

Анализ способов оценки загруженности сети для управления окном получателя¹

Е.О. Карлукhin, Э.О. Гасанов, О.Б. Тарасова, Д.А. Николаев

Аннотация. Проанализированы способы оценки параметров сетевого соединения, определяющие размер окна получателя. В результате выбран вариант подсчета минимального значения времени передачи пакета до получателя и обратно на интервале времени, соразмерном с данной величиной. Предложен способ оценки пропускной способности канала на основе серии пакетов из скользящего окна.

Ключевые слова: информационное взаимодействие, TCP, окно получателя, оптимизация протоколов.

Введение

Существует ряд недостатков управления передачей данных на транспортном уровне. Наиболее распространенными из них являются возникновение существенных задержек и, как следствие, потерь пакетов в сетях с большими очередями, а также неполное использование пропускной способности канала.

Эти недостатки связаны с особенностями работы алгоритмов предотвращения перегрузок, реализованных в транспортных протоколах, которые обеспечивают надежную доставку. Для того, чтобы определить потенциальную скорость передачи данных, транспортный протокол, обеспечивающий надежную доставку (например, TCP), увеличивает число генерируемых пакетов до тех пор, пока не произойдет потеря пакета. Обычно потеря пакета происходит в «узких» местах: маршрутизаторе или коммутаторе. Образуется очередь с большим количеством пакетов, и, как следствие, происходит переполнение буфера маршрутизатора или коммутатора. Потеря дейтаграммы обнаруживается источником при наступлении события «потеря пакета», то есть по истечении ин-

тервала ожидания либо при получении трех дублирующих квитанций. Потеря пакета является признаком перегрузок в сети.

Для борьбы с этими перегрузками можно манипулировать окном получателя ($RWIN$), т.е. изменять его размер под конкретные характеристики соединения B и RTT . Как известно, размер окна получателя $RWIN \geq RTT \cdot B$, где B – пропускная способность канала (бит/с), RTT – время отправки пакета от отправителя к получателю и обратно (с). Из формулы следует, что для определения размера окна получателя необходимо оценить величины B и RTT .

Оценка величины RTT

Методы измерения RTT хорошо известны. На самом деле измерение значений RTT на отправителе является почти тривиальной задачей, так как он всегда получает подтверждение для отправленного пакета данных и, следовательно, может оценить величину RTT [1]. Измерение RTT на приемной стороне является более сложной задачей, чем на передающей. В первую очередь это связано с тем, что при передаче одного пакета у получателя отсутствует

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-07-31247 мол_а

возможность по оценке времени между отправлением двух пакетов с подтверждениями. Стоит отметить, что на Рис. 1 показан случай, когда можно выполнить такую оценку. Однако из данной иллюстрации также следует заметить, что отправитель посылает следующий пакет не сразу, а с некоторой задержкой. Поэтому оценка RTT на получателе, вычисленная таким способом, всегда будет больше, чем истинное значение RTT.

Данный способ оценки RTT подойдет только для случая, когда и отправитель и получатель одновременно обмениваются данными. В этом случае пакет с подтверждением будет содержать данные для отправителя, поэтому получатель всегда получит на данный пакет подтверждение и сможет оценить величину RTT.

Второй способ оценки RTT основан на RFC-1323 [2]. Этот документ предполагает использование хостами опции «временные метки» для более точного измерения значения RTT. Таким образом, временные метки всегда устанавливаются для исходящих сегментов и, поскольку хост всегда должен повторить самую последнюю метку в соответствии с RFC, мы получаем довольно точное измерение RTT на принимающей стороне. Рис.2 иллюстрирует эту технику. Отправитель посылает пакет с данными DATA1, которые получатель подтверждает пакетом ACK1. Этот пакет содержит временную метку отправителя. В пакете DATA7 получатель в свою очередь примет свою временную метку, отправленную в пакете ACK1.

Однако и у данного метода есть свой недостаток. Если отправитель TCP не проявляет в течение некоторого времени активности, то получившиеся измерения будут неточными.

