

УДК 681.324

С.Г. СЕМЕНОВ, И.В. ИЛЬИНА

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАКЕТОВ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В статье разрабатывается математическая модель процесса доставки информационных пакетов в компьютерной сети системы критического применения. Уточняется аналитическое выражение для расчета среднего времени доставки информационных пакетов. Проводится сравнительная оценка времени ожидания информационных пакетов в узлах связи при различных подходах описания этой величины. Вводятся нормирующие коэффициенты распределения потока информации по множеству маршрутов для учета интенсивности информационного потока в канале связи и «остаточной» пропускной способности этих каналов.

компьютерная сеть, среднее время доставки информационных пакетов, система критического применения

Введение

В телекоммуникационных сетях, использующих коммутацию пакетов, основной составляющей общего времени T доведения информации до получателя является время $T_{дост}$ доставки информационного пакета [1 – 5]. Под временем $T_{дост}$ понимается интервал времени, необходимый для «продвижения» информационного пакета по компьютерной сети системы критического применения от источника до пункта назначения. Этот интервал задается временем t_0 начала передачи информационного пакета источником и временем t_1 завершения его приема получателем.

Анализ литературы [1, 2, 6] показал, что одним из факторов успешного выполнения задач управления в системах критического применения является создание компьютерной сети, в которой было бы обеспечено требуемое качество передачи информации различного класса (потокowego, интерактивного, речевого и др.). В условиях циркулирования в сети однородного трафика такую задачу решают с помощью известных методов управления сетевыми ресурсами и сетевым оборудованием, обеспечение же

качества связи при передаче видео и звуковой информации от различных источников представляется более сложной задачей, требующей использования новых средств.

Допустим, что информация, поступающая в компьютерную сеть системы критического применения, представляет собой пуассоновский поток информационных пакетов одинакового приоритета интенсивностью λ . Обмен информацией между произвольной парой конечных узлов, в общем случае, осуществляется через транзитные УС. Последовательность транзитных УС на пути от отправителя к получателю называется маршрутом [3].

Пусть $\mathcal{N} = \{V_n | n \in 1, N\}$ – множество УС в компьютерной сети, V_n – n -й узел, $N = |\mathcal{N}|$ – число узлов связи (УС), $\mathcal{S} = \{\theta_\xi | \xi \in 1, \Theta\}$ – множество каналов связи в компьютерной сети, где θ_ξ – ξ -й канал связи, Θ – количество каналов связи в компьютерной сети, $|Z|$ – мощность множества Z . Информационные пакеты могут быть переданы по одному из маршрутов, составляющих множество

$$\mathcal{M} = \{\eta_s | s \in 1, M\},$$

где $\eta_s = \{ \theta_{s,c} \mid \theta_{s,c} \in \mathfrak{S}; c \in 1, \Theta \}$ – s -й маршрут, $s \in 1, M$, $|\eta_s| = \Psi_s$, M – количество маршрутов, $\theta_{s,c}$ – канал связи с номером c , который принадлежит s -му маршруту, Ψ_s – количество каналов связи на s -м маршруте.

К числу основных составляющих времени $T_{доот\ s}^{(c)}$ доставки информационного пакета по s -му маршруту в c -м канале связи относятся следующие [1 – 3]:

- время $t_{к\ s}^{(c)}$ задержки на обработку (коммутацию) – интервал времени между моментами приема информационного пакета в УС, инцидентном c -му каналу связи на s -м маршруте, и его постановки в очередь на дальнейшую передачу;

- время $t_{ож\ s}^{(c)}$ задержки в очереди – интервал времени между моментом постановки информационного пакета в очередь на передачу по c -му каналу связи на s -м маршруте и моментом начала передачи пакета; фактически это время ожидания передачи предыдущих информационных пакетов очереди;

- время $t_{пер\ s}^{(c)}$ задержки передачи – интервал времени между моментами, когда передадутся первый и последний биты информационного пакета в УС, инцидентном c -му каналу связи на s -м маршруте;

- время $t_{расп\ s}^{(c)}$ распространения информационного пакета – промежуток времени от момента передачи последнего бита по c -му каналу связи на s -м маршруте до момента приема;

- время $t_{капс\ s}^{(c)}$ задержки капсуляции – время разбиения информационного пакета на кадры в УС, инцидентном c -му каналу связи на s -м маршруте;

- время $t_{декапс\ s}^{(c)}$ задержки декапсуляции – время сборки информационного пакета из кадров в УС, инцидентном c -му каналу связи на s -м маршруте.

