

Дрововозов В.І., к.т.н.,
orcid.org/0000-0002-6303-9741,

Аль-Шаммарі Ахмед Аршед,
Журавель Н.В.,

orcid.org/0000-0001-5962-318X,

Коцюр А.Б.,

orcid.org/0000-0003-4404-1966

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ СЕРВІСУ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ З МІЖРІВНЕВОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ

Національний авіаційний університет

drovvlad47@gmail.com

Вступ

Контроль, розподіл та управління радіо ресурсами у безпроводових інформаційно-комунікаційних мережах мають вирішальне значення внаслідок природних обмежень частотно-енергетичного ресурсу за умов великого числа користувачів та мультимедійного характеру мережного трафіку [1].

Типова безпроводова мережа складається з великої кількості багатофункціональних, малопотужних вузлів різної вартості, які випадковим чином, але досить щільно розгорнуті в оточуючому середовищі. Кожен вузол виконує первинну обробку і передає результати на базовий вузол збору і сумісної обробки. Одна з багатьох проблем, пов'язаних із безпроводовими мережами (WN), полягає в забезпеченні гарантій QoS у додатках реального часу. У літературі запропоновано кілька підходів та протоколів для підтримки параметрів QoS у цих типах мереж [1,2]. Споживання енергії вважається одним з найбільш важливих обмежень WN через низьку потужність джерел живлення і великі втрати енергії як основного фактору обробки. Ці втрати знижують якість сервісу та термін служби мережі.

Основна проблема полягає у правильному використанні ресурсів при отриманні мультимедійного контенту, що потребує спільного використання даних між усіма автономними вузлами, при збереженні належного рівня передачі трафіку даних, мови та відео. При використанні

мультимедійних ресурсів підтримується рівень оптимізованої QoS, яка надалі характеризується продуктивністю мережі. Для досягнення цієї мети потрібна ретельна обробка з оптимальною наскрізною затримкою, джиттером та енергоспоживанням, а також прийнятною пропускнуною спроможністю. Різні програми WN реального часу мають різні пріоритети QoS, залежно від продуктивності радіопередачі. Наприклад, для деяких програм, таких як виявлення подій, можуть знадобитися вищі швидкості передачі даних, мінімальна наскрізна затримка та тривалий термін служби джерел живлення. Важливо, щоб у кожному мережному сегменті розподіл ресурсів розглядався як проблема оптимізації з різними потенційними цілями. По-перше, у вузлах мережного сегменту необхідно оптимізувати складові триплету QoS з максимальним використанням ресурсів. По-друге, необхідно використовувати ресурси з урахуванням інформації про транзитні ділянки. По-третє, розподіл ресурсів слід розглядати з глобальної точки зору, де розглядається використання ресурсів усіма мережними вузлами [3], тобто забезпечувати наскрізну QoS. Таким чином, виникає проблема балансування наявних ресурсів та потрібної потужності передачі сигналів, щоб забезпечити оптимальні параметри QoS, а також уникнути надмірних втрат ресурсів. У цій статті пропонується розглянути аналіз цільової функції адаптивного переключення параметрів QoS для кожного сегмента мережі. Передба-

часться, що послуги вимагають високої швидкості передачі даних з низьким коефіцієнтом ймовірності бітових помилок по (BER), що визначається як фактор поліпшення кількості інформації, що передається, і для узгодження такої інформації з формою хвилі відповідно до певних умов каналу.

Розрахунки BER та відношення сигнал-шум (SNR) у більшості мультимедійних додатків WN засновані на електродинамічній задачі із втратами на трасі поширення, що впливає на параметри QoS.

Цілочисельне програмування як процес пошуку одного або кількох оптимальних рішень у чітко визначеному дискретному просторі задач пошуку використовується у всіх галузях безпроводового зв'язку, зокрема, при розв'язанні проблем локальної або наскрізної QoS.

Щоб досягти обмежень щодо енергії та затримки у WN у реальному часі, запропоновано метрику маршрутизації для оптимізації якості зв'язку між вузлами, мінімізації енергоспоживання та наскрізної затримки шляхом математичного моделювання. У математичній моделі використовується змішане цілочисельне програмування (MIP), засноване на методі релаксації Лагранжа (LR), для визначення критичних параметрів управління адаптивним переключенням протоколів маршрутизації з переходом до WN. Вбудовані критерії для кожної цільової функції, пов'язані з обмеженнями прийняття рішень, використовуються для прийняття рішення про обрання шляху від джерела до приймача.

