УДК 681.3

В.А. Артеменко, Н.В. Богданова

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОЛЬЦЕВЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Аннотация: Предложены математические модели наиболее распространенных методов доступа к передающей среде кольцевых магистральных сетей.

Ключевые слова: кольцевые магистральные сети, сетоды доступа.

Введение

В настоящее время технология качества обслуживания (QoS) достаточно широко используется в различных телекоммуникационных сетях. Ранние реализации технологии QoS опирались главным образом на различные алгоритмы организации очередей (например, "первым пришел – первым ушел", очередь с приоритетами, "справедливая" очередь и т. д.), которые устанавливались и поддерживались сетевыми маршрутизаторами и другими устройствами. Эти методы не обеспечивали непосредственного управления непрерывными потоками трафика и сводились к косвенному воздействию на трафик путем буферизации.

В работе [1] исследуются вопросы связи между качеством обслуживания и физическими величинами, такими как мощность передачи в CDMA. Дана математическая постановка задачи оптимизации и показана область нахождения решения.

В работе [2] предлагается схема предварительного резервирования ресурсов для уменьшения задержек при передаче пакетного трафика на граничных узлах компьютерной сети.

В работе [3] предлагается метод мониторинга QoS, использующий приемы как активного, так и пассивного мониторинга, что позволяет снизить нагрузку на сеть при посылке тестовых пакетов, а также определять распределение задержки при передаче пакетов определенного потока.

Следующим шагом на пути к реализации QoS стала разработка механизма явного управления скоростью трафика [4] (ECR, Explicit Rate Control). Этот механизм способен работать автономно либо совместно с существующими алгоритмами организации очередей. Основные задачи, которые он позволяет решать, – повышение производительности каналов связи, уменьшение времени реакции сети и увеличение степени детализации сетевого управления за счет контроля за отдельными потоками трафика.

На данный момент существует несколько вариантов реализации QoS в сетях, но каждый из них не оптимален.

Постановка задачи

В данной статье предложены математические модели наиболее распространенных методов доступа к передающей среде кольцевых магистральных сетей, с целью определения времени задержки передачи информации для пакетов с фиксированной длинной и экспоненциальным распределением.

Решение

В случае кольцевой структуры магистральных сетей доступ к передающей среде осуществляется с помощью непрерывно передаваемого кадра маркера фиксированной, относительно небольшой длины [5, 6]. Передача маркера происходит от одной станции к другой в последовательности убывания их логических адресов. От станции с самым младшим адресом происходит передача маркера к станции с самым старшим адресом, образуя логическое кольцо.

Время распространения маркера по кольцу (T_m) в общем случае определяется формулой [7]:

$$T_m = \sum_{i=1}^{N} \left[t_i + \sum_{j=0}^{L_i} d_{i,j} \right] + C$$

где τ_i – время передачи маркера между соседними абонентскими системами, значение которого зависит от длины линии связи между смежными абонентскими системами, скорости передачи информации, длины кадра маркера и времени удержания (обработки) маркера абонентской системой;

d_j – время передачи j-го пакета данных i-й абонентской системой, эта величина зависит от скорости передачи информации и длины кадра данных;

C – время, затрачиваемое на передачу управляющих кадров за N передач маркера, зависит от скорости передачи, количества и длины управляющего кадра;

L_i – количество пакетов, передаваемых абонентской системой за сеанс обмена, этот параметр может изменяться от 0 до некоторой величины M. При $L_i = 0$ считается, что абонентская система не готова к передачи данных и маркер передается следующей абонентской системе.

Таким образом, время распространения маркера по кольцу, а соответственно и время доступа зависит как от числа абонентских систем, так и от времени передачи кадров данных каждой абонентской системой и в явном виде не зависит от интенсивности входного потока заявок на передачу кадров данных.

В большинстве случаев в рамках телекоммуникационной сети величину τ_i можно считать постоянной с учетом этого:

$$T_m = T_k + \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=0}^{L_i} d_{i,j} + C,$$

где $T_k = N \cdot \tau_i$ – время передачи маркера по логическому кольцу.

