

УДК 621.39

ДЕГТЯРЕНКО І.В., к.т.н., доцент,

ЛОЗИНСЬКА В.М., асистент (Донецький національний технічний університет)

Застосування апарату ідемпотентної алгебри та функцій «корисності» для вирішення задачі QoS маршрутизації

Запропоновано новий метод QoS-маршрутизації для мультисервісних мереж, що використовує складену метрику яка сформована на основі функцій корисності. В представленому методі для формалізації процедури знаходження оптимального шляху запропоновано використовувати апарат ідемпотентної алгебри.

Ключові слова: QoS-маршрутизація, мультисервісна мережа, функції корисності, апарат ідемпотентної алгебри, оптимізаційна задача.

Вступ

Перехід телекомунікацій до мультисервісних конвергентних рішень потребує розробки та впровадження нових методів та засобів керування трафіком. Основною особливістю даних рішень є необхідність узгодження різноманітних вимог телекомунікаційних сервісів, що надаються, з наявними ресурсами мережі. Ключовими критеріями оцінки ефективності роботи сучасних телекомунікаційних мереж є показники якості обслуговування (Quality of Service - QoS) [1]. Задоволення швидко зростаючих потреб абонентів мультисервісної мережі при виконанні угод про якість обслуговування (Service Level Agreement - SLA) є головною задачею системи управління трафіком телекомунікаційної мережі.

Аналіз сучасного стану проблеми

Одною з основних задач управління трафіком є задача прокладення шляху, тобто задача маршрутизації. Традиційно для вирішення цієї задачі використовуються протоколи, що засновані на знайденні найкоротшого шляху, наприклад протокол OSPF [2]. Однак при цьому ніяким чином не враховуються стан та характеристики каналів, що обираються. Це призводить до дуже низької ефективності використання класичних методів маршрутизації в розподілених високонавантажених мультисервісних мережах. Для вирішення даної проблеми була запропонована концепція QoS-маршрутизації [3]. Ця концепція полягає в визначенні такого шляху між джерелом та адресатом, при застосуванні якого буде виконуватися SLA.

В рамках цієї концепції дослідниками було запропоновано декілька протоколів маршрутизації, які можна розділити на протоколи пошуку шляхів з обмеженнями (Multi-Constrained Path, MCP) та протоколи пошуку оптимального шляху з обмеженнями (Multi-Constrained Optimal Path, MCOP) [4, 5]. Основними недоліками наявних протоколів QoS маршрутизації є:

- не повне врахування усіх параметрів QoS, що обмежує якість надання деяких сучасних послуг реального часу;
- суб'єктивність при формуванні метрики, що веде до некоректних результатів функціонування протоколів;
- висока обчислювальна складність.

Як правило, в існуючих метриках використовуються лінійні функції залежності привабливості шляху від одного чи двох параметрів QoS (пропускна здатність та затримка) [6, 7]. При цьому ігноруються інші параметри QoS такі як джиттер та вірогідність втрати пакетів, а вони можуть суттєво впливати на якість надання деяких послуг. Крім того, через те що споживачем телекомунікаційних послуг в більшості випадків є людина яка має зони нечутливості до змін більшості показників QoS, то при формуванні метрики треба врахувати нелінійну залежність привабливості шляху від певних показників QoS. В багатьох протоколах маршрутизації задача знаходження шляху розглядається як *NP* - повна та доволі часто розв'язується шляхом повного перебору усіх варіантів [8]. Альтернативою класичним алгоритмам вибору шляху може стати метод заснований на використанні апарату ідемпотентної алгебри [9].

Таким чином, метою даної роботи є підвищення якості надання послуг в мультисервісних телекомунікаційних мережах за рахунок розробки методу QoS-маршрутизації, що базується на комплексній метриці яка враховує нелінійний характер

залежності привабливості шляху від усіх параметрів QoS та реалізується із застосуванням апарата ідемпотентної алгебри.

Результати досліджень

Ідемпотентна алгебра являє собою зручний та потужний математичний інструмент, що дозволяє застосувати лінійний підхід до систем, які можуть бути зовсім не лінійними, якщо описувати їх за допомогою диференціальних рівнянь [10]. Наприклад, дискретно-подійні динамічні системи (Discrete Event Dynamic Systems), де широко поширений феномен синхронізації. Зокрема до цього класу відносяться і телекомунікаційні системи. Найбільш відомими різновидами ідемпотентного підходу до опису систем є апарат Max-plus та Min-plus алгебри. Загальні поняття та операції з числами в Max-plus та Min-plus алгебрах та їхнє використання доволі повно описано в роботах [11-14]. Зокрема за допомогою даного математичного апарату може бути вирішена задача пошуку оптимального маршруту за одним із параметрів. В термінах Min-plus ця задача зводиться к рішеннянню наступного рівняння [15]:

$$R^+ = \bigvee_{l \in (n-1)} (R^l), \quad (1)$$

де R^l – матриця метрики мережі розміром $n \times n$; n – кількість вузлів в мережі; \bigvee – оператор знаходження мінімуму.