Більшість підходів до дослідження безпроводових мереж полягає у продовженні терміну служби мережі за умов дотримання вимог до продуктивності мережі з погляду мінімізації енергоспоживання. Однак методики та результати порівняльного аналізу достоїнств та недоліків локальної або наскрізної QoS у доступних нам джерелах не наводяться. У цій статті зроблено спробу заповнити, хоча б частково, цю прогалину.

Запропонована статистична модель

У роботах [3-11] запропонована методика альтернативної маршрутизації, яка базується на методі LR з визначенням критичного параметру. Методику мотивовано необхідністю знайти шляхи збільшення пропускної спроможності мультисервісних мереж, які були розроблені протягом останніх років. Запропоновано підходи, у відповідності з якими знаходяться параметри триплету QoS, такі як затримка, джиттер та пропускна спроможність, з оптимальним розподілом ресурсів для виконання завдання. Управління ресурсами зводиться до керування доступом до ресурсів, щоб запобігти погіршенню QoS через переважання мережі.

Методологія аналізу мультисервісного трафіку полягає в розробці метрики маршрутизації на основі розподілу наскрізних параметрів QoS шляхом періодичного збору інформації між вихідним вузлом і наступним сусідом у мережі.

Локальна QoS при обміні даними у WN може бути змодельована на мережі (рис.1).

$$\Omega = [Q(\tau_{d,(i,i+1)}, \tau_{kmax(j,j+1)max})].$$

У найпростішому випадку мережа складається з n вузлів, розподілених у просторі за двовимірним розподілом Пуассона з середньою щільністю λ . Тут i та $i + 1$ – сусідні вузли, між якими спостерігається максимальна затримка $\tau_{d,(i,i+1)max}$ доставки; j та $j + 1$ – сусідні вузли, між якими спостерігається джиттер $\tau_{(j,j+1)max}$ максимальної величини; k та $k + 1$ – сусідні вузли, між якими спостерігається максимальне число бітових помилок BER_{kmax} . У загальному випадку $i \neq j \neq k$.

Коли передачі немає, вузол переходить у сплячий стан; інакше він переходить у робочий стан. Існуюче з'єднання між двома вузлами датчиків визначається як $l_s = (s_i, s_{i+1})$ від вузла i до вузла $i + 1$, де $i = 1, 2, \dots, n$. Кожне посилення l_s характеризується споживанням енергії та затримкою. Змінна рішення x_j має значення

1, якщо існує зв'язок між двома вузлами, і
0 в іншому випадку:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{зв'язок є;} \\ 0, & \text{зв'язку немає.} \end{cases}$$

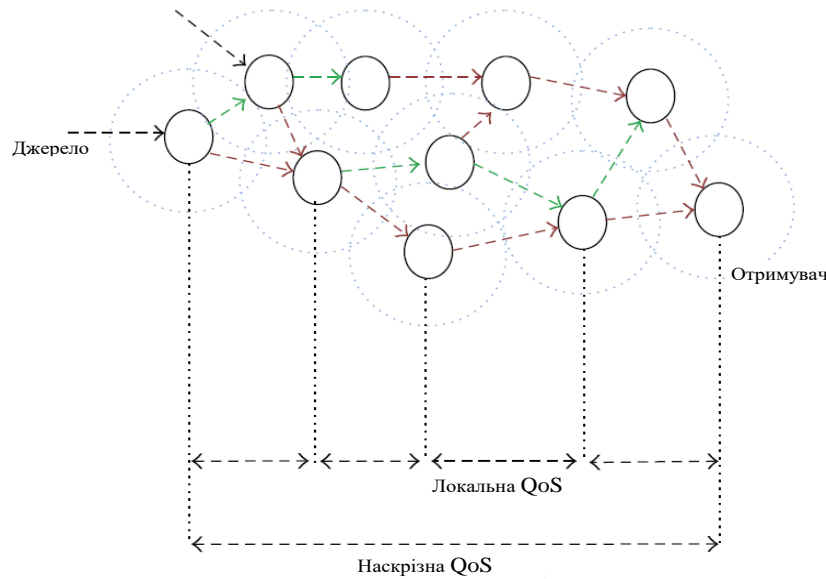


Рис. 1. Розподілення вимог до QoS мережі на низхідних переходах за запитами

Проаналізуємо властивості методів оптимізації локальних QoS та наскрізної QoS.

При оптимізації локальної QoS на кожній транзитній ділянці траси (незалежно від інших ділянок) маємо просту послідовність одновимірних задач. Пошук на альтернативних трасах не проводиться. Відповідно, обчислювальна складність задачі є лінійною функцією числа транзитних ділянок. Вирази для результуючої QoS та обчислювальної складності $\theta(n)$ має такий вигляд [12]:

$$QoS_{res} = \inf_{1 \leq i \leq n} QoS_i,$$

$$\theta(n) = kn,$$

де $\inf[\Psi(x)]$ – точна нижня грань функції $\Psi(x)$; $k = const$ = коефіцієнт пропорційності.

