

УДК 621.391

Е.В. Мелешко

Кировоградский национальный технический университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ В МНОГОПРОТОКОЛЬНОМ УЗЛЕ СВЯЗИ

Проведен анализ известных алгоритмов управления очередями в многопротокольных узлах связи. Рассмотрен граф состояний подсистемы управления и математическая модель подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле связи. Получены аналитические выражения, позволяющие оценить вероятностно-временные характеристики моделируемой системы, в частности вариацию времени доставки информационного пакета (джиттер задержки) от суммарной интенсивности мультисервисного информационного потока. Исследованы зависимости вариации времени доставки информационного пакета от вероятностно-временных характеристик телекоммуникационных сетей (ТКС).

Ключевые слова: телекоммуникационные сети, идентификация трафика, подсистема управления и обслуживания в многопротокольном узле связи.

Введение

1. Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы. Долгосрочные тенденции цифровизации сетей связи, поэтапный переход от построения узкоспециализированных выделенных к мультисервисным телекоммуникационным сетям (ТКС), эволюция принципов построения транспортных сетей и технологий передачи данных являются ключевыми факторами, определяющими дальнейшие направления в развитии целой отрасли телекоммуникационных услуг.

Таким образом, разработка адекватных математических моделей ТКС и методов оптимизации, усовершенствования процессов функционирования и управления сетевыми ресурсами является перспективным направлением исследований [1 – 3, 5].

Анализ литературы [2, 6] показал, что в существующих ТКС для управления очередями в многопротокольных узлах связи используется ряд алгоритмов обслуживания очередей (RR (Round Robin), DRR (Deficit Round Robin), Priority Processor Sharing (PPS), Generalized Processor Sharing (GPS), Weighed Fair Queuing (WFQ), Virtual Clock (VC), Self-Clocked Fair Queuing (SCFQ), Worst-Case Fair Weighed Fair Queuing (WF2Q) и др.

Проведенные исследования [2, 5] выявили ряд их достоинств (невысокая вычислительная сложность, справедливое распределение ресурсов, минимизация задержки обслуживания и т.д.) и недостатков (не обеспечивают требуемых значений джиттера задержек при передаче разнородных потоков информации). Отмеченные недостатки указывают на необходимость усовершенствования процедур обслуживания очередей в многопротокольных узлах связи ТКС. Ключевым этапом в данных исследованиях является математическое моделирование подсистемы управления и обслуживания, что и определяет цель настоящей статьи.

Основная часть

Исследования процесса передачи данных [3, 5] показали, что существует необходимость в разбиении информационного трафика по классам, при этом наиболее приоритетным классом следует считать информационный трафик с жесткими требованиями к времени доставки информационных пакетов и вариации задержки (IP-телефония, видеоконференцсвязь).

С целью минимизации времени обслуживания информационных пакетов отдельных видов трафика и обеспечения заданных показателей вариации (джиттера) задержки возникает необходимость в модификации условия оценки функции: «виртуального времени поступления» информационного пакета в очередь путем введения дополнительной функции:

$$\Psi_{(i,k)} = \left\{ J_{\text{трб}}^1, J_{\text{трб}}^2, \dots, J_{\text{трб}}^f \right\}$$

приоритетности выбора k -го информационного пакета i -ого потока информации, зависящей от величин требуемых показателей вариации задержки $J_{\text{трб}}^i$ для различных классов $i \in \{1, 2, \dots, f\}$ информационного трафика.

В этом случае разрабатываемую модель системы планирования с приоритетами по показателям вариации задержки (МПВЗ) можно представить в виде аналитических выражений:

$$S_{(i,k)} = \max \left\{ \tilde{\mathfrak{S}}_{(i,k-1)}, V(t_{(i,k)}), \Psi_{(i,k)} \right\}, \quad (1)$$

$$\tilde{\mathfrak{S}}_{(i,k)} = S_{(i,k)} + \frac{L_{(i,k)}}{r_i},$$

где $S_{(i,k)}$ – функция «виртуального времени поступления» информационного пакета в очередь; $\tilde{\mathfrak{S}}_{(i,k-1)}$ – функция окончания обслуживания – «виртуальное время окончания обслуживания»;