В дополнение к рассмотренным методам следует проанализировать варианты получения усредненной оценки RTT по результатам серии измерений. Для этих целей можно воспользоваться формулой, используемой в стандарте на протокол TCP [3]:

$$RTT = \alpha \cdot Old_RTT + (1 - \alpha) \cdot New_RTT \quad (1),$$

где *Old_RTТ* - предыдущее значение величины RTT, *New_RTТ* - текущее значение RTT, $0 \leq \alpha < 1$. Обычно значение α составляет 0,1.

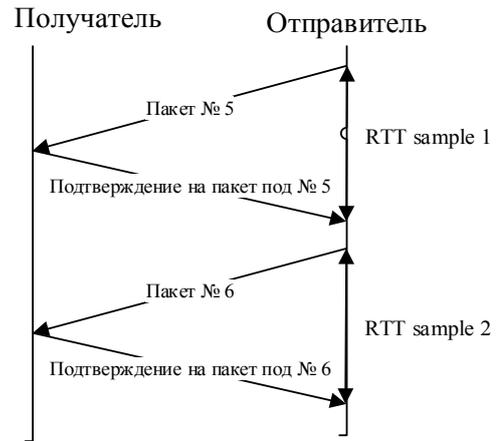


Рис. 1. Диаграмма передачи пакетов с данными и подтверждениями (ACK) между отправителем и получателем

Другим вариантом получения более точной оценки RTT является вычисление минимального RTT. Во время передачи данных производится оценка RTT и выбирается наименьшее значение из серии измерений. Для коротких TCP соединений эта оценка покажет высокую эффективность, но в случае более длинных соединений текущее изменение характеристик канала учтено не будет. Вследствие этого будет выбрано окно меньшего размера, что не позволит полностью использовать доступную пропускную способность канала. Улучшение данного варианта состоит в подсчете минимального значения RTT (RTT_{min}) на интервале времени, соразмерном с величиной RTT.

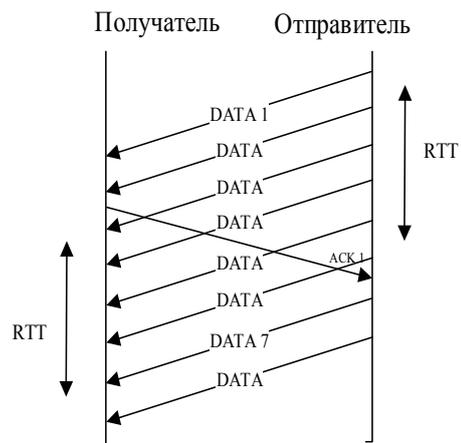


Рис.2. Измерение RTT с помощью временных меток

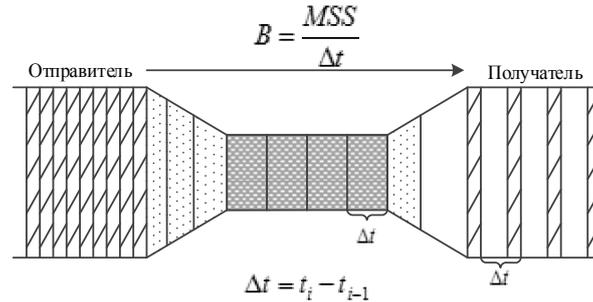


Рис. 3. Оценка пропускной способности канала

Достоинством последнего варианта в сравнении с методом усредненной оценки RTT является больший объем выборки и, следовательно, лучшая точность представления оценки RTT для определения окна получателя.

Характеристики соединения могут существенно меняться на небольшом интервале времени. Из этого следует необходимость постоянного измерения величины RTT.

Оценка пропускной способности канала

Оценка пропускной способности канала передачи данных между отправителем и получателем заключается в измерении средней пропускной способности, рассчитанной на нескольких интервалах RTT (Рис. 3). Средняя пропускная способность оценивается на основе длины передаваемых пакетов, интервалов следования между ними и размера выборки пакетов. Это позволяет TCP достаточно точно дать оценку RWIN и предотвратить ненужный анализ при потере нескольких пакетов.

