

УДК 517.9

А.С. Попов, С.С. Попов, А.С. Корсунский, Т.Н. Масленникова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА БУФЕРА МАРШРУТИЗАТОРА МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Попов Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, окончил Рязанский государственный радиотехнический университет, адъюнктуру ВАС им. С.М. Буденного. Преподаватель кафедры «Общепрофессиональные дисциплины» Военной академии связи им. С.М. Буденного. Имеет статьи в области обработки сигналов, статистической теории принятия решений, а также передачи информации по беспроводным каналам связи информационных систем. [e-mail: andrzn62@yandex.ru].

Попов Сергей Сергеевич, окончил Рязанский государственный радиотехнический университет. Офицер службы защиты государственной тайны Рязанского высшего воздушно-десантного командного училища. Соискатель Военной академии связи им. С.М. Буденного. Имеет статьи в области обработки сигналов и статистической теории принятия решений. [e-mail: andrzn62@yandex.ru].

Корсунский Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, окончил факультет радиосвязи Ульяновского филиала Военного университета связи, адъюнктуру Военной академии связи им. С.М. Буденного. Главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи и изобретения в области радиоэлектронной защиты, безопасности связи и информации, а также передачи информации по беспроводным каналам связи информационно-телекоммуникационных систем. [e-mail: aksspb@mail.ru].

Масленникова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, окончила радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Начальник научно-исследовательской лаборатории ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет труды и публикации в области информационного обеспечения автоматизированных систем специального назначения. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

В статье рассмотрены различные подходы к оценке оптимального размера буфера маршрутизатора мультисервисной телекоммуникационной сети (ТКС). Установлено, что из существующих подходов наиболее рациональным является подход, который при определении оптимального размера буфера маршрутизатора должен учитывать структуру реального трафика в комплексе с другими средствами обеспечения качества обслуживания. В работе также показано, что качественное управление трафиком возможно реализовать только в условиях назначения приоритетов для мультимедийных потоков данных в формате быстрых и медленных буферов. При этом для обеспечения гарантированного качества обслуживания при кратковременных пульсациях трафика необходимо производить расчет размера буфера маршрутизатора с учетом условия предотвращения потери пакетов. Полученные авторами выводы могут быть использованы при проектировании интегрированных информационно-управляющих систем различного назначения.

Ключевые слова: буфер, маршрутизатор, мультисервисная телекоммуникационная сеть, канал связи, качество обслуживания.

ESTIMATION OF OPTIMAL MULTISERVICE TELECOMMUNICATIONS NETWORK ROUTER BUFFER SIZE

Andrei Sergeevich Popov, Candidate of Engineering; graduated from Ryazan State Radioengineering University; Instructor of the General Vocational Subject Faculty at the S.M. Budenny Military Academy of Communications; an author of articles in the field of signal processing, statistical decision theory, and data transmission through wireless communication channels in information systems. e-mail: andrzn62@yandex.ru.

Sergei Sergeevich Popov, graduated from Ryazan State Radioengineering University; Officer of the State Secrets Protection Service at Ryazan Higher Command Airborne College; an applicant of the S.M. Budenny Military Academy of Communications; an author of articles in the field of signal processing and statistical decision theory. e-mail: andrzn62@yandex.ru.

Andrei Sergeevich Korsunsky, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Radio Communications at Ulyanovsk Branch of the Military Communications University; finished his post-graduate studies at the S.M. Budenny

Military Academy of Communications; Chief Specialist at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles and inventions in the field of radio-electronics protection, communications, and information security as well as data transmission through wireless communication channels in information telecommunication systems. e-mail: aksspb@mail.ru.

