

УДК 621.391.1:621.394.74-503.5

Торошанко Я. І. Державний університет телекомунікацій, Київ**Якимчук Н. М.** Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ РІЗНОРІДНОГО САМОПОДІБНОГО ТРАФІКУ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

Показано, що для усунення пачковості трафіку, викликаного самоподібністю вхідного потоку, необхідно керувати його параметрами, у першу чергу, періодом надходження пакетів. Завдяки цьому уповільнюється швидкість зростання черг у буферній пам'яті комутаційних вузлів і знижується ризик перевантаження окремих маршрутів та автономних мережних сегментів. Сформульовані основні напрямки подальших досліджень: отримання кількісних оцінок потрібних об'ємів буферної пам'яті і затримок обробки потоків трафіку у відповідності з часом життя пакетів.

Ключові слова: комп'ютерна мережа, самоподібний трафік, теорія масового обслуговування, багатоканальна система, формула Літтла, параметр Херста.

Toroshanko Ya. I. State University of Telecommunications, Kyiv**Yakymchuk N. M.** Lutsk National Technical University

ANALYSIS AND MODELLING OF HETEROGENEOUS SIMILAR TRAFFIC OF COMPUTER NETWORKS

The models of computer networks heterogeneous traffic with selfsimilar characteristics are analysed. For the removal of batch property traffic, that is caused by selfsimilarity of input stream, it is necessary to manage his parameters, in the first turn the period of receipt of packets. Due to it speed of growth of turns in buffer memory of switchboard knots is slowed. As a result, the risk of congestion of separate routes and autonomous network segments goes down. The main directions of subsequent researches are formulated: receipt of quantitative estimations of necessary volumes of annex memory and delays of treatment of traffic in accordance with times of packet life. The calculations results of basic technical and economical indicators of network for the different input traffic models are resulted. A comparative analysis is executed both for the Poissons and for the similar streams

Keywords: computer network, selfsimilar traffic, congestion, queueing system theory, multichannel system, Little formula, Herst parameter.

Торошанко Я. И. Государственный университет телекоммуникаций, Киев**Якимчук Н. Н.** Луцкий национальный технический университет

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗНОРОДНОГО САМОПОДОБНОГО ТРАФФИКА КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Показано, что для устранения пачковости траффика, вызванного самоподобием входного потока, необходимо управлять его параметрами, в первую очередь, периодом поступления пакетов. Благодаря этому замедляется скорость роста очередей в буферной памяти коммутационных узлов и снижается риск перегрузки отдельных маршрутов и автономных сетевых сегментов. Сформулированы основные направления последующих исследований: получение количественных оценок нужных объемов буферной памяти и задержек обработки потоков траффика в соответствии со временем жизни пакетов.

Ключевые слова: компьютерная сеть, самподобный траффик, теория массового обслуживания, многоканальная система, формула Литтла, параметр Херста.

© Торошанко Я. І., Якимчук Н. М., 2017

Вступ. Постановка задачі

Процеси функціонування мереж і систем зв'язку можна представити деякою сукупністю систем масового обслуговування (СМО), для яких визначаються характеристики якості обслуговування QoS [1]. Пропускна здатність СМО тісно пов'язана з оцінкою показників якості обслуговування трафіку, що вимагає врахування багатьох факторів для побудови адекватних, науково обгрунтованих методів їх розрахунку. Методи оцінки характеристик якості обслуговування базуються на математичних моделях. У математичних моделях теорії телетрафіка враховуються вид вхідного потоку, схема системи і дисципліна обслуговування [1, 2].

Виникає багато випадків, коли важливо прогнозувати вплив деякої зміни в конструкції та/або топології мережі: або очікується зріст навантаження на мережу, або планується модифікація чи розширення мережі.

Продуктивність мережі – системна характеристика. В інтерактивній системі або у системі реального часу одним з основних параметрів продуктивності є час реакції. Якщо є якась система з розподіленим середовищем, наприклад, телекомунікаційна чи комп'ютерна мережа, лінія високовольтної передачі, система з розподілом, то попит у послугах такої системи зазвичай збільшується в показовому степені.

Типовий приклад наведений на рис. 1 [3, 4]. Верхня лінія показує, як змінюється затримка відповіді t_B системи з розподілом ресурсів при збільшенні коефіцієнту використання k_B мережі (нагадаємо, що коефіцієнт використання мережі є відношення навантаження на мережу до пропускної спроможності мережі).

