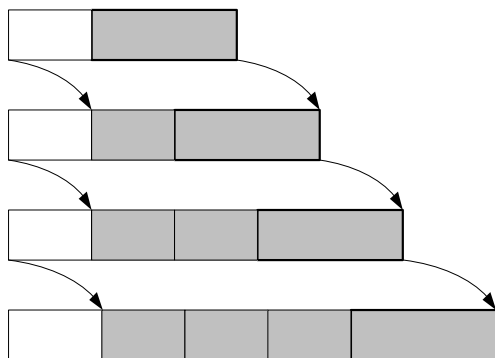


Рис. 1. Схема инкапсуляции пакетов стека TCP/IP

В стандарте оговаривается, что все компьютеры должны быть готовы принимать пакеты вплоть до 576 байт длиной. Отправлять же пакеты размером более чем 576 байт рекомендуется, только если есть уверенность, что принимающий компьютер или промежуточная сеть готовы обслуживать пакеты такого размера.

Протокол TCP. Сегмент *TCP* содержит такие поля [4]: порт источника (16 бит), порт приёмника (16 бит), номер в последовательности (32 бита), номер подтверждения (32 бита), смещение данных (4 бита), флаги (6 бит), окно (16 бит), контрольная сумма (16 бит), указатель важности (16 бит), опции (8 бит). Поле «Данные» может отсутствовать. Типичный объем заголовка составляет 28 байт.

Протокол HTTP. Протокол *HTTP* использует механизм передачи запрос – ответ. Каждый запрос/ответ состоит из трёх частей:

1. Стартовая строка.
2. Заголовки.
3. Тело сообщения, содержащее данные запроса, запрашиваемый ресурс или описание проблемы, если запрос не был выполнен.

Пример запроса:

```
GET /wiki/HTTP HTTP/1.1
Host: ru.wikipedia.org
User-Agent: Mozilla/4.0 (compatible; MSIE 6.0; Windows NT 5.1)
Connection: close
Пример ответа:
HTTP/1.0 200 OK
Server: Apache
Content-Language: ru
Content-Type: text/html; charset=utf-8
Content-Length: 1234
(текст запрошенной страницы).
```

Стартовая строка и заголовок запроса/ответа обычно занимают 100 – 125 байт. Кроме того, стандартной кодировкой для протокола *HTTP* является 7-ми битная кодировка *ASCII*. Поэтому для передачи одного символа русского алфавита необходимо задействовать 2 байта или же использовать специальную 8-битную кодировку, например *Win-251*.

Другая проблема состоит в том, что *HTML*-страница помимо данных содержит служебную информацию в виде *HTML*-тегов, которые являются директивами браузеру по форме отображения собственно данных. Очень часто, объем, занимаемый *HTML*-тегами (включая параметры) превышает объем полезных данных в несколько раз.

Например, стартовая страница, полученная с сайта *ru.wikipedia.org* (без картинок) занимает 44406 байт. Объем же собственно текстовой информации – 7824 символа, что в кодировке *UTF-8* занимает 15648 байт. Проблемам избыточности текстовых протоколов *HTTP* и *SOAP* посвящена статья [5].

Анализ избыточности сетевых протоколов

Каждый пакет, передаваемый в компьютерной сети, кроме данных содержит служебную информацию, необходимую для правильной доставки и об-

работки информации, содержащейся в поле данных (адрес компьютера получателя и отправителя, тип протокола, идентификатор программы сервера и клиента, контрольная сумма и др.). В процессе инкапсуляции каждый протокол добавляет свою служебную информацию, которая не несёт непосредственно данных для пользователя и, таким образом, снижает полезную пропускную способность сети.

Необходимо отметить, что, поле собственно данных, как правило, имеет ограничения на минимально и максимально допустимый размер. Для сетевой технологии Fast Ethernet (FEth) минимально допустимый размер поля данных составляет 46 байт, а максимально допустимый – 1500 байт. Именно соотношение доли служебных и пользовательских данных во многом определяет полезную пропускную способность компьютерной сети. Под *полезной пропускной способностью протокола* [3] здесь понимается скорость передачи пользовательских данных, которые переносятся полем данных кадра.