Розглянемо приклад застосування даного апарату для знаходження найшвидшого за часом маршруту. Нехай є граф з п'яти вершин, що описує певну телекомунікаційну мережу (див. рис. 1).

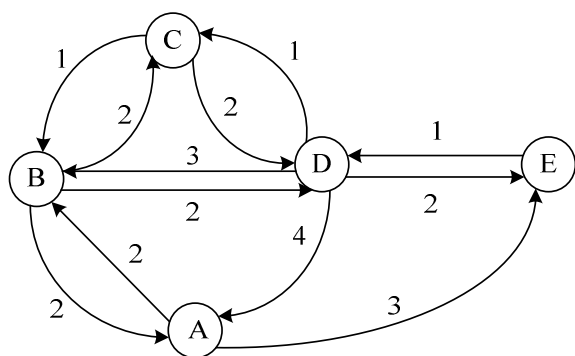


Рис. 1. Граф мережі

Вершини графа це вузли мережі, а вага дуг означає затримку на певному каналі мережі. Необхідно знайти шляхи між вузлами, що є оптимальними з точки зору

затримки (затримка є мінімальною). Отже первинна матриця зв'язків R буде мати вигляд:

$$R = \begin{pmatrix} \infty & \infty & \infty & \infty & 3 \\ 2 & \infty & 2 & 2 & \infty \\ \infty & 1 & \infty & 2 & \infty \\ 4 & 3 & 1 & \infty & 1 \\ \infty & \infty & \infty & 1 & \infty \end{pmatrix}.$$

Розрахунок елементу i, j матриці R^2 можна зробити наступним чином:

$$r_{ij} = \min(r_{i1} + r_{1j}, r_{i2} + r_{2j}, \dots, r_{in} + r_{nj}). \quad (2)$$

Ці елементи показують маршрути, що містять дві дуги та вказують на відповідну затримку при їх використанні. Відповідно R^k – матриця, що вказує затримку по маршрутах, що містять k дуг.

Для того, щоб знайти маршрут, на який витрачається найменша кількість часу між двома вузлами треба розрахувати матрицю R^{n-1} для мережі з n вузлів. В нашому випадку треба знайти R^2 , R^3 та R^4 , ці матриці надані нижче.

$$R^2 = \begin{pmatrix} \infty & \infty & \infty & 4 & \infty \\ 4 & 4 & 3 & 4 & 3 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 5 & 2 & \infty & 2 & 7 \\ 5 & 4 & 2 & \infty & 2 \end{pmatrix},$$

$$R^3 = \begin{pmatrix} 8 & 7 & 5 & \infty & 5 \\ 6 & 4 & 5 & 4 & 5 \\ 5 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 3 & 4 & 3 \\ 6 & 3 & \infty & 3 & 8 \end{pmatrix},$$

$$R^4 = \begin{pmatrix} 9 & 6 & \infty & 6 & 11 \\ 6 & 6 & 5 & 6 & 5 \\ 6 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 6 & 4 & 5 & 4 & 5 \\ 5 & 5 & 4 & 5 & 4 \end{pmatrix}.$$

Тепер, щоб знайти оптимальний маршрут з i в j необхідно знайти мінімальний елемент з матриць R, R^2, R^3 та R^4 . Таким чином, необхідно визначити матрицю

$R^+ = R \vee R^2 \vee R^3 \vee R^4$, яка буде мати вигляд:

$$R^+ = \begin{pmatrix} 8 & 6 & 5 & 4 & 3 \\ 2 & 2 & 3 & 2 & 3 \\ 3 & 1 & 3 & 2 & 3 \\ 4 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ 5 & 3 & 2 & 1 & 2 \end{pmatrix}.$$

Отже, елементи знайденої матриці R^+ є мінімальними величинами часу, що необхідно витратити на передачу даних з вузла i до вузла j . Аналогічним чином можна знайти матрицю оптимальних шляхів по всім параметрам QoS. Однак далі виникає проблема узгодження між собою шляхів розрахованих на базі різних параметрів QoS. Цілком імовірно, що, наприклад, маршрут оптимальний по затримці не буде оптимальним по пропускній здатності тощо.