Tatiana Nikolaevna Maslennikova, *Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Radioengineering of Ulyanovsk Polytechnic Institute; Head of a research-and-development laboratory at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of papers and publications in the field of information support of special-purpose computer-aided systems. e-mail: mars@mv.ru.*

Abstract

The article deals with different approaches to the estimation of optimal multiservice network router buffer size. It has been found that in plenty of existing approaches the most rational one should take into account the real traffic spectrum jointly with the facilities providing quality of service when optimal buffer size estimating. The qualitative traffic control can be realized only under conditions of prioritizing multimedia data flows in a format of fast and slow buffers. In addition, to provide the guaranteed quality of service during short-period traffic pulsations it is necessary to calculate the router buffer size taking into account packet loss prevention. The achieved conclusions can be used for the development of multipurpose integrated information management systems.

Key words: buffer, router, multiservice telecommunications network, communications channel, quality of service.

ВВЕДЕНИЕ

В современных мультисервисных телекоммуникационных сетях уровень качества обслуживания (Quality of Service, QoS) во многом зависит от эффективности решения ключевых задач по управлению трафиком, среди которых задачи маршрутизации, профилирования трафика и приоритетной обработки пакетов на узлах сети, то есть распределения пропускной способности каналов связи телекоммуникационных сетей. Именно в ходе решения этих задач важно обеспечить дифференциацию качества обслуживания одновременно по таким показателям, как производительность (скорость передачи), средняя задержка, джиттер и вероятность потерь пакетов.

К сожалению, в рамках существующих технологических решений связанные между собой по цели функционирования задачи управления трафиком решаются в основном порознь, с использованием различных протокольных средств [1]. Поэтому важный источник улучшения качества обслуживания видится в повышении уровня согласованности перечисленных управляющих задач на основе более эффективного использования сетевых ресурсов за счет аппаратных средств. К аппаратным средствам относится, в частности, маршрутизатор.

Подход к оценке оптимального размера буфера маршрутизатора

Неотъемлемой частью любого маршрутизатора является буфер, основной задачей которого является сглаживание кратковременной перегрузки в канале передачи данных. Буфер осуществляет временное хранение «лишних» пакетов, для того чтобы не происходила их потеря, когда узел-отправитель передает данные узлу-получателю быстрее, чем тот может получить. Это происходит, когда полоса пропускания узла-отправителя выше, чем узла-получателя. Буферизация задерживает передачу пакета на несколько миллисекунд. Если буфер наполняется, то

следующий пакет отбрасывается. Протоколы контроля перегрузки обнаруживают это на стороне отправителя и снижают скорость передачи. Возникает кратковременная перегрузка в канале передачи данных. Данные продолжают передаваться, используя максимально возможную пропускную способность с учетом возникшего ограничения.

Когда число пакетов, посылаемых в канал, не превышает его пропускной способности, число доставленных пакетов пропорционально числу отправленных. Если отправить вдвое больше пакетов, вдвое больше пакетов будет и получено. Однако, когда нагрузка приближается к пропускной способности канала, большие объемы трафика постепенно заполняют буферы маршрутизаторов, и в результате некоторые пакеты теряются. Эти потерянные пакеты расходуют часть пропускной способности канала, поэтому число доставленных пакетов оказывается ниже идеальной кривой, что и характеризует перегрузку канала передачи данных в целом (рисунок 1).

В идеале канал передачи данных должен быть устроен так, чтобы перегрузки происходили в нем как можно реже и чтобы в случае перегрузок в нем не возникало заторов.



Рис. 1. Зависимость скорости доставленных пакетов от количества передаваемых

Если потоки пакетов начинают прибывать на маршрутизатор сразу по трем или четырем входным линиям и всем им нужна одна и та же выходная линия, то образуется очередь. Когда у маршрутизатора закончится свободная память для буферирования всё прибывающих пакетов, их негде будет сохранять, и они начнут теряться. Увеличение объема памяти маршрутизаторов может в какой-то степени решить возникшую проблему. Однако в ходе анализа ранее проводимых исследований [2, 3] установлено, что, даже если у маршрутизаторов будет бесконечное количество памяти, ситуация с перегрузкой не улучшится, а, наоборот, ухудшится. Причина возникшего противоречия в том, что к тому времени, когда пакеты доберутся до начала очереди, они уже запоздают настолько, что источником будут высланы их дубликаты. Появление большого числа дубликатов уже отправленных пакетов приведет к возникновению значительного накопления пакетов.