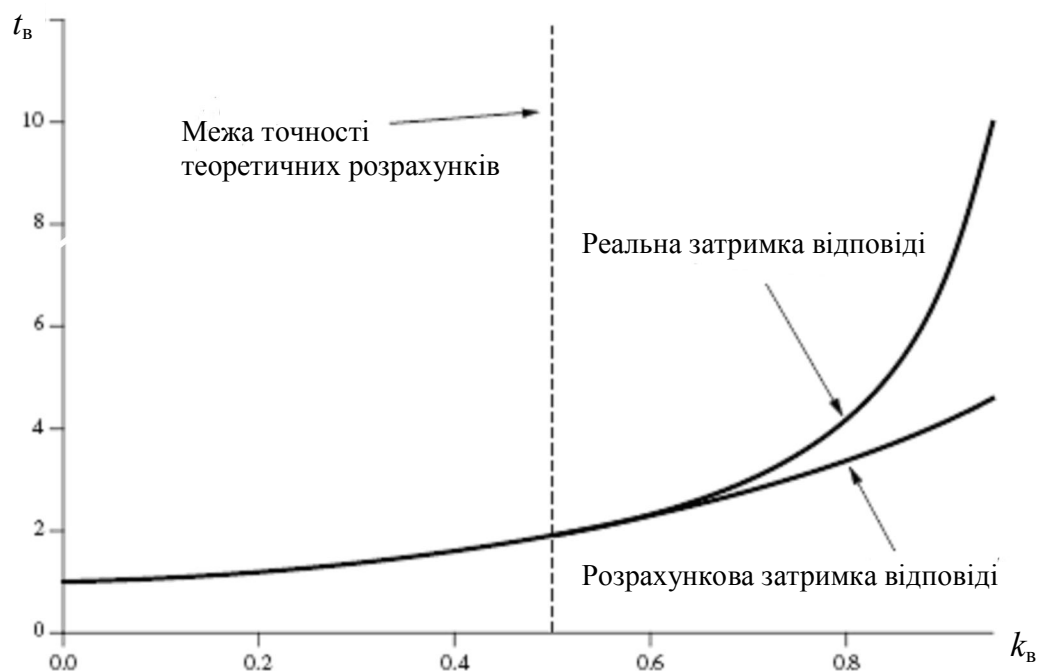


Рис. 1. Залежність затримки відповіді системи з розподілом ресурсів при збільшенні коефіцієнту використання мережі

Можна зробити висновок, що при простій екстраполяції реальна якість роботи системи не відповідає розрахунковій вже при $k_B \geq 0,6 \dots 0,7$, а при $k_B \geq 0,8 \dots 0,9$ мережа взагалі починає працювати “на себе”, передаючи втрачені пакети знову і знову [5].

Для комп'ютерів, операційних систем, мережних технологій, інших практичних задач аналітичні моделі, засновані на теорії масового обслуговування (ТМО), забезпечують прийнятну збіжність теорії та практики.

Точність результатів імітаційного моделювання в усіх випадках обмежена точністю вхідних даних. Крім того, навіть за наявності багатьох припущень, що вводяться при використанні ТМО, отримані результати бувають близькими до тих, які були б одержані б при більш детальному імітаційному моделюванні [6, 7]. До того ж, аналіз на основі ТМО може виконаний за коротший термін, ніж моделювання. Розглянемо застосування ТМО до аналізу телекомунікаційних та комп'ютерних мереж.

Моделі теорії масового обслуговування

Модель одноканальної СМО – найпростішої – зображено на рис. 2 [8]. Центральний елемент системи – сервер, який обслуговує деякі заявки. Ці заявки поступають в систему обслуговування. Якщо сервер вільний, заявка обслуговується негайно. Інакше заявка, що прибуває, стає в чергу. Коли сервер завершив обслуговування заявки, вона відбуває. Якщо є заявки, що чекають в черзі, одна з них негайно поступає на обслуговування до сервера. Сервер в цій моделі може виконувати деяку функцію обслуговування заявок. Приклади: процесор надає послугу процесам; лінія передачі даних надає послугу передачі пакетам або кадрам; пристрій вводу-виводу забезпечує читання або запис запитів.

