

УДК 681.324:621.325

МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ТРАФІКОМ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ

Д.т.н. О.О. Можсаєв, В.В. Казімірова, М.О. Можсаєв, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Проведено аналіз властивостей фрактального телекомунікаційного трафіку. Розглянуті нові методи керування трафіком в мультисервісних мережах, запропонована модель пріоритетного управління в каналі зв'язку мультисервісної мережі.

Проведен анализ свойств фрактального телекоммуникационного трафика. Рассмотрены новые методы управления трафиком в мультисервисных сетях, предложена модель приоритетного управления в канале связи мультисервисной сети.

The analysis of fractal properties of telecommunication traffic. Consider new methods of traffic control in multiservice networks, the proposed model of priority control in multi-channel communication network.

Ключові слова: фрактальність, самоподібність, пакети даних, мультисервісні мережі.

1. Введення.

У результаті численних досліджень трафіку сучасних телекомунікаційних мереж встановлено, що трафік досить часто характеризується властивістю самоподібності або присутності довготривалої залежності (ДВЗ) [1 - 5], що передбачає наявність періодів високої активності мережевих джерел трафіку і періодів бездіяльності в широкому діапазоні часових масштабів. Крім того, особливостями сучасного трафіку є наявність післядії і масштабна інваріантність статистичних характеристик [1, 4 - 8]. Такий характер трафіку призводить до того, що фіксована пропускна здатність каналу зв'язку приводить або до нерационального використання каналу, або до великих затримок і навіть до втрат переданої інформації, що призводить до падіння продуктивності протоколу TCP і з'єднання в цілому.

У той же час, наявність ДВЗ в трафіку робить можливим дослідження і застосування принципово нових

методів, що дозволяють підвищити ефективність роботи протоколу TCP.

Досі неіснуючі моделі та реалізації протоколу TCP не враховують багаторівневі, ієрархічні процеси, що протікають в сучасних телекомунікаційних мережах. Ієрархія протоколів може бути можливою причиною мультифрактального [9]. Таким чином, завдання створення та дослідження моделі протоколу TCP, що враховує сучасні характеристики телекомунікаційного трафіку, є актуальною.

Метою даної статті є побудова моделі протоколу TCP, що використовує можливість прогнозування в реальному часі поведінки фрактального телекомунікаційного трафіку мережі у своєму механізмі управління перевантаженнями.

2. Результати теоретичних досліджень

В даний час існуючі та перспективні телекомунікаційні мережі будуються на основі повної інтеграції всіх мережевих ресурсів. Важливою особливістю таких мереж є повністю уніфіковане представлення інформаційних повідомлень, створюване різними різнорідними джерелами інформації. Уніфіковане представлення різнорідної інформації дозволить забезпечити при побудові системи передачі і розподілу інформації гранично високу швидкість інформаційної та апаратної інтегрованості. Для аналізу такої складної багаторівневої ієрархічної системи, якою в даний час є мультисервісна телекомунікаційна мережа, необхідно провести її моделювання на основі лінеарізуємої системи масового обслуговування (СМО).

В якості об'єктів дослідження можна запропонувати наступні моделі телекомунікаційної мережі, наприклад, модель мережі з довільною топологією, модель мережі з наявністю декількох (рис. 1) або одним (рис. 2) вузьким місцем.

