

**АНАЛІЗ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ КОРИСТУВАЧІВ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ**

У статті проведено аналіз якості обслуговування користувачів телекомунікаційних мереж наступного покоління. Розглянуто модель системи масового обслуговування з пріоритетами. Визначено нормований час очікування IP-пакета в черзі на обслуговування мережевим пристроєм залежно від пріоритету і від інтенсивності вхідного потоку. Для пакетів кожного пріоритетного класу визначено критичне значення питомого навантаження на інтерфейс мережевого пристрою.

В залежності від параметрів телекомунікаційної мережі або її ділянки провайдеру можна визначити кількість пріоритетних класів обслуговування користувачів, а також, частку трафіку для кожного класу. Це дасть можливість забезпечити гарантовані показники якості обслуговування для кожного класу пріоритету.

Ключові слова: мережі наступного покоління, система масового обслуговування, якість обслуговування, затримка доставки пакету, пріоритет.

V. V. MOTYGIN, S. T. BARAS, O. P. SHEREMETA
Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF USER'S quality of service for next generation networks

Abstract – The article has analyzed the quality of user's service of next generation networks. The model of queuing system with priority has been considered. Normalized IP-packet transfer delay in the queue for service by network device according to the priority and the intensity of the input stream has been determined. For each class of packets priority limited value of relative load on the network device interface has been identified.

Depending on the parameters of the telecommunications network or its part of provider the number of priority classes of user's service can be determined, as well as traffic part for each class. This will allow to provide guaranteed quality of service for each class of priority.

Keywords: next generation network, system of queuing, quality of service, packet transfer delay, priority.

Вступ

Якість обслуговування (Quality of Service – QoS) активно досліджується і стандартизується протягом всієї історії розвитку галузі телекомунікацій. Величезний внесок у розвиток і вдосконалення різних принципів якості обслуговування зробила Міжнародна спілка електрозв'язку (МСЕ). МСЕ розробила вимоги і норми до показників QoS, провела велику роботу по стандартизації численних мережевих механізмів, які забезпечують необхідні показники QoS [1].

У сучасних телекомунікаційних мережах одним з найбільш актуальних завдань є передача трафіка з дотриманням низки вимог щодо якості обслуговування [2]. Жорсткі вимоги до параметрів якості обслуговування в мультисервісних мережах передачі даних можуть стати причинами зниження якості послуг, що надаються. Задача оптимізації передачі інформаційних потоків у мережевих пристроях є актуальною, враховуючи динамічну структуру мереж наступного покоління. Низка наукових робіт розглядає методи підвищення ефективності використання ресурсів мережі і оптимізації трафіка [3 – 5]. Важливе значення приділяється алгоритмам і методам управління IP-трафіком [6 – 8].

Для сучасних телекомунікаційних систем має місце динаміка змін характеру трафіку та його обсягів, відповідно, інфокомунікаційних послуг, що надаються. Важливішу роль у такому процесі відіграють послуги передачі даних, відео, голосу: IP-телебачення, відео за запитом, IP-телефонія, відео- і аудіо-конференції тощо. Для надання перерахованих послуг необхідно дотримання низки вимог до параметрів якості обслуговування, таких як ймовірність втрати пакетів, затримка передачі, джитер тощо.

Середня затримка доставки IP-пакета визначається як середній арифметичний час затримок пакетів в телекомунікаційній системі [1]. Величина середньої затримки залежить від трафіку, що передається, і доступних мережевих ресурсів, зокрема, від пропускної здатності. Зростання навантаження і зменшення доступних мережевих ресурсів ведуть до зростання черг у вузлах мережі і, як наслідок, до збільшення середніх затримок доставки пакетів.

Дана стаття присвячена дослідженню системи масового обслуговування з пріоритетами. Аналіз такої системи дозволяє розрахувати прийнятний час затримки пакету на обслуговування мережевим пристроєм і визначити кількість високопріоритетних класів в мережі, при якій буде гарантована якість обслуговування низькопріоритетного трафіка.