$$\begin{aligned}
 &-\lambda_0^{(\text{мульти})}(t)p_0 + \mu p_1 \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &\lambda_0^{(\text{мульти})}(t)p_0 - \lambda_1^{(\text{мульти})}(t)p_1 - \mu p_1 \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) + \\
 &+ 2\mu p_2 \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &\dots\dots\dots; \\
 &\lambda_{k-1}^{(\text{мульти})}(t)p_{k-1} - \lambda_k^{(\text{мульти})}(t)p_k - \mu p_k \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) + \\
 &+ (k+1)\mu p_{k+1} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &\dots\dots\dots; \\
 &-\left(\lambda_{n+1}^{(1)}(t) + \lambda_{n+1}^{(q)}(t) \right) p_{n+1} + qn\mu p_{n+2} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &\lambda_{n-2}^{(\text{мульти})}(t)p_{n-2} - \lambda_{n-1}^{(\text{мульти})}(t)p_{n-1} - \\
 &-(n-1)\mu p_{n-1} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) + \\
 &+ n\mu p_n \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &\lambda_{n-2}^{(\text{мульти})}(t)p_{n-2} - \lambda_{n-1}^{(\text{мульти})}(t)p_{n-1} - \\
 &-(n-1)\mu p_{n-1} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) + n\mu p_n \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &\lambda_{n-1}^{(\text{мульти})}(t)p_{n-1} - \lambda_n^{(1)}(t)p_n - \lambda_n^{(q)}(t)p_n - \\
 &-\left(\lambda_n^{(1)}(t) + \lambda_n^{(q)}(t) \right) p_n - n\mu p_n \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) + \\
 &+ qn\mu p_{n+1} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &\lambda_n^{(1)}(t)p_n - n\mu p_n \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) - \lambda_{n+1}^{(1)}(t)p_{n+1} - \\
 &-\lambda_{n+1}^{(q)}(t)p_{n+1} - \lambda_n^{(q)}(t)p_n - n\mu p_n \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) - \\
 &-\lambda_{n+1}^{(1)}(t)p_{n+1} - \lambda_{n+1}^{(q)}(t)p_{n+1} - \left(\lambda_{n+1}^{(1)}(t) + \lambda_{n+1}^{(q)}(t) \right) p_{n+1} + \\
 &+ qn\mu p_{n+2} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &\left(\lambda_n^{(1)}(t) + \lambda_n^{(q)}(t) \right) p_n - n\mu p_n \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) - \\
 &-\lambda_{n+1}^{(1)}(t)p_{n+1} - \lambda_{n+1}^{(q)}(t)p_{n+1} - \left(\lambda_{n+1}^{(1)}(t) + \lambda_{n+1}^{(q)}(t) \right) p_{n+1} + \\
 &+ qn\mu p_{n+2} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0; \\
 &2p_{n+1} \left(\lambda_{n+1}^{(1)}(t) + \lambda_{n+1}^{(q)}(t) \right) + qn\mu p_{n+3} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) - \\
 &-qn\mu p_{n+2} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) - 2p_{n+2} \left(\lambda_{n+2}^{(1)}(t) + \lambda_{n+2}^{(q)}(t) \right) = 0; \\
 &\dots\dots\dots; \\
 &2p_{n+m-2} \left(\lambda_{n+m-1}^{(1)}(t) + \lambda_{n+m-1}^{(q)}(t) \right) + \\
 &+ qn\mu p_{n+m} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) - qn\mu p_{n+m-1} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) - \\
 &-qn\mu p_{n+m} \lambda_{n+m-1}^{(\text{мульти})}(t) = 0; \\
 &\dots\dots\dots; \\
 &q\lambda_{n+m-1}^{(\text{мульти})} p_{n+m-1} - qn\mu p_{n+m} \left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 0.
 \end{aligned}$$

Решив эту систему с учетом ряда допущений [3]: система событий является полной, т.е.

$$\sum_{k=0}^n p_k + \sum_{r=1}^m p_{n+r} = 1,$$

сумма коэффициентов распределения пропускной способности

$$\left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) = 1,$$

суммарный трафик различных телекоммуникационных служб

$$\lambda_r^{(1)}(t) + \lambda_r^{(q)}(t) = \lambda_r^{(\text{мульти})}(t).$$

Выразив вероятность p_1 через p_0 :

$$p_1 = \alpha_1 p_0,$$

где

$$\alpha_r = \frac{\lambda_r^{(1)}(t) + \lambda_r^{(q)}(t)}{\left(K_{M_g}^{(1)} + \sum K_{M_g}^{(q)} \right) \mu} = \frac{\lambda_r^{(\text{мульти})}(t)}{\mu},$$

