

УДК 004.7.052:004.414.2

Кудзиновская И. П., аспирантка

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА БУФЕРНОЙ ПАМЯТИ СЕТЕВЫХ КОММУТАЦИОННЫХ УЗЛОВ НА ЗАДЕРЖКИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Кудзиновська І. П. Вплив розміру буферної пам'яті мережних комутаційних вузлів на затримки обробки і передачі даних. Проаналізований вплив розміру буферної пам'яті вузлів комутації на загальну затримку доставки даних в мережах з комутацією пакетів. Показано, що при дуже великому об'ємі буферної пам'яті можуть виникати затримки буферизації, що перевищують час життя пакету. Запропоновані застосовувати методи активного управління чергою для обмеження об'єму буферною пам'яттю залежно від статистичних характеристик трафіку і загального завантаження мережі.

Ключові слова: КОМУТАЦІЯ ПАКЕТІВ, ВУЗОЛ КОМУТАЦІЇ, БУФЕРИЗАЦІЯ, ЗАТРИМКА ДОСТАВКИ, ЧАС ЖИТТЯ ПАКЕТУ, ВИПАДКОВЕ РАННЄ ВИЯВЛЕННЯ

Кудзиновская И. П. Влияние размера буферной памяти сетевых коммутационных узлов на задержки обработки и передачи данных. Проанализировано влияние размера буферной памяти узлов коммутации на общую задержку доставки данных в сетях с коммутацией пакетов. Показано, что при слишком большом объеме буферной памяти могут возникнуть задержки буферизации, превышающие время жизни пакета. Предложены применять методы активного управления очередью для ограничения объема буферной памятью в зависимости от статистических характеристик трафика и общей загрузки сети.

Ключевые слова: КОММУТАЦИЯ ПАКЕТОВ, УЗЕЛ КОММУТАЦИИ, БУФЕРИЗАЦИЯ, ЗАДЕРЖКА ДОСТАВКИ, ВРЕМЯ ЖИЗНИ ПАКЕТА, СЛУЧАЙНОЕ РАННЕЕ ОБНАРУЖЕНИЕ

Kudzinovska I. P. Influence of the buffer memory size of network switching nodes on delays of data processing and transfer. Influence of the buffer memory size of switching nodes on common delay in data transfer over packet-switched networks is analyzed. It is shown that in too large amount buffer memory, buffering delays exceeding packet time-to-live could arise. It is proposed to apply methods for active queue management for limitation of buffering memory amount depending on statistical characteristics of traffic and common load of network.

Key words: PACKET SWITCHING, SWITCHING NODE, BUFFERING, DELAY IN TRANSFER, PACKET TIME-TO-LIVE, RANDOM EARLY DETECTION

Введение. Одним из отличий метода коммутации пакетов от метода коммутации каналов, как известно [1], является неопределенность пропускной способности соединения между двумя абонентами. В сети с коммутацией пакетов процедура установления соединения занимает примерно такое же время, как и в сетях с коммутацией каналов, поэтому достаточно оценить только среднее время передачи данных.

При передаче сообщения, разбитого на пакеты, по сети с коммутацией пакетов возникают дополнительные временные задержки. Во-первых, это задержки в источнике передачи, который, помимо передачи собственно сообщения, тратит дополнительное время на передачу заголовков $t_{n.з.}$, плюс к этому добавляются задержки t_{umm} , вызванные интервалами между передачей каждого следующего пакета (это время уходит на формирование очередного пакета стеком протоколов).

Во-вторых, дополнительное время тратится в каждом коммутаторе. Здесь задержки складываются из времени буферизации пакета $t_{б.н.}$ (коммутатор не может начать передачу пакета, не приняв его полностью в свой буфер) и времени коммутации t_k . Время буферизации равно времени приема пакета с битовой скоростью протокола. Время коммутации складывается из времени ожидания пакета в очереди и времени перемещения пакета в выходной порт. Если время перемещения пакета фиксировано и обычно невелико (от нескольких микросекунд до нескольких десятков микросекунд), то время ожидания пакета в очереди колеблется в очень широких пределах и заранее неизвестно, так как зависит от текущей загрузки сети пакетами. Считая эти характеристики случайными, рассмотрим задачу определения среднего значения задержки передачи.

Оценка среднего времени задержки пакетов при передаче. Следуя [2], рассмотрим сеть передачи данных с несколькими узлами коммутации (УК), между которыми имеются

каналы передачи с пропускными способностями c_{kl} байт/с между k -м и l -м узлами (рис. 1). Если канал между узлами k и l отсутствует, то $d_{kl} = 0$.

Пусть каждый УК имеет буферную память, объем которой намного больше суммарного объема пакетов, которые поступают в течение сеанса обмена данными. В этом случае можно полагать емкость буфера неограниченной. Среднюю длину пакета положим равной \hat{l} байт. Также для простоты будем полагать, что поток данных, возникающий в узле i и предназначенный узлу j , является потоком Пуассона или потоком Эрланга порядка не выше второго со средней интенсивностью λ_{ij} пакетов/с. Соответственно, средняя интенсивность общего трафика в сети определяется по формуле $\lambda = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{ij}$, где N – общее число УК.

