

УДК 004.7:519,2(045)

Савченко А.С.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Институт компьютерных технологий Национального авиационного университета

В статье рассматривается зависимость выбора параметров коммуникационных устройств и структуры вычислительных сетей от характеристик трафика. Выведены аналитические зависимости для полезной пропускной способности сети в зависимости от интенсивности трафика. Проанализирована зависимость времени ожидания от схемы доступа к коммутационному оборудованию и обоснованы требования к необходимому размеру буферной памяти коммутационного оборудования.

Введение. Главным требованием, предъявляемым к современным вычислительным сетям при проектировании, запуске и эксплуатации является обеспечение качества обслуживания (заданных уровней задержек, потерь и пр.) при обработке потока данных. Выполнение этого требования невозможно без относительно полной и достоверной информации о характеристиках трафика, циркулирующего в сети. Как известно, статистические характеристики сетевого трафика существенно влияют на различные аспекты проектирования и конфигурирования сети, включая протоколы маршрутизации, резервирования ресурсов, дисциплины очередей в маршрутизаторах и АТМ-коммутаторах, а также размер буферов коммутаторов.

Было показано [5, 6], что трафик вычислительных сетей обладает самоподобными свойствами. При этом методы расчета различных параметров компьютерной сети основанные на марков-

ских моделях и формулах Эрланга, дают неадекватные решения и приводят к недооценке нагрузки.

В процессе развития вычислительных сетей, разработки новых приложений и предоставления новых услуг изменяются не только объемы передаваемого трафика, но и его качественная структура. Раньше преобладал, в основном, так называемый «эластичный» трафик, который может приспосабливаться к изменениям задержки доставки пакета и пропускной способности канала (передача данных, почты, файлов по FTP). В настоящее время возрастает объем передачи «неэластичного» трафика, который крайне чувствителен к изменениям задержки и пропускной способности (трафик реального времени, видеоконференций, мультимедийных приложений).

На рис. 1 схематически представлены тенденции развития телекоммуникационных услуг.

требуемого

0 1 2 3 4 5 6

$$q = \frac{\rho^{1/2(1-H)}}{(1-\rho)^{H/(1-H)}}.$$

При $H=0,5$ эта формула упрощается: $q = \rho/(1-\rho)$, что представляет собой классический результат СМО с простейшим входным потоком и экспоненциально распределенным временем обслуживания ($M/M/1$). Для системы с детерминированным временем обслу-

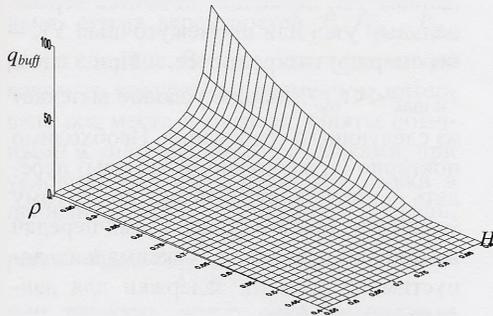


Рис. 2. Зависимости длины очереди заявок (потребной памяти буфера q_{buff}) от коэффициента использования ρ и параметра Херста (H)

На графиках видно, что для самоподобного трафика уже при $\rho \approx 0,4$ требуется больше ресурсе памяти буферных устройств, чем для классической модели $M/M/1$, которая считается наименее благоприятной по сравнению с другими (например, с постоянным или гауссовским распределенным временем обслуживания). Скорость роста требуемого объема памяти растет при увеличении параметра Херста, который обусловлен, в основном, степенью группирования однородных пакетов и всплесками нагрузки на сеть.

Рассмотрим характеристики нагрузки на сеть при наличии «нетерпеливых» заявок и ограниченном объеме буферной памяти.

Если все каналы обслуживания заняты и имеется очередь заявок, то поток

живания ($M/D/1$) классический результат выглядит следующим образом:

$$q = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}.$$

По приведенным формулам проведены расчеты, результаты которых изображены на рис. 2 и 3.