и подставляя p_1 во второе равенство системы уравнений, найдем выражение для

$$p_2 = \frac{\alpha_1^2}{2} p_0 = \frac{\alpha_1^2}{2!} p_0.$$

Отсюда:

$$p_k = \frac{\alpha_r^k}{k!} p_0,$$

при $k \leq n$, где p_k – вероятность того, что система находится в k -м состоянии (обслуживанием заняты ровно k процессоров) [3];

$$p_{n+s} = \frac{\alpha_r^n}{n!} \cdot \frac{\alpha_r^s}{n^s} p_0,$$

при $n \leq r \leq n+m$, где p_{n+s} – вероятность того, что система находится в $(n+s)$ -м состоянии (обслуживанием заняты n процессоров, s ячеек буфера заняты пакетами).

Используя полученные выражения можно вычислить значение вероятности того, что в установленном режиме подсистема управления и обслуживания не будет загружена [3]:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha_r^k}{k!} + \frac{\alpha_r^n}{n!} \cdot \frac{\alpha_r - \left(\frac{\alpha_r}{n} \right)^{m+1}}{1 - \frac{\alpha_r}{n}}}. \tag{7}$$

В [3] с использованием такого подхода получено выражение для расчета вероятности отказа $P_{\text{отк}}$ рассматриваемой подсистемы в обслуживании поступающих информационных пакетов:

$$P_{\text{отк}} = P_{n+m} = \frac{\alpha_r}{n!} \cdot \frac{\alpha_r^m}{n^m} p_0. \tag{8}$$

С учетом выражения 8, получим:

$$P_{отк} = \frac{\frac{\alpha_r^{n+m}}{n!n^m}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha_r^k}{k!} + \frac{\alpha_r^n}{n!} \cdot \frac{\alpha_r/n - (\alpha_r/n)^{m+1}}{1 - \alpha_r/n}} \quad (9)$$

Следует заметить, что представленная математическая модель подсистемы управления и обслуживания многопротокольного узла связи позволяет определить и другие вероятностно-временные характеристики телекоммуникационных систем, в частности вариацию времени доставки информационного пакета J. Для определения вариации времени доставки информационного пакета (джиттера задержки) J необходимо оценить время ожидания обслуживания информационных пакетов и обслуживания информационных пакетов в подсистеме управления и обслуживания многопротокольного узла связи.

Пусть среднее число процессоров \bar{n}_3 , используемых для обслуживания, представляет собой математическое ожидание случайной величины k(t) – числа процессоров, используемых для обслуживания в некоторый произвольный момент времени.

Величина k(t) может принимать любое значение от 1 до n с вероятностью p_k (в этом случае буфер свободен), и значение n с вероятностью p_{r+n} (буфер занят ожидающими пакетами). Тогда [3]:

$$\bar{n}_3 = M[k(t)] = \sum_{k=1}^n k \cdot p_k + \sum_{r=1}^m n \cdot p_{n+r} = \frac{\mathfrak{R}}{\mu} = \mathfrak{R} \cdot \bar{T}_{обсл},$$

где $\mathfrak{R} = \lambda_r^{(мульти)} \left[1 - \frac{\alpha_r^n}{n!} \cdot \frac{\alpha_r^m}{n^m} \cdot P_0 \right]$ – абсолютная

пропускная способность подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле связи; $\bar{T}_{обсл}$ – среднее время обслуживания информационных пакетов в подсистеме управления и обслуживания многопротокольного узла связи, т.е.

$$\bar{T}_{обсл} = \bar{n}_3 / \mathfrak{R}.$$

Среднее число ячеек буфера $\bar{m}_{ож}$, занятых пакетами, ожидающими обслуживания (средняя длина очереди), представляет собой математическое ожидание случайной величины r(t) – числа ячеек в буфере, занятых ожидающими пакетами в некоторый произвольный момент времени [3]:

$$\bar{m}_{ож} = M[r(t)] = \alpha_r^{n+1} / (n \cdot n!) \times \frac{1 - (\alpha_r/n)^m \cdot (m+1 - m\alpha_r/n)}{(1 - \alpha_r/n)^2} = \alpha_r^{(мульти)}(t) \cdot \bar{T}_{ож},$$

