

## **МЕТОДИКА МЕТАЕВРИСТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ КЛЮЧОВИХ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПРОВОДОВИХ РАДІОМЕРЕЖ**

Безпроводові мережі нових поколінь, призначені для підтримки різних видів трафіку, таких як голос, дані та мультимедіа, активно впроваджуються в сучасні складні та різноманітні інформаційно-комунікаційні системи. У цих мережах обмін даними між абонентами можна покращити завдяки високій якості зображень та відео, а доступ до інформації та послуг – за рахунок підвищення швидкості передачі даних, наскрізної якості сервісу (*End-to-End QoS, e2e QoS*) та зменшення рівня бітових помилок, заходів безпеки, урахування локації абонента, енергоефективності та новим гнучкими комунікаційним можливостям. Ці функції створюють нові можливості не тільки у виробничій та організаційній сферах, але і для постачальників контенту та послуг, що використовують ці мережі. Поставлені завдання розв'язуються за допомогою спеціальних модулів управління радіо ресурсами, адаптації та оптимізації на декількох рівнях стека протоколів моделі взаємодії відкритих систем (*Open System Interconnection Reference Model, OSI*).

Надання гарантій якості є важливою метою розробки безпроводових мереж. Різні методи можуть мати дуже різноманітні вимоги до якості щодо термінів передачі даних, міжкінцевої затримки та ймовірностей порушення, пов'язаних із затримкою. Наприклад, програми управління виробничим підприємством вимагають надійної та своєчасної доставки команд управління; отже, важливо гарантувати, що жоден пакет не втрачається чи затримується під час передачі пакету. Цей тип гарантій *QoS* зазвичай називають детермінованими або жорсткими гарантіями. З іншого боку, для більшості мультимедійних застосунків, включаючи відео телефонію, передачу мультимедіа та Інтернет-ігри, не потрібні такі суворі вимоги до якості *QoS*, тому що ці

застосунки мало чутливі до короткострокових порушень *QoS*. Цей тип гарантій *QoS* зазвичай називають статистичними або м'якими гарантіями.

Для безпроводових мереж, оскільки пропускна спроможність безпроводового каналу випадково змінюється з часом, спроба забезпечити детерміновану *QoS* (тобто з нульовою ймовірністю порушення *QoS*) призведе до надто консервативних гарантій. При цьому гарантована з імовірністю одиниця пропускна спроможність (без контролю потужності) дорівнює нулю.

Очевидно, що така консервативна гарантія недосяжна. За цими резонами в роботі розглядається статистична *QoS*. Для підтримки гарантій *QoS* запропоновано два загальні підходи.

Перший підхід – мережно-орієнтований. За таким підходом маршрутизатори, комутатори та центри збору даних у мережі повинні забезпечувати підтримку *QoS* для задоволення вимог щодо швидкості передачі даних, обмеженої затримки та втрати пакетів, що вимагаються програмними застосунками (наприклад, інтегровані сервіси або диференційовані послуги [1-3]).

Другий підхід базується виключно на *End-to-End (E2E)* системі і не пред'являє жодних вимог до мережі. Зокрема, в *E2E* системах використовуються методи управління для досягнення максимальної якості на рівні застосунків без підтримки *QoS* на транспортному рівні. У цій роботі розглядається проблема забезпечення *QoS* з мережної точки зору. Для забезпечення гарантій *QoS* у безпроводових мережах архітектура мережі повинна містити такі компоненти: специфікація трафіку, маршрутизація *QoS*, контроль прийому викликів, характеристика безпроводових каналів, резервування ресурсів та планування пакетів. Схема мережі з архітектурною концепцією резервування *QoS* зображена на рис. 1.

Розподіл ресурсів зазвичай поєднується з контролем прийому запитів. Аналіз результатів пошуку маршруту на засадах *QoS* проводиться на маршруті, що складається з декількох транзитних ділянок і є оптимальним за критерієм мінімальної сумарної затримки. Розглянемо обґрунтування вибору методу оптимізації та результати роботи моделюючої програми.