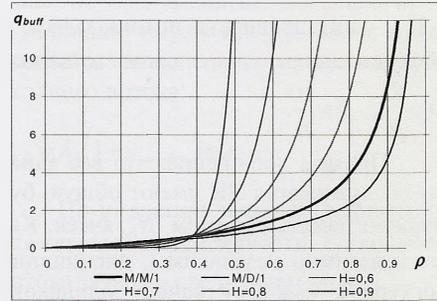


Рис. 3. Зависимости длины очереди заявок (необходимой памяти буфера q_{buff}) от коэффициента использования ρ для различных моделей входного трафика

обслуженных заявок можно считать простейшим. Сделаем также допущение о простейшем характере потока «нетерпеливых» заявок в общем потоке. Относительная пропускная способность системы q вычисляется из предположения, что будут обслужены все заявки, кроме тех, которые уйдут из очереди досрочно. Поэтому для нахождения среднего числа заявок, покидающих очередь досрочно, вычислим среднее число заявок в очереди:

$$\bar{r} = 1 \cdot p_{n+1} + 2 \cdot p_{n+2} + \dots + r \cdot p_{n+r} + \dots$$

На каждую из них действует «поток уходов» с интенсивностью v . Значит, из среднего числа \bar{r} заявок в очереди в среднем будет уходить, не дождавись обслуживания, $v\bar{r}$ заявок в

единицу времени; всего в единицу времени в среднем будет обслужено $A = \lambda - \nu \bar{r}$ заявок.

Относительная пропускная способность СМО будет $q_p = 1 - \frac{\nu \bar{r}}{\lambda}$, среднее число занятых каналов (из общего числа n) $\bar{z} = \rho - \beta \bar{r}$, среднее число заявок в очереди $\bar{r} = \frac{\rho}{\beta} - \frac{\bar{z}}{\beta}$. Здесь

λ, μ — интенсивности потока заявок и обслуживания соответственно:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad \beta = \frac{\nu}{\mu}.$$

Примем допущение, что все каналы обслуживания УК имеют общую буферную память объемом N_b ячеек. Каналы взаимно независимы, дисциплина доступа к каждому каналу одинакова (например, *FIFO* — *first in — first out*, «первый пришел — первый вышел», *LIFO* — *last in — first out*, «последний пришел — первый вышел» или *FIRO* — *first in — random out*, «первый пришел — случайный вышел»). Тогда можно рассматривать любой канал УК как одноканальную СМО с числом мест в очереди $N_Q = N_b / K$, где K — число каналов. Строго говоря, N_Q является случайной величиной, однако при условии $N_b \gg K$ (что обычно выполняется на практике) можно рассматривать N_Q как некоторое усредненное значение числа мест в очереди для каждого канала.

Заявки обслуживаются при следующих условиях:

1. В современных УК время обслуживания, как правило, не зависит от характеристик заявки (длины пакета). Поэтому можно считать, что интенсивность обслуживания в каждом канале одинакова и постоянна:

$$\mu_i = \mu = const, \quad i = \overline{1, K}.$$

2. На вход УК поступают как обычные, так и «нетерпеливые» заявки.

3. Время ожидания «нетерпеливой» заявки в очереди не превышает $t_{w \max}$. После этого заявка уходит из очереди.

4. Обычная («терпеливая») заявка отбрасывается, т.е. уходит из очереди, если истекло время ожидания квитанции (тайм-аута) t_{out} .

5. «Нетерпеливая» заявка уходит из очереди и больше не появляется на данном УК, поскольку источник терминальный узел или промежуточный УК — перемаршрутизирует ее. При этом $t_{w \max} \ll t_{out}$. Данное условие вытекает из следующего требования. Необходимо повторно (а, возможно, и дважды) передать «нетерпеливую» заявку по другому маршруту, причем общее время передач не должно превышать максимально допустимого времени задержки для данного вида трафика.

6. «Терпеливая» заявка, у которой истекло время тайм-аута, может появиться на этом же УК через некоторое, в общем случае неопределенное время. Это время зависит от задержек прохождения заявки от источника до рассматриваемого УК и является достаточно малым. Логично предположить, что за это время статистические характеристики входящего трафика на данном УК могут измениться весьма незначительно.