где $\bar{T}_{ож}$ – среднее время ожидания обслуживания (среднее время пребывания в очереди):

$$\bar{T}_{ож} = \frac{\alpha_r^n}{n\mu \cdot n!} \cdot \frac{1 - (\alpha_r/n)^m (m+1 - m\alpha_r/n)}{(1 - m\alpha_r/n)^2} P_0. \quad (10)$$

Воспользовавшись выражением 10 найдем соотношение для расчета среднего времени доставки информационного пакета до получателя:

$$\bar{T}_{прд} \approx \bar{T}_{обсл} + \bar{T}_{ож} = \frac{\bar{n}_3}{\mathfrak{R}} + \frac{\alpha_r^n}{n\mu \cdot n!} \times \frac{1 - (\alpha_r/n)^m (m+1 - m\alpha_r/n)}{(1 - \alpha_r/n)^2} P_0.$$

Тогда вариация времени доставки информационного пакета (джиттер задержки) в телекоммуникационной сети равна:

$$J = 2 \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\tau_{прд_i} - \frac{\bar{n}_3}{\mathfrak{R}} + \frac{\alpha_r^n}{n\mu \cdot n!} \times \frac{1 - (\alpha_r/n)^m (m+1 - m\alpha_r/n)}{(1 - \alpha_r/n)^2} P_0 \right)^2}.$$

На рис. 2 представлены кривые зависимости вариации J времени доставки информационного пакета в телекоммуникационной сети с параметром семейства μ от суммарной интенсивности мульти-сервисного информационного потока $\lambda^{(мульти)}(t)$ при фиксированных значениях времени передачи $\tau_{прд_i} = 0,02$ с, количества процессоров $n=5$, количества ячеек буфера памяти $m=30$, среднего числа процессоров $\bar{n}_3 = 5$.

Рис. 2 наглядно иллюстрирует рост вариации J времени доставки информационного пакета в телекоммуникационной сети с увеличением интенсивности $\lambda^{(мульти)}(t)$ суммарного потока информации и уменьшением параметра семейства μ .

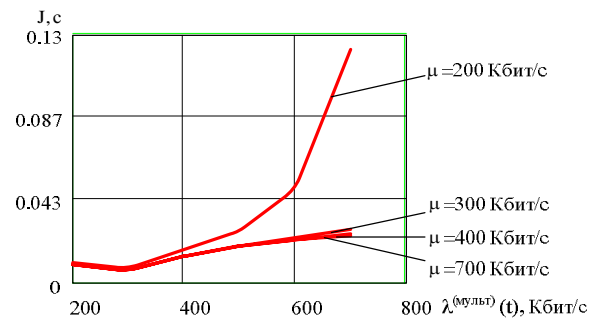


Рис. 2. Зависимости джиттера задержки от $\lambda^{(мульти)}(t)$

Так при $\mu = 200$ Кбит/с увеличение интенсивности $\lambda^{(мульти)}(t)$ в 2 раза приводит к возрастанию вариации времени задержки более чем в 9 раз. В то же время при $\mu \geq 300$ Кбит/с в выбранном диапазоне

не інтенсивності входного потоку інформації зростає варіація часу затримки становить 1,75–3 рази. На рис. 3. представлені криві залежності варіації J часу доставки інформаційного пакета в телекомунікаційній мережі з параметром родини \bar{n}_3 від сумарної інтенсивності мультисервісного інформаційного потоку $\lambda^{(мульт)}(t)$ при фіксованих значеннях параметрів аналогічних попередньому прикладу.