Звідси випливає, що ми стикаємося з ефектом "пляшечного горлечка" ("Bottleneck"). Іншими словами, якість сервісу мережі в цілому визначається якістю сервісу її найслабшої ділянки.

При оптимізації наскрізної QoS цільова функція є функціоналом комплексного критерію, що представляє собою адитивну суміш середньої пропускної спроможності $E[T_{TP\Sigma}]$ на трасі від джерела до приймача, загальної затримки L_{tc} та

максимальної величини імовірності джиттеру P_{Jitt} на трасі:

$$R_{1K} = \Psi(T_{TPut}, L_{tc}, P_{Jitt}) \begin{matrix} \rightarrow \\ E[T_{TP\Sigma}] \rightarrow \max \\ L_{tc\Sigma} \rightarrow \min \\ P_{Jitt\Sigma} \rightarrow \min \end{matrix} R_{1Kopt};$$

$$\theta_{e2e}(n) = k_0 + k_1x + \dots + k_nx^n,$$

де k_0, k_1, \dots, k_n – коефіцієнти, які визначаються за результатами проведення тестів продуктивності мережного обладнання.

Іншими словами, при виборі оптимального маршруту треба враховувати пропускну спроможність, сумарну затримку та джитер на кожній транзитній ділянці. Загальна мета процесу оптимізації полягає у визначенні маршруту з мінімальним числом транзитних ділянок, що покривають необхідну область із забезпеченням заявленої якості сервісу. Функціонал R_{1K} також логічно вважати унімодальним. Обчислювальна складність є, як мінімум, поліноміальною. Для спрощення задачі оптимізації наскрізної QoS доцільно використовувати наближені методи, зокрема, евристичні алгоритми [1].

Висновки

1. При розв'язанні задач оптимізації якості сервісу QoS безпроводових мереж необхідно враховувати як розмір зони покриття, так і залежність QoS від загального

числа користувачів, і від числа користувачів в кожному сегменті зони покриття.

2. Якщо обрано шлях оптимізації локальної QoS, треба враховувати негативний вплив неоднорідностей у параметрах мережі. Внаслідок цих неоднорідностей виникає ефект "плящечного горлечка", коли QoS мережі обмежується параметрами найслабшої ланки. Для усунення цього ефекту треба усувати такі неоднорідності. Найпростіший шлях – застосування однорідного обладнання єдиного виробника.

3. Шлях оптимізації наскрізної QoS вільний від вказаного вище впливу, але задача має більшу обчислювальну складність. Відповідно, треба обирати більш прості алгоритми оптимізації.

4. В усіх випадках алгоритм оптимізації буде найбільш простим та ефективним, якщо ретельно проаналізувати фізичний сенс задач.

5. У подальшому планується розробити адаптивні алгоритми управління ресурсами для оптимізації якості сервісу в безпроводових мережах з випадковим доступом до мобільних абонентів, дослідити характеристики економічності, надійності та швидкодії розроблених алгоритмів.

Література

1. Дрововозов В.І., Аль-Шаммарі Ахмед Аршед, Толстікова О.В. Оптимізація ключових характеристик безпроводових мереж з міжрівневою взаємодією. Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ, 2021. – Вип. 3(67). – С. 16-27.

2. Modeling and Simulation of Computer Networks and Systems: Methodologies and Applications. Obaidat M.S., Nicopolitidis P., Zatai F. (Eds.) – Elsevier Inc., 2015. – 924 p.

3. Вишне夫斯基 В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

4. Вишне夫斯基 В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

5. Вишне夫斯基 В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.

6. Kawano R. k-Optimized Path Routing for High-Throughput Data Center Networks // R. Kawano, R. Yasudo, H. Matsutani, and H. Amano. – 2018 Sixth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR). – P. 99-105.

7. Kawano R. k-Optimized Path Routing for High-Throughput Data Center Networks // Ryuta Kawano, Ryota Yasudo, Hiroki Matsutani, and Hideharu Amano. – 2018 Sixth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR). – P. 99-105.

8. Wang, Y. Optimizing Multi-criteria k-Shortest Paths in Graph by a Natural Routing genotype-based Genetic Algorithm // Wang, Y., Liu, Q., Ren, H., Ma, X., Liu, L., Wang, W., Zhang, J. – 2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). – P. 342-345.