Величины λ_{ij} считаются известными, т.к. их можно либо измерить, если сеть находится в режиме эксплуатации, либо оценить путем моделирования. Действительно, при эксплуатации сети для каждого узла i можно подсчитать число переданных сообщений R_{ij} узлу j на интервале наблюдения T секунд. Тогда оценка интенсивности определяется как $\lambda_{ij} = R_{ij}/T$.

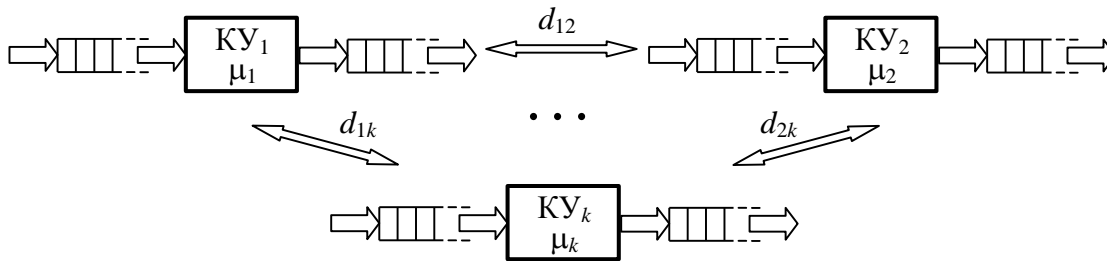


Рис. 1. Упрощенная схема сети передачи данных. μ_i , $i = 1, 2, \dots, N$ – средние скорости (интенсивности) обслуживания пакета в УК.

Так как пакеты из узла i в узел j могут передаваться разными маршрутами, то средняя интенсивность использования канала не равна в точности λ_{ij} . Однако, зная коэффициенты использования той или иной линии связи, можно определить данную характеристику по формуле $\lambda_{kl} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{ij} r_{ij,kl}$, где $r_{ij,kl}$ – часть полного потока, проходящая по линии kl и имеющая интенсивность λ_{ij} . Величины $r_{ij,kl}$ являются характеристикой потока заданного маршрута между узлами i и j и могут быть определены экспериментально.

Для оценки сравнительных характеристик качества сервиса используют среднее время T доставки пакета, которое определяется как математическое ожидание суммы временных задержек τ_{ij} доставки пакетов между узлами i и j :

$$T = E[\tau] = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \tau_{ij} p_{ij}, \quad (1)$$

где p_{ij} – вероятность передачи сообщения от узла i к узлу j .

Данную вероятность можно выразить через нормированную интенсивность потоков λ_{ij} : $p_{ij} = \lambda_{ij}/\lambda$. Тогда выражение для средней задержки пакета в сети можно записать в виде

$$T = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \tau_{ij} p_{ij} \cdot \quad (2)$$

Будем считать параметры потока (плотность вероятности, центральные, начальные и смешанные моменты распределения) стационарными на интервале наблюдения или хотя бы локально-стационарными в течение сеанса обмена данными. Тогда, применив к данному выражению известную формулу Литтла [3], можно выразить среднее время доставки пакета через среднее время t_{kl} пребывания пакета в канале передачи:

$$T = \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \lambda_{kl} t_{kl} \cdot \quad (3)$$

Среднее время пребывания пакета в канале передачи зависит от времени передачи пакета $1/(\mu_k c_{kl})$ и времени ожидания в буфере t_{buf} . Считая статистические характеристики этих составляющих взаимно независимыми, определим среднее время нахождения пакета в системе передачи как сумму вида:

$$T_{\Sigma} = \frac{1}{\mu_k c_{kl}} + t_{buf}, \quad \text{где } t_{buf} = \frac{1}{\mu_k c_{kl}} \cdot \frac{\lambda_{kl}}{\mu_k c_{kl} - \lambda_{kl}} \cdot \quad (4)$$

С учетом (4) получим следующее выражение для t_{kl} :

$$t_{kl} = \frac{1}{\mu_k c_{kl} - \lambda_{kl}} \cdot \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) получены в предположении, что буферная память имеет в пределе неограниченный объем. При этом задержки буферизации пакетов занимают весьма существенную часть общей задержки доставки. Как показано в [1] на иллюстративном примере, они могут занимать более 60% общего времени задержки.

Проблемы возникновения дополнительных задержек из-за промежуточной буферизации. Из выражений (4) и (5) следует, что задержка доставки пакетов зависит от скорости обработки в УК, которой, по существу, определяется скорость продвижения пакетов в буферной памяти. Однако в последние годы актуальность проблемы значительно возросла, так как удешевление памяти привело к излишнему пристрастию производителей маршрутизаторов и коммутаторов, а также разработчиков операционных систем к дополнительной буферизации сетевых пакетов [4]. В конечном итоге это выливается в ощутимом снижении эффективности используемых алгоритмов контроля перегрузки (*TCP congestion control*), в большой степени полагающихся на потери пакетов при расчете доступной пропускной способности.