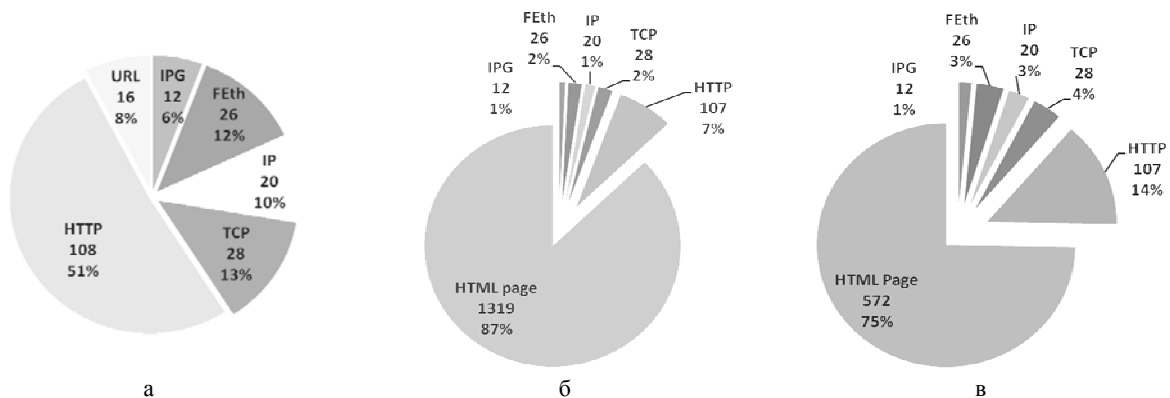


Рис. 2. Объем служебной информации сетевого пакета: а – минимальной; б – максимальной; в – средней длины

Таким образом, оптимальной является передача пакетов максимальной длины, где доля служебной информации по отношению к полезным данным намного меньше, чем в пакете средней, и, тем более, минимальной длины.

Однако и при этом полезная пропускная способность составляет 87 Мбит/с при битовой скорости передачи 100 Мбит/с, принятой в технологии Fast Ethernet.

Способы повышения производительности компьютерных сетей

Все способы повышения производительности компьютерных сетей условно можно разделить на две группы: технологические и организационные.

К первой группе относится разработка новых сетевых технологий с большей битовой скоростью передачи, а также разработка более экономичных сетевых протоколов, в которых размер поля данных может быть существенно больше объема служебной информации.

Ко второй группе относятся методы оптимального планирования и разработки компьютерных сетей на основе существующих сетевых технологий, оборудования и протоколов, а именно:

Кроме того, сетевые пакеты не могут следовать непосредственно друг за другом, образуя сплошной поток бит. Для их разделения существует межкадровый интервал (IPG). Для сетевой технологии Ethernet этот он составляет 96 битовых интервалов.

На рис. 2, а показано соотношение доли служебной информации, вносимой разными протоколами при передаче запроса на открытие HTML-страницы по URL-адресу *ru.wikipedia.org*, который в данном случае и является полезной информацией. Как видно, суммарный объем служебной информации, вносимой всеми протоколами стека TCP/IP с учетом межкадрового интервала, занимает 194 (193) байт. Для пакета минимальной длины, содержащего запрос определенной Web-страницы, доля служебной информации составляет 92 процента. В пакете же максимальной длины (рис. 2, б), содержащем часть HTML-страницы, служебная информация занимает 13%, а в пакете средней длины (рис. 2, в) – 25%.

- выбор более скоростной сетевой технологии;
- установка более производительного сетевого оборудования;
- использование более качественных каналов связи (кабеля);
- оптимизация структуры сети;
- использование механизмов обеспечения качества обслуживания QoS;
- распределение (балансировка) нагрузки по нескольким маршрутам.

Перечисленные методы и средства на сегодня успешно применяются в проводных компьютерных сетях. Однако их применение для повышения пропускной способности беспроводных сетей затруднено в силу ряда причин.

Анализ проблем повышения производительности в беспроводных сетях

Беспроводные сети характеризуются достаточно высокой вероятностью битовой ошибки (*Bit Error Rate, BER*) по сравнению с кабельными сетями в силу воздействия электромагнитных помех. Для беспроводных сетей Wi-Fi типичным значением BER [6]

является 10^{-5} , в то время как для компьютерных сетей на основе витой пары [2] это значение составляет 10^{-7} , а при использовании оптоволоконного кабеля снижается до 10^{-9} . Таким образом, простое увеличение размера поля данных приведет к повышению вероятности искажения всего пакета, что повлечет за собой повторную передачу и, как следствие, снижение полезной пропускной способности.