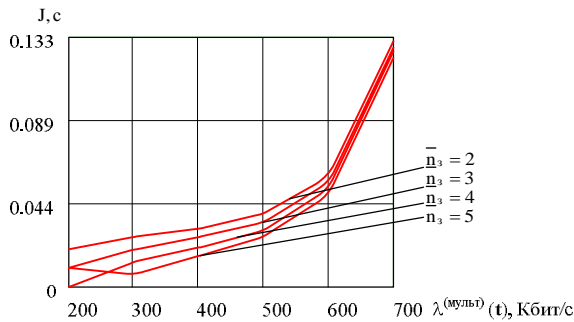


Рис. 3 Залежності джиттера затримки від $\lambda^{(мульт)}(t)$

Як видно з рис. 3. збільшення середнього числа процесорів \bar{n}_3 , використовуваних для обслуговування інформаційного трафіку до 2,5 рази призводить до зменшення варіації часу затримки інформаційних пакетів в телекомунікаційній мережі до 3 рази.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили гіпотезу про необхідність виділення окремих ресурсів багатопротокольного вузла зв'язу (в першу чергу пропускну здатність) для мультимедійного трафіку, як найбільш чутливого до показателю варіації часу затримки інформаційних пакетів в телекомунікаційній мережі.

Висновки

В статті представлена математична модель підсистеми управління та обслуговування в багатопротокольному вузлі зв'язу, що відрізняється від

інших тим, що враховує особливості механізму «заказного» обслуговування інформаційних пакетів з пріоритетними чередями для мультимедійного трафіку за рахунок введення додаткової функції $\Psi_{(i,k)} = \{J_{трб}^1, J_{трб}^2, \dots, J_{трб}^f\}$ пріоритетності вибору k -го інформаційного пакета i -го потоку інформації, при оцінці «виртуального часу надходження» інформаційного пакета в череду. Це дозволило побудувати модифікований граф складової підсистеми управління та обслуговування в багатопротокольному вузлі зв'язу та отримати аналітичне вираження для розрахунку варіації часу доставки інформаційного пакета (джиттера затримки) в телекомунікаційній мережі.

Список літератури

1. Городецький А.Я. Інформаційні системи. Вероятнісні моделі та статистичні рішення. Учебн. посібник / А.Я.Городецький. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 326 с.
2. Кучерявий Э.А. Управление трафиком и качеством обслуживания в сети Интернет / Э.А. Кучерявий. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
3. Кучук Г.А. Структура управляющей подсети сети передачи данных / Г.А. Кучук, А.А. Боллобаи // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 3(52). – С. 70-74.
4. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер: учебник для ВУЗов 2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 864 с.
5. Семенов С.Г. Математическая модель процесса доставки информационных пакетов в компьютерной сети системы критического применения / С.Г. Семенов, И.В. Ильина // Радиоелектронні і комп'ютерні системи: наук.-техн. ж. – Х.: ХАІ, 2008. – Вип. 1(28). – С. 162-165.
6. Семенов Ю.А. Сети Интернет. Архитектура и протоколы / Ю.А. Семенов. – М.: Блик плюс, 1998. – 424 с.

Поступила в редколлегию 11.11.2010

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

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ І ОБСЛУГОВУВАННЯ В БАГАТОПРОТОКОЛЬНОМУ ВУЗЛІ ЗВ'ЯЗКУ

Є.В. Мелешко

Проведений аналіз відомих алгоритмів управління чергами в багатопротокольних вузлах зв'язу. Розглянутий граф станів підсистеми управління і математична модель підсистеми управління і обслуговування в багатопротокольному вузлі зв'язу. Отримані аналітичні вирази, що дозволяють оцінити імовірнісно-тимчасові характеристики моделюваної системи, зокрема варіацію часу доставки інформаційного пакету від сумарної інтенсивності мультисервісного інформаційного потоку. Досліджені залежності варіації часу доставки інформаційного пакету від імовірнісно-тимчасових характеристик телекомунікаційних мереж.

Ключові слова: телекомунікаційні мережі, ідентифікація трафіку, підсистема управління і обслуговування.

MATHEMATICAL MODEL OF SUBSYSTEM OF MANAGEMENT AND SERVICE IN MULTIPROTOCOL KNOT OF CONNECTION

E.B. Meleshko

The analysis of the known algorithms of management turns is conducted in the multiprotocol knots of connection. The count of the states of management subsystem and mathematical model of subsystem of management and service in the multiprotocol knot of connection is considered. Analytical expressions, allowing to estimate probabilistic-temporal descriptions of the designed system, in particular variation of time of delivery of informative package from total intensity of multiservice informative stream, are got. Dependences of variation of time of delivery of informative package are probed on probabilistic-temporal descriptions of telecommunication networks.

Keywords: telecommunication networks, authentication of traffic, subsystem of management and service.