Буферизация затормаживает отбрасывание пакетов, в то время как алгоритм контроля перегрузки все наращивает и наращивает скорость, используя для обратной связи начало потери пакетов. В результате, так как снижения скорости из-за начала потери пакетов вовремя не происходит, алгоритм не может подобрать нужный баланс скорости потока, соотносящийся с пропускной способностью физического канала. При этом, чем больше размер буфера, тем больше становится задержка в доставке пакетов, так как реакция алгоритма контроля перегрузки следует только после заполнения буфера. У современных маршрутизаторов размер буфера исчисляется мегабайтами, т.е. величина задержки в принятии решения о понижении скорости потока может достигать 10 сек и более. Особенно чувствительны к проблемам излишней буферизации интерактивные виды трафика, например игры и *VoIP*, при этом методы приоритезации (*QoS*), при которых для определенного вида трафика создается отдельная очередь пакетов, мало помогают решению проблемы.

Как показано в работе [5], ослабления влияния излишней буферизации можно добиться путем активного управления очередями с применением алгоритмов случайного раннего обнаружения *RED* и взвешенного случайного раннего обнаружения *WRED*.

Для реализации данных алгоритмов необходимо установить характер распределения, которое адекватно описывает задержку пакетов в очереди УК, и определить, является ли этот характер устойчивым при изменении условий сетевого окружения. Далее необходимо установить зависимость параметров данного распределения от коэффициента использования сетевого сегмента, что позволит аппроксимировать параметры распределения для любого значения полосы пропускания общего канала.

Таким образом, для любого значения полосы пропускания общего канала можно определить статистическое распределение с необходимыми параметрами и получить вероятность превышения задержки пакета в очереди УК выше допустимого предела (например, времени жизни пакета).

На рис. 2 изображена экспериментально полученная гистограмма распределения задержки пакетов, находящихся в буферной памяти. Если, как показано выше, среднее время обработки пакета в УК является постоянным, то распределение времени нахождения пакета в буфере относится:

- для трафика данных – к экспоненциальному семейству;
- для мультимедийного трафика – к семейству распределений с “тяжелыми хвостами” - Парето, Вейбулла и др.

Используя выражения (4) и (5) для оценки средней задержки пакетов в буферной памяти, можно определять статистические характеристики распределения задержек для конкретного вида плотности распределения и соответственно задавать параметры выбранного алгоритма управления очередью.

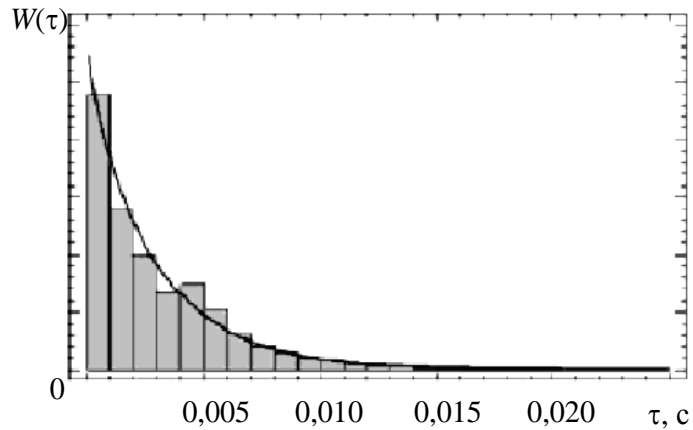


Рис. 2. Гистограмма распределения задержек пакетов в буферной памяти

Выводы

1. При расчетах среднего времени доставки в сетях с коммутацией пакетов необходимо учитывать влияние размера буферной памяти на задержку доставки пакетов.
2. При наличии буферной памяти большого объема в составе узла коммутации необходимо применять специальные меры активного управления очередью (например, путем отбрасывания пакетов с применения алгоритмов *RED* или *WRED*).
3. Для более точной и своевременной фиксации явления слишком быстрого заполнения буфера целесообразно использовать дополнительную информацию о состоянии буферной памяти, например, измерять скорость заполнения входящими пакетами.

Литература

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник [для студ. высш. уч. зав.] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – [4-е изд.]. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
2. Вишнеvский В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишнеvский. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
3. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
4. OpenNews: Анализ проблем с буферизацией в современных TCP/IP сетях [Электронный ресурс]. // Режим доступа : <http://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=29734>
5. Жуков И. А. Асимптотические оценки ошибок управления корпоративными компьютерными сетями в системах с предсказанием текущего состояния / И. А. Жуков, Н. Н. Лесная, В. В. Лукашенко // Наукові записки УНДІЗ. – 2010. – №2(14). – С. 73-79.