Основний текст статті

Для пакетного трафіку можна розглядати загальну затримку або час доставки пакета як суму транспортної затримки, затримки поширення, затримки комутації і затримки при організації черг в мережевих пристроях.

Основу засобів QoS в мережевих елементах складають черги і алгоритми обробки цих черг. Ці механізми використовуються у будь-якому мережевому пристрої, який працює на основі механізму комутації пакетів, – в маршрутизаторі, в комутаторі локальної або глобальної мережі, в кінцевому вузлі.

Черга потрібна для обробки пакетів в періоди тимчасових перевантажень, коли мережевий пристрій не може передавати пакети на вихідний інтерфейс в тому темпі, в якому вони надходять на вхід мережевого пристрою. Головним чинником виникнення черг є коефіцієнт навантаження пристрою – відношення середньої інтенсивності вхідного трафіку пристрою до середньої інтенсивності просування пакетів на вихідний інтерфейс.

Якщо коефіцієнт навантаження більше одиниці, це означає, що інтенсивність вхідного трафіку постійно вища, ніж інтенсивність просування пакетів на вихідний інтерфейс. Це призводить до виникнення черги. Наслідком виникнення черг є погіршення якості обслуговування трафіку. Для підтримки гарантованого рівня QoS використовуються алгоритми пріоритетної обробки черг. Механізм пріоритетної обробки базується на розділенні усього мережевого трафіку на невелику кількість класів і призначенні кожному класу деякої числової ознаки – пріоритету.

Основним предметом аналізу різних дисциплін обслуговування є розрахунок середнього часу очікування пакету в черзі або середнього часу перебування в мережевому пристрої.

Припустимо, що пакети належать одному з P різних пріоритетних класів, що позначаються індексом $p = 1, 2, 3 \dots, P$. Кожній заявці, що знаходиться в системі у момент часу t , ставиться у відповідність значення деякої пріоритетної функції $q_p(t)$.

Розглянемо модель СМО M/G/1. Припустимо, що пакети з пріоритетного класу p утворюють пуасонівський потік з інтенсивністю λ_p . Час обслуговування кожного пакету з цього класу розраховується відповідно до розподілу з щільністю ймовірності $b_p(x)$ із середнім значенням

$$\bar{x}_p = \int_0^{\infty} x b_p(x) dx.$$

Введемо такі визначення:

$$\lambda = \sum_{p=1}^P \lambda_p - \text{інтенсивність вхідного потоку пакетів на вході мережевого пристрою всіх}$$

пріоритетних класів;

$$\bar{x} = \sum_{p=1}^P \frac{\lambda_p}{\lambda} \bar{x}_p - \text{середній час обслуговування пакетів всіх пріоритетних класів;}$$

$\rho_p = \lambda_p \bar{x}_p$ – питома навантаження на мережевий пристрій при просуванні пакетів відповідного пріоритетного класу;

$$\rho = \lambda \bar{x} = \sum_{p=1}^P \rho_p - \text{питома навантаження на мережевий пристрій при просуванні пакетів всіх}$$

пріоритетних класів.

Середній час перебування в системі пріоритетних пакетів класу p T_p визначається як сума середнього значення часу очікування пакету в черзі W_p та часу обслуговування

$$T_p = W_p + \bar{x}_p.$$

Розглянемо процес з моменту надходження деякого пріоритетного пакету класу p для системи з відносним пріоритетом. Перша складова часу очікування пов'язана з пакетом, який він застає в сервері. Ця складова дорівнює залишковому часу обслуговування іншого пакету. При пуасонівському законі потоку пакетів кожного класу вираз для розрахунку середньої затримки пріоритетного пакету визначається так

$$W_0 = \sum_{i=1}^P \rho_i \frac{\bar{x}_i^2}{2\bar{x}_i} = \sum_{i=1}^P \rho_i \frac{\lambda_i \bar{x}_i^2}{2}.$$

Друга складова часу очікування для пріоритетного пакету визначається тим, що перед пріоритетним пакетом обслуговуються інші пакети даного класу, які даний пакет застав у черзі. Позначимо число пакетів з класу i , яке застав в черзі пріоритетний пакет з класу p і які обслуговуються перед ним N_{ip} . Середнє значення

цього числа буде визначати величину середнього значення другої складової затримки $\sum_{i=1}^P \bar{x}_i \bar{N}_{ip}$.