Таким образом, если в любом узле мультисервисной телекоммуникационной сети буфер маршрутизатора слишком большой, то он только увеличивает накопление пакетов. Из-за этой длинной паузы в обработке доставляемых пакетов сбиваются алгоритмы контроля перегрузки буфера. Начинает происходить такое явление, как большая и переменная задержка пакетов, «узкие горловины» каналов передачи данных «задыхаются» от избытка пакетов от одного ТСП-потока, а другие пакеты отбрасываются. Происходит затор. Через некоторое время буферы освобождаются, затем скорость передачи наращивается, пока буферы не заполнятся опять, до следующего затора.

Одним из вариантов решения данной проблемы является использование методов приоритизации (QoS), при которых для определенного вида трафика создается отдельная очередь пакетов. Данное решение не является актуальным для рассматриваемой мультисервисной ТКС по причине неограниченного разнородного обрабатываемого трафика.

В сетях, работающих с протоколом ТСП, размер буфера маршрутизатора является важным аргументом, который необходимо учитывать. Размер буфера оказывает сильное влияние на производительность сетевого оборудования, а также на уровень потерь пакетов в канале с высокой загрузкой. Проблема излишней буферизации вызвана в основном производителями маршрутизаторов, которые в последние годы стали устанавливать слишком большие буферы на устройствах. Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что определение оптимального размера буфера маршрутизатора мультисервисной ТКС является важной задачей, решение которой позволит повысить скорость передачи данных и объем канала в целом.

Известно, что для предотвращения перегрузок сетевых элементов и поддержания заданного качества доставки пакетов протокол ТСП использует механизм управления потоком между узлом-отправителем и узлом-получателем.

Широкое распространение получила простая формула [2] для расчета необходимого размера буфера

$$B = P * RTT, \quad (1)$$

где P – пропускная способность канала;

RTT (Round Trip Time) – время прохождения сигнала от узла-отправителя до маршрутизатора и обратно.

Выражение (1) получено при условии исключения сброса пакетов на маршрутизаторе и взаимодействия межсетевых приложений по протоколу ТСП. При успешной передаче некоторого количества пакетов и получении подтверждения об их доставке скорость передачи информации постепенно увеличивается. Наступит момент, когда скорость приблизится к пропускной способности канала P . Получив подтверждение о доставке пакетов, узел-отправитель повысит скорость передачи информации. Произойдет перегрузка канала, и начнется заполнение буфера. Время от момента начала посылки пакетов с повышенной скоростью до момента, когда узел-отправитель «узнает» о перегрузке (т. е. прекратится получение подтверждений о доставке пакетов), равно RTT .

После этого, согласно протоколу ТСП, узел-отправитель снизит скорость передачи информации в 2 раза. Пропускной способности канала будет опять достаточно, и начнется разгрузка буфера.

Однако, следует отметить, что в выражении (1) не учтен один важный момент – в действительности запросы разных узлов-получателей распределены по времени случайным образом. Если учесть этот факт и если допустить небольшой процент потерь пакетов, то получается следующее выражение для объема буфера:

$$B = \frac{P * RTT}{\sqrt{N}}, \quad (2)$$

где N – число независимых потоков трафика.

Согласно выражению (2) требуемый размер буфера B уменьшается при увеличении числа пользователей.

Существует еще один способ оценки оптимального размера буфера, в котором используется одна из простейших моделей телетрафика – модель М/М/1 [4].

