

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ МНОЖИННОГО РАДІОДОСТУПУ БЕЗ СУПЕРЕЧНОСТЕЙ МІЖ СПРАВЕДЛИВІСТЮ ТА ОПТИМАЛЬНОСТЮ

Національний авіаційний університет

ahmedalsaeg@gmail.com

Вступ

Гетерогенна безпроводова мережа (HWN) з випадковим множинним доступом за визначенням повинна працювати з різними технологіями радіодоступу (RAT), які функціонують в одній і тій же області або у різних, необов'язково сусідніх областях. Зони покриття, можуть повністю або частково перекриватися, працюючи разом скоординовано, щоб завжди забезпечувати найкраще з'єднання з користувачем при максимальному використанні мережних ресурсів. Координація між різними RAT може бути досягнута за допомогою загального управління радіоресурсами (Common Radio Resource Management, CRRM). У зв'язку з обмеженістю енергетичних, часових, частотних та інформаційних ресурсів загальне управління радіоресурсами в безпроводових мережах є невід'ємною складовою загальної проблеми проектування, розробки та впровадження мереж.

Однією із основних функцій CRRM є механізм вибору RAT. Ґрунтова функція цього механізму – початковий вибір RAT для нових вхідних запитів. Ця функціональність, по суті, реалізується у вигляді алгоритмів початкового вибору RAT (IRATS). Інша функція відповідає за вибір RAT для поточних сеансів і реалізується шляхом управління передачею обслуговування (НОС) з відповідними алгоритмами передачі обслуговування та прийняття рішення (НОА).

У літературі запропоновано та проаналізовано різноманітні критерії вибору RAT, такі як співвідношення сигнал/(завади плюс шуми), тобто SINR [1, 2], навантаження мережі, вимоги QoS [3], переваги та політики користувача [4] і т.д.

Зазвичай порівняльна продуктивність різних методів вибору RAT аналізується методами комп'ютерного моделювання з включенням стаціонарних та мобільних користувачів в зону покриття локальної мережі WLAN [5]. Хоча окремі пропозиції щодо аналітичного підходу до оцінки алгоритмів вибору RAT і представлені у деяких роботах теоретичного та прикладного характеру [6, 7], вичерпні аналітичні оцінки ефективності алгоритмів вибору RAT у доступних нам джерелах не виявлені. Більш того, мобільність користувачів та можливості переходу від одних до інших безпроводових мереж різних технологій з різними зонами покриття (наприклад, WLAN та WWAN) з достатнім ступенем глибини також не розглядаються.

Усунення конфліктів між справедливістю та оптимальністю розподілу ресурсів

Необхідно чітко визначати різницю між маршрутизацією, коли системі доводиться робити вибір певного маршруту прямування, і пересиланням – дією, що відбувається при отриманні пакета. Можна уявити маршрутизатор як пристрій, в якому функціонують два процеси. Один з них обробляє пакети, що надходять, і вибирає для них за таблицею маршрутизації вихідну лінію.

Такий процес називається пересиланням (forwarding). Другий процес відповідає за заповнення та оновлення таблиць маршрутизації. Саме тут у гру входить алгоритм маршрутизації.

Незалежно від того, чи окремо вибираються маршрути для кожного пакета, що відправляється, або ж тільки один раз для з'єднання, бажано, щоб алгоритм вибору маршруту володів певними властивостями

– коректністю, простотою, надійністю, стійкістю, справедливістю та ефективністю. Коректність і простота навряд чи вимагають коментарів, а ось потреба в надійності не така очевидна з першого погляду. Під час роботи великої мережі постійно відбуваються якісь відмови апаратури та зміни топології. Алгоритм маршрутизації повинен уміти справлятися із змінами топології та трафіку без необхідності припинення всіх завдань на всіх хостах. Уявіть собі, що було б, якби мережа перезавантажувалась при кожному виходу маршрутизатора з ладу.

Алгоритм маршрутизації повинен також мати стійкість. Існують алгоритми вибору маршруту, які ніколи не сходяться до фіксованого набору шляхів, незалежно від того, як довго вони працюють. Стійкий алгоритм повинен досягати стану рівноваги та залишатися у ньому. Але він також повинен швидко знаходити цей набір шляхів, оскільки з'єднання може бути перервано до того, як буде досягнуто рівноваги.