Состояния канала обслуживания могут быть такими:

— S_0 — канал свободен с вероятностью P_0 ; в случае поступления заявки ее обслуживание начинается немедленно;

— S_1 — канал занят, очереди нет; вероятность состояния S_1 равна P_1 ;

— S_2 — канал занят, одна заявка в очереди; вероятность состояния S_2 равна P_2 ;

– S_k – канал занят, $k-1$ заявка в очереди; вероятность состояния S_k равна P_k ;

– S_{Nq+1} – канал занят, N_Q заявок в очереди, свободных мест в очереди нет; вероятность состояния S_{Nq+1} равна P_{Nq+1} .

События $S_0, S_1, \dots, S_{Nq+1}$ представляют собой полную группу, следовательно, сумма вероятностей P_0, P_1, \dots, P_{Nq} равна единице. Вероятность того, что на каком-то конкретном временном интервале все места в очереди заняты обычными и «нетерпеливыми» заявками, при условии, что «нетерпеливые» заявки в данный момент не покидают очереди, равна $P_{откv} = \frac{\lambda - v}{\lambda - v + \mu} = P_{Nq+1}$. Обозна-

чим разность между интенсивностями входного потока λ и потока уходов «нетерпеливых» заявок v через $\lambda_0 = \lambda - v$. Напомним, что μ – интенсивность обслуживания.

Для того, чтобы не накладывать ограничения на вид вероятностных распределений интервалов между первичными и повторными заявками, используем модели потоков с ограниченным последствием. Тогда можно записать выражение для $P_{откv}$ в следующем виде:

де: $P_{откv} = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \mu}$. Вероятность $P_{откv}$,

по существу, представляет собой долю не обслуженных заявок из общего числа входящих заявок, как обычных, так и «нетерпеливых». Обозначим эту долю $q_{необсл}$:

$$P_{откv} = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \mu} = q_{необсл}.$$

В соответствии с приведенными выше условиями обслуживания обычные заявки через некоторое время могут вернуться для повторного обслуживания на УК. Следовательно, они добавляются к вновь поступающим заявкам, и

интенсивность входного потока возрастает на величину $(1 + q_{необсл})$. Новая величина интенсивности входного потока

$$\lambda_1 = \lambda_0 (1 + q_{необсл}) = \lambda_0 + \frac{\lambda_0^2}{\lambda_0 + \mu}.$$

(1)

Примерно через такое же время на входе УК опять будут присутствовать первичные заявки, к которым добавятся ранее не обслуженные. По аналогии с (1) запишем выражение для вновь изменившейся интенсивности суммарного входного потока:

$$\lambda_2 = \lambda_1 (1 + q_{необсл}) = \lambda_1 + \frac{\lambda_1^2}{\lambda_1 + \mu}.$$

По индукции запишем выражение для текущей интенсивности λ_i входного потока заявок в следующем виде:

$$\lambda_i = \lambda_{i-1} + \frac{\lambda_{i-1}^2}{\lambda_{i-1} + \mu}. \quad (2)$$

В данной рекуррентной последовательности (2) изменения интенсивности входного потока заявок учитываются все заявки, не обслуженные на предыдущих этапах. При стремлении $i \rightarrow \infty$ мы получим некие асимптотические оценки полезной пропускной способности сети при различных соотношениях $\rho = \lambda/\mu$ – интенсивности поступления заявок и интенсивности их обслуживания. На рис. 4 изображены графики общей и полезной пропускной способности сети для различных соотношений между исходной интенсивностью входного потока λ_0 и интенсивностью обслуживания μ .

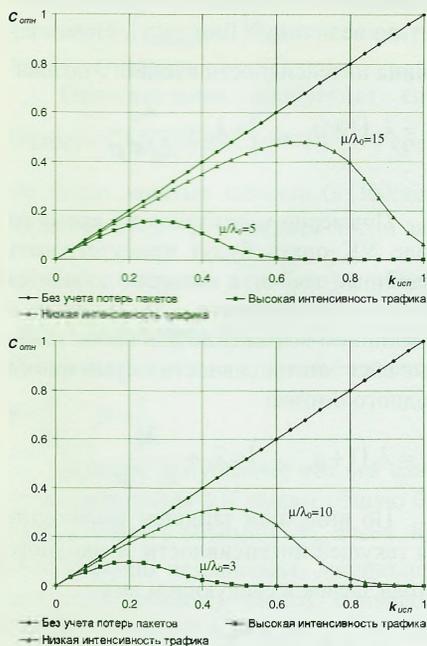


Рис. 4. Реальная пропускная способность сети при потерях и повторных передачах пакетов

Прямая линия на графике означает идеальную пропускную способность сети, когда пакеты не теряются, повторных передач нет, сеть передает все поступившие пакеты [4].

