

## ОЦІНКА ЧАСУ ЗАТРИМКИ ПАКЕТІВ У ВИСОКОШВИДКІСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

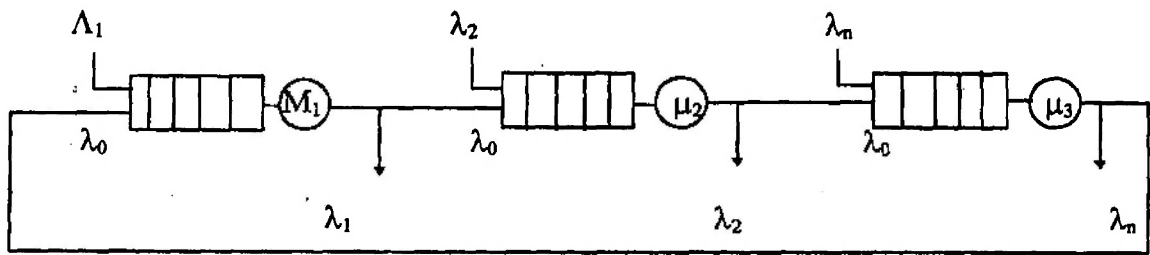
*Розглянуто один з етапів аналізу високошвидкісних комп'ютерних мереж - оцінка часу затримки передавання кадрів даних. Передавальне середовище виступає як мережа маршрутизаторів. Подано і обґрунтовано стохастичну модель оцінки часу затримки в мережі передавання даних, яка в порівнянні з відносними моделями дозволяє повніше враховувати взаємний вплив інформаційних потоків. Одержані аналітичні залежності можуть бути використані для підвищення ефективності керування навантаженням в комп'ютерних мережах.*

Характерною особливістю топології сучасних комп'ютерних мереж є використання маршрутизаторів як основного елемента високошвидкісної підсистеми передавання даних. Мережа передавання даних утворюється шляхом з'єднання за допомогою високошвидкісних каналів певної множини маршрутизаторів. На відміну від вузлів комутації мереж стандарту X.25 маршрутизатори не виконують розпаковування і не здійснюють аналіз вмісту пакетів, що забезпечує їх безпомилкове передавання. В мережах комутації суттєву роль відіграє час передавання по каналах зв'язку. У високошвидкісних мережах основний час затримки визначається затримкою в маршрутизаторах. При цьому посилюється взаємний вплив різних потоків, які проходять крізь один і той же маршрутизатор. Крім того, затримка в каналах передачі є величина стала і її можна врахувати завчасно. Затримка в маршрутизаторах є змінна величина, яка залежить як від інтенсивності самого потоку, так і від інтенсивності інших (зовнішніх) потоків.

Для оцінки часу затримки пакетів в маршрутизаторах скористаємося математичним апаратом теорії черг, який дозволяє [1] з достатнім ступенем адекватності моделювати часові параметри комп'ютерних мереж. Так, в роботі [2] для мереж комутації пакетів наводиться стохастична модель розрахунку затримки передачі. Одержані результати порівнюються з результатами імітаційного моделювання, що дозволяє оцінювати ступінь їх достовірності, яка в даному випадку достатньо висока.

Зважаючи на особливості топології сучасних комп'ютерних мереж, затримка в передачі інформації визначається двома складовими - затримкою в локальній мережі і затримкою в міжмережній системі комутації. В більшості випадків передача інформації в локальній мережі здійснюється без організації логічного з'єднання і для випадку для моделювання використовуються розімкнені системи масового обслуговування. Для кожного типу локальної мережі визначається своя модель розрахунку затримок в передаванні інформації, які розглядаються як затримки доступу до мережі [3].

Маршрутизатори локальних мереж сумісно з міжмережними маршрутизаторами створюють високошвидкісну мережу, передавання даних в якій здійснюється за допомогою організації віртуальних каналів. В цьому випадку для моделювання використовується замкнута стохастична мережа із зовнішніми джерелами (див. рисунок).



Модель замкнутої стохастичної мережі із зовнішніми джерелами

Будемо вважати, що перша абонентська система генерує пакети для другої абонентської системи відповідно до пуассонівського закону із середнім значенням інтенсивності  $\lambda_0$  (пакетів за секунду). Ці пакети передаються в маршрутизатор першої мережі, а потім через міжмережні комутатори - в комутатор другої локальної мережі. Міжмережні пакети на цьому визначеному логічному з'єднанні назовемо внутрішніми пакетами, а решту пакетів, які надходять на вхід міжмережних комутаторів - зовнішніми пакетами. Враховуючи значну кількість міжмережних комутаторів, для спрощення стохастичної мережі використаємо теорему Нортон про заміщення систем масового обслуговування.