Одним из решений в этом случае видится фрагментация пакетов и снабжение каждого пакета небольшим заголовком с адресной информацией и отдельной контрольной суммой. Тогда при искажении повторно необходимо будет передать не весь пакет, а отдельный небольшой фрагмент. Очевидно, что фрагментация пакетов увеличивает накладные расходы, поэтому количество и размер каждого фрагмента целесообразно выбирать динамически в зависимости от текущего значения BER. Однако на сегодняшний день в современных беспроводных сетевых технологиях, таких как IEEE802.11g, порог фрагментации может быть задан лишь статически.

Второй проблемой является то, что абоненты беспроводной сети работают в одном диапазоне частот, разделяя доступную пропускную способность между всеми компьютерами, подключенными к одной точке доступа. Т.е. беспроводная точка доступа работает в режиме концентратора, а не коммутатора.

Наконец третьей проблемой является то, что битовая скорость передачи в беспроводных сетях не является фиксированной, а зависит от уровня мощности принимаемых/передаваемых данных. Т.е. при удалении абонента беспроводной сети от точки доступа скорость передачи снижается.

Например, в технологии IEEE802.11g скорость передачи 54 Мбит/с поддерживается только в непосредственной близости от точки доступа (в радиусе до 10 м.), а при удалении на значительное расстояние (100 м.) снижается до 1 – 2 Мбит/с.

Выводы

В результате проведения анализа протоколов стека TCP/IP, форматов передаваемых кадров, расчета полезной пропускной способности компьютерной сети (на примере протокола Ethernet), анализа факторов, влияющих на производительность компьютерной

сети, был выделен ряд возможных способов повышения производительности компьютерной сети.

Таким образом, оптимальной является передача пакетов с максимальной длиной поля данных (1500 байт при использовании сетевой технологии Fast Ethernet). Но даже в этом случае полезная пропускная способность не превышает 87% от номинальной битовой скорости передачи.

Наибольшая же избыточность проявляется в случае передачи кадра минимальной длины, так как на передачу служебных данных затрачивается достаточной большой «ресурс сети».

Однако простое увеличение размера поля данных имеет обратный эффект в беспроводных компьютерных сетях из-за негативного влияния электромагнитных помех. Повышение производительности беспроводных сетей является актуальной задачей и требует комплексного подхода к её решению, основанного на динамическом изменении порога фрагментации, оптимальном распределении точек доступа, определении радиусов их действия и выборе частотных каналов.

Список литературы

1. Причины снижения производительности компьютерных сетей [электронный ресурс]: <http://opensource.com.ua/contents/978531800492c.html>
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд. – С.-Пб.: Питер, 2003. – 864 с.
3. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – С.-Пб.: Питер, 2002. – 848 с.
4. Стивенс У. Р. Протоколы TCP/IP. Практическое руководство. – С.-Пб.: Невский диалект, 2003. – 672 с.
5. Анализ производительности коммуникационных протоколов SOAP и TCP / С.С. Мамутов, В.С. Харченко, М.С. Газал, А.В. Горбенко // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2007. – № 8 (27). – С. 205-208.
6. Рошан П., Лиэри Дж. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 304 с.

Поступила в редколлегию 15.08.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. н.е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АНАЛІЗ НАДМІРНОСТІ ПРОТОКОЛІВ СТЕКА TCP/IP

О.М. Тарасюк, А.В. Горбенко, Мохамед Саїд Газал

Проведено аналіз частки службової інформації в мережевому пакеті, що проходить через стек протоколів TCP/IP, і виконано оцінку впливу розміру пакету і співвідношення службових даних і корисного навантаження на продуктивність комп'ютерної мережі. Проаналізовано можливі способи підвищення продуктивності комп'ютерних мереж і проблеми їх застосування при використанні бездротових мережевих технологій.

Ключові слова: стек протоколів TCP/IP, продуктивність комп'ютерних мереж, кадр, службова інформація.

ANALYSIS SURPLUS PROTOCOLS STACK TCP/IP

О.М. Tarasyuk, A.V. Gorbenko, Mokhamed Said Gazal

The analysis of stake of service information is conducted in a network package, passing through the stack of protocols of TCP/IP, and the estimation of influencing of size of package and correlation of official information and actual load is executed on a computer network performance. The possible methods of increase of performance of computer networks and problem of their application are analysed at the use of wireless technologies of networks.

Keywords: stack of protocols of TCP/IP, performance of computer networks, shot, service information.