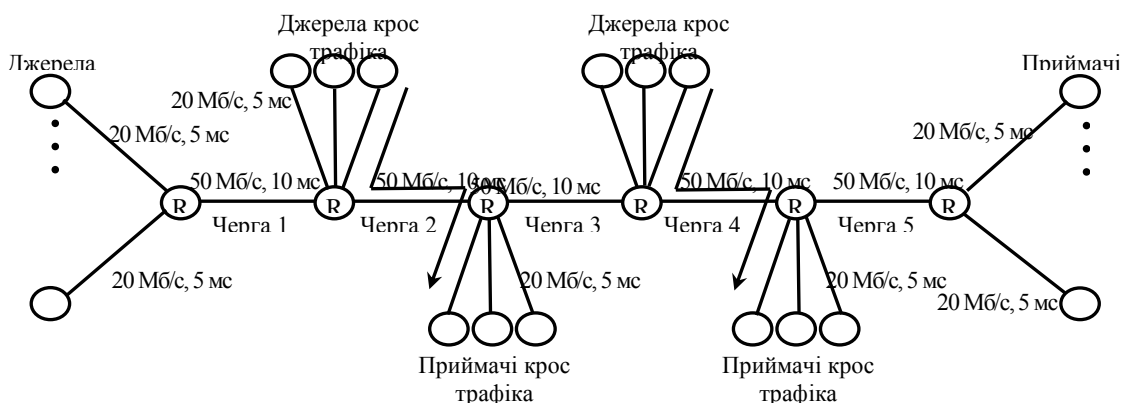


Рис. 1: Топологія моделювання з множинними вузькими місцями

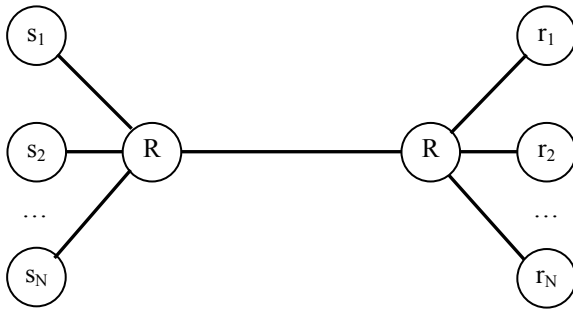


Рис. 2. Топологія моделювання з одним вузьким місцем

На рис. 1 та рис 2 введено такі позначення: s_1, s_2, \dots, s_N – відправники трафіка (джерела); r_1, r_2, \dots, r_N – приймачі (одержувачі трафіку); R – маршрутизатори каналу, що є вузьким місцем топологічної структури.

На початковому етапі аналізу скористаємося самою простою моделлю мультисервісної мережі - моделлю з одним вузьким місцем. Для даної топології моделі мережі притаманні всі характерні особливості телекомунікаційного трафіку інтегрованої мережі з комутацією пакетів, в тому числі його самоподібність і масштабна інваріантність

Ефективність функціонування обчислювальних мереж, значною мірою, визначається тимчасовими затримками при передачі даних між користувачами мережі. Мінімізація затримок в мережах з однорідним трафіком забезпечується на етапі проектування з використанням математичних моделей масового обслуговування з однорідним потоком заявок[1]. В даний час все більшого поширення набувають мультисервісні мережі, характерною особливістю яких є неоднорідність трафіку [2, 3]. Неоднорідність трафіку полягає в передачі по телекомунікаційній мережі пакетів декількох типів (відео– і аудіопакетів, мовних пакетів, текстових пакетів, тощо), до яких пред'являються різні вимоги [4]. Ці вимоги формуються у вигляді обмежень на час доставки пакетів різних типів, при цьому обмеження можуть бути двох видів:

1) імовірнісні у вигляді допустимої вірогідності γ перевищення заданого обмеження τ на час затримки τ пакетів в телекомунікаційній мережі:

$$\overline{\tau} > \tau \quad \gamma$$

2) середні у вигляді обмеження τ на середній час $\overline{\tau}_i$ затримки: $\overline{\tau}_i < \tau$ ($i = \overline{1, n}$), де n – кількість типів пакетів в мережі.

Вказані обмеження можуть бути виконані за рахунок застосування спеціальних методів управління трафіком, що дозволяють ефективно розподілити

пропускну спроможність каналу зв'язку між пакетами різних типів, зокрема, за рахунок оптимального розподілу пріоритетів. При цьому актуальним стає завдання оцінки ефекту від введення пріоритетів, що надаються пакетам, критичним до затримок в телекомунікаційній мережі. Рішення цієї задачі вимагає використання моделей з неоднорідним потоком заявок, що дозволяють виконати аналіз властивостей пріоритетних систем передачі даних і сформулювати рекомендації для проектування пріоритетних мереж, зокрема, оцінити необхідну пропускну спроможність каналів зв'язку.

Пріоритизація має сенс, коли маршрутизатори або комутатори здатні розрізняти різні типи трафіку. Для вказівки пріоритету пакету може використовуватися спеціальний байт "тип сервісу"(Type of Service - ToS). У IPv4 три перших біта(0-2) поля ToS дозволяють встановлювати вісім рівнів пріоритету [4]:

- 111 — управління мережею (Network Control);
- 110 — міжмережеве управління (Internetwork Control);
- 101 — CRITIC/ECP;
- 100 — надстроковий (Flash Overrider)
- 011 — терміновий (Flash);
- 010 — невідкладний (Immediate);
- 001 — пріоритетний (Priority);
- 000 — звичайний (Routine).