Третя складова затримки пов'язана з пакетами, що надійшли після того як прийшов пріоритетний пакет, проте отримав обслуговування раніше його. Число таких пакетів позначимо M_{ip} . Середнє значення

цієї складової затримки знаходиться аналогічно і становить $\sum_{i=1}^P \bar{x}_i \bar{M}_{ip}$.

Середній час очікування в черзі для пріоритетного пакету визначається формулою

$$W_p = W_0 + \sum_{i=1}^P \bar{x}_i (\bar{N}_{ip} + \bar{M}_{ip}), \quad p = 1, 2, \dots, P.$$

Розподіл часу очікування істотно залежить від порядку обслуговування, але якщо дисципліна обслуговування вибирає пакети незалежно від часу їх обслуговування, то розподіл числа пакетів і часу очікування в системі інваріантні до порядку обслуговування.

Для СМО типу M/G/1 для будь-якої дисципліни обслуговування повинна виконуватися така рівність

$$\sum_{p=1}^P \rho_p W_p = \begin{cases} \frac{\rho W_0}{1-\rho}, & \rho < 1; \\ \infty, & \rho \geq 1. \end{cases}$$

Це означає, що зважена сума інтервалів часу очікування ніколи не змінюється незалежно від того, наскільки складна або майстерно підібрана дисципліна обслуговування. Якщо вдається скоротити затримку для одних пакетів, то вона негайно зросте для інших.

Розглянемо розрахунок середнього часу очікування для СМО з обслуговуванням у порядку пріоритету, що задається пріоритетною функцією $q_p(t) = p$.

Для всіх пакетів більш високого пріоритету, ніж у даного пакету, обслуговування буде виконано раніше. З формули Літла число пакетів класу i , що знаходяться в черзі, дорівнює

$$\bar{N}_{ip} = \lambda_i W_i; \quad i = p, p+1, p+2, \dots, P.$$

Пакети більш пріоритетних класів, що надійшли в систему після даного пакету, поки він знаходиться в черзі, також обслуговуються перед ним. Оскільки пріоритетний пакет буде перебувати в черзі в середньому протягом часу W_p , то число таких пакетів буде $\bar{M}_{ip} = \lambda_i W_p$.

Тоді середній час очікування в черзі для пріоритетного пакету

$$W_p = W_0 + \sum_{i=p}^P \bar{x}_i \lambda_i W_i + \sum_{i=p+1}^P \bar{x}_i \lambda_i W_p,$$

$$W_p = \frac{W_0 + \sum_{i=p}^P \rho_i W_i}{1 - \sum_{i=p+1}^P \rho_i}.$$

Ця система рівнянь може бути розв'язана рекурентно, починаючи з W_1, W_2 і т. д.

$$W_p = \frac{W_0}{(1 - \sigma_{p-1})(1 - \sigma_p)}, \quad \sigma_p = \sum_{i=p}^P \rho_i.$$

Отримана формула дозволяє проаналізувати середній час затримки пакетів у черзі для всіх пріоритетних класів. На рис. 1,а показано, як змінюється нормована величина часу очікування в черзі для СМО з п'ятьма пріоритетними класами з рівною інтенсивністю вхідного потоку пакетів кожного пріоритетного класу і рівним середнім часом обслуговування пакетів кожного класу.

Тільки пакети трьох вищих пріоритетів мають середній час затримки менше, ніж без пріоритетного обслуговування (рис. 1,а). А якщо інтенсивність вхідного потоку для пакетів пріоритетного класу $p = 1$ буде більша 60% вхідного потоку, то пакети чотирьох нижчих пріоритетних класів будуть мати більший середній час затримки в порівнянні з системою без пріоритетів, що приведе до перевищення часу затримки пакетів і зниження показників QoS (рис. 1,б).