Уникнути цього можливо використовуючи комплексну метрику, що враховує всі важливі показники QoS для певного типу трафіку. При цьому треба враховувати нелінійність залежності задоволення кінцевого користувача телекомунікаційних послуг від певних параметрів QoS. Наприклад, користувач не відчує різниці при користуванні послугою IP-телефонії, якщо затримка буде становити 1 мс або 50 мс, але якщо затримка перевищить поріг в 150 мс або 400 мс то це вже буде відчутно. Або при наданні відео послуг доступна швидкість передачі має бути більше швидкості формування потоку відеокодеком, але виділення надлишкової пропускної здатності не буде впливати на відчуття якості послуги. Тобто по всім параметрам QoS можливо виділити зону нечутливості або слабкої чутливості користувача до зміни якості обслуговування. Для врахування даних ефектів були введені так звані функції «корисності».

Функції «корисності» вперше було введено в економіці для визначення в числовому вигляді зміни відношення переваги споживача від певних параметрів споживчих наборів [16]. Функція «корисності» присвоює наборам нормовані числа у такий спосіб, що кращим наборам присвоюється більше число, а наборам, які перебувають у відношенні байдужості — менше. Вперше використовувати функції «корисності» при вирішенні телекомунікаційних задач почав Скот Шенкер [17]. Він запропонував на їх основі визначати

залежність задоволеності користувача певної телекомунікаційної послуги від пропускної спроможності каналу зв'язку. Пізніше було розроблено функції «корисності» для всіх базових послуг від таких показників QoS, як джиттер, затримка та вірогідність втрати пакетів [18]. На рисунку 2 наведені приклади графіків залежностей функцій «корисності» U для трафіка різних телекомунікаційних послуг від параметрів QoS (пропускна здатність - B , затримка - τ , джиттер - Δt , ймовірність втрат - P). Як правило, функції «корисності» є нормованими та приймають значення в проміжку від нуля до одиниці. Значення «одиниця» відповідає повному задоволенню абонента, а «нуль» повному незадоволенню. Тобто на базі даних функцій можна сформувати інтегральний показник якості обслуговування, або інтегральну функцію корисності для певного типу трафіка:

$$\hat{U}(B, \tau, \Delta t, P) = U_B(B) \cdot U_\tau(\tau) \cdot U_{\Delta t}(\Delta t) \cdot U_P(P), \quad (3)$$

де $U_B(B), U_\tau(\tau), U_{\Delta t}(\Delta t), U_P(P)$ - функції корисності від пропускної здатності, затримки, джиттера, ймовірності втрат для певного типу трафіка.

Саме цю функцію рекомендується використовувати в якості комплексної метрики при QoS - маршрутизації [19, 20]. Дана метрика буде приймати значення «нуль», якщо хоча б один з параметрів QoS має нульове значення, тобто даний маршрут є неприйнятним за одним з параметрів QoS. Та навпаки, дана метрика буде приймати своє максимальне значення «одиниця», якщо усі параметри QoS відповідають вимогам даної послуги (класу трафіку). В більш узагальненому вигляді дану метрику можливо записати у вигляді:

$$M^{(k)} = \prod_{x=1}^N U_x^{(k)}, \quad (4)$$

де k — номер типу послуги; N — кількість параметрів QoS, що враховує метрика; $U_m^{(k)}$ — функція «корисності» від x -го параметра QoS для k -тої послуги.

Слід зазначити, що перед застосуванням рівняння (1) для знаходження оптимального шляху необхідно перетворити елементи матриці M наступним чином:

$$r_{ij} = 1 - m_{ij}. \quad (5)$$

Це пов'язано з тим, що рівняння (1) вирішує задачу знаходження мінімальної метрики, а функції «корисності» мають оптимальне значення, що дорівнює 1.