Для оцінки ефективності пріоритетних методів управління трафіком в мультисервісних мережах в якості базової моделі каналу зв'язку будемо використовувати систему масового обслуговування з неоднорідним потоком пакетів n типів, що поступають в канал зв'язку з інтенсивностями $\lambda_1, \dots, \lambda_n$. Позначимо: V – пропускну спроможність каналу зв'язку, L_i – середня довжина пакету i -того типу. Для випадку, коли пакети одного класу мають однакову довжину, а потоки пакетів є простими, середня затримка пакету i -того типу при використанні методу управління трафіком на основі відносних пріоритетів визначається по формулі

$$\tau_i = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j L_j^2}{(V - \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j L_j)(\sum_{j=1}^i \lambda_j L_j)} + \frac{L_i}{V} \quad (i = \overline{1, n}). \quad (1)$$

В табл. 1 представлені результати розрахунку тимчасових затримок пакетів в каналі зв'язку для чотирьох рівнів пріоритетів і двох способів призначення пріоритетів при використанні каналів зв'язку з різними пропусковими здібностями.

Результати розрахунку тимчасових затримок пакетів

V_{KC} (Кбіт/с)		128		192		128		192	
Код пріоритету	λ_i (с ⁻¹)	L (байтів)	τ (мс)		λ_i (с ⁻¹)	L (байтів)	τ (мс)		
011	20	100	60,7	27,3	2	1500	152,4	86,7	
010	10	500	128,1	53,4	5	1000	179,8	77,9	
001	5	1000	401,4	101,4	10	500	539,6	90,1	
000	2	1500	3143,7	175,5	20	100	4072,9	127,4	
Завантаження КЗ			0,9375	0,625			0,9375	0,625	

Аналіз представлених результатів дозволяє сформулювати наступні висновки.

1. Для забезпечення мінімальної затримки пакетів усіх типів пріоритет необхідно надавати коротким пакетам.

2. При великому завантаженні каналу зв'язку низькопріоритетні пакети мають практично неприпустимі затримки, що перевищують для мовних пакетів обмеження 150–300 мс [4].

3. При збільшенні пропускної спроможності каналу зв'язку в 1,5 рази (з 128 до 192 Кбіт/с) затримки для високопріоритетних пакетів зменшилися більш ніж в два рази, а низькопріоритетних - більш ніж на порядок.

Одним з важливих завдань, що вирішуються на етапі проектування корпоративної обчислювальної мережі, є визначення вимог до пропускних здібностей каналів зв'язку. Очевидно, що ці вимоги істотно залежать від навантаження, що створюється пакетами даних, які передаються, і обмежень, що накладаються на величину затримки високопріоритетних пакетів, до яких відносяться, наприклад, мовні пакети.

Розглянемо випадок, коли обмеження задані на середній час затримки мовних пакетів, що мають найвищий(перший) пріоритет, у виді: $\tau_1 < \tau_1$. Допустимо, що розміри пакетів усіх типів однакові ($L_i = L$ для всіх $i = 1, n$), а доля мовних пакетів в загальному навантаженні складає k ($0 \leq k \leq 1$), тобто $\lambda_1 = k\Lambda$. Тоді, вирішуючи квадратну нерівність $\tau_1 < \tau_1$ з урахуванням (1), отримаємо, що пропускна спроможність каналу зв'язку повинна вибиратися з умови

$$V > \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{\tau_1^*} + k\Lambda + \left[\left(k\Lambda - \frac{1}{\tau_1^*} \right)^2 + \frac{4\Lambda}{\tau_1^*} \right]^{\frac{1}{2}} \right\}. \quad (2)$$

Виразення в правій частині нерівності (2) є нижньою межею пропускної здатності V_k каналу зв'язку, яка вимагається для передачі мовних пакетів із заданою якістю в мережі з пріоритетним управлінням.