На рис. 2 показано, як змінюється значення питомого навантаження для пакетів кожного пріоритетного класу при рівній інтенсивності вхідного потоку пакетів.

Із рис. 2 можна визначити критичні значення питомого навантаження для кожного класу пріоритетних пакетів, так для $p = 1 - 4,88$; для $p = 2 - 2,38$; для $p = 3 - 1,56$; для $p = 4 - 1,15$; для $p = 5 - 0,91$. Це означає, що гарантовані показники якості обслуговування отримають пакети трьох найвищих пріоритетних класів, а саме, пакети додатків реального часу (відеоконференції, VoIP), транзакції даних, для яких вимагається високий рівень інтерактивності (сигналізація). А додатки, які пов'язані з транзакціями даних з низьким рівнем інтерактивності, додатки з низьким рівнем втрат (потокове відео, масиви даних, короткі транзакції) не отримують гарантованих показників якості обслуговування.

Тому пріоритетне обслуговування рекомендується застосовувати у тому випадку, коли в мережі є один або два пріоритетних класи трафіку, чутливого до затримок, але його інтенсивність невелика. В такому випадку обслуговування пакетів цих класів не занадто утискає обслуговування іншого трафіку.

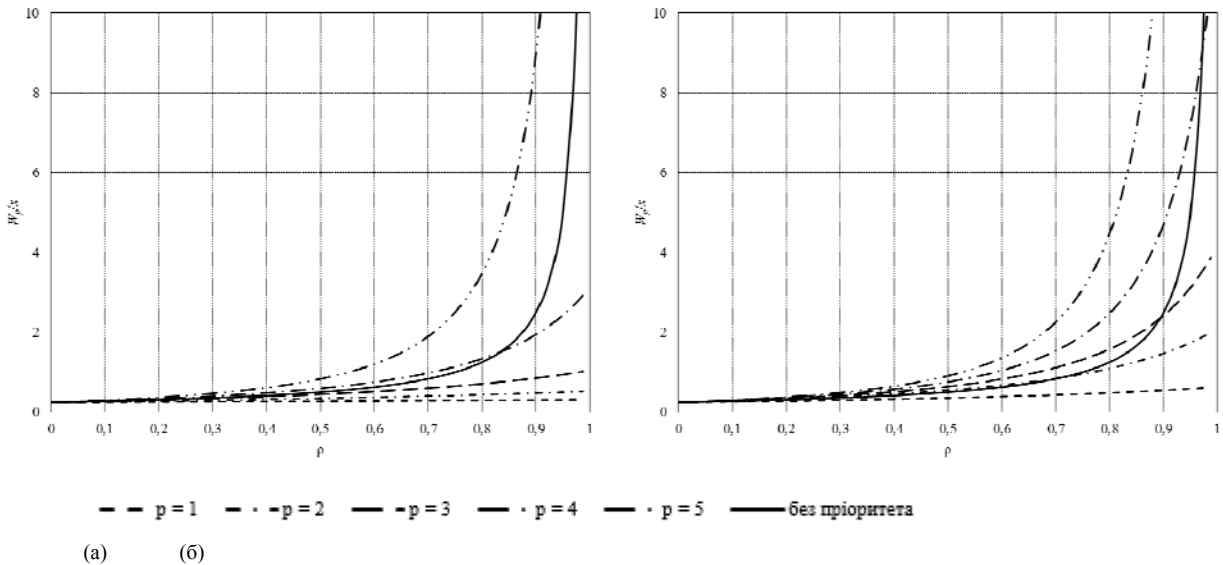


Рис. 1. Графіки нормованого часу очікування пакетів в черзі мережевого пристрою в залежності від питомого навантаження при $\rho < 1$: (а) – рівномірна інтенсивність всіх пріоритетних класів; (б) – інтенсивність для $p = 1$ дорівнює 60%, для інших чотирьох класів – 10%

