

## **ЧАСОВА ПРОЗОРИСТЬ МЕРЕЖІ, ЯК ХАРАКТЕРИСТИКА, ЩО ВИЗНАЧАЄ ВИКОНАННЯ НЕОБХІДНОЇ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУ- ВАННЯ**

к.ф.-м.н О.О. Можасєв, к.т.н. О.Д. Анохіна, С.Ю. Гайдаров, С.Г. Семенов  
(подав д.ф.-м.н., проф. С.В. Смеляков)

*У статті розглянутий інженерний метод розрахунку показників тимчасової прозорості мережі, що дозволяє прогнозувати середнє значення і джиттер часу доставки, а також значення імовірності втрати осередків ізохронних служб.*

**Постановка проблеми.** Створення високоефективного телекомунікаційного середовища є найважливішою проблемою, без рішення якої утруднена побудова інформаційного суспільства і впровадження в різні сфери діяльності новітніх інформаційних технологій.

Розвиток сучасних мережних технологій привів до розробки нового способу транспортування інформації, що отримав найменування асинхронного режиму переносу (Asynchronous Transfer Mode – АТМ). Технологія АТМ надає операторам мереж наступні унікальні можливості [1]:

- забезпечує високу гнучкість і адаптивність мережі як до якості обслуговування, так і до появи нових служб, вимоги яких до семантичної і тимчасової прозорості мережі ще не визначені;
- підвищує ефективність використання мережних ресурсів;
- знижує витрати на проектування, будівництво й експлуатацію мережі, а також на розробку мережного обладнання, тому що створюється й експлуатується одна мережа замість безлічі вторинних.

**Аналіз літератури.** Опису різних аспектів АТМ-мереж присвячена значна кількість книг, оглядів, і спеціальних статей [2 – 4]. Але в цих роботах не приділяється увага як проблемі забезпечення якості обслуговування в мережах АТМ так і її різним складовим частинам, таким як семантична і часова прозорість мережі.

**Ціль статті.** Розглянути часову прозорість мережі, як характеристику, що визначає виконання необхідної якості обслуговування, а також показники що її характеризують та методи їх підвищення.

**Результати досліджень.** Під часовою прозорістю мережі розуміється її властивість забезпечувати значення часу затримки і джиттеру

затримки для виконання необхідної якості обслуговування.

Час затримки визначається різницею між часом  $t_0$  початку передачі осередку джерелом і часом  $t_1$  закінчення прийому цього ж осередку отримувачем (рис. 1). Джиттер – тремтіння (швидкі коливання) фази, що призводять до нерівномірності в часі моментів спрацювання пристроїв.

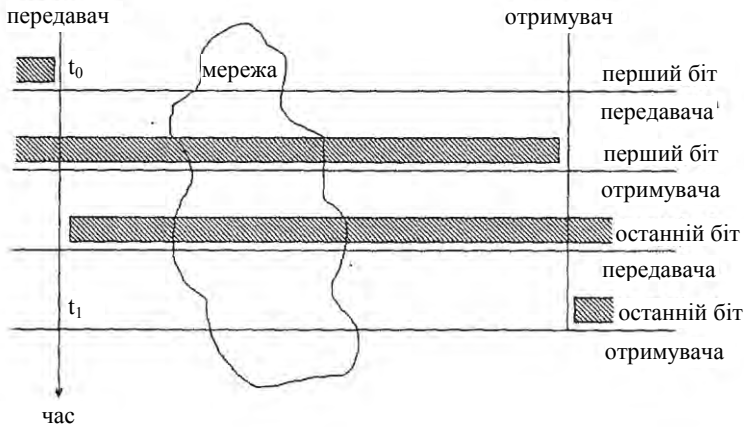


Рис. 1. Час затримки в мережі

Затримка може бути різною для кожного пакета і є випадковою величиною, числовими характеристиками якої є середній час затримки і дисперсія часу затримки.

Величина часу затримки є дуже важливою мережною характеристикою для служб реального масштабу часу, тобто для телефонії, відеотелефонії й організації розподілених обчислень.

Час затримки виражається таким чином [1]:

$$t_{\text{DATM}} = t_{\text{PD}} + \sum_{i=1}^M t_{\text{TD}_i} + \sum_{j=1}^N (t_{\text{FD}_j} + t_{\text{QD}_j}), \quad (1)$$

де  $M$  – кількість ланок у віртуальному з'єднанні;  $N$  – кількість вузлів комутації;  $t_{\text{PD}}$  – випадкова величина часу пакетизації;  $t_{\text{TD}_i}$  – випадкова величина часу поширення сигналу в  $i$ -й ланці;  $t_{\text{FD}_j}$  – випадкова величина часу обслуговування осередку в  $j$ -му комутаційному пристрої за умови відсутності черги.

