

РАДИОЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.39

КОМБІНОВАНИЙ КРИТЕРІЙ ВИБОРУ МАРШРУТИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ D2D ТЕХНОЛОГІЇ

Булашенко А. В. – старший викладач кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна.

АНОТАЦІЯ

Актуальність. Мережі 5G здатні покращувати існуючі послуги та забезпечувати нову якість послуг. Мережі зв'язку 5G об'єднують в собі різні радіотехнології та технології фіксованих мереж зв'язку, тому їх часто називають гетерогенними, що підкреслює їх різницю від інших мереж. Одними із основних особливостей таких мереж є надщільність та ультра малі затримки. Саме Інтернет речей є базовою складовою концепції надщільних мереж. 3GPP пропонує планувати мережі 5G виходячи із умови, що в 1 км^2 є один мільйон пристроїв. Також мережі зв'язку з ультра малими затримками мають великий вплив на методи побудови мереж, особливо для концепції Тактильного Інтернету. Такі мережі потребують децентралізації внаслідок вимоги до затримки в 1 мс. Це вимагає нових підходів побудови мереж нового покоління, що є причиною розвитку нових технологій. Однією із таких технологій є технологія пристрій-пристрій D2D. Ця технологія дає можливість зменшити навантаження на ядро мережі завдяки використанню значної долі трафіка безпосередньо між пристроями і дає можливість зменшити затримку при забезпеченні послуг мережі.

Мета. Мета роботи полягає в тому, щоб створити оптимальний комбінований критерій вибору ефективних маршрутів трафіка у безпроводній мережі на основі технології D2D.

Метод. Багато сучасних робіт присвячено вивченню технології D2D, але вони не є повністю дослідженими у питаннях вивчення маршрутизації в таких мережах. Досить об'єктивним є дослідження мереж, що побудовані на основі взаємодії пристроїв між собою по технології D2D, оскільки такі взаємодії виявилися ефективною технологією. Це, в свою чергу, вимагає розробку відповідних методів маршрутизації у мережах, що використовують технологію D2D, особливо із врахуванням властивості надщільності мереж 5G. У роботі запропонований критерій вибору маршрутів з врахуванням завад всередині каналів, що утворюють вузли мережі. Цей критерій поєднує в собі вибір маршрутів за критеріями довжини та за критерієм максимуму пропускної здатності.

Результати. Розроблений комбінований критерій вибору маршрутизації трафіка у безпроводній мережі, що використовує технологію D2D. Результати дослідження проілюстровані графічними даними.

Висновки. Проведені дослідження підтвердили працездатність та ефективність розробленого методу та дозволяють рекомендувати його для використання на практиці при виборі маршруту із врахуванням тих властивостей мережі, що в найбільшій степені відображаються на якості маршруту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інтернет речей, пристрій-пристрій, маршрутизація, кластеризація.

АБРЕВІАТУРИ

3GPP – 3rd Generation Partnership Project;
5G – Fifth Generation of Mobile Networks;
D2D – Device-to-Device;
SINR – Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio.

НОМЕНКЛАТУРА

$SINR_{ij}$ – відношення сигналу до суміші шуму та завади на вході вузла приймача j у випадку приймання сигналу від вузла i ;

P_{ij} – потужність сигналу, що передається i -м вузлом на вході j -го вузла з врахуванням загасання у середовищі поширення, Вт;

$P_{i(j)}$ – загальна потужність інтерференції, що формується вузлами мережі на вході j -го вузла;

P_N – потужність завад на вході j -го вузла, Вт;

P_i – потужність інтерференції на вході j -го вузла, Вт;

a_i – інтенсивність трафіка, мБіт/с;

b_i – пропускна здатність каналу, біт/с;

$P_{CEP,i}$ – середня потужність сигналу, що формується i -м вузлом;

a_0 – трафік рівної інтенсивності;

a – загальний трафік, що обслуговується вузлом мережі;

ν – відносна інтенсивність.

ВСТУП

Мережі зв'язку 5G є гетерогенними, оскільки це проявляється у використанні різних технологій на рівні мереж доступу, та використання різних методів побудови самих мереж. Для підвищення ефективності використання мережевих ресурсів у мережах 5G використовують технологію D2D. Ця технологія ділиться на технології всередині мережі та зовні мережі. Використання другого методу дає можливість, за певних умов, організувати мережу великого масштабу.

Об'єктом роботи є процес пошуку маршруту трафіка на основі комбінованого методу згідно критеріям маршруту та довжини.

Предмет роботи є комбінований метод пошуку маршруту трафіка на основі критеріїв довжини та максимуму пропускної здатності.