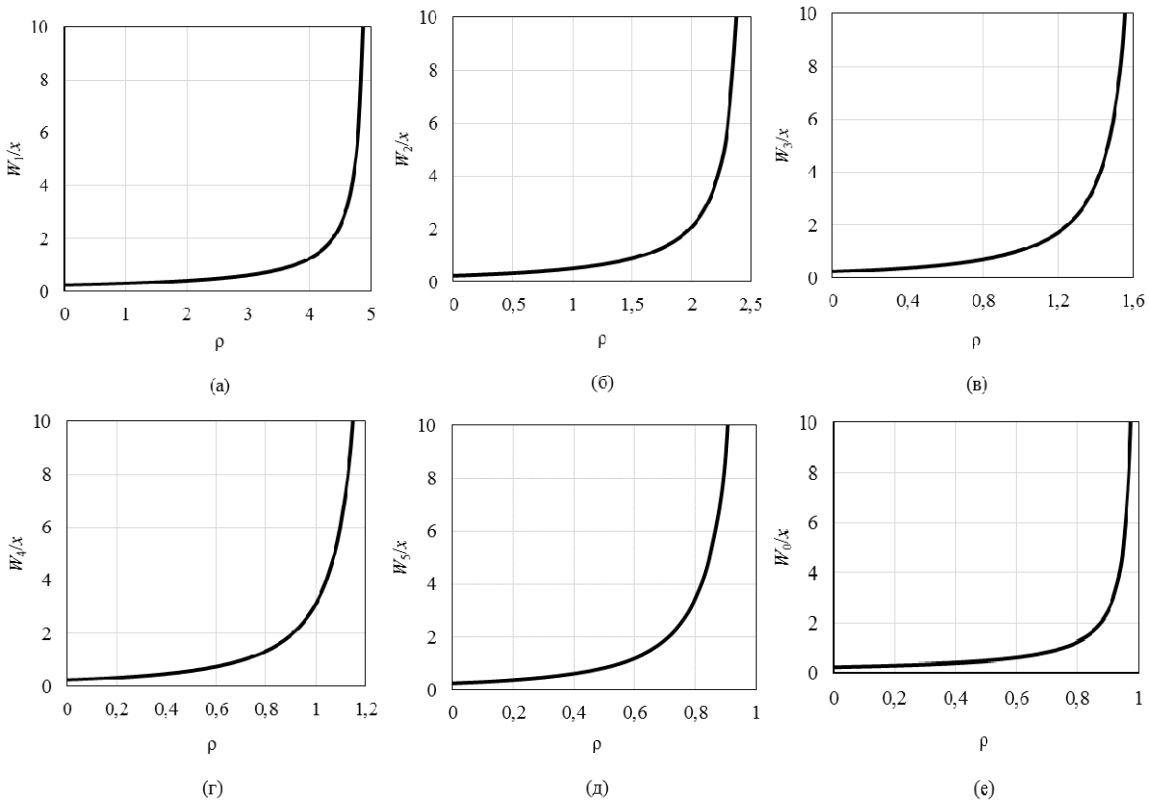


Рис. 2. Графіки нормованого середнього часу очікування пакетів в черзі в залежності від пріоритету: (а) – $p = 1$ (найвищий пріоритет), (б) – $p = 2$, (в) – $p = 3$, (г) – $p = 4$, (д) – $p = 5$ (найнижчий пріоритет), (е) – без пріоритета

Проте в мережі можуть спостерігатися і інші ситуації, наприклад, при існуванні відеотрафіку, що вимагає пріоритетного обслуговування і має високу інтенсивність. Для таких випадків необхідно передбачити можливість обслуговування черг, що дають низькопріоритетному трафіку деякі гарантії якісного обслуговування.

Висновки

Високі вимоги до якості обслуговування інформаційних потоків в телекомунікаційних мережах потребують врахування всіх параметрів, які впливають на показники QoS. В даній роботі було досліджено вплив часу затримки пакетів в чергах на обслуговування мережевими пристроями на якість обслуговування для різних пріоритетних класів IP-пакетів. Тому актуальною є задача організації роботи телекомунікаційної мережі при перевантаженні високо пріоритетними пакетами.