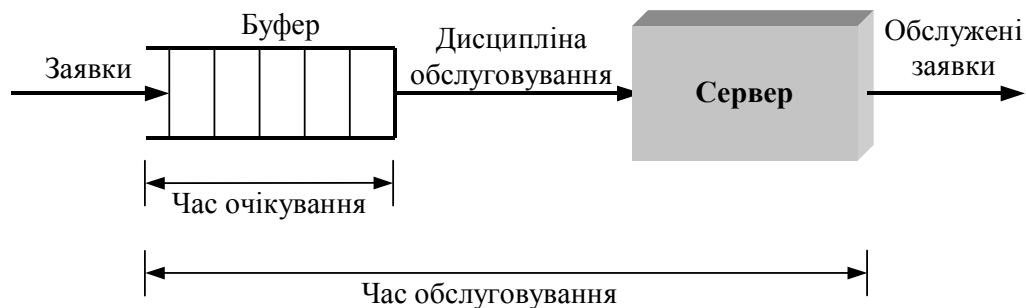


Рис. 2. Модель одноканальної СМО

Параметри потоку заявок, які пов'язані із моделями масового обслуговування, ілюструються на рис. 2. Заявки прибувають в буфер з деякою середньою інтенсивністю λ (число заявок у секунду). Заявки прибувають в буфер з деякою середньою інтенсивністю λ (число заявок у секунду). У будь-який даний час, в черзі буде знаходитись певна кількість заявок (нуль або більше); позначимо середнє число заявок у черзі через w , середнє число заявок, що обслуговуються – через ρ , а середній час очікування T_w . Цей час усереднюється по всім заявкам, що поступають на вхід, з урахуванням тих, які не чекають взагалі. Сервер обслуговує заявки, що поступають, з середнім часом обслуговування T_s . Це часовий інтервал між посилкою заявки до сервера і виходу обслуженої заявки з сервера. Інтенсивність обслуговування μ – це число обслужених заявок за одиницю часу. Загальне середнє число заявок, що знаходяться в системі, в тому числі заявка, що обслуговується (якщо вона є) і заявки, що очікують обслуговування (якщо вони є), означимо r і середній час, впродовж якого заявка знаходиться в системі (чекає своєї черги і обслуговується,) – T_r ; цей час розглядаємо як середній час загального знаходження заявки в системі (очікування плюс обслуговування).

Якщо ємність черги нескінченна, то заявки в системі ніколи не втрачаються; вони тільки затримуються впродовж часу очікування та обслуговування. При цих обставинах середнє число відправлених заявок дорівнює середньому числу прибуваючих заявок у одиницю часу. При збільшенні інтенсивності прибуття заявок на вхід системи час знаходження заявок в системі також збільшується, що призводить до заторів. Черга стає довшою, час очікування збільшується. При $\rho=1$, тобто $\lambda=\mu$, сервер насичується, працюючи 100% часу. Тому теоретична максимальна інтенсивність вхідного потоку пов'язана з середнім часом обслуговування T_s як $\lambda_{\max} = 1/T_s$.

Проте при насиченні системи, коли $\rho \rightarrow 1$, черга зростає до нескінченності. На практиці при обмеженому розмірі буферної пам'яті та наявності обмежень на затримку відповіді зазвичай обмежують інтенсивність вхідного потоку в одноканальній системі лімітом від 70% до 90% відносно теоретичного максимуму.

До подовження аналізу зробимо деякі припущення щодо цієї моделі.

Довжина потоку заявок. У першому наближенні приймається модель нескінченного потоку. Це означає, що середня частота появлення заявок не змінюється при їх втратах. Якщо довжина потоку обмежена, то обсяг заявок, які можна очікувати на вході системи, зменшується на число заявок, що зараз знаходяться в системі; це зазвичай приводить до пропорційного зменшення середньої частоти появлення заявок.

Розмір черги. Якщо приймається нескінченний розмір черги, час очікування може рости до нескінченності. За умов обмеженої черги деякі заявки в системі можуть втрачатися. На практиці, звичайно, будь-яка черга є обмеженою. У багатьох випадках це не приводить до суттєвої різниці в аналізі.

Дисципліна обслуговування. Коли сервер закінчує обслуговування поточної заявки, і, якщо в черзі є більш ніж одна заявка, повинно бути прийнято рішення щодо того, яку заявку обслуговувати далі. Найпростіша дисципліна обслуговування – так звана дисципліна *FIFO* (*First In – First Out*) – перший увійшов, перший вийшов; ця дисципліна – те, що зазвичай мається на увазі при використанні власно терміну "черга".

Інший вид дисципліни обслуговування – *LIFO* (*Last In – First Out*) останній зайшов – перший вийшов [9, 10].

У комп'ютерних та телекомунікаційних мережах можуть обирати й інші дисципліни обслуговування, наприклад:

– *Service in random order (SIRO)* або "перший зайшов – у випадковому порядку вийшов" (*FIRO*);

– найкоротші заявки обслуговуються першими – *Shortest processing time first (SPT)*;

– пріоритетне обслуговування заявок – *Service in according to priority (PRS)*.

На практиці вибирають дисципліну обслуговування з міркувань припустимого часу обслуговування. Наприклад, у вузлі з комутацією пакетів можна передбачити відправку спочатку найкоротших або навпаки, найдовших пакетів. Цей вибір визначається характером трафіку та вимогами до якості обслуговування.

Модель багатоканальної системи. На рис. 3 зображено узагальнену модель багатоканальної системи обслуговування з загальним буфером. Якщо заявка прибуває в момент, коли хоча б один сервер вільний, вона негайно відсилається до того сервера. Передбачається, що всі сервери ідентичні; тому, якщо доступний більш ніж один сервер, не має значення, який сервер вибраний для обслуговування. Якщо всі сервери зайняті, починає формуватися черга. Як тільки один сервер звільняється, заявка вибирається з черги, відповідно з діючою дисципліною обслуговування.