Мета роботи є створення оптимального комбінованого критерію вибору ефективних маршрутів трафіка у безпроводній мережі на основі технології D2D.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Взаємний вплив вузлів мережі бездротового зв'язку, що використовують один і той же частотний канал, може мати подвійний характер. В першу чергу він проявляється, якщо потужність стороннього сигналу або завади в точці розміщення передавача корисного сигналу досить велика, в результаті передавач корисного сигналу оцінює стан середовища як зайнятий та чекає її звільнення. Таким чином, має місце втрати у часі, тобто збільшиться навантаження на канал. З іншого боку, якщо потужність завади в цій точці досить невелика, то передавач здійснює передачу корисного сигналу, а сигнал від іншого джерела в точці прийому створює заваду та понижуює відношення сигналу до суміші завади та шуму. В результаті, зменшення співвідношення сигналу до шуму, приводить до вибору більш меншої швидкості передачі даних у каналі.

Оскільки наявність стороннього сигналу приводить до зменшення пропускної здатності каналу між вузлами, що розглядаються, то при побудові маршруту необхідно прагнути до збільшення потужності корисного сигналу, зменшенню енергії сторонніх сигналів в точці приймання через $SINR$.

Але співвідношення $SINR$ враховує миттєві або середні потужності та не враховує трафік, що формується вузлами мережі, який визначає степінь взаємного впливу. Мале значення $SINR$ без врахування трафіка не є причиною низької якості каналу. Фактичне

значення потужності завади буде нульове, якщо вузли, що враховуються у співвідношенні $SINR$, не формують трафік. Найгірша ділянка маршруту визначає пропускну здатність цього маршруту. Отже, ділянка маршруту, що має найменше відношення $SINR$ визначає його максимальну пропускну здатність.

У результаті, задача вибору маршруту можна класифікувати як задачу оптимізації, що полягає у виборі маршруту із максимальною пропускною здатністю, що визначається ділянкою з мінімальною пропускною здатністю

$$P_{ij}^{(\max)} = \max_{P_{ij} \in \Pi_{ij}} \{ \min(a \in P_{ij}) \}. \quad (1)$$

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Мережі зв'язку 5G є гетерогенними, оскільки це проявляється у використанні різних технологій на рівні мереж доступу, та використання різних методів побудови самих мереж. Для підвищення ефективності використання мережевих ресурсів у мережах 5G використовують технологію D2D [1–8]. Ця технологія ділиться на технології всередині мережі та зовні мережі. Використання другого методу дає можливість, за певних умов, організувати мережу великого масштабу [9–10].

Використання технології D2D дає можливість побудови мережі на базі абонентських терміналів, що підтримують таку функціональність. Якість функціонування такої мережі описується основними параметрами, що є критичними для реалізації визначених послуг. Якщо цільовою послугою буде доставка даних від «речей», то ймовірність доставки повідомлення суттєво залежить від структури логічної та фізичної мережі [11]. Зміна фізичної структури можлива лише із використанням додаткових ресурсів, а зміна логічної структури забезпечується протоколами маршрутизації.

Якість обраних маршрутів забезпечує ефективність маршрутизації трафіка. При цьому критерій відбору має враховувати ті властивості мережі, які в найбільшій степені відображаються на якості маршруту.

На якість каналу між двома сусідніми вузлами впливає ряд факторів, що в свою чергу впливають на поширення радіосигналу та його обробку в приймачі. До них відносять відстань, що визначає загасання сигналу у середовищі поширення суміші завад та шуму, що мають місце в точці прийому [12–14]. В умовах мережі високої щільності найбільша кількість завад буде створюватися сусідніми вузлами мережі, що є завадами всередині каналів [15–17]. Отже, при маршрутизації трафіка у безпроводній мережі необхідно визначити критерій, що враховує ці фактори.

3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Алгоритми теорії графів використовуються для вирішення цієї задачі. Величину $SINR$ використовують

ють у якості початкового параметра. Алгоритм вибору маршруту залежить від протоколу маршрутизації. Сформуємо алгоритм, що використовує тривимірну операцію [14].

$$SINR_{ij} = \max \{ SINR_{ij}, \min(SINR_{ik}, SINR_{kj}) \}, \quad (2)$$

де $SINR_{ij}$ це відношення сигналу до суміші шуму та завади на вході вузла приймача j у випадку приймання сигналу від вузла i , що визначається

$$SINR_i = \lg\left(\frac{P_{ij}}{P_N + P_i}\right), \text{дБ}, \quad (3)$$

де P_{ij} – потужність сигналу, що передається i -м вузлом на вході j -го вузла з врахуванням загасання у середовищі поширення, Вт; P_N – потужність завад на вході j -го вузла, Вт; P_i – потужність інтерференції на вході j -го вузла, Вт.

Оскільки виконується умова $P_i \gg P_N$ у мережі відносно високої щільності

$$SINR_i \approx \lg\left(\frac{P_{ij}}{P_{i(j)}}\right), \text{дБ}, \quad (4)$$

де $P_{i(j)}$ – загальна потужність інтерференції, що формується вузлами мережі на вході j -го вузла.