Основным способом оценки пропускной способности канала является отправка двух пакетов друг за другом с минимально возможным временным интервалом [4]. Получатель определяет число пакетов, которые могут быть переданы через «узкое» место в единицу времени, измеряя временной интервал между приемом первого и второго пакета. На основе данной оценки проводится экстраполяция величины пропускной способности канала B как $N_s \cdot MSS$, где N_s – число пакетов, переданных за 1 секунду, а MSS – размер пакета (сегмента с данными).

Другой способ, также описанный в работе [4], предполагает передачу серии пакетов. Однако больший интервал времени для оценки пропускной способности ухудшает оперативность реагирования на динамично меняющиеся характеристики соединения. Слишком маленький интервал измерения понижает точность получения оценки величины B . Более точную оценку можно получить на основе серии из N пакетов, входящих в скользящее окно. В этом случае пропускная способность $B = \frac{N \cdot MSS}{RTT_{\min}}$.

Стоит отметить, что при уменьшении окна отправителя также уменьшится скользящее окно. Вследствие этого уменьшится оценка пропускной способности канала, что существенно снизит скорость передачи данных. Поэтому оценку пропускной способности надо постоянно корректировать на основе измерения временных интервалов между парами расположенных друг за другом пакетов (например 1 и 2, 2 и 3 и т.д.), входящих в скользящее окно и поступающих получателю. При уменьшении данных интервалов величину B следует изменить в сторону увеличения с применением корректирующего коэффициента κ , т.е.

$$B = \kappa \cdot \frac{N \cdot MSS}{RTT_{\min}}, \quad \kappa > 1.$$

Заключение

По результатам проведенного анализа были выделены следующие особенности оценки загрузки сети для управления окном получателя:

1. только использование опции «временные метки» дает возможность получателю оценить величину RTT с высокой точностью;

2. на основе использования опции «временные метки» для более точной оценки текущего значения RTT следует выбрать вариант подсчета минимального значения RTT на интервале времени, соразмерном с данной величиной;

3. для оценки пропускной способности канала между отправителем и получателем необходимо определить количество пакетов, полученных за интервал времени RTT_{\min} , а также их размер; при этом следует проводить постоянную коррекцию пропускной способности на основе измерения временных интервалов между парами расположенных друг за другом пакетов.

Отметим, что, подставив в выражение $RWIN \geq RTT \cdot B$ предложенные оценки RTT и B , получим зависимость окна получателя от числа пакетов в скользящем окне и размера са-

мого пакета, а также характера изменения временных интервалов следования между пакетами (коэффициента κ).

Дать количественную оценку объему выборки пакетов N , интервалу времени, в течение которого следует производить оценку RTT_{\min} , и коэффициенту κ можно будет по результатам имитационного моделирования.

Литература

1. H. Inamura, G. Montenegro, R. Ludwig, A. Gurtov, and F. Khafizov. TCP over Second (2.5G) and Third (3G) Generation Wireless Networks. RFC 3481 (Best Current Practice), Feb. 2003.
2. V. Jacobson, R. Braden, D. Borman. TCP Extensions for High Performance. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1323.txt> (дата обращения: 22.07.2014).
3. Transmission control protocol. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt> (дата обращения: 22.07.2014).
4. Johnsson A. On the Comparison of Packet Pair and Packet Train Measurements. Proc ICCS, Las Vegas, June 2004.

Карпухин Евгений Олегович. Старший научный сотрудник ЦИТП РАН. Окончил Московский авиационный институт (Государственный технический университет) в 2009 году. Кандидат технических наук. Автор 10 печатных работ и 2-х монографий. Область научных интересов: проектирование защищенных телекоммуникационных систем и сетей. E-mail: ret1987@yandex.ru

Гасанов Эмиль Октаевич. Техник ЦИТП РАН. Студент Московского авиационного института (Национального исследовательского университета). Автор одной печатной работы. Область научных интересов: информационные технологии и защита информации. E-mail: info2@ditc.ras.ru

Тарасова Ольга Борисовна. Старший научный сотрудник ЦИТП РАН. Автор 29 печатных работ. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: tarasova@ditc.ras.ru

Николаев Дмитрий Алексеевич. Инженер-исследователь ЦИТП РАН. Автор двух печатных работ. Область научных интересов: информационные технологии и защита информации. E-mail: info@ditc.ras.ru