У мережах АТМ процеси доставки й обробки осередків у різних комутаційних пристроях можна вважати практично незалежними, що дозволяє середнє значення і дисперсію часу затримки осередку між від-

правником і одержувачем виразити таким чином [1]:

$$T_{\text{DATM}} = T_{\text{PD}} + T_{\Sigma\text{TD}} + T_{\Sigma\text{FD}} + T_{\Sigma\text{QD}};$$

$$D[t_{\text{DATM}}] = D[t_{\text{PD}}] + D[t_{\Sigma\text{TD}}] + D[t_{\Sigma\text{FD}}] + D[t_{\Sigma\text{QD}}], \quad (2)$$

де  $T_{\Sigma\text{TD}} = \sum_{i=1}^M T_{\text{TD}i}$ ;  $T_{\Sigma\text{FD}} = \sum_{j=1}^N T_{\text{FD}j}$ ;  $T_{\Sigma\text{QD}} = \sum_{j=1}^N T_{\text{QD}j}$ ;

$$D[t_{\Sigma\text{TD}}] = \sum_{i=1}^M D[t_{\Sigma\text{TD}i}]; \quad D[t_{\Sigma\text{FD}}] = \sum_{j=1}^N D[t_{\Sigma\text{FD}j}]; \quad D[t_{\Sigma\text{QD}}] = \sum_{j=1}^N D[t_{\Sigma\text{QD}j}].$$

Затримки при пакетизації осередків, при поширенні сигналу і при обслуговуванні осередку в комутаційних пристроях для даного віртуального з'єднання практично постійні, отже:

$$D[t_{\Sigma\text{PD}}] = 0; \quad D[t_{\Sigma\text{TD}}] = 0; \quad D[t_{\Sigma\text{FD}}] = 0. \quad (3)$$

Вирази для дисперсії і середньоквадратичного відхилення часу затримки з урахуванням (1) можуть бути приведені до виду

$$D[t_{\text{DATM}}] = D[t_{\Sigma\text{QD}}],$$

тобто джиттер затримки визначається тільки чергами в комутаційних пристроях АТМ.

Для усунення джиттеру затримки для інтерактивних служб в устаткуванні АТМ здійснюється додаткова затримка осередків. Однак, якщо джиттер затримки деяких осередків перевершує встановлену величину, то такі осередки не встигнуть включитися в процес депакетизації і будуть загублені.

Вибір значення часу додаткової затримки осередків інтерактивних служб визначається двома суперечливими факторами:

- з одного боку, при великому значенні часу затримки при депакетизації надається можливим реалізувати малу імовірність втрат осередків за часом у процесі депакетизації;
- з іншого боку, при великому часі затримки при депакетизації важко реалізувати в мережі АТМ нормативні значення затримок осередків.

Дослідження, проведені в [3], показують, що в процесі депакетизації імовірність втрати осередків за часом повинна не перевищувати

$$P_{\text{DPLR}} = P(t_{\Sigma\text{QD}} > T_{\text{DD}}) = 10^{-10}.$$

Час затримки на депакетизацію при заданому значенні імовірності втрати осередку обчислюється за допомогою квантилю  $T_{\text{DD}}^{(P)}$  порядку  $1 - P_{\text{DPLR}}$  [1], при якому  $P(t_{\Sigma\text{QD}} \leq T_{\text{DD}}^{(P)}) = W(T_{\text{DD}}^{(P)}) = 1 - P_{\text{DPLR}}$ .

У цьому випадку тимчасову прозорість мережі АТМ для інтерак-

тивних служб можна характеризувати часом затримки, при якому імовірність втрати осередку за часом не перевершує припустимого (нормативного) значення

$$T_{\text{DATM}}^{(P)} = T_{\text{PD}} + T_{\Sigma\text{TD}} + T_{\Sigma\text{FD}} + T_{\Sigma\text{DD}}^{(P)},$$

де  $T_{\text{DD}}^{(P)}$  – квантиль порядку  $1 - P_{\text{DPLR}}$ .

При цьому повинна виконуватися ще одна умова:  $T_{\text{DATM}}^{(P)} \leq T_{\text{D}}^{(H)}$ , тобто затримка в мережі не повинна перевищувати нормативного значення.

Однією з основних проблем, яку необхідно вирішувати при створенні термінального устаткування мереж АТМ, є усунення джиттеру затримки при транспортуванні осередків інформації користувача ізохронних служб.

У загальному випадку величина джиттеру затримки пакетів АТМ є функцією:

- швидкості обслуговування пакетів АТМ комутаційними пристроями;
- кількості комутаційних пристроїв у віртуальному з'єднанні між користувачами;
- припустимої величини імовірності втрати осередків при депакетизації.