Величина потужності відображає лише потенційну можливість потужності завади, за умови, що всі вузли мережі, що створюють заваду, одночасно знаходяться у стані передачі. Але практично ймовірність такої ситуації є нульовою. Таким чином, ця модель корисна, оскільки дає можливість знайти маршрути, що менше всього схильні завадам. Припустимо, що відношення $SINR$ є визначальною величиною для всіх ділянок маршрутів, коли обирається маршрут за критерієм (2). Це має місце, коли активність всіх вузлів мережі суворо однакова та визначається трафіком, що створюється ними. Таким чином, коли відповідний вузол передає данні, то виникає сигнал завади, ймовірність якого визначається

$$P_i = \frac{a_i}{b_i}, \quad (5)$$

де a_i – інтенсивність трафіка, мБіт/с; b_i – пропускна здатність каналу, біт/с.

Отже, у мережі із різними рівнями величина p_i характеризує ступінь впливу завади, що формується певним вузлом на пропускну здатність ділянки маршруту.

Енергія сигналу, що створюється i -м вузлом мережі

$$w_i = p_i P_i \Delta t = P_{CEP,i} \Delta t, \quad (6)$$

де $P_{CEP,ij} = p_i P_i$ – середня потужність сигналу, що формується i -м вузлом.

У результаті значення відношення сигнал до суміші завади та шуму будемо розглядати як середнє значення величини $SINR_{CEP,ij}$. Таким чином, користуючись цим виразом у задачі вибору маршруту, результат вибору маршруту з найбільшою пропускною здатністю буде визначатися як відношення сигналу до суміші завади та шуму, так і трафіком, що був сформований вузлами мережі.

Оскільки у другій моделі всі значення інтенсивності трафіка рівні, то вона еквівалентна першій і є більш загальною.

Перша модель ілюструє випадок, коли необхідно враховувати лише вплив $SINR$ без впливу трафіка. Це має місце у випадку, коли величину трафіка необхідно прийняти рівною для всіх вузлів мережі, бо невідома величина трафіка, або необхідно орієнтуватися на мінімальний вплив сусідніх вузлів мережі, бо інтенсивність трафіка дуже велика.

У випадку, коли інтенсивність трафіка вузлів мережі мала, то їх впливом можна знехтувати, тоді вираз $SINR$ необхідно замінити потужністю корисного сигналу P_{ij} та вирішувати задачу пошуку маршруту із врахуванням заміни.

Оскільки одночасне використання двох критеріїв на кожному кроці процедури пошуку маршруту не можливе, то сформуємо умову, за якої буде обиратися один із них на певному кроці. Таким чином, це буде комбінований критерій

$$SINR_{ij} = \begin{cases} \max \{ S, M \}, & |S - M| > \varepsilon_0; \\ S, & \end{cases} \quad (7)$$

де

$$S = SINR_{ij}, \quad (8)$$

$$M = \min(SINR_{ik}, SINR_{kj}). \quad (9)$$

У виразі (7) значення величини ε_0 є критичним, оскільки у випадку його перевищення необхідно збільшити кількість транзитних вузлів. Будемо вважати, що рішення вибору додаткового транзитного вузла має місце тоді, коли величина ε_0 перевищує зменшення величини $SINR$ для інших вузлів.

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Результати вибору маршруту між двома вузлами мережі відповідно до критерію мінімальної відстані наведені на рис. 1 а, відповідно критерію максимуму пропускної здатності на рис. 1 б, відповідно критерію максимуму пропускної здатності із врахуванням завад на рис. 1 в, а відповідно критерію максимуму пропускної здатності із врахуванням завад та інтенсивності трафіка на рис. 1 г.

Використання простих критеріїв вибору маршруту по одному із параметрів показує, що вони підходять лише для одержання часткових рішень. Ці критерії є малоприматними внаслідок великої кількості транзитів та ігнорування впливу обраного маршруту на інші вузли мережі. Комбінований метод вибору маршруту дає можливість знайти компроміс між довжиною маршруту та якістю маршруту.

Таким чином, параметри обраного маршруту здійснюють вплив на мережу зв'язку. Кожний з транзитних вузлів маршруту обслуговує створений ним трафік та транзитний трафік. Один вузол може приймати участь в декількох маршрутах, а отже величина трафіка, що він обслуговує, буде визначатися кількістю маршрутів, в яких він виконує роль транзитного вузла. Модель має всі вузли, що формують трафік рівної інтенсивності a_0 , величина $v = a/a_0$ є відносна інтенсивність, де a є загальний трафік, що обслуговується вузлом мережі.

5 РЕЗУЛЬТАТИ

Аналізуючи рис. 1 а, б бачимо, що довжина маршруту, що побудована за критерієм максимуму пропускної здатності більша, оскільки містить більшу кількість транзитних вузлів (у першому випадку їх 5, у другому 13).