За винятком інтенсивності обслуговування ρ , всі параметри, використані при аналізі одноканальної системи, мають той же сенс. Якщо ми маємо N ідентичних серверів з однаковою інтенсивністю обслуговування кожним сервером, що дорівнює ρ , то можна вважати, що середня інтенсивність обслуговування системи в цілому дорівнює $N\rho$; цей останній термін часто співвідносять з інтенсивністю трафіку u , що чисельно дорівнює інтенсивності вхідного потоку заявок λ . Теоретичний максимум відносної інтенсивності обслуговування дорівнює $N \times 100\%$, а теоретичний максимум інтенсивності

вхідного потоку є $\lambda_{\max} = \frac{N}{T_s}$.

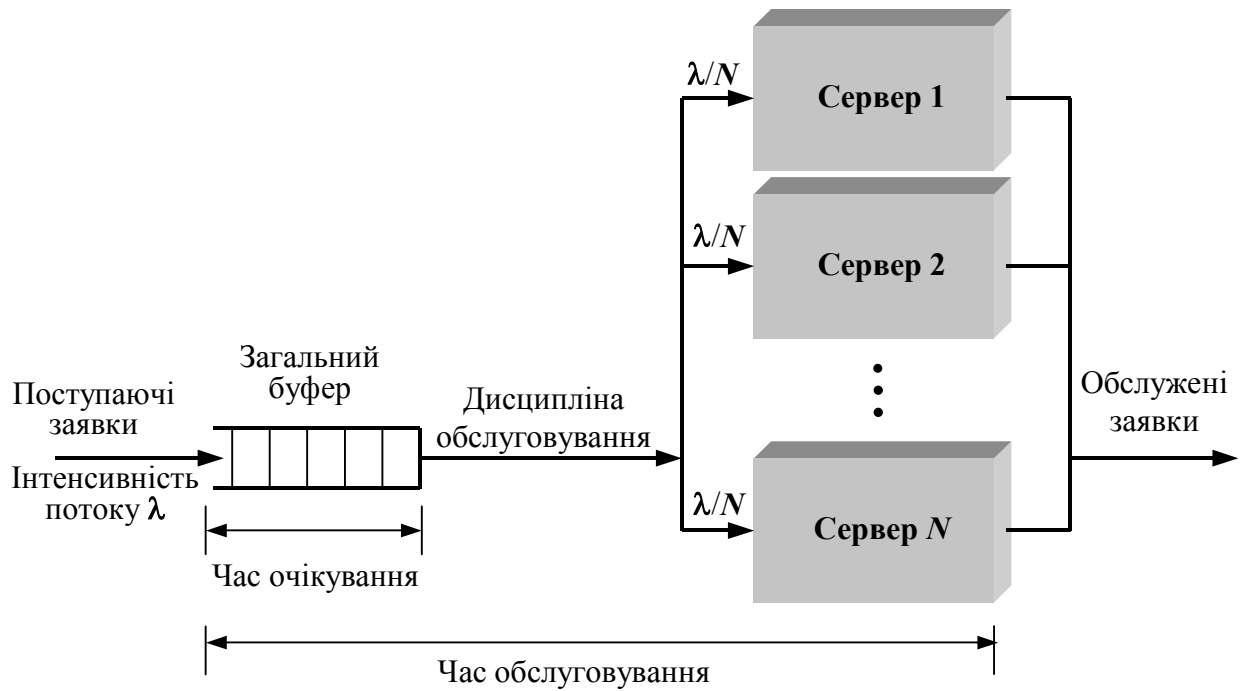


Рис. 3. Багатоканальна система обслуговування з загальною буферною пам'яттю (загальна черга з заданою дисципліною обслуговування)

На рис. 4 зображено багатоканальну систему з розділеною буферною пам'яттю, що можна трактувати як паралельну структуру з одноканальних систем обслуговування. Хоча зміни в структурі не є принциповими, робочі характеристики зображеної системи можуть відрізнятися від тих, що розглянуті раніше.