На сьогодні між мережними вузлами використовуються в основному швидкості 155 Мбіт/с, 622 Мбіт/с і 2,5 Гбіт/с. Рекомендацією I.211 МСЭ на ділянці "користувач-мережа" на початку були визначені тільки два типи широкополосних інтерфейсів для підтримки високошвидкісних і низькошвидкісних служб:

- симетричний інтерфейс зі швидкістю 155 Мбіт/с;
- асиметричний інтерфейс, що забезпечує швидкість 622 Мбіт/с у напрямку "мережа-користувач" і 155 Мбіт/с у зворотному напрямку.

Чисельні дослідження величини додаткової тимчасової затримки осередків для усунення впливу джиттеру проведемо для цифрових потоків зі швидкістю 2; 150 і 600 Мбіт/с.

Розрахунки величин середнього значення і середньоквадратичного відхилення часу затримки осередків через чекання осередку в черзі за умови, що процес комутації інтерпретується системою масового обслуговування типу M/D/1, проведені з використанням співвідношень:

$$T_{\text{QD}} = \frac{rT_{\text{h}}}{2(1-r)}; \quad (4)$$

$$\sigma[t_{\text{QD}}] = \frac{T_{\text{h}}}{(1-r)} \sqrt{r/3 - r^2/12}, \quad (5)$$

де  $T_h = (H+I)/R$ ;  $H$  – довжина заголовка осередку;  $I$  – довжина інформаційного поля;  $R$  – швидкість обробки.

Для оцінки впливу перевантажень у мережах АТМ розрахунки проведені для двох значень питомого навантаження цифрових трактів зв'язку між комутаторами АТМ:  $r = 0,8$  і  $r = 0,9$ . При проведенні чисельних досліджень покладалося, що процеси в мережі АТМ незалежні:

$$T_{\Sigma QD} = \sum_{j=1}^M T_{QDj}; \quad D[t_{\Sigma QD}] = \sum_{j=1}^M \{\sigma[t_{\Sigma QD}]\}^2; \quad \sigma[t_{\Sigma QD}] = \sqrt{D[t_{\Sigma QD}]},$$

а додатковий час затримки, на який необхідно затримати осередок перед процесом депакетизації з метою усунення впливу джиттеру, визначається співвідношенням  $T_{DD} = T_{\Sigma QD} + u[t_{\Sigma QD}]$ , де параметр  $u$  може бути знайдений у залежності від значення припустимої імовірності втрати осередків при депакетизації згідно з даними, наведеними у табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок параметру  $u$

$P(t_{\Sigma QD} > T_{DD})$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-10}$
$u$	3,719	4,753	5,612	6,631

Результати розрахунків додаткового часу затримки для усунення впливу джиттеру в залежності від кількості вузлів комутації  $M$  у віртуальному з'єднанні, завантаження цифрових трактів  $r$ , швидкості  $R$  і імовірності втрати осередків при депакетизації  $P_{PLR}$ , наведені в табл. 2.

Отримані значення статистичних характеристик часу затримки свідчать, що низькошвидкісні комутатори АТМ можуть використовуватися, в основному, у мережах доступу в якості місцевого комутаційного центру при обов'язковій організації керування потоками для виключення перевантажень.

Необхідно відзначити, що при навантаженні, що перевищує 80%, відбувається різке збільшення як середнього значення, так і середньоквадратичного відхилення часу затримки осередку. Якщо при навантаженні, що складає 80%, середнє значення часу перебування осередку в черзі складає два цикли обслуговування, то при 90% навантаження воно збільшується до 9. У свою чергу середньоквадратичне відхилення часу затримки збільшується з 2,31 циклу обслуговування до 4,89 циклу відповідно.

Таким чином, застосування в мережі АТМ відносно низькошвидкісних комутаційних пристроїв дозволяє вирішити проблему підключення до мережі АТМ більшої кількості відносно низько- і середньошвидкіс-

них абонентів, але досягнення тимчасової прозорості мережі обмежує їхнє використання мережами доступу.