Полезная, или реальная, пропускная способность сети с коммутацией пакетов (например, сети АТМ) близка к теоретической пропускной способности только при достаточно малых коэффициентах использования. При насыщении сети до теоретического предела приходится обрабатывать все большее число повторно передаваемых пакетов. Сеть начинает работать практически «на себя». Поэтому необходимо предусматривать большой запас «прочности» - пропускная способность сети должна быть значительно больше, чем максимальная ожидаемая интенсивность трафика. Со-

ответственно, коэффициент использования сети должен быть меньше единицы. При этом запас коэффициента использования сети для случая самоподобного трафика должен быть еще больше, чем для речевого трафика.

Количественные оценки в зависимости от соотношения интенсивности обслуживания к интенсивности трафика можно получить анализируя представленный график. Разница между идеальной и реальной пропускной способностью при потерях и повторных передачах и составляет необходимый запас пропускной способности.

Проведем анализ влияния на производительность сети схемы доступа к коммутационным узлам. В первом случае рассмотрим общую очередь ко всем коммутационным узлам (КУ) (рис. 6), во втором случае - структура представлена отдельной очередью к каждому из нескольких КУ (рис. 5).

Предположим, что для схемы с очередью к одному КУ: частота поступления запросов подчиняется закону Пуассона (время обслуживания - произвольному закону); дисциплина диспетчеризации FIFO; запросы не выбрасываются из очереди.

Предположим также, что среднее квадратическое отклонение равно среднему значению, распределение времени обслуживания является экспоненциальным - система M/M/1.

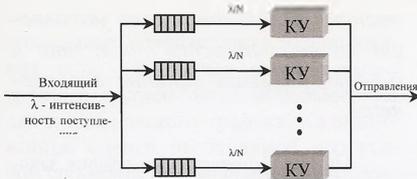


Рис. 5. Схема с отдельной очередью

Для такой схемы справедливы следующие соотношения:

среднее количество запросов в системе, ожидающих и обслуживаемых

$$r = \frac{\rho}{1 - \rho};$$

среднее количество запросов, ожидающих обслуживания

$$w = \frac{\rho^2}{1 - \rho};$$

среднее время, которое проводит запрос в системе

$$T_r = \frac{T_s}{1 - \rho};$$

среднее время ожидания

$$T_w = \frac{\rho T_s}{1 - \rho}.$$

Для случая общей очереди к нескольким КУ примем следующие допущения: частота поступления запросов подчиняется закону Пуассона; значения времени обслуживания распределены экспоненциально; все КУ загружены в равной мере; среднее время обслуживания всех КУ одинаково; дисципли-

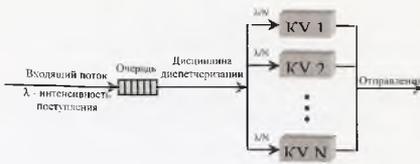


Рис. 6. Схема с общей очередью

лина диспетчеризации FIFO; запросы не выбрасываются из очереди.

Данная модель M/M/N описывается следующими выражениями:

функция отношения Пуассона

$$K = \frac{\sum_{l=0}^{N-1} \frac{(N\rho)^l}{l!}}{\sum_{l=0}^N \frac{(N\rho)^l}{l!}};$$

C-функция Эрланга

$$C = \frac{1 - K}{1 - \rho K}$$

среднее количество запросов в системе, ожидающих и обслуживаемых

$$r = C \frac{\rho}{1 - \rho} + N\rho;$$

среднее количество запросов, ожидающих обслуживания

$$w = C \frac{\rho}{1 - \rho};$$

среднее время, которое проводит запрос в системе

$$T_r = \frac{C T_s}{N 1 - \rho} + T_s;$$

среднее время ожидания

$$T_w = \frac{C T_s}{N 1 - \rho};$$

Функция Эрланга C является функцией от числа КУ и коэффи-

циента использования и указывает на вероятность того, что в данный момент заняты все серверы.