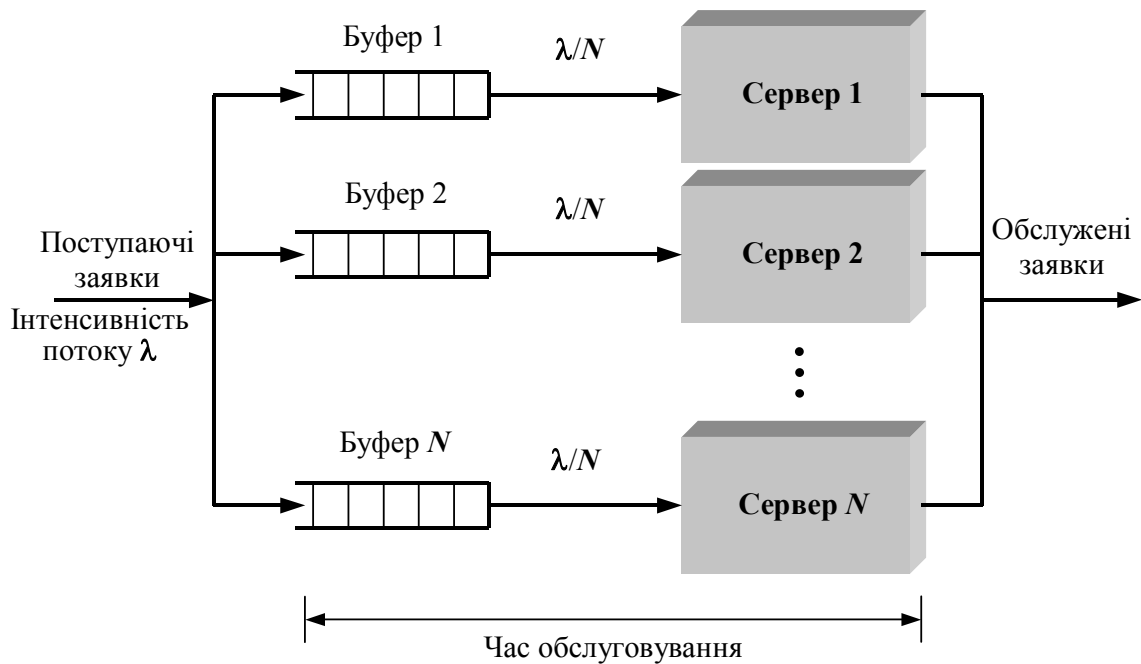


Рис. 4. Багатоканальна система обслуговування з роздільною буферною пам'яттю (індивідуальні черги з заданими дисциплінами обслуговування)

Ключові характеристики для черги з декількома обслуговуючими пристроями аналогічні характеристикам для одноканальної системи. Припускається нескінченний об'єм буферної пам'яті і нескінченний розмір черги, з розподілом черги між всіма обслуговуючими пристроями (серверами). Звичайно вважають, що реалізується дисципліна обслуговування в порядку надходження (*FIFO*). Для випадку багатоканальної системи обслуговування, якщо всі сервери передбачаються ідентичним, вибір специфічного сервера для чергової заявки не впливає на час обслуговування.

Основні співвідношення теорії масового обслуговування

Наведемо деякі співвідношення, справедливі для стаціонарних та ергодичних процесів приходу заявок на обслуговування. Ці співвідношення можуть бути корисні як асимптотичні наближення реальних процесів.

Для оцінювання середнього розміру черзі r за умов стаціонарності та ергодичності процесу приходу заявок використовуються формула Літла [6]:

$$\text{– для одноканальної системи обслуговування} \quad r = \lambda T_r, \quad r = w + \rho;$$

$$\text{– для } N\text{-канальної системи обслуговування} \quad \rho = \frac{\lambda T_r}{N}, \quad u = \lambda T_s = \rho N, \quad r = w + N\rho,$$

де $T_r = T_w + T_s$.

Відповідно можна через формули Літла зв'язати число ρ з інтенсивністю приходу заявок λ та часом знаходження заявки в системі T_s . Воно дорівнює $\rho = \lambda T_s$.

Таким чином, для аналізу СМО необхідно мати таку апіорну інформацію:

- інтенсивність вхідного потоку заявок;
- середній час обслуговування;
- число каналів обслуговування.

На основі даної інформації можна отримати асимптотичні оцінки середнього числа заявок у черзі, середній час очікування та загальний час знаходження заявки в системі.

Необхідно враховувати, що потоки заявок можуть бути розподілені не по закону Пуассона, а по іншим імовірнісним законам з так званими “важкими хвостами” [5]. Це розподіли Парето, Вейбулла, логарифмічно-нормальний розподіл, гамма-розподіл, бета-розподіл та деякі інші, менш популярні.

Наприклад, для розподілу Парето основні співвідношення мають наступний вид:

$$\text{– щільність імовірності} \quad f(x) = \frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha+1}, \text{ де } k \text{ і } \alpha (k, \alpha > 0) \text{ – параметри розподілу;}$$

$$\text{– функція імовірності:} \quad F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha} (x > k; \alpha > 0);$$

$$\text{– середнє значення} \quad E[X] = \frac{\alpha}{\alpha-1} k \quad (\alpha > 1).$$

Реальні випадкові процеси, звичайно, зберігають властивість самоподібності тільки до певної межі. Ця міра статистичної усталеності процесу при багаторазовому масштабуванні визначається так званим параметром Херста чи пов'язаним з ним параметром самоподібності. Випадковий процес $x(t)$ є статистично самоподібним з параметром Херста H ($0,5 \leq H \leq 1$), якщо для будь-якого $a > 0$ процес $\frac{x(at)}{a^H}$ має ті ж статистичні характеристики, що і сам процес $x(t)$:

$$\text{– математичне очікування} \quad M[x(t)] = \frac{M[x(at)]}{a^H};$$

- дисперсія $D[x(t)] = \frac{D[x(at)]}{a^{2H}}$;
- кореляційна функція $R(t, \tau) = \frac{R(at, a\tau)}{a^{2H}}$.