Таблиця 2

Результати розрахунків

В вузлів М	Середній час затримки в чергах $T_{\Sigma QD}$ , мкс		СКО часу затримки в чергах $\sigma[t_{QD}]$ , мкс		Необхідний додатковий час затримки для усунення джиттера не більш, мкс			
					$P_{PLR} = 10^{-10}$		$P_{PLR} = 10^{-6}$	
	$\gamma = 0,8$	$\gamma = 0,9$	$\gamma = 0,8$	$\gamma = 0,9$	$\gamma = 0,8$	$\gamma = 0,9$	$\gamma = 0,8$	$\gamma = 0,9$
R = 2 Мбит/с								
2	848	3816	693	1460	5445	13538	4737	12010
6	2544	11448	1200	2539	10501	28287	9278	25697
10	4240	19080	1549,5	3278	14515	40818	12936	37476
R = 150 Мбит/с								
2	11,32	50,94	9,25	19,57	72,7	180,7	63,2	168,8
6	33,96	152,85	16,02	33,90	140,2	377,6	123,9	343,1
10	56,60	254,70	20,70	43,77	193,9	544,9	172,8	503,0
R = 600 Мбит/с								
2	2,828	12,72	2,31	4,89	18,15	45,15	15,79	40,16
6	8,484	38,16	4,00	8,47	35,01	94,32	30,93	85,69
10	14,140	63,60	5,17	10,94	48,42	136,14	43,15	125,00

При розрахунках використовувалася одноканальна система масового обслуговування з пуассоновським потоком на вході, постійним часом обслуговування і нескінченною ємністю буферного пристрою. Дана модель досить добре апроксимує потік осередків від великої кількості джерел. Однак на практиці комутаційне обладнання має завжди обмежену ємність буферного пристрою, а навантаження надходить пачками. У цьому випадку імовірність переповнення буферного пристрою, а, отже, імовірність втрати осередку з досить високим ступенем точності може бути визначена за формулою

$$P_{PLR} \gg \gamma N_{буф} / N_B + 1,$$

де  $N_{буф}$  – розмір буферного пристрою;  $N_B$  – кількість осередків у пачці;  $\gamma$  – питома навантаження.

У ряді випадків необхідно вирішувати зворотну задачу, тобто визначати ємність буферного пристрою в залежності від припустимої величини імовірності втрати осередків через його переповнення. Ємність буфера обчислюється за формулою

$$N_{\text{буф}} = N_{\text{в}} \log P_{\text{PLR}} / \log r.$$

Варто мати на увазі, що при зменшенні імовірності втрати осередків через переповнення буфера комутаційного пристрою збільшується час затримки і джиттер.

**Висновки.** Інженерний метод розрахунку показників часової прозорості мережі, розглянутий у статті, дозволяє прогнозувати середнє значення і джиттер часу доставки, а також значення імовірності втрати осередків ізохронних служб.

Проведені чисельні дослідження показників часової прозорості мережі показують, що низькошвидкісне комутаційне устаткування в мережах АТМ може використовуватися тільки як устаткування доступу в мережу, виконуючи функції мережних адаптерів для нині існуючого аналогового або вузькополосного цифрового кінцевого обладнання або з метою початкового мультиплексування потоків АТМ користувачів низькошвидкісних служб.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Назаров А.Н. *Моделі і методи розрахунку структурно-мережних параметрів АТМ-мереж.* – М.: Гаряча лінія – Телеком, 2002. – 256 с.
2. Назаров А.Н., Симонов М.В. *АТМ: Технологія високошвидкісних мереж.* – М.: Еко-Трендз, 1997. – 232 с.
3. Богданов В.Н., Вихлянець П.С., Симонов М.В. *Захист від помилок у мережах АТМ // Інформост.* – 2002. – № 3 (21). – С. 20 – 24.
4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. *Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи.* – 2-і видання ЗАТ Видавничий будинок «Пітер», 2004. – 863 с.
5. Вентцель Е.С. *Теорія імовірності.* – М.: Наука, 1968. – 426 с.
6. Martin de Prycker. *Asynchronous Transfer Mode: Solution for Broadband ISDN.* – New York, London: Ellis Horwood, 1993. – 331 p.

Надійшла 1.10.2004

**МОЖАЄВ Олександр Олександрович**, канд. фіз-мат. наук, ст. наук. спів., пров. наук. співр. Харківського університету Повітряних Сил. Область наукових інтересів – нелінійна взаємодія радіохвиль у різних середовищах, керування процесами в інформаційних системах.

**АНОХІНА Ольга Дмитрівна**, канд. техн. наук, доцент кафедри математики ХІЕУ. У 1981 році закінчила ММФ ХДУ. Область наукових інтересів – нелінійна взаємодія радіохвиль у різних середовищах, керування процесами в інформаційних системах.

**ГАЙДАРОВ Сергій Юрійович**, старший науковий співробітник Харківського університету Повітряних Сил. У 1980 році закінчив Харківське ВВКІУ. Область наукових інтересів – керування процесами в інформаційних системах.

**СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович**, заступник начальника інформаційно-обчислювального центру Харківського університету Повітряних Сил. У 1994 році закінчив ХВУ.

*Область наукових інтересів – оптимізація обчислювальних мереж.*