Такі цілі, як справедливість та ефективність, можуть здатися очевидними – навряд чи хтось заперечуватиме проти них, – проте вони часто виявляються взаємовиключними.

Очевидно, потрібен компроміс між справедливим виділенням трафіку всім станціям та оптимальним використанням каналу у глобальному сенсі. Крім того, при появі швидкої та дешевої ділянки маршруту (так буває, хоч і нечасто), всі користувачі розраховуватимуть маршрут так, щоб ця ділянка обов'язково входила до цього маршруту. Відповідно виникає перевантаження, і маршрут перестає бути оптимальним.

Для запобігання таким ситуаціям необхідно, крім оптимального маршруту, розраховувати запасний маршрут – другий за величиною цільової функції. Якщо оптимальний маршрут перевантажений, система управління мережею переводить "підшефних" абонентів на запасний маршрут.

Для усунення таких конфліктів треба, у першу чергу, розробляти відповідні моделі мобільності абонентів.

Ключові параметри ефективності моделей мобільності

Основоположні припущення для аналізу перераховані нижче.

1. Кожна зона покриття (аж до меж зони впевненого прийому) має одну або кілька (N) точок доступу з покриттям сегментів WLAN, як показано на рис. 1. Область точки доступу знаходиться в діапазоні покриття однієї точки доступу WLAN (AP). Наприклад, радіус області 100 метрів.

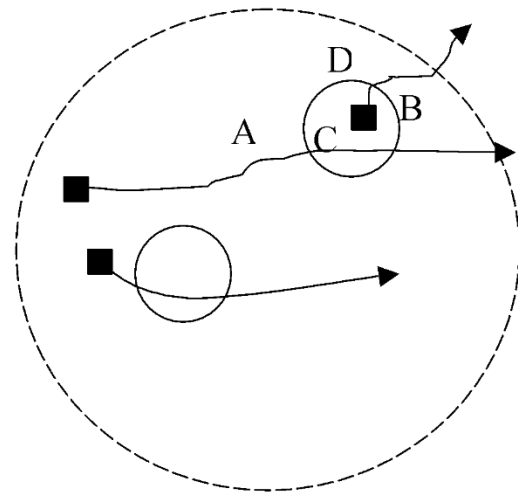


Рис. 1. Безпроводова мережа з різними користувачами у точці доступу; АВ – передача запиту з відповідним часом очікування запиту або з часом перебування запиту користувача; CD – новий час перебування запиту в зоні точки доступу

2. Для простоти аналізу форма області, показана на рис. 1, апроксимована круглою формою геометричного радіусу R і r для зони прийому та сегменту зони відповідно.

3. У зоні прийому розглядаються два типи мобільності користувачів: 1 – транспортна та 2 – змішана транспортна та не транспортна мобільність (тобто не транспортна мобільність у точці доступу та транспортна мобільність за межами точки доступу). Нехай θ є часткою користувачів транспортних засобів у точці доступу- i ($i=1, \dots, N$). Іншими словами, $(1 - \theta)$ є частка користувачів неавтомобільної мобільності в точці доступу- i . Низька величина θ (наприклад, $\theta < 0,3$) ілюструє високий

відсоток користувачів, які не використовують транспортні засоби, у зоні доступу (наприклад, в офісі, на території установи), тоді як високе значення θ (наприклад, $\theta > 0,7$) відповідає загальнодоступній зоні WLAN з великою кількістю транспортних засобів. Пропонована модель мобільності для HWN класифікує поведінку багаторежимних користувачів за двома категоріями: перша – новий виклик у точці доступу, який виходить у межах тривалості запиту (позначений CD на рис. 1); друга – запит у точці доступу, який входить і, нарешті, виходить із точки доступу, ще будучи активним (позначений AB на рис. 1). Нехай для першої категорії $T_{dwell}^{(n)}$ позначає час очікування нового запиту, який визначається як час, протягом якого мобільний користувач знаходиться в точці доступу з моменту ініціювання запиту до моменту його закінчення. Для другої категорії $T_{dwell}^{(r)}$ позначає час перебування запиту на маршруті, який визначається як тривалість часу, протягом якого запит користувача знаходиться в точці доступу. Виходячи з вищевикладеного, ми кількісно оцінюємо пропонувану модель мобільності за часом перебування в околиці точки доступу, що визначається як час, який активний/неактивний користувач проводить в околиці точки доступу. Користувачі з не транспортною мобільністю в зоні доступу слідуєть розподілу часу перебування в осередку WLAN [2], чия функція щільності ймовірності (pdf) позначається як $f_{m_WWAN}(t)$. Користувачі з транспортною мобільністю в зоні доступу наслідують масштабований розподіл часу перебування запиту за допомогою функції щільності ймовірності $f_{m_WWAN}(t)$. Позначимо T_{m_WWAN} як випадкову величину, що становить час перебування запиту також за допомогою функції щільності ймовірності $f_{m_WWAN}(t)$. Отже, час перебування користувача з транспортною мобільністю в