Відомі моделі [1] не враховують окремі складові черг, тому неможливо проаналізувати погодження зовнішніх пакетів. Цього можна досягти таким чином. Множину станів внутрішніх пакетів, яка являє собою можливі розміщення з  $n$  по  $L$ , можна визначити як

$$\Omega(n, L) = \left\{ S \mid \sum_{i=1}^L n_i = n, n_i \geq 0, \forall i \right\},$$

де  $n_i$  - число внутрішніх пакетів  $i$ -ї черги. Нехай  $m_i$  - число зовнішніх пакетів  $i$ -ї черги;  $X_i$  - відносне використання внутрішніми пакетами  $i$ -ї черги, яке є константою, пропорційною  $1/\mu_i$ ;  $\rho_i = \lambda_{2i}/\mu_2$  - абсолютне використання черги зовнішніми пакетами  $i$  для  $i$  від одиниці до  $L$ .

Тоді отримаємо стаціонарний розподіл імовірності станів у вигляді:

$$P(S) = \frac{1}{G(n)} \prod_{i=1}^L \frac{(n_i + m_i)!}{n_i! m_i!} X_i^{n_i} r_i^{m_i} (1 - r_i).$$

Нормалізовану константу  $G(n)$  представимо у вигляді:

$$G(n) = \sum_{S \in \Omega(n)} \prod_{i=1}^L X_i^{n_i} / (1 - r_i),$$

де  $X_i/(1 - \rho_i)$  - ефективне відносне використання внутрішніх пакетів в черзі  $i$ .

З імовірності розподілу рівняння одержимо граничні ймовірності:

$$P(n_i = k) = \frac{X_i^k}{G(n)(1 - \rho_i)} (G(n - k) - X_i G(n - k - 1))$$

та

$$P(m_i = l) = \sum_{k=0}^n \frac{(k+l)!}{k! l!} \rho_i^l (1 - \rho_i)^{k+l} P(n_i = k).$$

---

Очікуване число внутрішніх пакетів визначається з виразу

$$\overline{(\gamma_1(n))!}$$

де

$$p_0 = \left[ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda^n}{(\gamma_1(n))!} \right]^{-1}$$

Із формули Літтла маємо очікувану повну затримку  $E(D) = E(n) / (\lambda(1-P_1))$ , де ймовірність втрат  $P_1$  дорівнює  $p_{N1}$ ,  $\lambda(1-P_1)$  - продуктивність системи. Ця величина враховує затримку в усіх маршрутизаторах між передавальною і приймальною системами, а також вплив зовнішніх потоків. Визначення її значення особливо важливо для мереж ретрансляції кадрів, оскільки у випадку перевантаження цієї мережі маршрутизатори починають виділяти з неї кадри даних. Це може призвести до спотворення інформації, яка передається, а при видаленні керуючого кадру можливий невідновлювальний збій в сеансі обміну інформацією.

#### Список літератури

1. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ/ Пер. с англ. - М. : Наука, 1992. 438 с.
2. *Debasis Mitra*. Asymptotically Optimal Design of Congestion Control for High Speed Data Networks// IEEE Transactions on communications. - Vol.40, №2, - February 1992.
3. *Hong-Ky Min*. Performence of end-to-end flow control in LAN/WAN interconnection// IEEE TRANSACTIONS on communications - Vol.17. - №5, - May 1994.

Стаття надійшла до редакції 14 березня 1998 року

**Абу-А'Ра Махмуд Малік (1970)** закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації у 1994. Аспірант кафедри обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Спеціалізується в галузі комп'ютерних мереж.

**Abu-A'Ra Mahmoud Malik** (b.1970), graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1994). Postgraduate of computer and networks department in National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnical Institute». Specializes in the field of computer networks.

**Андрій Юрійович Балашов (1964)** закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації у 1987 році. Кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Обчислювальні машини, системи та мережі» КМУЦА. Має 10 наукових публікацій. Спеціалізується в галузі комп'ютерних мереж.

**Andrey U. Balashov** (b.1964) graduated from Kiev Engineering Institute of Civil Aviation in 1987. PhD (Eng) head teacher of Computer systems and networks Department of Kyiv Institute of Civil Aviation. Author of 10 publications. Specializes in the field of computer networks.