9. Chondrogiannis T. Exact and Approximate Algorithms for Finding k-Shortest Paths with Limited Overlap // T. Chondrogiannis, P. Bouros, J. Gamper, U. Leser. – Advances in Database Technology EDBT 2017: 20th International Conference on Extending Database Technology; Proceedings / Markl, Volker et al. (Hrsg.). – Konstanz: OpenProceedings.org, 2017. – P. 414-425.

10. Chondrogiannis T. Finding k-shortest paths with limited overlap // Theodoros Chondrogiannis, Panagiotis Bouros, Johann Gamper, Ulf Leser, David B. Blumenthal. The VLDB Journal, Electron resource. – 25 p.

11. Burstein D. The K Shortest Paths Problem with Application to Routing // David Burstein, Leigh Metcalf.

12. Drovovozov V., Al-Shammari Ahmed Arshed, Tolstikova O., Vodopianov S. Optimisation of the Key Performance Indicators of Wireless Cross-layer Networks. Доповідь на конференції "World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY" Computer systems and components". – К.: НАУ, 22.09.2020.

Дрововозов В.І., Аль-Шаммарі Ахмед Аршед, Журавель Н.В., Коцюр А.Б.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ СЕРВІСУ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ З МІЖРІВНЕВОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ

Попит на доступ до послуг під час руху, у будь-якому місці та в будь-який час призвів до нинішніх зусиль щодо інтеграції гетерогенних безпроводових мереж. Зокрема, привернули багато уваги методи забезпечення сумісності безпроводових локальних мереж стандартів IEEE 802.11x (WLAN) та IEEE 802.16 (WiMAX) зі стільниковими мережами поколінь 4G та 5G як додаткових систем у забезпеченні пропускної спроможності та покриття. Безпроводові мережі наступних поколінь за визначенням є гетерогенними мережами, у які інтегровані різні технології радіодоступу (RAT) з підтриманням заданої якості сервісу (QoS) за умов того, що співвідношення сигнал/завада плюс шум (SINR) у приймач більше за деякий поріг. При цьому підході обирається мережа з найкращою QoS відповідно до набору вимог. Коли ці вимоги не виконуються, здійснюється міжсистемний перехід між мережами. У цій статті аналізуються методи забезпечення локальної та наскрізної (End-to-End, e2e) якості сервісу в гетерогенних безпроводових мережах та визначається інформаційний критерій триплету QoS "пропускна спроможність – затримка – кількість бітових помилок". У дослідженні взятий до уваги клас трафіку кожного виклику та враховуються внутрішньомережні й міжмережні завади. Підхід до аналізу базується на моделюванні системи як багатовимірного ланцюга Маркова. Цей аналіз дозволяє спростити оцінку пропускної спроможності при обмеженнях SINR у різних безпроводових мережах. На основі цього аналізу отримані результати оцінки ефективності щодо обслуговування викликів у режимі реального часу та в трансформованому часі в кожній RAT та під різними розмірами мережі.

Ключові слова: безпроводова мережа; WLAN; WiMAX; SINR; QoS; ланцюг Маркова.

Drovovozov V.I., Al-Shammari Ahmed Arshed, Zhuravel N.V., Kotsyur A.B.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SERVICE QUALITY OF WIRELESS NETWORKS WITH INTER-LEVEL INTERACTION

The demand for on the go, anywhere, anytime access to services has led to current efforts to integrate heterogeneous wireless networks. In particular, the methods of ensuring the compatibility of IEEE 802.11x (WLAN) and IEEE 802.16 (WiMAX) wireless local area networks with cellular networks of the 4G and 5G generations as additional systems in providing bandwidth and coverage have attracted a lot of attention. Next-generation wireless networks are by definition heterogeneous networks that integrate different radio access technologies (RATs) with maintenance of a given quality of service (QoS) provided that the signal-to-interference plus noise ratio (SINR) at the receiver is greater than a certain threshold. In this approach, the network with the best QoS according to the set of requirements is selected. When these requirements are not met, an intersystem transition between networks is performed. This article analyses the methods of ensuring local and end-to-end (End-to-End, e2e) quality of service in heterogeneous wireless networks and defines the information criterion of the QoS triplet "throughput - delay - number of bit errors". The study takes into account the traffic class of each call and considers intra-network and inter-network interference. The approach to analysis is based on modelling the system as a multidimensional Markov chain. This analysis simplifies the estimation of throughput under SINR constraints in various wireless networks. Based on this analysis, real-time and transformed-time call service performance evaluation results are obtained in each RAT and under different network sizes.

Keywords: wireless network; Wi-Fi; WiMAX; SINR; QoS; Markov chain.