 ISSN 1562-9945

Как известно, стандарт IEEE 802.4 разрабатывался с целью использования его для построения вычислительных сетей управления производством, в частности для уровня управления технологическими и производственными процессами.

Одним из определяющих параметров для сетей данного типа является гарантированная задержка доступа (T_d) абонентских систем к передающей среде. Определение данного параметра необходимо рассматривать при наихудшем случае поведения системы. Так с учетом вероятности (p_i) появления запроса на передачу данных со стороны i-ой абонентской системы среднее значение (T_{cp}) передачи маркера по логическому кольцу:

$$T_m = T_k + \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot \sum_{j=0}^{L_i} d_{i,j} + C.$$

В работе [8] приведены математические модели наиболее распространенных методов: много-маркерный доступ; одно-маркерный доступ; и одно-пакетный доступ. Для этих методов приводится оценка времени задержки передачи информации, а также их сравнительная характеристика.

Обозначим задержку в сети как D и скорость передачи канала – C, длина кадра – L.

При рассмотрении математической модели сделаем следующие предположения:

- поступления заявок Пуассоновское с интенсивностью λ пакетов/секунду;
- среднее расстояние между передающей и получающей станциями равно одной половине длины всего кольца;
- станции расположены так, что задержки распространения между последовательно обслуженными станциями одинаковые, и даны D/M где M — число станций;
- норма битов в канале, R бит/сек;
- латентность станций B бит;
- латентность кольца D'.

Среднее время передачи T можно получить следующим образом:

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + W, \tag{1}$$

где $\frac{L}{R}$ – среднее время передачи одного пакета, W – время ожидания,

$$D' = D + \frac{MB}{R}$$

Время восстановления маркера для всех сетей одинаково и определяется следующим образом:

$$n = \frac{B}{R} + \frac{D}{M} = \frac{D'}{M}$$

Для кольцевой сети время обслуживания – это время, потраченное на обработку одного пакета до полного освобождения кольца для обработки другого, и оно называется “эффективное время обслуживания” E.

$$S = M\lambda \frac{L}{R}$$

Таким образом при замене S на S' получим:

$$S' = ME\lambda, \quad \lambda = \frac{LA}{C}\ , \tag{2}$$

где A – скорость поступления кадров в станцию и следовательно

$$W = \frac{Mn\,(1 - S/M)}{2\,(1 - S)} + \frac{S\,(L/R)^2}{2\,(L/R)\,(1 - S)}$$

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + \frac{D'\,(1 - S'/M)}{2\,(1 - S')} + \frac{S'E^2}{2E\,(1 - S')} \tag{3}$$

С учетом того, что реальная скорость передачи информации не может превышать скорость канала передачи данных, λ всегда меньше единицы. В дальнейшем под интенсивностью поступления кадров будем понимать ее относительное значение.

Многомаркерный метод доступа предполагает, что новый свободный маркер будет генерироваться сразу после отправления последнего бита пакета из передающей станции. Если любая станция имеет готовые данные для передачи, канал останется занятым пока передает их кроме временных интервалов обхода. Таким образом, эффективное время обслуживания L/R, и второй его момент L^2/R^2, тогда уравнение (3) даст средняя задержка передачи для многомаркерного метода как:

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + \frac{D'\,(1 - S/M)}{2\,(1 - S)} + \frac{SL^2}{2LR\,(1 - S)} \tag{4}$$

Максимальная пропускная способность определена как самая большая пропускная способность, для которой средняя задержка передачи остается ограниченной. Таким образом, из (4) верхний предел S есть 1 для многомаркерной операции, конечно верхний предел не может быть достигнут потому, что $S = 1$ подразумевает, не ограничена средняя задержка, что и нарушает основную предпосылку, что сеть работает в устойчивых, неподвижных условиях.