Із рис. 1 в, г бачимо, що довжина маршруту, що побудована за критерієм максимуму пропускної здатності з урахуванням інтерференції та інтенсивності трафіка менша оскільки містить меншу кількість транзитних вузлів (у першому випадку їх 9, у другому 7).

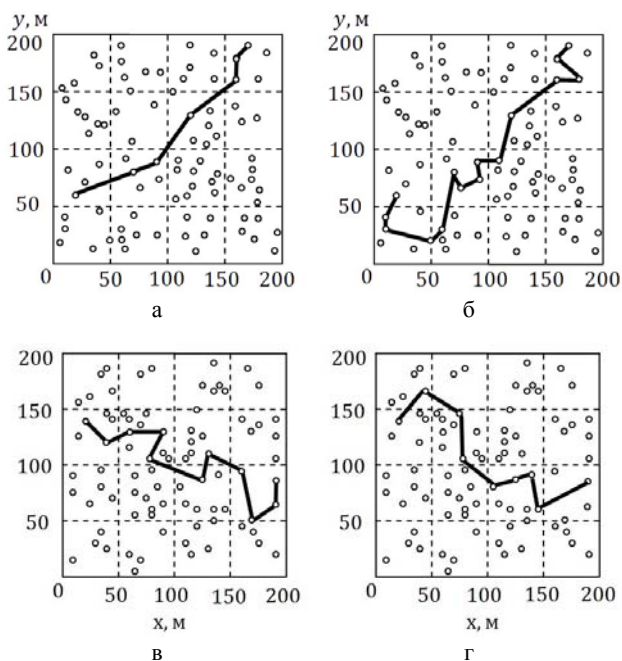


Рисунок 1 – Вибір маршрутів за критерієм: а – довжини; б – максимуму пропускної здатності; в – максимуму пропускної здатності з урахуванням інтерференції; г – максимуму пропускної здатності з урахуванням інтерференції та інтенсивності трафіка

Таким чином, врахування інтерференції, що створюють сигнали вузлів мережі, сильно впливає на вибір маршруту. Вибір ділянок із максимальним співвідношенням $SINR$ викликає у маршруті, що обраний згідно критерію відстані, в середньому збільшується кількість транзитів. Величина $SINR$ обернено пропорційна відстані між передаючими та приймаючими вузлами. При пошуку рішення необхідно враховувати збільшення кількості транзитів, що є негативним фактором. Розглянемо комбінований критерій вибору маршруту за максимальною пропускною здатністю та мінімальною кількістю транзитів.

Таким чином, необхідно оцінити граничне значення ϵ_0 , збільшення якого вимагає збільшення кількості транзитів. Це здійснимо таким чином. Оскільки збільшення кількості транзитних вузлів у маршруті збільшує трафік, що формується у мережі, і відповідно потужність завади для інших вузлів мережі, при цьому зменшуючи відношення $SINR$. Вибір додаткового транзитного вузла має місце у випадку, коли перевага ϵ_0 перевищує зменшення величини $SINR$ для інших вузлів.

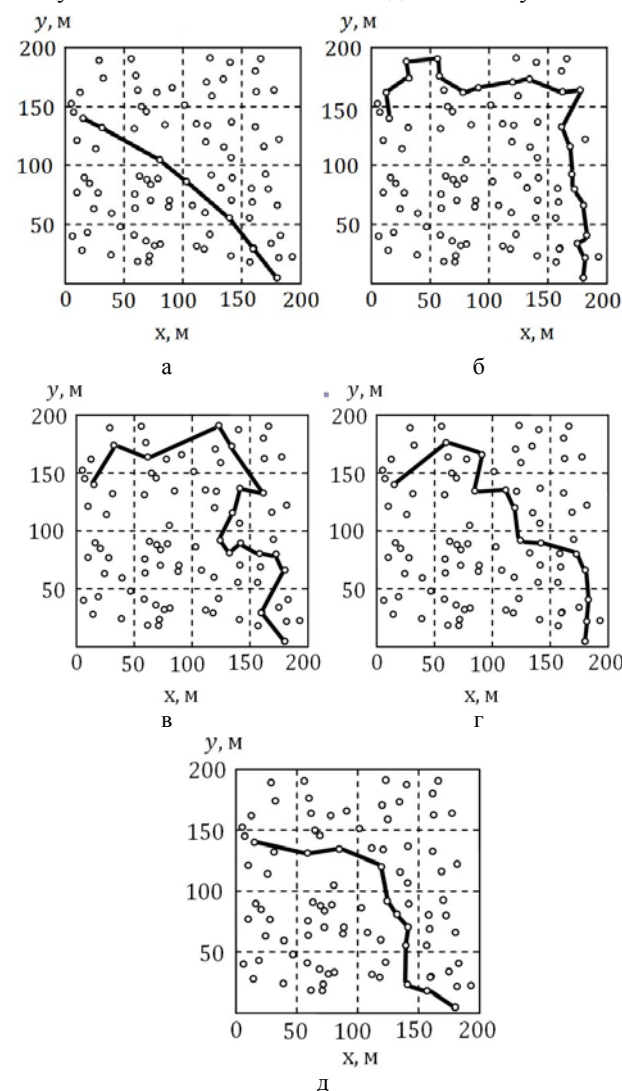


Рисунок 2 – Вибір маршрутів за критеріями: а – довжини; б – максимуму пропускної здатності; в, г, д – комбінованим