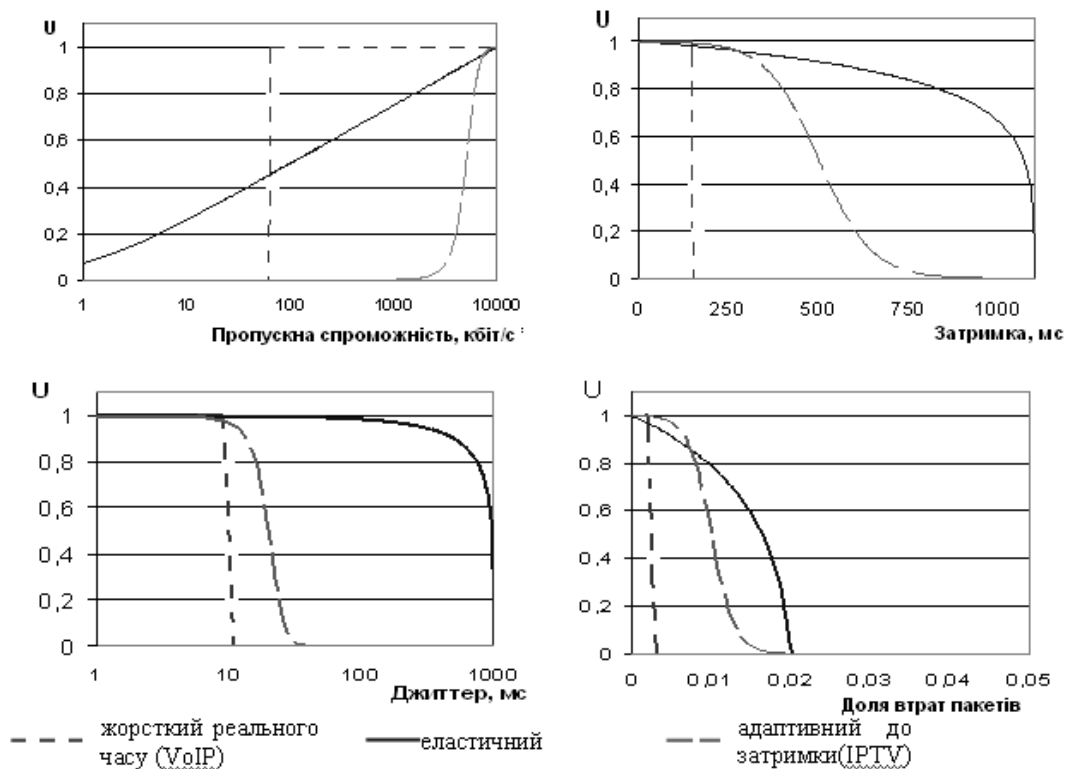


Рис. 2. Графіки залежності функцій «корисності» від параметрів QoS для різних класів трафіку

Для того щоб уникнути ситуацій в яких всі шляхи будуть відкинуто, доцільно провести сортування параметрів QoS по важливості для кожного класу послуг (чим важливіший параметр, тем менше його номер). В такому разі при виникненні тупикових ситуацій можливо кожний раз зменшувати N на одиницю, таким чином, усуваючи вплив малозначних показників QoS.

Висновок

Запропоновано проводити формалізацію задачі пошуку оптимального шляху на базі використання апарату ідемпотентної алгебри. Це дозволяє значно спростити процедуру пошуку шляху при багатокритеріальній оптимізації.

Вперше було запропоновано використання функцій «корисності» при формуванні комплексної метрики при рішенні задачі QoS-маршрутизації в мультисервісній мережі. Використання даної метрики дозволяє враховувати реальну чутливість різних телекомунікаційних послуг до будь-яких параметрів QoS.

Таким чином, в даній роботі було запропоновано новий метод QoS-маршрутизації для мультисервісних мереж, який відрізняється від існуючих тим, що враховує нелінійну залежність задоволення користувача якістю надання телекомунікаційних

послуг від параметрів QoS. Даний метод є універсальним, та може бути адаптовано для будь-яких послуг та параметрів QoS, а його використання дозволить підвищити якість надання телекомунікаційних послуг в мультисервісних мережах.

Література

1. QoS Control for NGN: A Survey of Techniques [Електронний ресурс] / Changho Yun and Harry Perros: - Режим доступу до ресурса: <http://www4.ncsu.edu/~hp/Changho1.pdf>.
2. Остерлох Х. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка. – С.Пб.: BHV-С.Пб., 2002. – 512 с
3. An Overview of Quality-of-Service Routing for the Next Generation High-Speed Networks: Problems and Solutions [Електронний ресурс] / Shigang Chen, Klara Nahrstedt: - Режим доступу до ресурса: <http://www.cise.ufl.edu/~sgchen/papers/QoSRoutingSurvey99.pdf>
4. Research challenges in QoS routing / X. Masip-Bruin, M. Yannuzzi, J. Domingo-Pascual [and other] // Computer Communications. – 2006. – Vol. 29, Issue 5. – P. 563 – 581.
5. An overview of constraint-based path selection algorithms for QoS routing / F. Kuipers, P. Van