Чим більше H , тим довше зберігається властивість самоподібності при багаторазовому масштабуванні. При $H = 0,5$ ця властивість практично відсутня.

Кореляційні функції самоподібних процесів з великим параметром Херста загасають повільніше, ніж у звичайних випадкових процесів, причому спадання має, як правило, коливальний характер. Установлено, що спадання постійної складової кореляційної функції відбувається за законом

$$c_1 t^{-c_2 a},$$

де c_1, c_2 – константи, a – параметр масштабу.

Відповідно і спектральна щільність процесу теоретично прагне до нескінченності при частоті, що наближується до нуля.

Такі специфічні характеристики властиві не тільки трафіку даних (протоколи TCP, FTP), але і сигнальному трафіку (протокол SS7), VBR-відео, Ethernet/ISDN і деяких інших. Фізично вони обумовлені високим ступенем групування пакетів на клієнтських ділянках, у маршрутизаторах і вузлах комутації інфокомунікаційних мереж. Навіть якщо джерело породжує регулярний потік пакетів, дані до споживача доставляються серіями, що перемежуються інтервалами простою. Причинами цього є обмежена швидкість роботи мережних пристроїв, недостатній обсяг буферів і ін.

Крім того, самоподібний трафік має особливу структуру, що зберігається при багаторазовому масштабуванні - у реалізації, як правило, є присутнім деяка кількість викидів при відносно невеликому середньому рівні трафіку. Через такі сплески навантаження характеристики мережі також погіршуються: збільшуються втрати, затримки, джиттер пакетів при проходженні через вузли мережі.

Методи розрахунку вимог до мереж нових поколінь (пропускної здатності каналів, ємності буферів і ін.) засновані на марківських моделях і формулах Ерланга чи Літтла, що з успіхом використовувалися при проектуванні телефонних мереж, можуть давати невиправдано оптимістичні рішення і приводити до недооцінки навантаження.

При самоподібній природі трафіку залежність середньої тривалості черги (відповідно, необхідного розміру буфера) q від середнього коефіцієнта використання має наступний вид:

$$q = \frac{\rho^{1/2(1-H)}}{(1-\rho)^{H/(1-H)}}.$$

При $H=0,5$ ця формула спрощується: $q = \rho/(1-\rho)$, що представляє собою класичний результат СМО з найпростішим вхідним потоком і показниково розподіленим часом обслуговування ($M/M/1$). Для системи з детермінованим часом обслуговування ($M/D/1$) класичний результат виглядає в такий спосіб:

$$q = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}.$$

На рис. 5 наведено результати розрахунків залежності потрібної пам'яті буфера q_{buff} від коефіцієнта використання $\rho = \lambda/\mu$ для різних моделей вхідного трафіку. Розрахунки зроблено як для Пуассонівських потоків заявок $M/M/1$, $M/D/1$, так і для самоподібних потоків.

На графіках добре видно, що для самоподібного трафіку вже при $\rho \approx 0,4$ потрібен більший ресурс пам'яті буферних пристроїв, ніж для класичної моделі M/M/1, що вважається найменш сприятливою в порівнянні з іншими (наприклад, з постійним чи гаусівським розподілом часу обслуговування). Швидкість росту необхідного обсягу пам'яті росте при збільшенні параметра Херста, що обумовлено, в основному, ступенем групування однорідних пакетів і сплесками навантаження на мережу.