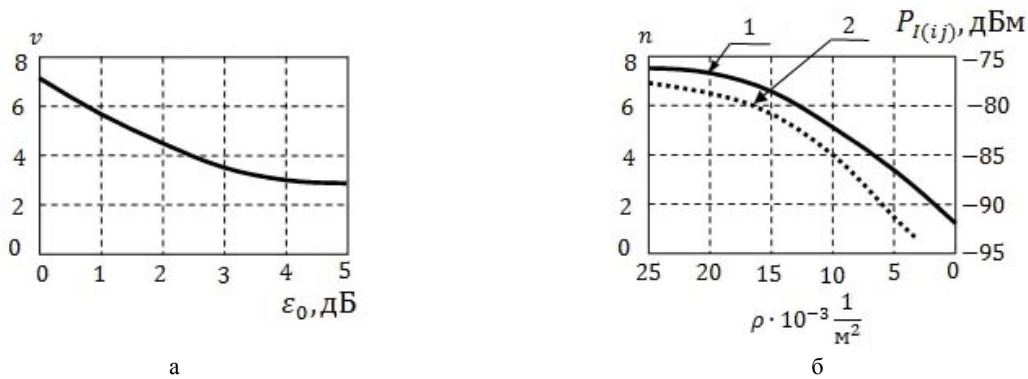


Рисунок 3 – Залежності: а – відносної величини навантаження на вузол мережі v від величини переваги ϵ_0 ;
 б – потужності (крива 1) та кількості транзитів інтерференції n (крива 2) від зміни щільності вузлів мережі

Рис. 2 містить результати моделювання маршрутів згідно критеріям довжини, максимуму пропускної здатності та комбінованому критерію. Мінімальний маршрут містить мінімальну кількість транзитів згідно рис. 2 а (5 транзитних вузлів). Рис. 2 б ілюструє маршрут, що обраний із врахуванням пропускної здатності за умови рівності інтенсивності трафіка всіх вузлів (містить 19 транзитних вузлів). Рис. 2 в, г, д містить маршрут згідно комбінованого критерію, що має 14, 11 та 9 транзитних вузлів за умови, що $\epsilon_0 = 1$ дБ, $\epsilon_0 = 3$ дБ та $\epsilon_0 = 5$ дБ відповідно. Таким чином, при збільшенні значення ϵ_0 зменшується кількість транзитних вузлів у комбінованому критерії. Ці результати свідчать, що прості критерії вибору мало використовуються через велику кількість транзитних вузлів, а також ігнорування впливу обраного маршруту на інші вузли мережі. Отже, комбінований метод вибору маршруту дає можливість обрати компромісне рішення між якістю маршруту та його довжиною.

Рис. 3 містить залежності відносної величини трафіку, що обслуговуються вузлами від величини виграшу ϵ_0 та залежність потужності та кількості транзитів інтерференції від зміни щільності вузлів мережі.

Із рис. 3 а бачимо, що зі збільшенням величини ϵ_0 відносна величина трафіка v , що обслуговується вузлом зменшується, що пов'язано із зменшенням довжини маршруту. Отже, в середньому кожен із вузлів мережі обслуговує від 3 до майже 8 потоків трафіка.

6 ОБГОВОРЕННЯ

Таким чином, потужність завади, величина $SINR$ та характеристики маршрута, залежать від взаємного розташування вузлів мережі, що визначається конкретною реалізацією мережі. В моделюванні використали пуасонівську модель поля для описання мережі, зручно використовувати щільність користувачів, тобто кількість терміналів на одиницю площі. В цьому випадку потужність завади та довжина маршруту будуть залежати від щільності вузлів мережі. На рис. 3 б наведені залежності інтерференції зі зміною щільності вузлів мережі.

Одержані залежності показують, що зі зменшенням щільності користувачів, зменшуються середня

потужність завад та середня довжина маршруту. Таким чином, в умовах мережі відносно низької щільності, ефективним засобом побудови мережі буде організація маршрутів.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішено актуальну задачу створення оптимального комбінованого критерію вибору ефективних маршрутів трафіка з урахуванням впливу завад всередині каналів на елементи маршруту та на елементи всієї мережі у безпроводній мережі на основі технології D2D.