На сегодняшний день модель М/М/1 является основной моделью вероятности потери пакетов P_{loss} , предполагающей, что время поступления заявок и время их обслуживания распределены по экспоненциальному закону.

$$P_{loss} = \frac{(1-\rho)}{1-\rho^{W+1}} * \rho^W, \quad (3)$$

где $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$ – коэффициент загрузки канала;

λ – интенсивность входного потока;

μ – интенсивность обслуживания выходного потока;

W – емкость запоминающего устройства (размер буфера), измеряемая в пакетах.

Интенсивность входного потока зависит от суммарной интенсивности генерации потока информации узлами и динамически изменяется во времени.

В данной модели предполагается, что пакеты поступают на маршрутизатор независимо друг от друга и имеют пуассоновское распределение по времени. Согласно мо-

дели М/М/1 вероятность потери пакетов рассчитывается как отношение среднего потока данных на входе в канал к его пропускной способности. При этом пакеты поступают в маршрутизатор независимо. В результате ранее проводимых исследований выявлена зависимость вероятности потери пакетов фрактального трафика от размера буфера маршрутизатора [5–9]. Установлено, что для уменьшения влияния фрактальности трафика необходимо увеличивать объем буфера.

Наибольший интерес вызывает механизм внутренних процессов, протекающих в маршрутизаторе при постоянном суммарном входном трафике, равном пропускной способности процессоров маршрутизатора. Заполнение входной буферной памяти маршрутизатора происходит на интервалах времени, когда постоянный суммарный входной трафик (состоящий как из пакетов данных, так и из пакетов служебной информации) равен (или больше) пропускной способности процессоров маршрутизатора. Соответственно интенсивность заполнения буфера маршрутизатора зависит от интенсивности потока пакетов со служебной информацией, генерирующейся в канале передачи данных, а также от периодичности и длительности интервалов такой генерации.

Аналитические выражения, характеризующие процесс перегрузок, зависят от суммарной интенсивности входного трафика $\lambda_{\text{сумм}}$, которая, в свою очередь, зависит от суммарной интенсивности генерации узлами-отправителями потока пакетов с информацией $\lambda_{\text{ну}}$ и динамически изменяется во времени, то есть $\lambda_{\text{ну}} = f(t)$.

В соответствии с вышеизложенным получаем, что объем пакетов с информацией, генерируемых узлами-отправителями на интервале $[0, T]$, равен

$$V_{\text{ну}} = \int_0^T f(t) dt. \quad (4)$$

Тогда суммарный объем избыточной информации, исходящей от узла-отправителя и хранящейся в буфере маршрутизатора, можно представить как

$$\begin{aligned} V_{\text{изб}}^{\text{сум}} &= \sum_{i=1}^I V_{\text{изб}}^{(i)} = \sum_{i=1}^I \int_{t_i}^{t_i'} (f(t) - D_{\text{ноп}}) dt = \\ &= \sum_{i=1}^I (f(t_i^{(cp)}) - D_{\text{ноп}}) (t_i' - t_i), \end{aligned} \quad (5)$$

где $V_{\text{изб}}^{(i)}$ – объем избыточных пакетов с информацией на i -м интервале $(t_i' - t_i)$;

$D_{\text{ноп}}$ – абсолютная (пороговая) пропускная способность процессоров маршрутизатора;

$t_i^{(cp)} \in (t_i' - t_i)$ – точка i -го интервала, позволяющая перейти от интегральной записи к аддитивной (в силу непрерывности $f(t)$ находится по теореме Лагранжа).