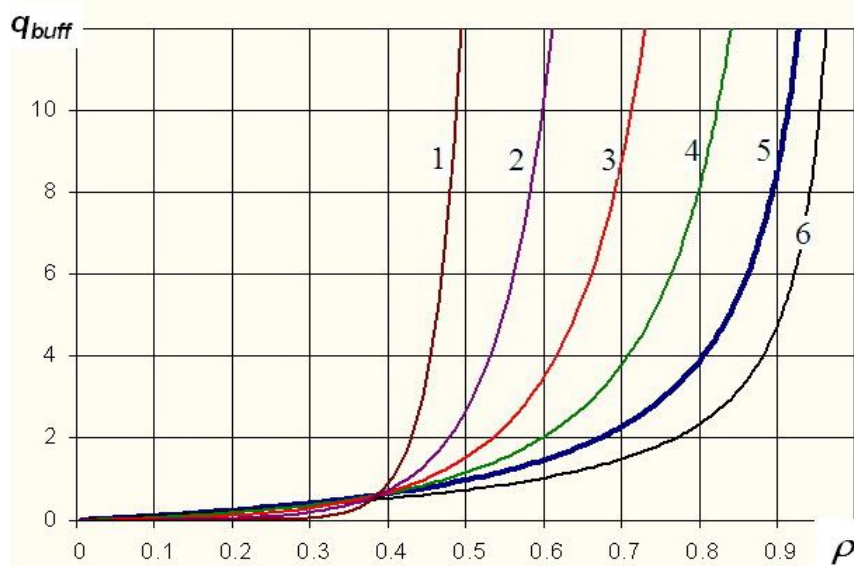


Рис. 5. Залежності потрібної пам'яті буфера від коефіцієнта використання ρ .
(1 – H=0,6; 2 – H=0,8; 3 – H=0,7; 4 – H=0,4; 5 – M/M/1; 6 – M/D/1)

Можна також зробити висновок, що просте нарощування буферної пам'яті (апаратним чи програмним способом) є малоефективним. При очікуваному збільшенні частки трафіку даних у загальному обсязі степінь самоподібності буде збільшуватися, і залежність $\rho(q_{buff})$ буде зростати все більш різко.

Для усунення або хоча б зниження шкідливого впливу самоподібності трафіку зазвичай використовують методи регулювання або формування вхідного потоку (policing – shaping). В ідеалі це призводить до детермінованого або близького до нього порядку надходження заявок. При детермінованому трафіку (детермінованому порядку поступаючих заявок та детермінованому часі обробки) графік зростання черги представляє собою лінійно-ламану лінію (рис. 6).

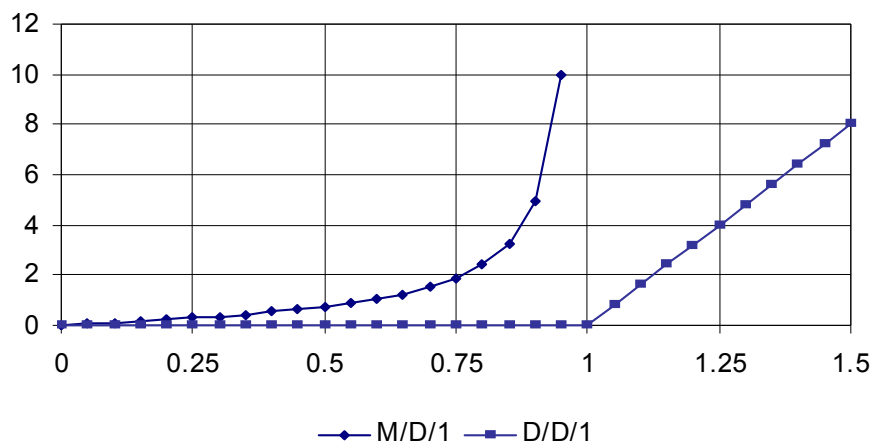


Рис. 6. Графік зростання черги при детермінованому трафіку

На практиці як трафік на виході формувача, так і час обробки пакетів є квазідетермінованими (позначимо їх QD). На рис. 7 зображені графіки для відповідних випадків.