Науковою новизною є те, що розроблений комбінований метод вибору маршрутизації трафіка у безпроводній мережі, що використовує технологію D2D. Комбінований метод поєднує в собі вибір маршрутів за критеріями довжини та за критеріями максимуму пропускної здатності. Використання технології D2D дозволяє розширити можливості мережі за рахунок розвантаження долі трафіка із базової мережі.

Практична цінність полягає у тому, що запропонований метод дає можливість будувати мережі, що має низьку щільність користувачів, досить великого масштабу, із використанням технології D2D. Крім того, запропонований метод дозволяє отримати компромісне рішення, що враховує якість обраного маршруту та ступінь впливу цього рішення на якість функціонування мережі.

Перспективність подальших досліджень полягає у пошуку та дослідженні методів вибору транзитних вузлів із врахуванням того, що кожен вузол не може бути транзитним, оскільки на практиці це зустрічається.

ПОДЯКИ

Робота виконана на кафедрі теоретичних основ радіотехніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURA

1. Liu Z. Transmission capacity of D2D communication under heterogeneous networks with dual bands / Z. Liu, O. Lu, W. Wang // 7th International ICST Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM), 2012. – P. 169–174.

2. Jankowski N. Analytical modeling of mode selection and power control for underlay D2D communication in cellular networks / N. Jankowski, M. Grochowski // IEEE Transactions on Communications. – 2014. – Vol. 62, № 11. – P. 4147–4161. DOI: 10.1109/TCOMM.2014.2363849.
3. Sakr A. H. Cognitive and energy Harvesting-based D2D communication in cellular networks: stochastic geometry modeling and analysis / A. H. Sakr, E. Hossain // IEEE Transactions on Communications. – 2015. – Vol. 63, № 5. – P. 1867–1880. DOI: 10.1109/TCOMM.2015.2411266
4. Gao H. Joint resource allocation and power control algorithm for cooperative D2D heterogeneous networks / H. Gao, S. Zhang, Y. Su, M. Diao // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 20632–20643. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2895975.
5. Muthanna A. Delay tolerant network model based on D2D communication / [A. Muthanna, A. A. Ateyar, K. Khakimov, M. Al-Bahri] // 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City. – 2019. – № 6. – P. 37–66. DOI: 10.1109/ICBDSC.2019.8645609.
6. Бородин А. С. Метод построения сети связи на базе D2D-технологий с использованием дополнительных маршрутизаторов / А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов // Электросвязь. – 2019. – Vol. 4. – С. 86–92.
7. Бородин А. С. Маршрутизация трафика в сети беспроводной связи, построенной на базе D2D-технологий / А. С. Бородин, А. И. Парамонов // Электросвязь. – 2019. – Vol. 2. – С. 38–44.
8. Булашенко А. В. Оцінка зв'язності D2D комунікацій у мережах 5G / А. В. Булашенко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. – 2020. – № 81. – С. 21–29. DOI: 10.20535/RADAP.2020.81.21-29.
9. Muthanna A. Enabling M2M Communication through MEC and SDN / [A. Muthanna, A. Khakimov, A. A. Ateya et al.] // Communications in Computer and Information Science. – 2018. – Vol. 919. – P. 95–105.
10. Бородин А. С. Особенности использования D2D-технологий в зависимости от плотности пользователей и устройств. / А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов // Электросвязь. – 2018. – Vol. 10. – С. 40–45.
11. Jankowski N. Data regularization / N. Jankowski // Neural Networks and Soft Computing : Fifth Conference, Zakopane, 6–10 June 2000 : proceedings. – Częstochowa : Polish Neural Networks Society, 2000. – P. 209–214.
12. Хуссейн О. А. Анализ кластеризации D2D-устройств в сетях пятого поколения / О. А. Хуссейн, А. И. Парамонов, А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2018. – Vol. 9. – С. 32–38.
13. Дао Ч.Н., Метод выбора стабильного маршрута в сети с подвижными узлами / Ч. Н. Дао, А. И. Парамонов // Электросвязь. – 2018. – Vol. 8. – С. 37–44.
14. Wang Z. Iterative greedy user clustering algorithm for D2D-relay in vehicular communication systems / Z. Wang, T. Zhou, H. Hu // IEEE Microwaves, antennas and propagation. – 2019. – Vol. 13, №8. – P. 1087–1095. DOI : 10.1049/iet-map.2018.6123.
15. Nuermaiti N. Modeling and Performance optimization of heterogeneous cellular and D2D networks / N. Nuermaiti, Z. Ma, X. Wu // 28th Wireless and optical communication conference (WOCC), 9–10 May 2019. – Beijing, 2019. 10.1109/WOCC.2019.8770597.
16. Guest Editorial Special Issue on 5G and beyond – mobile technologies and applications for IoT / [S. Mumtaz, A. Al-Dulaimi, V. Frascolla et al.] // IEEE Internet of Things Journal. – 2019. – Vol. 6, № 1. – P. 203–206. DOI: 10.1109/IJOT.2019.2896749.
17. Evans R. Fundamental Limits of Caching in Wireless D2D Networks / R. Evans // IEEE Transactions on Information Theory. – 2016. – Vol. 62, № 2. – P. 849–869. DOI: 10.1109/TIT.2015.2504556.