При таком рассмотрении не учитываются ситуации, когда может потребоваться повторная передача по каналу связи из-за ошибок передачи или каких-либо других причин.

Таким образом, время $T_{доот\ s}^{(c)}$ доставки информационного пакета по s -му маршруту в c -м канале связи определяется выражением

$$T_{доот\ s}^{(c)} = t_{к\ s}^{(c)} + t_{ож\ s}^{(c)} + t_{пер\ s}^{(c)} + t_{расп\ s}^{(c)} + t_{капс\ s}^{(c)} + t_{декапс\ s}^{(c)}.$$

Используя это выражение, рассмотрим более детально составляющие времени $T_{доот\ s}^{(c)}$ доставки информационного пакета на s -м маршруте.

Выражение для определения времени $T_{к\ s}$ коммутации информационного пакета в УС на s -м маршруте имеет вид [3]:

$$T_{к\ s} = \sum_{c=1}^{\Psi_s} t_{к\ s}^{(c)}. \quad (2)$$

Время $T_{ож\ s}$ ожидания информационного пакета в очереди на передачу по каналам связи описывается выражением [5]:

$$T_{ож\ s} = \sum_{c=1}^{\Psi_s} t_{ож\ s}^{(c)}. \quad (3)$$

В [3] время $t_{ож\ s}^{(c)}$ описывается соотношением

$$t_{ож\ s}^{(c)} = \frac{\ell_p}{\rho_s^{(c)}} \cdot \tau_{о\ s}^{(c)}, \quad (4)$$

где $\tau_{о\ s}^{(c)}$ – длина очереди информационных пакетов в c -м канале связи на s -м маршруте; ℓ_p – длина передаваемого информационного пакета; $\rho_s^{(c)}$ – пропускная способность c -го канала связи s -го маршрута.

В (4) не учитывается распределение потока информации по s -му маршруту и в c -м канале связи этого маршрута, что недопустимо в большинстве практических случаев ввиду того, что информация, циркулирующая в компьютерной сети системы критического применения, носит потоковый характер [1, 2, 7].

Для расчета времени $t_{ожс}^{(c)}$ целесообразным представляется использование соотношения вида:

$$t_{ожс}^{(c)} = \frac{\ell_p}{\rho_s^{(c)}} \cdot \frac{\lambda \cdot \varphi_s}{\varphi_s^{(c)} \frac{\rho_s^{(c)}}{\ell_p} - \lambda \cdot \varphi_s}, \quad (5)$$

$$\sum_{s=1}^M \varphi_s = 1, \quad \varphi_s \in [0,1]; \quad \varphi_s^{(c)} \in [0,1],$$

где λ – интенсивность входного потока информации;

φ_s – коэффициент распределения потока цифровой информации по s -му маршруту;

$\varphi_s^{(c)}$ – коэффициент распределения потока цифровой информации в c -м канале связи s -го маршрута.

Соотношение (5) учитывает распределение потока информации по s -му маршруту и соответствует дисциплине обслуживания в очереди FIFO (обслуживание информационных пакетов в порядке поступления в систему) в системе М/М/1.

Отсутствие учета распределения потока информации по s -му маршруту и в c -м канале связи этого маршрута приводит к существенному (до 2 раз) занижению оценочных значений времени $t_{ожс}^{(c)}$ в условиях использования технологии TCP/IP, что наглядно иллюстрируется рис. 1.

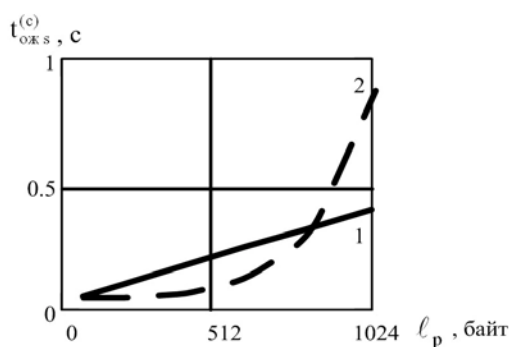


Рис. 1. Зависимость времени $t_{ожс}^{(c)}$ от длины ℓ_p передаваемого информационного пакета

Здесь кривые 1 и 2 рассчитаны соответственно по соотношениям (4) и (5) в условиях фиксированных значений пропускной способности c -го канала

связи ($\rho_s^{(c)} = 11$ Кбит/с), длины очереди информационных пакетов ($T_o^{(c)} = 3$), интенсивности λ входного потока информации ($\lambda = 30$ Кбит/с), и равномерного распределения потока информации в c -м канале связи этого маршрута.