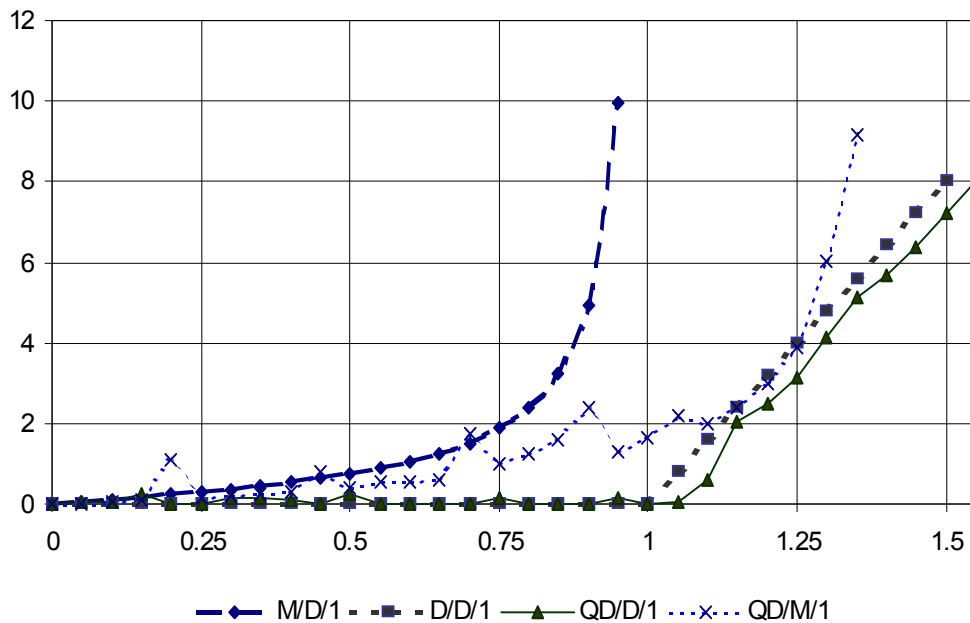


Рис. 7. Графік зростання черги при квазідетермінованому трафіку

Висновки

У даній роботі проаналізовані моделі різнорідного трафіку комп'ютерних мереж, який має самоподібні властивості. Для усунення пачковості трафіку, викликаного самоподібністю вхідного потоку, необхідно керувати його параметрами, у першу чергу, періодом надходження пакетів. Завдяки цьому уповільнюється швидкість зростання черг у буферній пам'яті комутаційних вузлів. Як наслідок, знижується ризик перевантаження окремих маршрутів та автономних мережних сегментів.

У подальших дослідженнях планується отримати кількісні оцінки потрібних об'ємів буферної пам'яті, затримок обробки потоків трафіку у порівнянні з наявним часом життя пакетів.

Список використаної літератури

1. Ложковский А. Г. Теория массового обслуживания в телекоммуникациях / А. Г. Ложковский. – Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 2012. – 112 с.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – Москва: Машиностроение, 1979. – 432 с.
3. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. – Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. - 538 pp
4. Столлингс В. Современные компьютерные сети / В. Столлингс. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 783 с.
5. Виноградов Н. А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений / Н. А. Виноградов // Зв'язок. – 2004. – №4. – С. 10-17.
6. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – Москва: Наука, 1987. – 336 с.
7. Leland W. E. On the self-similar nature of Ethernet traffic / W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, D. V. Wilson // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1994. – №2(1). –P. 1-15.

8. Lindley D. V. The theory of queues with a single server / D. V. Lindley // *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. – April 1952. – Vol. 48. – Issue 02. – P 277-289.
9. Цыбаков Б. С. Наилучшая и наихудшая передачи пакетов / Б. С. Цыбаков, П. Папантони-Казакос // *Проблемы передачи информации*. – 1996. – Т. 32. – Вып. 4. – С. 72-92.
10. Figueira N. R. Leave-in-time: A new service discipline for real-time communications in a packet-switching network / N. R. Figueira, J. Pasquale // *Proceedings of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication (ACM SIGCOMM '95)*. - Cambridge, MA, USA, September 1995. – P. 207-218.

References

1. Lozhkovskiy A. G. "Queueing systems theory in telecommunications." *Odessa: O.S. Popov ONAT* (2012): 112.
2. Kleinrock L. "Queueing systems theory." *Moskva: Mashinostroyeniye* (1979): 432.
3. Stallings W. "Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud." *Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey* (2016): 538.
4. Stallings W. "Modern computer networks. 2-d ed." *Sankt-Peterburg: Piter* (2003): 783.
5. Vinogradov N. A. "Analysis of potential descriptions of commutation devices of and management of the new generations networks." *Zviazok* 4 (2004): 10-17.
6. Gnedenko B. V., Kovalenko I. N. "Introduction in queueing systems theory." *Moskva: Nauka* (1987): 336.
7. Leland W. E., Taqqu M. S., Willinger W., Wilson D. V. "On the self-similar nature of Ethernet traffic." *IEEE/ACM Transactions on Networking* 2(1) (1994): 1-15.
8. Lindley D. V. "The theory of queues with a single server." *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* Vol. 48 Issue 02 (April 1952): 277-289.
9. Cybakov B. S., Papantoni-Kazakos P. "The best and the worst transmissions of packets." *Problemy peredachi informacii* 32(4) (1996): 72-92.
10. Figueira N. R., Pasquale J. "Leave-in-time: A new service discipline for real-time communications in a packet-switching network" *Proceedings of Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication (ACM SIGCOMM '95)*. - Cambridge, MA, US, (September 1995): 207-218.

Автори статті

Торошанко Ярослав Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Якимчук Наталія Миколаївна – асистент кафедри електроніки та телекомунікацій, Луцький національний технічний університет. Тел. +380 (99) 546 20 41. E-mail: selepyna@ukr.net

Authors of the article

Toroshanko Yaroslav Ivanovych – candidate of sciences (technical), professor of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Yakymchuk Natalia Mykolaivna – assistant of electronics and telecommunications department. Lutsk National Technical University. Tel. +380 (99) 546 20 41. E-mail: selepyna@ukr.net

Дата надходження
в редакцію: 9.09.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор М. А. Віноградов
Національний авіаційний університет, Київ,