Received 05.02.2020.
Accepted 08.12.2020.

УДК 621.39

КОМБИНИРОВАННЫЙ КРИТЕРИЙ ВЫБОРА МАРШРУТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ D2D ТЕХНОЛОГИЙ

Булашенко А. В. – старший преподаватель кафедры теоретических основ радиотехники Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина.

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Сети 5G способны улучшить существующие услуги и обеспечить новое качество услуг. Сети связи 5G объединяют в себе различные радиотехнологии и технологии фиксированных сетей связи, поэтому их часто называют гетерогенными, что подчеркивает их разницу от других сетей. Одними из основных особенностей таких сетей является сверхплотность и ультра малые задержки. Именно Интернет вещей является базовой составляющей концепции сверхплотных сетей. 3GPP предлагает планировать сети 5G исходя из условия, что в 1 км² является один миллион устройств. Также сети связи с ультра малыми задержками имеют большое влияние на методы построения сетей, особенно для концепции тактильного Интернета. Такие сети требуют децентрализации через требования к задержке в 1 мс. Это требует новых подходов построения сетей нового поколения, что является причиной развития новых технологий. Одной из таких технологий является технология устройство-устройство D2D (device-to-device). Эта технология позволяет уменьшить нагрузку на ядро сети благодаря использованию значительной доли трафика непосредственно между устройствами и позволяет уменьшить задержку при обеспечении услуг.

Цель. Цель работы заключается в том, чтобы создать оптимальный комбинированный критерий выбора эффективных маршрутов трафика в беспроводной сети на основе технологии D2D.

Метод. Многие современные работы посвящены изучению технологии D2D, но они не исчерпывающие в вопросах исследования маршрутизации в таких сетях. Достаточно объективным является исследование сетей, построенных на основе взаимодействия устройств между собой по технологии D2D, поскольку такие взаимодействия оказались эффективной технологией. Это, в свою очередь, предполагает разработку соответствующих методов маршрутизации в сетях, использующих технологию D2D, особенно с учетом свойства сверхплотности сетей 5G. В работе предложен критерий выбора маршрутов с учетом помех внутри каналов, образующих узлы сети. Этот критерий сочетает в себе выбор маршрутов по критериям длины и по критерию максимума пропускной способности.

Результаты. Разработанный комбинированный критерий выбора маршрутизации трафика в беспроводной сети, которая использует технологию D2D. Результаты исследования показаны графическими данными.

Выводы. Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность и эффективность разработанного метода и позволяют рекомендовать этот метод для использования на практике в результате выбора маршрута с учетом тех свойств сети, что в большей степени отражаются на качестве маршрута.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интернет вещей, устройство-устройство, маршрутизация, кластеризация.

COMBINED CRITERION FOR THE CHOICE OF ROUTING BASED ON D2D TECHNOLOGY

Bulashenko A. V. – Senior Lecture of the Chair of Theoretical Foundations of Radio Engineering National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine.

ABSTRACT

Context. 5G network is able to improve existing services and provide a new quality of services. 5G communication networks combine various radio technologies and technologies of fixed communication networks, therefore they are often called heterogeneous, which emphasizes their difference from other networks. One of the main features of such networks is over-density and ultra-low latency. It is the Internet of things that is the basic component of the concept of super dense networks. 3GPP suggests planning 5G networks based on the condition that 1 million devices is 1 km². Also, ultra-low latency communications networks have a big impact on networking methods, especially for the tactile Internet concept. Such networks require decentralization through 1 ms delay requirements. This requires new approaches to building a new generation of networks, which is the reason for the development of new technologies. One such technology is D2D (device-to-device) technology. This technology allows you to reduce the load on the core of the network due to the use of a significant proportion of the traffic directly between devices and reduces the delay in providing services.

Objective. The goal of the work is to create an optimal combined criterion for choosing effective traffic routes in a wireless network based on D2D technology.

Method. Many modern works are devoted to the study of D2D technology, but they are not exhaustive in the study of routing in such networks. It is objective enough to study networks built on the basis of the interaction of devices with each other using D2D technology, since such interactions have proven to be effective technologies. This, in turn, involves the development of appropriate routing methods in networks using D2D technology, especially taking into account the property of over-density 5G networks. The paper proposes a criterion for selecting routes, taking into account interference within the channels forming the network nodes. This criterion combines the choice of routes according to the length criteria and the criterion of maximum throughput.