- Mieghem, T. Korkmaz [and other] // IEEE Communications Magazine. – 2002. – Vol. 40, Issue 12. – P. 50 – 55.
- Medhi Deepankar, Ramasamy Karthikeyan Network routing: algorithms, protocols, and architectures. – Morgan Kaufmann Publishers, 2007. – 788 p
6. Doyle J., Carroll J. CCIE Professional Development Routing TCP/IP. – Vol. I. – Cisco Press, 2005. – 936 p.
 7. An Optimization Based Approach for Quality of Service Routing in High-Bandwidth Networks [Електронний ресурс] / Xiaojun Lin and Ness B. Shroff: - Режим доступу до ресурса: <https://engineering.purdue.edu/~linx/paper/infocom04-tech.pdf>.
 8. Chen S., Nahrstedt K. An overview of quality-of-service routing for the next generation high-speed networks: problems and solutions // IEEE Network Magazine. – 1998. – Vol. 12. – P. 64 – 79.
 9. Милов Д.С. Методы идемпотентной алгебры и анализа при исследовании сетей с очередями : дис. канд. физ.-мат. наук : 05.13.18 / Милов Денис Сергеевич. – СПб., 2003 – 99 с. – Библиогр. : с. 76-83
 10. Жбанов, С.А. Идемпотентный подход к линеаризации динамических процессов в телекоммуникационных системах / С.А. Жбанов // Управление большими системами: Матер. VII Всерос. школы-конф. Т. 1. – Пермь, 2010.
 11. Бессараб В.І. Математичні основи теорії дискретно-безперервних систем: монографія – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 40 с.
 12. Francois Baccelli. Synchronization and Linearity An Algebra for Discrete Event Systems / Guy Cohen, Geert Jan Olsder, Jean-Pierre Quadrat // Wiley, 2001.
 13. Лозинская В.Н. Способ описания процессов в телекоммуникационных сетях с использованием аппарата Мах-плюс алгебра // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк, 2013 р. – Випуск 33 – С.92-96.
 14. Лозинская В.Н. Математические модели компонентов телекоммуникационных систем. // Научные работы Донецького національного технічного університету: збірник наукових праць. - Випуск 24 – С. 121-126.
 15. Мах-plus algebra: properties and applications. [Електронний ресурс] / Maria H. Andersen: - Режим доступу до ресурса: http://busynessgirl.com/files/pdf/max_plus_algebras_thesis_2002.pdf
 16. Данилов Н.Н. Курс математической экономики: учебное пособие. – Сиб.отделение РАН, 2022. – 445 стр.
 17. S. Shenker. Fundamental Design Issues for the Future Internet // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995, vol. 13, no. 7. - pp. 1176–1188.
 18. Utility-based Bandwidth Allocation for Triple Play Services. [Електронний ресурс] / Changbin Liu, Lei Shi, Bin Liu: - Режим доступу до ресурса: http://www2.research.att.com/~changbl/pubs/Utility-based_Bandwidth_Allocation_for_Triple-Play_Services.pdf.
 19. Дегтяренко И.В. Использование комплексного критерия качественного обслуживания при управлении мультисервисным трафиком / И.В. Дегтяренко, В.Н. Лозинская // Тези доповідей науково-методичної конференції «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій - 2012» / Львівська політехніка. – Львів., 2012.
 20. Лозинская В.Н. Оптимизация параметров канала передачи данных для сетей с QoS-маршрутизацией / В.Н. Лозинская, И.В. Дегтяренко, Е.Г. Игнатенко // Тези доповідей 11-ої міжн. наукової конференції «Контроль і управління в складних системах» / Вінниця: ВНТУ. – Вінниця, 2012. – 283с.
- Дегтяренко И.В., Лозинская В.Н. Применение аппарата идемпотентной алгебры и функций «полезности» для решения задач QoS маршрутизации.** Представлен новый метод QoS-маршрутизации для мультисервисных сетей, использующий составную метрику сформированную на основе функций полезности. В предложенном методе для формализации процедуры нахождения оптимального пути предложено использовать аппарат идемпотентной алгебры.
- Ключевые слова:** QoS-маршрутизация, мультисервисная сеть, функции «полезности», аппарат идемпотентной алгебры, оптимизационная задача.
-
- Degtyarenko I. V., Lozinskaja V. N. The application of idempotent algebra apparatus and utility functions for the QoS-routing task solutions.** A new QoS-routing method for multiservice networks which uses composite metric formed on the bases of utility functions has been represented. The given method offers to use idempotent algebra apparatus for the formalization of the optimal path determination.
- Key words:** QoS-routing, multiservice network, utility functions, idempotent algebra apparatus, optimization task.
- Рецензент: Воронцов О.Г., д.т.н, профессор, профессор кафедры «Автоматика та телекомунікації», ДонНТУ

Поступила 14.02.2014г.