Рассмотрим I интервалов, следующих за интервалами избыточности $a_i = (t_i - t_{i+1})$, $t_{i+1} = T$. В этих интервалах суммарная интенсивность входного потока не превышает значения $D_{\text{ноп}}$, а объем пакетов с пользовательской информацией на интервале a_i равен

$$V^{(i)} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(t) dt. \quad (6)$$

Если для i -го интервала избыточности выполняется условие:

$$V^{(i)} \geq V_{\text{изб}}^{(i)}, \quad (7)$$

то всегда существует значение $t_i'' (t_i'' > t_i'; t_i'' < t_{i+1}')$, позволяющее на интервале a_i компенсировать перегрузку на i -ом интервале избыточности, то есть

$$\begin{aligned} \int_{t_i}^{t_i'} f(t) dt - D_{\text{ноп}} (t_i' - t_i) &= \\ &= D_{\text{ноп}} (t_i'' - t_i') - \int_{t_i'}^{t_i''} f(t) dt. \end{aligned} \quad (8)$$

В результате на интервале $[t_i, t_i'']$ функция $f(t)$ модифицируется следующим образом:

$$f^{(M)}(t) = \begin{cases} f(t), & t \notin [t_i, t_i'']; \\ D_{\text{ноп}}, & t \in [t_i, t_i'']. \end{cases} \quad (9)$$

Очевидно, что чем выше интенсивность потока пользовательской информации, тем быстрее наступит момент переполнения буферной памяти маршрутизатора (в том числе служебной информацией) и поступивший в этот момент времени на вход маршрутизатора пакет будет отброшен.

Для исключения потери пакетов на временном интервале активности $(0, T)$ необходим размер буферной памяти маршрутизатора, позволяющий сохранить весь избыточный поток, то есть

$$V_{\text{загр.буф}}^{(0,T)} \geq V_{\text{изб}}^{\text{сумм}}. \quad (10)$$

Для учета интервалов, на которых не выполняется условие (7), введем дополнительную функцию:

$$\delta(x) = \begin{cases} x, & \text{при } x > 0, \\ 0, & \text{при } x \leq 0. \end{cases} \quad (11)$$

Минимально необходимый объем буферной памяти маршрутизатора определяется выражением

$$\begin{aligned} V_{\text{треб.буф}}^{(0,T)} &= \sum_{i=1}^I \delta \left(\int_{t_i}^{t_i'} (f(t) - D_{\text{ноп}}) dt - \right. \\ &\quad \left. - \int_{t_i'}^{t_{i+1}} (D_{\text{ноп}} - f(t)) dt \right) = \\ &= \sum_{i=0}^I \delta \left((f(t_i^{(cp)}) - D_{\text{ноп}}) (t_i' - t_i) - \right. \\ &\quad \left. - (D_{\text{ноп}} - f(t_i^{(cp)a_i})) (t_{i+1} - t_i') \right), \end{aligned} \quad (12)$$

где $t_i^{(cp)a_i}$ рассчитывается для интервала a_i по теореме Лагранжа так же, как и $t_i^{(cp)}$ для интервала перегрузки.

Таким образом, размер буферной памяти маршрутизатора, требуемый для хранения пакетов в периоды максимальной загрузки канала, может быть рассчитан согласно следующему выражению:

$$V_{\text{буф}} = V_{\text{заср.буф}}^{(0,T)} - V_{\text{треб.буф}}^{(0,T)} \geq 0. \quad (13)$$

Полученное выражение (13) позволяет снизить требования к размеру буферной памяти маршрутизатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день существуют различные подходы к оценке оптимального размера буфера, которые дают противоречивые рекомендации по данному вопросу. При этом ни один из этих подходов не дает гарантии получения надежного результата. Задача выбора оптимального размера буфера маршрутизатора тем более усложняется, что современные сети являются мультисервисными.