Средняя задержка передачи для многомаркерной операции и для особых случаев с пакетом фиксированной длиной и пакетов с экспоненциальной распределенной длиной могут быть определены из (4).

Пакеты с фиксированной длиной ($L^2 = (L)^2$):

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + \frac{D'(1 - S/M)}{2(1 - S)} + \frac{S \cdot L/R}{2(1 - S)}.$$

 ISSN 1562-9945

Пакеты с экспоненциально распределенной длиной ($L^2 = 2(L)^2$):

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + \frac{D'\,(1 - S/M)}{2\,(1 - S)} + \frac{S \cdot L/R}{1 - S} \tag{5}$$

При одномаркерном методе доступа новый свободный маркер будет сгенерирован только тогда, когда передающая станция получит обратно свой занятый маркер после полной циркуляции по кольцу. Таким образом, в кольце одновременно не может циркулировать больше чем один маркер.

Если время передачи пакета L/R, больше чем латентность сети D', станция продолжает передавать пакет когда ее занятый маркер возвращается после циркуляции по кольцу. Следовательно, она не может генерировать новый свободный маркер пока не закончит передачу всех данных и операция после этого станет как в многомаркерном методе.

С другой стороны, если $L/R < D'$,одномаркерный метод может значительно отличаться от многомаркерного потому, что эффективное время обслуживания больше чем L/R из-за периодов, когда кольцо ждет пока занятый маркер не вернется к своей выпускающей станции. Рассматривая эту ситуацию, очень удобно определить нормализованную задержку латентности a', этим уравнением:

$$a' = \frac{D'}{(L/R)} \tag{6}$$

Из-за критичного отношения D' к L/R, случаи пакетов с фиксированной и экспоненциально распределенной длинами рассмотрены отдельно.

Для пакетов с фиксированной длиной $L = L = cons\tan t$. Таким образом, как было отмечено раньше, если L/R больше чем D',или $a' < 1$, одномаркерный метод такой же как многомаркерный и средняя задержка передачи T, определяется формулой (3). При $a' > 1$, одномаркерный доступ будет отличаться от многомаркерного поскольку эффективное время обслуживания больше чем L/R и фактически равно D'. С $E = D'$, (1) дает S' как

$$S' = M\lambda D' = M\lambda \frac{L}{R} a' = Sa' \tag{7}$$

Соответствующая замена может быть сделана в (3) чтобы определить среднюю задержку передачи для одномаркерного метода с пакетом фиксированной длины и $a' > 1$, как

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + \frac{D'\,(1 - a'S/M)}{2\,(1 - Sa')} + \frac{Sa'D'}{2\,(1 - Sa')} \tag{8}$$

Максимально достижимая пропускная способность в кольце 1 для $a' < 1$ и $1/a'$ для $a' > 1$; результат, конечно, зависит от a' как определено длиной пакета L и параметрами сети R, D, M, B.

В случаи с пакетами с экспоненциально распределенной длиной результат, как-то, усложняется потому, что длина пакета L, становится случайной и вероятность распределения должна быть приписана к эффективному времени обслуживания.

Если $L/R < D'$, то эффективное время обслуживания равно D', вот это время нужное передающей станции для получения своего занятого маркера обратно после полной циркуляции по кольцу. С другой стороны, если $L/R > D'$, то эффективное время обслуживания есть L/R.

Поскольку L имеет функцию с экспоненциальным распределением со средней длинной пакета L, и поскольку $R - cons\tan t$, функция распределения от L/R есть:

$$F_{L/R}(Y) = \begin{cases} 0, & y \geqslant 0 \\ 1 - e^{-yR/L}, & y < 0 \end{cases} \tag{9}$$

из которой следует, что функция распределения эффективного времени обслуживания, E, дано

$$F_E(Y) = \begin{cases} 0, & y < 0 \\ 1 - e^{-yR/L} & y \geqslant D' \end{cases} \tag{10}$$