Рис. 1. Мережна архітектура для резервування  $QoS$ .

Загальна мета процесу оптимізації полягає у визначенні маршруту з транзитними ділянками, що мають приблизно однакову пропускну спроможність із забезпеченням заявленої інформаційної цінності. Враховуючи співвідношення між функціями цінності інформації, суб'єктивними імовірностями та відповідними функціями корисності, введемо універсальну цільову функцію, вид якої визначається кількістю апріорної інформації про стан та параметри безпроводової мережі критичного застосування.

Розглянемо у якості одного з аргументів цільової функції надійність доставки даних  $r_d$ . Тоді компонент ультралінійної цільової функції  $\Psi(r_d)$  матиме наступний вигляд:

$$\Psi(r_d) = \Psi[N_p, N_{lost}, \varepsilon, Route_i] = \Psi \left\{ a \left[ 1 - \left( \frac{N_p - N_{lost}}{N_p} \right)^\varepsilon \right] \left( v_{pr}, Route_i \right) \right\}; \quad (1)$$

$$0 \leq \frac{N_p - N_{lost}}{N_p} \leq 1, \quad 1 \leq \varepsilon \leq 2,$$

де  $Route_i$  –  $i$ -й маршрут доставки з  $M$  транзитними ділянками;

$v_{pr}$  – кількість апіорної інформації про стан та параметри  $i$ -го маршруту. Без будь-якої втрати узагальненості можна вважати, що пропускні спроможності усіх ділянок мають один порядок, а в ідеалі є однаковими [1-3].

Строго кажучи, реальні аргументи цільової функції – затримка, надійність доставки та інші – приймають лише позитивні значення. Відповідно і цільова функція  $\Psi(x_i)$  існуватиме лише у правому верхньому квадранті площини аргументів  $(x_i, \epsilon)$ , однак для розв'язку задачі оптимізації це не має принципового значення, оскільки при будь-яких величинах  $\epsilon$  розглядається ультралінійна функція за модулем. Негативні значення аргументу на рис. 2 уведені лише для наочності представлення та спрощення алгоритмів стандартної задачі оптимізації стосовно конкретної проблеми, що розглядається у даному випадку.

Задача пошуку оптимального маршруту в мережі з  $N$  вузлами та  $M$  транзитними ділянками докладно розглянута у нашій роботі [2] стосовно оптимізації наскрізної якості сервісу для безпроводової мережі. У строгому математичному сенсі задача максимізації функції корисності для безпроводової мережі критичного застосування є класичною задачею про потоки в мережі як різновид квадратичних задач розміщення. Тому не будемо її докладно розглядати, пославшись на вичерпні результати згаданої роботи [2].

Використання наближених методів і алгоритмів є на даний момент фактично єдиним способом вирішення проблеми. За останні роки запропоновані різноманітні евристичні та метаевристичні методи [1-3] отримання наближеного рішення квадратичної задачі про призначення: табу-пошук, імітація відпалу, генетичні алгоритми тощо. Не вдаючись до докладного порівняльного аналізу евристичних методів, оберемо метод табу-пошуку, як один із найбільш успішних методів, що застосовуються для розв'язання таких задач. Для прискорення роботи алгоритму застосовують спеціальні технології, отримані вітчизняними вченими [1-3]. На цілій серії задач отримані результати, які не поступаються, а часто перевершують результати найбільш успішних алгоритмів, що застосовуються для розв'язання квадратичної задачі про призначення.