точці доступу є випадковою величиною, T_{m_WWAN} . Очевидно [9, 10],

$$T_{m_WWAN} = \left(\frac{r_{eff}}{R_{eff}} \right) T_{M_WWAN} = \left(\frac{r}{R} \right) T_{M_WWAN} \quad (1)$$

де R_{eff} та r_{eff} – ефективний радіус зони впевненого прийому та зони охоплення точки доступу відповідно.

На рис. 2 наведені розрахунки швидкості передачі запиту для схем CRRM у залежності від частки користувачів з транспортною мобільністю у зоні точки доступу. Частоти надходження викликів вертикальної передачі обслуговування для схем CRRM наведено на графіку відносно частки користувачів транспортних засобів у зоні точки доступу. Частота VHO між двома RAT є найнижчою для схеми CRRM на основі мобільності через використання інформації про мобільність під час прийняття рішення VHO. Показники VHO схеми на основі мобільності також адаптивно контролюються наступним чином: зі збільшенням середньої мобільності в точці доступу більше користувачів займають ресурс WWAN і не потребують VHO, коли вони переміщуються з точки доступу. Для схеми "WLAN з повним покриттям" швидкість VHO від WLAN до WWAN і WWAN до WLAN швидко зростає зі збільшенням мобільності, це небажано.

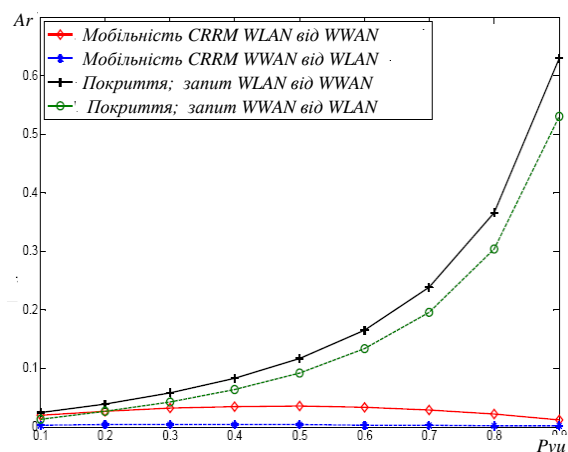


Рис. 2. Залежність швидкості передачі запиту Ar від частки користувачів P_{vu} з транспортною мобільністю у зоні точки доступу

Висновки

Отримано загальний вираз для розподілу часу перебування точки доступу в неоднорідній безпроводовій мережі разом із ймовірностями перетину межі точки доступу. Чисельні результати та результати моделювання показують задовільний збіг. Чисельні результати наведені для демонстрації використання ймовірностей перетину меж гарячої точки для розрахунку швидкості вертикальної передачі обслуговування в HWN, який є важливим параметром для аналізу продуктивності на рівні мережі. Завдяки просторовому рознесенню точок доступу та наявності надлишкових маршрутів вдається розв'язати конфлікт між справедливістю та оптимальністю вибору маршрутів неоднорідної безпроводової мережі.