На рис. 7 представлен график зависимости среднего времени ожидания от коэффициента использования сети (для общей и отдельной очереди к серверам).

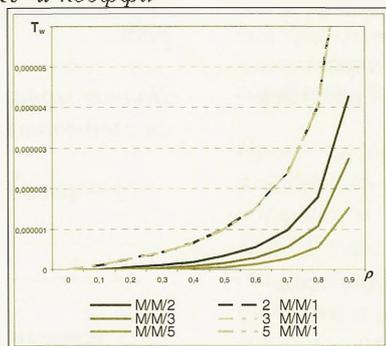


Рис. 7. Зависимость среднего времени ожидания от коэффициента использования сети (для общей и отдельной очереди к КУ)

При анализе полученных графиков видно, что для структуры с общей очередью к нескольким коммутационным узлам время ожидания резко увеличивается при коэффициенте использования $\rho \approx 0,6$, в то время когда для схемы с отдельной очередью это происходит уже при $\rho \approx 0,4$. Таким образом, структура с общей очередью является более эффективной.

Выводы. Анализ требований к характеристикам программного коммутатора для простейшего и самоподобного входного потоков показал, что для самоподобного

трафика при коэффициенте использования сети $\rho = 0,4$ требуется больше ресурс памяти буферных устройств, чем для классической модели $M/M/1$, которая считается наименее благоприятной по сравнению с другими (например, с постоянным или гауссовским распределенным временем обслуживания). Скорость роста требуемого объема памяти растет при увеличении параметра Херста, который обусловлен, в основном, степенью группирования однородных пакетов и всплесками нагрузки на сеть.

Пропускная способность сети должна быть больше, чем максимальная

ожидаемая интенсивность трафика. При этом запас коэффициента использования сети для случая самоподобного трафика, должен быть еще больше, чем для пуассоновского трафика. Количественные оценки необходимой пропускной способности в зависимости от соотношения интенсивности обслуживания к интенсивности потока можно определить по графику, представленному на рис. 4.

При выборе структуры сети следует учитывать, что общая очередь к нескольким коммутационным узлам более эффективна, особенно для случаев передачи самоподобного трафика. В этом случае время ожидания увеличивается при $\rho \approx 0.6$, в то время когда для схемы с отдельными очередями это происходит уже при $\rho \approx 0.4$.

Результаты анализа влияния на полезную пропускную способность сети коэффициента использования сети и нагрузки на сеть могут использоваться как при проектировании сетей, так и для выработки рекомендаций по повышению эффективности работы эксплуатируемых сетей, в частности, контроля перегрузки.

Список литературы

1. *Анализ нагрузки на сети передачи данных в системах критичного применения* / Виноградов Н.А., Дровозов В.И., Лесная Н.Н., Зембицкая А.С. // Зв'язок. – 2006. – №1. – С. 9-12.
2. *Виноградов Н.А., Зембицкая А.С.* Анализ и расчет характеристик прохождения трафика данных в конвергированных сетях // Проблемы системного підходу в економіці., Вип. 9. – К.: НАУ. – 2004.
3. *Зембицкая А.С., Колисных Е.В.* Экспериментальное исследование трафика высокоскоростных сетей // Проблемы інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Вип. 2 (17). - К.: НАУ, 2006. – С. 64-71.
4. *Столлинс В.* Современные компьютерные сети. 2-е издание. – СПб.: Питер, 2003. – 783с.
5. *A. Erramilli, J. Gordon, W. Willinger.* Applications of Fractals in Engineering for Realistic Traffic Processes / Proceedings, International Telecommunications Conference (ITC-14), Amsterdam: Elsevier, 1994p.
- M. Garrett and W. Willinger.* Analysis, Modeling, and Generation of Self-Similar VBR Video Traffic / Proceedings, SIGCOMM'94, August 1994.