В залежності від параметрів телекомунікаційної мережі або її ділянки провайдеру можна визначити кількість пріоритетних класів обслуговування користувачів, а також, частку трафіку для кожного класу. Це дасть можливість забезпечити гарантовані показники якості обслуговування для кожного класу пріоритету.

Література

1. ITU-T Y.1541. Network Performance objectives for IP-based services, Amendment 3, 2008. – 357 с.
2. Росляков А.В. Мультисервисные платформы сетей следующего поколения NGN. Т. 1. Отечественные системы / А. В. Росляков. – Самара: ПГУТИ, ООО «Издательство Ас Гард», 2012. – 312 с.
3. Ложковський А. Г. Вплив структури абонентів мультисервісної мережі зв'язку на параметри трафіку та методи його моніторингу / А. Г. Ложковський, В. Ю. Гордієнко, В. В. Голубенко, С. М. Войцеховський. – Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 153, 154.
4. Хмельницький Ю. В. Дослідження методів оптимізації трафіку інформаційних мереж / Ю. В. Хмельницький, В. А. Гика. – Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 168-172.
5. Любченко В. В. Визначення інтенсивності потоку в комп'ютерних системах з неоднорідним потоком / В. В. Любченко. – Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 1. – С. 130-132.
6. Славко О. Г. Адаптивне забезпечення QoS на основі модифікованого алгоритму активного керування чергами. / О. Г. Славко. – Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – № 12. – С. 104-109.
7. Шестопалов С. В. Оцінка загального часу обслуговування заявки на додаткову послугу системами управління / С. В. Шестопалов. – Проблеми інформатизації та управління. – 2009. – № 3(27). – С. 159-162.
8. Михалевський Д. В. Оцінка якості мультимедійного трафіку під час перемикання між точками доступу у мережах WI-FI / Д. В. Михалевський, Є. С. Наугольних, В. М. Мельник. – Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 3. – С. 156-159.

Reference

1. ITU-T Y.1541. Network Performance objectives for IP-based services, Amendment 3, 2008, 357 p.
2. Roslyakov A. V. Mul'tiservisny'e platformy' setej sleduyushhego pokoleniya NGN. V. 1. Otechestvenny'e sistemy'. Samara, As Gard, 2012, 312 p.
3. Lozhkovskii A. G., Gordiienko V. Yu., Golubenko V. V., Voitsekhovskiy S. M. Vplyv struktury abonentiv multiservisnoi merezhi zviazku na parametry trafiku ta metody yogo monitoryngu, Measuring and Computing Devices in Technological Processes, 2015, Issue 2, pp. 153, 154.
4. Khmel'nitskii Yu. V., Gika V. A. Doslidzhennia metodiv optymizatsii trafiku informatsiinykh merezh, Measuring and Computing Devices in Technological Processes, 2015, Issue 2, pp. 168-172.
5. Liubchenko V. V. Vyznachennia intensyvnosti potoku v kompiuternykh systemakh z neodnorodnym potokom, Measuring and Computing Devices in Technological Processes, 2014, Issue 1, pp. 130-132.
6. Slavko O. G. Adaptivne zabezpechennia QoS na osnovi modyfikovanogo algorytmu aktyvnogo keruvannia chergamy, Problemy informatiinykh technologii, 2012, Issue 12, pp. 104-109.
7. Shestopalov S. V. Otsinka zagalnogo chasu obslugovuvannia zaiavky na dodatkovu poslugu systemamu upravlinnia, Problemy informatizatsii ta uprevlinnia, 2009, Vol. 27, Issue 3, pp. 159-162.
8. Mykhalevskii D. V., Naugolnykh Ye. S., Melnyk V. M. Otsinka yakosti multymediinogo trafiku pid chas peremykannia mizh tochkamy dostupu u merezhach WI-FI, Measuring and Computing Devices in Technological Processes, 2014, Issue 3, pp. 156-159.

Рецензія/Peer review : 3.11.2015 р.

Надрукована/Printed :31.3.2016 р.
Рецензент: д.т.н., професор Кичак В. М.