Results. A developed combined criterion for selecting traffic routing in a wireless network that uses D2D technology. The results of the study are shown in graphic data.

Conclusions. The experiments confirmed the efficiency and effectiveness of the developed method and allow us to recommend this method for practical use as a result of route selection, taking into account those network properties that are more likely to affect the quality of the route.

KEYWORDS: internet of things, device-device, routing, clustering.

REFERENCES

1. Liu Z., Lu O., Wang W. Transmission capacity of D2D communication under heterogeneous networks with dual bands, *7th International ICST Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM)*, 2012, pp. 169–174.
2. Jankowski N., Grochowski M. Analytical modeling of mode selection and power control for underlay D2D communication in cellular networks, *IEEE Transactions on Communications*, 2014, Vol. 62, No. 11, pp. 4147–4161. DOI: 10.1109/TCOMM.2014.2363849.
3. Sakr A. H., Hossain E. Cognitive and energy Harvesting-based D2D communication in cellular networks: stochastic geometry modeling and analysis, *IEEE Transactions on Communications*, 2015, Vol 63, No. 5, pp. 1867–1880. DOI: 10.1109/TCOMM.2015.2411266
4. Gao H., Zhang S., Su Y. Joint resource allocation and power control algorithm for cooperative D2D heterogeneous networks, *IEEE Access*, 2019, Vol. 7, pp. 20632–20643. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2895975.
5. Muthanna A., Ateya A. A., Khakimov K., Al-Bahri M. Delay tolerant network model based on D2D communication, *4th MEC International Conference on Big Data and Smart City*, 2019, No. 6, pp. 37–66. DOI: 10.1109/ICBDSC.2019.8645609.
6. Borodin A. S., Kucherjavij A. E., Paramonov A. I. Metod postroenija seti svjazi na baze D2D-tehnologij s ispol'zovaniem dopolnitel'nyh marshrutizatorov, *E'lektrosvyaz'*, 2019, Vol. 4, pp. 86–92.
7. Borodin A. S., Paramonov A. I. Marshrutizacija trafika v seti besprovodnoj svjazi, postroennoj na baze D2D-tehnologij, *Electrosvyaz magazine*, 2019, Vol. 2, pp. 38–44.
8. Bulashenko A. V. Ocinka zv'jaznosti D2D komunikacij u merezhah 5G, *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, 2020, No. 81, pp. 21–29. DOI: 10.20535/RADAP.2020.81.21-29.
9. Muthanna A., Khakimov A., Ateya A. A., Paramonov A., Kucherjavij A. Enabling M2M Communication through MEC and SDN, *Communications in Computer and Information Science*, 2018, Vol. 919, pp. 95–105.
10. Borodin A. S., Kucherjavij A. E., Paramonov A. I. Osobnosti ispol'zovaniya D2D-tehnologij v zavisimosti ot plotnosti pol'zovatelej i ustrojstv, *Electrosvyaz magazine*, 2018, Vol. 10, pp. 40–45.
11. Jankowski N. Data regularization, *Neural Networks and Soft Computing : Fifth Conference, Zakopane, 6–10 June 2000 : proceedings*. Częstochowa, Polish Neural Networks Society, 2000, pp. 209–214.
12. Hussejn O. A., Paramonov A. I., Kucherjavij A. E. Analiz klasifikacii D2D-ustrojstv v setjah pjatogo pokolenija, *Electrosvyaz magazine*, 2018, Vol. 9, pp. 32–38.
13. Dao Ch. N., Paramonov A. I. Metod vybora stabil'nogo marshruta v seti s podvizhnymi uzlami, *Electrosvyaz magazine*, 2018, Vol. 8, pp. 37–44.
14. Wang Z., Zhou T., Hu H. Iterative greedy user clustering algorithm for D2D-relay in vehicular communication systems, *IEEE Microwaves, antennas and propagation*, 2019, Vol. 13, No. 8, pp. 1087–1095. DOI: 10.1049/iet-map.2018.6123.
15. Nuermaimaiti N., Ma Z., Wu X. Modeling and Performance optimization of heterogeneous cellular and D2D networks, *28th Wireless and optical communication conference (WOCC), 9–10 May 2019, Beijing*, 2019. DOI: 10.1109/WOCC.2019.8770597.
16. Mumtaz S., Al-Dulaimi A., Frascolla V., Hassan S. A., Dobre O. A. Guest Editorial Special Issue on 5G and beyond – mobile technologies and applications for IoT, *IEEE Internet of Things Journal*, 2019, Vol. 6, No. 1, pp. 203–206. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2896749.
17. Evans R. Fundamental Limits of Caching in Wireless D2D Networks, *IEEE Transactions on Information Theory*, 2016, Vol. 62, No. 2, pp. 849–869. DOI: 10.1109/TIT.2015.2504556