УДК 681.324

СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТА В СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С САМОПОДОБНЫМ ТРАФИКОМ

Ю.Ф. Кучеренко, Е.В. Шубин, О.Н. Гузько
(Объединенный научно-исследовательский институт ВС Украины, Харьков)

В данной статье получено аналитическое выражение для среднего времени задержки пакета проходящего по сети передачи данных в условиях самоподобного трафика.

среднее время задержки, сеть передачи данных, самоподобный трафик

Постановка проблемы и анализ литературы. Исследования реального трафика существующих телекоммуникационных сетей [1 – 3] свидетельствуют о том, что традиционные методы расчета временных характеристик сетей передачи данных, основанные на пуассоновских моделях и формулах Эрланга, не дают полной и точной картины происходящего в сети. Расчеты, основанные на представлениях о том, что мультиплексирование большого числа независимых потоков в сети передачи данных с коммутацией пакетов приводит к пуассоновскому процессу, явились причиной ошибок при проектировании АТМ коммутаторов первого поколения [4].

Высококачественные измерения трафика позволили выявить его пачечный характер, причем пачки наблюдаются в различных масштабах времени, что затрудняет определение их длины. В зависимости от шкалы времени длительность пачки может изменяться в приделах от миллисекунд до минут и часов. Данное явление значительно ухудшает временные характеристики сети передачи данных (увеличивает потери, задержки, джиттер пакетов). Основной причиной, приводящей к формированию пачечности сетевого трафика, является ограничение скорости работы сетевых устройств и возникающие в связи с этим очереди. Помимо этого существуют источники, трафик, генерируемый которыми, изначально обладает свойством пачечности. Примером такого трафика может служить цифровой видео-поток с VBR (variate bit rate).

Трафик, который является пачечным на многих масштабах времени может быть описан статистически, используя понятие самоподобия [5].

Цель статьи – получение аналитического выражения для среднего времени задержки прохождения пакета по сети передачи данных в условиях самоподобного трафика.

Раздел основного материала. Непрерывный стохастический процесс $X(t)$, считается статистически самоподобным с параметром $H\,(0.5 \le H < 1)$, если для любого положительного числа a процессы $X(t)$ и $a^{-H}X(at)$ будут иметь идентичные распределения, т.е. иметь одинаковые статистические свойства для всех положительных целых n

$$\{X(t_1), X(t_2), \ldots, X(t_n)\} \overset{d}{\sim} \{a^{-H}X(at_1), a^{-H}X(at_2), \ldots, a^{-H}X(at_n)\}.$$

Отношение $\overset{d}{\sim}$ обозначает асимптотическое равенство в смысле распределения. Статистическая самоподобность стохастического процесса подразумевает, выполнение следующих условий [6]:

– среднее $E[X(t)] = \dfrac{E[X(at)]}{a^H}$;

– дисперсия $Var[X(t)] = \dfrac{Var[X(at)]}{a^{2H}}$;

– функция автокорреляции $R(t, \tau) = \dfrac{R(at, a\tau)}{a^{2H}}$,

где H – параметр Херста (Hurst), показывает “степень” самоподобности. Значение $H = 0{,}5$ указывает на отсутствие самоподобности, а большие значения H (близкие к 1) показывают большую степень самоподобности или долговременную зависимость (long- range dependent, LRD) в процессе. Это означает, что если LRD процесс имеет тенденцию к увеличению (или уменьшению) в прошлом, то с большой вероятностью он будет иметь тенденцию к увеличению (или уменьшению) в будущем.

В качестве модели стохастического процесса обладающего фрактальными свойствами в работе [7] было предложено использовать дробное броуновское движение, которое по определению имеет вид дробного интеграла

$$B_H(t) = \frac{1}{\Gamma(H + \frac{1}{2})} \int_{-\infty}^{t} h(t - \tau)\, dB(\tau),$$

где $dB(\tau)$ – приращение винеровского процесса; $\Gamma(\cdot)$ – гамма функция; H – параметр Херста.

В работе [8] используя дробное броуновское движение в качестве модели самоподобного трафика была получена зависимость необходимого среднего размера буфера в одноканальной системе с самоподобным входящим потоком и детерминированным временем обслуживания от среднего коэффициента загрузки ρ и параметра Херста H:

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

Используя данное выражение и применяя формулу Литтла, получим среднее время нахождения запроса в буфере, для данной модели

$$T_c = \rho \cdot \frac{\rho^{\frac{1}{2(1-H)}}}{\lambda \cdot \left((1-\rho)^{\frac{H}{1-H}} \right)}, \qquad (2)$$

где λ – средняя интенсивность поступающих запросов. Учитывая, что $\rho = \lambda/\mu$, где μ – средняя интенсивность обслуживания запросов, то выражение (2) примет вид

$$T_c = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{(\lambda \cdot \mu)^{\frac{2H-1}{2(1-H)}}}{(\mu - \lambda)^{\frac{H}{1-H}}}. \qquad (3)$$

Принимая во внимание, что время, которое запрос проводит в системе, представляет собой сумму времени нахождения запроса в буфере и времени обслуживания, получим среднее время пребывания запроса в системе для данной модели

$$T = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{(\lambda \cdot \mu)^{\frac{2H-1}{2(1-H)}}}{(\mu - \lambda)^{\frac{H}{1-H}}}. \qquad (4)$$

Применяя формулу Литтла к сети очередей и используя (4) получим выражение, определяющее среднее время задержки в сети передачи данных

$$T_{СПД} = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \left[\lambda_{ij} \cdot \left(\frac{1}{\mu} + \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{(\lambda_{ij} \cdot \mu_{ij})^{\frac{2H-1}{2(1-H)}}}{(\mu_{ij} - \lambda_{ij})^{\frac{H}{1-H}}} \right) \right],$$

где h – полный трафик, определяемый выражением

$$h = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} h_{ij},$$

в свою очередь h_{ij} – интенсивность потока пакетов от центра коммутации i к j.