Література

1. Fanchun Jin, Hyeong-Ah Choi, Jae-Hoon Kim, JungKyo Sohn, Hyeong In Choi. Common radio resource management for access selection in multi-access networks. *2008 IEEE Radio and Wireless Symposium / Orlando, FL, USA, 2008*. P. 643–664.
2. Jose Andre Moura, David Hutchison. Game Theory for Multi-Access Edge Computing: Survey, Use Cases, and Future Trends. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2019. V. 21, Iss.1. P. 260–288.
3. Oh H.S., Jeong D.G., Jeon W.S. Joint Radio Resource Management of Channel-Assignment and User-Association for Load Balancing in Dense WLAN Environment. *IEEE Access*. 2020. V.8. P. 69615–69628.
4. Tong S., Liu Y., Cho H.-H., Chiang H.-P., Zhang Z. Joint radio resource allocation in fog radio access network for healthcare. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 2019. V. 12, Iss. 5. P. 1277–1288.
5. Melhem El Helou, Marc Ibrahim, Samer Lahoud, Kinda Khawam, Dany Mezher, Bernard Cousin. A Network-assisted Approach for RAT Selection in Heterogeneous Cellular Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2015. V. 15, Iss. 6. P. 1055–1067.
6. Khaki M., Ghasemi A. The impact of mobility model on handover rate in heterogeneous multi-tier wireless networks. *Computer Networks*, 2020. V. 182. 107454.
7. Prakash S., Patel R.B., Jain V.K. Intelligent Mobility Management Model for Heterogeneous Wireless Networks. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*. 2015. V. 6, Iss. 12. P. 190–196.
8. Zayaraz G., Kanchana Devi J., Vijayalakshmi V., Hemamalini V. Mobility management in heterogeneous wireless networks. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2014. V. 3, Iss. 7. P. 761–768.
9. Trung Thanh Nguyen, Khaled Elbassioni, Nguyen Cong Luong, Dusit Niyato, Dong In Kim. Access Management in Joint Sensing and Communication Systems: Efficiency versus Fairness. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2022. V. 71, Iss. 5. P. 5128–5142.
10. Jalal Jalali. Resource Allocation for SWIPT in Multi-Service Wireless Networks. URL: <https://arxiv.org/abs/2007.13676>.

Аль-Шаммарі. А.А.А.

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ МНОЖИННОГО РАДІОДОСТУПУ БЕЗ СУПЕРЕЧНОСТЕЙ МІЖ СПРАВЕДЛИВІСТЮ ТА ОПТИМАЛЬНОСТЮ

Розглядається задача забезпечення наскрізної якості обслуговування неоднорідних безпроводових (БП) мереж з випадковим множинним доступом. Проаналізовані процеси виникнення конфліктів між справедливістю та оптимальністю вибору маршрутів та розподілу ресурсів у БП мережах. Розроблено методику усунення конфліктів між

справедливістю та оптимальністю розподілу ресурсів. Показано, що при раціональному визначенні технології радіодоступу в неоднорідних мережах Функції кожного рівню та, відповідно, інформаційні параметри трафіку на цьому рівні можна віднести до однієї з двох альтернативних груп: функції, що залежать від конкретної технічної реалізації мережі або функції, орієнтовані на роботу із застосунками. Відповідно до цього сформульовано глобальний підхід до оптимального вибору RAT та запропоновано підхід для вибору RAT з використанням розподіленого метаевристичного алгоритму табу-пошуку, заснованого на піковій швидкості, яку спроможні сприймати користувачі. Розроблено розподілену систему вибору RAT.

Ключові слова: *неоднорідна безпроводова мережа, технологія радіодоступу, глобальний і багатоекстремальний розподіл ресурсів, метаевристична оптимізація.*

Al-Shammari A.A.A.

CHOOSING A MULTIPLE RADIO ACCESS TECHNOLOGY WITHOUT TRADEOFFS BETWEEN FAIRNESS AND OPTIMALITY

The task of ensuring the end-to-end quality of service of heterogeneous wireless (HW) networks with random multiple access is considered. The processes of the occurrence of conflicts between the fairness and optimality of route selection and resource allocation in HW networks are analyzed. A technique for eliminating conflicts between fairness and optimality of resource distribution has been developed. It is shown that in the rational definition of radio access technology in heterogeneous networks, the functions of each level and, accordingly, the information parameters of the traffic at this level can be attributed to one of two alternative groups: functions that depend on a specific technical implementation of the network or functions focused on working with applications. Accordingly, a global approach to optimal RAT selection is formulated and an approach for RAT selection using a distributed metaheuristic tabu search algorithm based on the peak speed that users can perceive is proposed. A distributed RAT selection system has been developed.

Keywords: *heterogeneous wireless network, radio access technology, global and multi-extreme resource allocation, metaheuristic optimization.*