У роботі [1] розроблений алгоритм розв'язання квадратичної задачі про призначення, заснований на класичній схемі з локальним пошуком для поліпшення отриманих рішень. Для прискорення роботи алгоритму застосована технологія локальної оптимізації з апостеріорною корекцією. Там же даний докладний опис алгоритму та наведені асимптотичні оцінки точності отриманих рішень. Відмічено, що точність отриманого рішення залежить не тільки від точності завдання вихідних даних, але і від детальності їх подання. Може трапитися, що при зайвій деталізації статистичних характеристик мереж виникнуть додаткові локальні мінімуми цільової функції, що призведе до підвищення ризику зациклення на одному з них. Ці питання носять системний характер. Основною проблемою деталізації подання вихідних даних є ризик зациклювання на локальних екстремумах цільової функції. Для згладжування цих екстремумів використаний алгоритм локальної апостеріорної оптимізації, заснований на методі дуального управління Фельдбаума: результати, отримані на поточному та на попередніх кроках пошуку, використовуються в якості початкових даних на наступних кроках. На рис. 2 та 3 показані графіки зміни перетину цільової функції  $f_c$  при локальній апостеріорній оптимізації різного порядку.

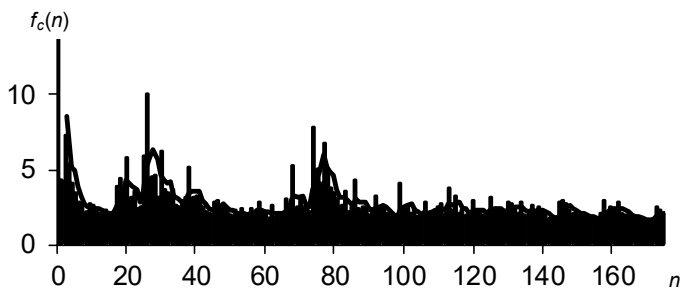


Рис. 2. Еволюція цільової функції без локальної апостеріорної корекції (лінійчатий графік) та з локальною апостеріорною корекцією по двох попередніх поточних даних.

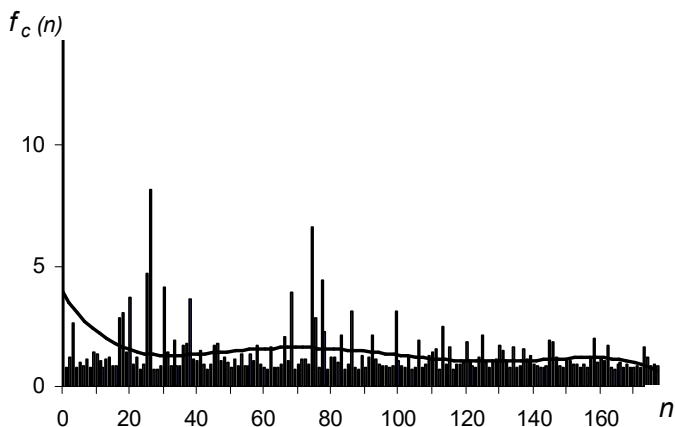


Рис. 3. Еволюція цільової функції без локальної апостеріорної корекції (лінійчатий графік) та з локальною апостеріорною корекцією по п'яти попередніх поточних даних.

Видно, що при накопиченні більшої кількості попередніх поточних даних локальні екстремуми згладжуються краще. Однак при цьому підвищується ризик пропуску глобального екстремуму.

### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Дровозов В.І., Аль-Шаммарі Ахмед Ариед, Толстікова О.В., Водоп'янов С.В., Коцюр А.Б. Наскрізна якість сервісу безпроводових мереж з міжрівневою взаємодією. *Проблеми інформатизації та управління*. 2020. Вип. 63. С. 11–17.

2. Дровозов В.І., Аль-Шаммарі Ахмед Ариед, Толстікова О.В. Оптимізація ключових характеристик безпроводових мереж з міжрівневою взаємодією. *Проблеми інформатизації та управління*. 2021. Вип. 67 (3). С. 16–27.

3. Gendreau M., Potvin J.-I. *Handbook of Metaheuristic*, 3<sup>rd</sup> ed. – Springer International Publishing AG, 2019. – 604 p.