Исходя из проведенного анализа, установлено, что наиболее рациональный подход при определении оптимального размера буфера маршрутизатора должен учитывать структуру реального трафика в комплексе с другими средствами обеспечения качества обслуживания. Знание структуры реального трафика, передаваемого по каналу связи, позволит рассчитать оптимальный размер буфера маршрутизатора, что, в свою очередь, позволит минимизировать в канале передачи данных количество «перегрузок» и исключить «заторы». Следовательно, для обеспечения гарантированного качества обслуживания при кратковременных пульсациях трафика необходимо производить расчет размера буфера маршрутизатора с учетом условия предотвращения потери пакетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
2. Kung H.T. Sizing and Management of Router Buffers // Second Annual Sprint Applied Research Partners Advanced Networking (SPARTAN) Symposium. – 1998. – V. 1. – № 9. – P. 34–37.
3. Wischik D., McKeown N. Buffer Size for Core Routers // Computer Communication Review. – 2005. – V. 3. – №35. – P. 75–78.
4. Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. – М.: Связь, 1979. – 224 с.
5. Фрактальные процессы в телекоммуникациях: монография / под ред. О. И. Шелухина. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с. : ил.
6. Кочегаров В.А. Проектирование систем распределения информации. Марковские и немарковские модели. – М.: Радио и связь, 1991. – 214 с.
7. Болюбаш О.О. Алгоритм сбора, обработки и передачи информации о состоянии сети передачи данных // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: материалы XI международной НПК. – НТУ «ХПИ», 2003. – С. 45–48.
8. Попов А.С., Иваненко Р.В., Корсунский А.С. Влияние преднамеренных и непреднамеренных помех

на обнаружение импульсных сверхширокополосных сигналов // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 2 (20). – С. 40–47.

9. Попов А.С., Киселев О.Н., Корсунский А.С. Обработка импульсных сверхширокополосных сигналов как задача обнаружения – различения // Автоматизация процессов управления. – 2012. – № 1 (27). – С. 67–70.

REFERENCES

1. Vegesna Srinivas. *Kachestvo obsluzhivaniia v setiakh IP* [IP Quality of Service]. Moscow, Williams Publ., 2003. 386 p.
2. Kung H.T. Sizing and Management of Router Buffers. *Second Annual Sprint Applied Research Partners Advanced Networking (SPARTAN) Symposium*, 1998, vol. 1, no. 9, pp. 34–37.
3. Wischik D., McKeown N. Buffer Size for Core Routers. *Computer Communication Review*, 2005, vol. 3, no. 35, pp. 75–78.
4. Livshits B.S., Pshenichnikov A.P., Kharkevich A.D. *Teoriia teletrafika* [Teletraffic Theory]. Moscow, Sviaz Publ., 1979. 224 p.
5. *Fraktalnye protsessy v telekommunikatsiakh*. Monografiia. Pod red. O. I. Shelukhina [Fractal Processes in Telecommunications. Monograph. Edited by O.I. Shelukhin]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2003. 480 p.
6. Kochegarov V.A. *Proektirovanie sistem raspredeleniia informatsii. Markovskie i nemarkovskie modeli* [Designing the Distributed Systems. Markovian and Non-Markovian Models]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1991. 214 p.
7. Bolyubash O.O. Algoritm sbora, obrabotki i peredachi informatsii o sostoianii seti peredachi dannykh [An Algorithm for Collection and Processing the Information of Data-Transmission Network Status]. *Materialy 11 mezhdunar. NPK. Informatsionnye tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, obrazovanie, zdorove*. [Proc. of the 11th International Workshop and Conference on Information Technologies: Science, Technics, Technology, Education, Health]. National Technical University 'KhPI' Publ., 2003, p. 45–48.
8. Popov A.S., Ivanenko R.V., Korsunskiy A.S. Vliianie prednamerennykh i neprednamerennykh pomekh na obnaruzhenie impulsnykh sverkhshirokopolosnykh signalov [Jamming and Unintended Interference Effect on Ultrabroadband Pulse Signal Detection]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2012, no. 3 (29), pp. 76–82.
9. Popov A.S., Kiselev O.N., Korsunskiy A.S. Obrabotka impulsnykh sverkhshirokopolosnykh signalov kak zadacha obnaruzheniia-razlicheniia [Processing of Impulse Broadband Signals as Task of Detection-Identification]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2012, no. 1 (27), pp. 67–70.