В процесі проектування корпоративної мережі, зазвичай, досить складно задати долю k мовних пакетів в загальному навантаженні. В той же час, ця доля протягом доби може змінюватися в значних межах. У зв'язку з цим пропонується оцінювати необхідну пропускну спроможність для усього діапазону зміни k . Для цього розглянемо граничні випадки, коли $k \rightarrow 0$ та $k \rightarrow 1$. Тоді з (2) отримаємо нижню і верхню межу пропускної спроможності каналу зв'язку :

$$V_{\min} = \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{\tau_1^*} + \left[\frac{1}{\tau_1^{*2}} + \frac{4\Lambda}{\tau_1^*} \right]^{\frac{1}{2}} \right\};$$

$$V_{\max} = L \left(\frac{1}{\tau_1^*} + \Lambda \right).$$

Можна показати, що останнє вираження для V_{\max} відповідає необхідній пропускній спроможності при безпріоритетному управлінні трафіком у вузлах мережі. Тоді ефект від введення пріоритетного управління складе $\delta = (V_{\max} - V_k) / V_k$.

У таблиці. 2 представлені результати розрахунку пропускної спроможності каналу зв'язку при різних значеннях параметрів навантаження і обмежень на затримку пакетів. Для якісної передачі мовного трафіку допустима затримка складає $\tau_1^* = 150 - 300$ мс. Якщо для передачі мовного трафіку задіяно N послідовних каналів зв'язку, то, очевидно, що затримка в кожному каналі не повинна перевищувати τ_1^* / N .

Результати розрахунку пропускної спроможності каналу зв'язку

Дод. затримка * τ_1 , мс.	Інтенсивність Λ , с ⁻¹	Доля речових пакетів, k	Пропускні здатності			Ефект δ , %
			V_k , кбіт/с	V_{\min} , кбіт/с	V_{\max} , кбіт/с	
150	10	0,1	6,4	6,2	8,5	32,8
	30	0,3	11,3	9,2	18,8	66,4
	50	0,1	12,4	11,2	29,0	133,9
		0,3	15,2	11,2	29,0	90,8
		0,5	18,6	11,2	29,0	55,9
300		0,99	28,8	11,2	29,0	0,7
	10	0,1	4,1	3,9	6,8	65,9
	20	0,2	6,0	5,1	12,0	100,0
	30	0,3	8,5	6,0	17,1	101,2
	40	0,5	13,3	6,8	22,2	66,9
	50	0,99	27,1	7,5	27,3	0,7

Довжина пакетів $L=64$ байти**3. Висновки.**

Аналіз отриманих результатів показує, що введення пріоритетного управління трафіком дозволяє понизити вимоги до пропускних здібностей каналів зв'язку, при цьому:

- зменшення допустимої затримки в α раз вимагає збільшення пропускної спроможності каналу менш ніж в α раз;

- зі збільшенням навантаження (інтенсивності Λ) збільшується ефект від введення пріоритетного управління трафіком;

- зі зменшенням долі k мовних пакетів в загальному навантаженні цей ефект збільшується.

Таким чином, запропонована модель пріоритетного управління в каналі зв'язку мультисервісної мережі дозволяє визначити пропускну спроможність каналу і оцінити ефект, що досягається за рахунок використання пріоритетного управління трафіком.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Клейнрок Л. Обчислювальні системи з чергами. М.: Мир, 1979.

2. Leland W., Taqqu M., Willinger W. On the self-similar nature of IP-traffic // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – 1997. – № 3. – P. 423-431.

3. Кульгін М. Технологія корпоративних мереж. СПб: Питер, 2000.

4. Кульгін М. Введення в систему управління трафіком // *LAN*. 1998. № 11.

5. Холл Э. Пріоритизація трафіку в мережах IP // *Мережі та системи зв'язку*. 1988. №11 (33).

6. Метод оптимізації структур даних у розподіленій мережі / О.О. Можєєв, Ю.П. Рондін, Н.Ю. Любченко, С.Ф. Кривчач // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 6 (46). – С. 114-118.

7. Можєєв О.О. Моделювання трафіку комп'ютерної мережі системи автоматичної ідентифікації суден / О.О. Можєєв // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – К.: ЦНДІ НіУ, 2012. – Вип. 3(23). – С. 180-183.

8. Stallings W. *ISDN and Broadband ISDN*. McMillan Publ. Co., N.-Y., 1992. – 633 p.

9. Можєєв О.О. Передача інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах: монографія / О.О. Можєєв. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – 220 с