Выражение для определения времени $T_{непс}$ при передаче информационного пакета на s -м маршруте имеет вид [1, 3]:

$$T_{непс} = \sum_{c=1}^{\Psi_s} t_{непс}^{(c)}, \quad (6)$$

где $t_{непс}^{(c)} = \frac{\ell_p}{\rho_s^{(c)}}$ – время передачи информационного пакета в УС, инцидентных c -му каналу связи на s -м маршруте.

Выражение для определения времени $T_{распс}$ распространения информационного пакета на s -м маршруте имеет вид:

$$T_{распс} = \frac{\sum_{c=1}^{\Psi_s} \omega_s^{(c)}}{v_s}, \quad (7)$$

где $\omega_s^{(c)}$ – длина c -го канала связи на s -м маршруте;

v_s – скорость распространения информационного пакета в передающей среде s -го маршрута.

Время $T_{канс}$ капсуляции и $T_{деканс}$ декапсуляции информационного пакета на маршруте зависит непосредственно от характеристик УС (передатчика и приемника), не превышает 10^{-6} с [5], и поэтому не оказывает существенного влияния на время его передачи в компьютерной сети системы критического применения.

Используя (1) – (7), найдем среднее время $T_{мс}$ доставки информационных пакетов в компьютерной сети системы критического применения. Для всех возможных маршрутов передачи информационного потока среднее время $T_{мс}$ доставки информационных пакетов равно:

$$T_{mc} = \max_s \left\{ \varphi_s \sum_{c=1}^{\Psi_s} \tau_{доцм s}^{(c)} \right\}. \quad (8)$$

Тогда

$$T_{mc} = \max_s \left\{ \varphi_s \sum_{c=1}^{\Psi_s} \left(t_{ks}^{(c)} + \frac{\ell_p}{\rho_s^{(c)}} + \frac{\ell_p}{\rho_s^{(c)}} \times \frac{\lambda \cdot \varphi_s}{\varphi_s^{(c)} \cdot \rho_s^{(c)} - \lambda \cdot \varphi_s} + \frac{\omega_s^{(c)}}{v_s} \right) \right\}$$

или

$$T_{mc} = \max_s \left\{ \varphi_s \sum_{c=1}^{\Psi_s} \left(t_{ks}^{(c)} + \frac{\ell_p \cdot \varphi_s^{(c)}}{\varphi_s^{(c)} \cdot \rho_s^{(c)} - \lambda \cdot \ell_p \cdot \varphi_s} + \frac{\omega_s^{(c)}}{v_s} \right) \right\}, (9)$$

где $t_{ks}^{(c)}$ – интервал времени между моментами приема информационного пакета в УС, инцидентном c -му каналу связи на s -м маршруте, и его постановки в очередь на дальнейшую передачу; λ – интенсивность входного потока информации; ℓ_p – длина передаваемого информационного пакета; $\rho_s^{(c)}$ – пропускная способность c -го канала связи s -го маршрута; φ_s – коэффициент распределения потока цифровой информации по s -му маршруту; $\varphi_s^{(c)}$ – коэффициент распределения потока цифровой информации в c -м канале связи s -го маршрута; $\omega_s^{(c)}$ – длина c -го канала связи на s -м маршруте; v_s – скорость распространения информационного пакета в передающей среде s -го маршрута.

Заключение

Выражение (9) для расчета среднего времени T_{mc} доставки информационных пакетов в компьютерной сети системы критического применения отличается от известных введением нормирующих

коэффициентов φ_s и $\varphi_s^{(c)}$ распределения потока информации для учета интенсивности информационного потока в канале связи и «остаточной» пропускной способности этих каналов.

Литература

1. Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения. – М.: Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 2005. – 332 с.
2. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
3. Королев А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.
4. Мизин Н.А., Богатырев В.А. Кулешов А.П. Сети коммутации пакетов. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
5. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений: Учебное пособие для ВУЗов / М.Н. Арипов, Г.П. Захаров, С.Т. Малиновский, Г.Г. Яновский; под ред. Г.П. Захарова. – М.: Радио и связь, 1988. – 360 с.
6. Семенов С.Г. Оптимизация трафика на основе сбалансированной загрузки информационно-телекоммуникационной сети // Системы обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 8 (36). – С. 206-210.
7. Fratta L., Gerla M., Kleinrock L. The flow deviation method: An approach to store-and-forward communication network design // Networks. – 1973. – V. 3, № 2. – P. 97-133.

Поступила в редакцию 25.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук А.В. Лемешко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.