Согласно выражениям (1), (4) были получены зависимости (рис. 1, 2) средней длины очереди и среднего времени нахождения запроса в системе для модели с самоподобным входящим потоком и заданным значением параметра Херста (H).

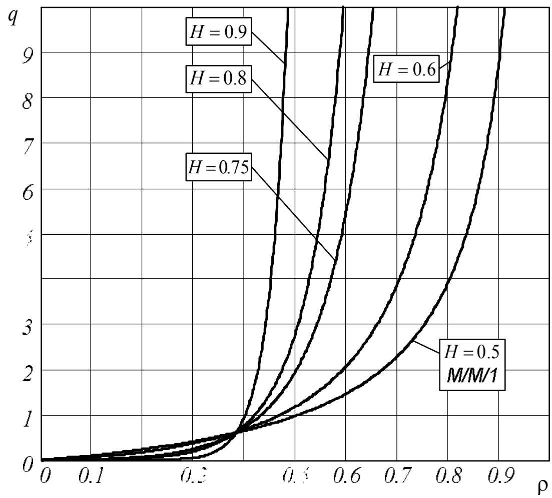

Рис. 1. Длина очереди в самоподобной модели системы массового обслуживания

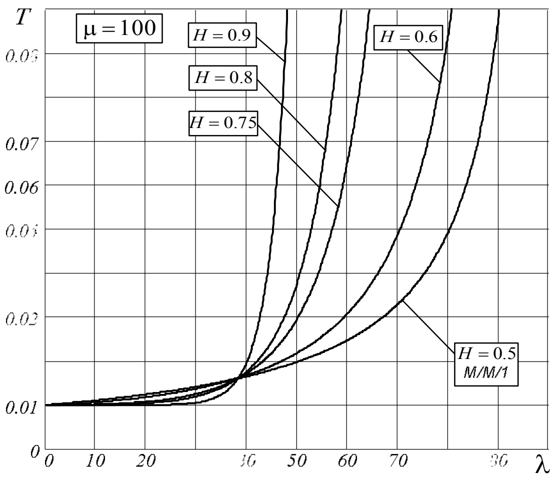

Рис. 2. Среднее время задержки в самоподобной модели системы массового обслуживания

Вывод. Анализ зависимостей (1), (4) показывает, что в случае $H = 0,5$ выражения для средней длины очереди, а также среднего времени нахождения запроса в системе принимают вид, соответствующий классическому результату для системы массового обслуживания с экспоненциальным распределением временных интервалов между поступлениями запросов и экспоненциально распределенной длительностью обслуживания (M/M/1).

При больших значениях параметра Херста (долгосрочная зависимость высокой степени) размер очереди стремительно возрастает даже при небольших значениях коэффициента использования. Среднее время задержки при самоподобном трафике также возрастает значительно быстрее чем предсказывает классический анализ, что позволяет сделать вывод о том, что в сетях передачи данных с самоподобным трафиком требуются каналы связи с более высокой пропускной способностью, нежели в сетях с несамоподобным трафиком.

ЛИТЕРАТУРА

1.
2. *Leland W., Taqqu M., Willinger W., Wilson D. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version) // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2(1). – February 1994. – P. 1 – 15.*
3. *Кучук Г.А. Побудова черги при самоподібному трафіку // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 6. – С. 134 – 137.*
4. *Петров В.В., Богатырев Е.А., Статистический анализ сетевого трафика // радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. Десятой Междунар. научно-техн. конференции студентов и аспирантов. – 2-3 марта, 2004. – М: МЭИ. – 2004. – Том 1.*
5. *Willinger W., Wilson D., Taqqu M. Self-Similar Traffic Modeling for High-Speed Networks. – ConneXions, November 1994.*
6. *Бестугин А.Р., Богданова А.Ф., Стогов Г.В. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей. – С.-Пб.: Политехника, 2003. – 174 с.*
7. *Столлингс В. Современные компьютерные сети / 2-е изд. Пер. с англ. А. Леонтьева. – С.-Пб.: Питер, 2003. – 784 с.*
8. *Mandelbrot B.B., Van Ness J.W. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications // SIAM Review. –1968. – 10. – P. 422 – 437.*
9. *Кучук Г.А. Оцінка втрат у системах з обмеженим очікуванням // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 4. – С. 133 – 137.*

Поступила 6.06.2005

Рецензент: доктор технических наук, профессор Ю.И. Лосев, Объединенный научно-исследовательский институт ВС Украины, Харьков.