Оценка первого и второго времени обслуживания является прямой и результаты такие:

$$E = \frac{L}{R} e^{-a'} + D' \tag{11}$$

$$E^2 = \left(D'\right)^2 + 2\left(\frac{L}{R}\right)^2 e^{-a'} + D'\left(1 + a'\right) \tag{12}$$

Результаты (11) и (12) вместе с S' как вычислено из (2), могут быть заменены в (1), чтобы определить среднюю задержку передачи как:

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + \frac{D'\left[1 - \left(e^{-a'} + a'\right) S/M\right]}{2\left[1 - S\left(e^{-a'} + a'\right)\right]} + \frac{SL\left[\left(a'\right)^2 + 2\left(1 + a'\right) e^{-a}\right]}{2R\left[1 - S\left(e^{-a'} + a'\right)\right]} \tag{13}$$

Максимальная достижимая пропускная способность дана с помощью $1/(e^{-a'} + a')$.

При однопакетном методе доступа, новый свободный маркер не будет сгенерирован, пока передающая станция не получит обратно и уничтожит весь свой пакет, который передала, таким образом в кольце только один пакет циркулирует. В этом случае существует задержка D' секунд завершения передачи каждого пакета так, что эффективное время обслуживания всегда равно $L/R + D'$, среднее время обслуживания и его второй момент могут просто быть определены как:

$$E = \frac{L}{R} + D' \tag{14}$$

и

$$E^2 = \left(\frac{L}{R}\right)^2 + 2D'\frac{L}{R} + \left(D'\right)^2 \tag{15}$$

 ISSN 1562-9945

Уравнения (14) и (15), вместе с (2) для S', могут быть применены в (3) для определения средней задержки передачи однопакетной операции как

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + \frac{D'\left[1-(1+a')\,S/M\right]}{2\left[1-(1+a')\,S\right]} + \frac{S\,(L/R)\left[(1+a')^2+1\right]}{2\left[1-(1+a')\,S\right]} \qquad (16)$$

Для пакетов с экспоненциально распределенной длиной

$$T = \frac{L}{R} + \frac{D'}{2} + \frac{D'\left[1-(1+a')\,S/M\right]}{2\left[1-(1+a')\,S\right]} + \frac{S\left[L^2+(RD')^2+2LRD'\right]}{2\left[1-(1+a')\,S\right]LR} \qquad (17)$$

Таким образом, предложенные математические модели наиболее распространенных методов доступа к передающей среде кольцевых магистральных сетей позволяют определить время задержки передачи информации для пакетов с фиксированной длинной и экспоненциальным распределением.

Литература

1. Пятибралов А.П. и др. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник.-2-е изд., прераб. и доп.-: Финансы и статистика, 2002.-512с.: ил.
2. Cisco Systems, и др. Руководство по технологиям объединенных сетей, 3-е издание.: Пер. с англ.-М.: Издательский дом “Вильямс”, 2002.-1040с.: ил.-Парал.тит.англ.
3. Liu J., Ansari N., Ott T. FRR for Latency Reduction and QoS Provisioning in OBS Networks // IEEE Journal On Selected Areas In Communications, Vol. 21, NO. 7, September 2003.
4. Кульгин М.Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия – СПб: Питер, 2000.–704с.: ил.
5. Кулаков Ю.А., Ахмед Али Аль-Зуби. Процедура доступа к передающей среде на основе организации логических каналов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процессах. - Хмельницький, 1999.
6. Kulakov Y. A., Ahmed Al-Zubi. Mathematical models of efficiency evaluation of ring networks // Systemy Komputerowe i Sieci. – 1998. - 6. – P. 201–209.
7. Кулаков Ю.А., Ахмед Али Аль-Зуби. Реализация протокола множественного доступа в оптоволоконных сетях // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницкий, 1998.- 1. - С. 151-154.
8. Kulakov Y. A., Ahmed Al-Zubi. Mathematical models of efficiency evaluation of ring networks // Systemy Komputerowe i Sieci. – 1998. - 6. – P. 201–209.

Отримано 11.12.2009 р.