

ЕНЕРГЕТИКА ТА НОВІ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.203863

УДК 621.39

А.В. Булашенко*
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
*corresponding author: appple@i.ua

РОЗПОДІЛ РЕСУРСІВ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ M2M У МЕРЕЖАХ 5G

Проблематика. Однією з ключових задач у мережах 5G є розподіл ресурсів для пристроїв машинного зв'язку (МТС), оскільки вони впливають на строк служби пристроїв із живленням від батареї, а також на якість обслуговування додатків. Система МТС зазвичай складається з невеликих пристроїв і давачів. Пристрої МТС не можуть мати великого споживання енергії, оскільки ресурс їх батареї обмежений через складності їх заміни або зарядки.

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності при збільшенні автономного ресурсу розподілу на пристроях МТС. Для цього ставиться задача створення схеми розподілу ресурсів за допомогою контрольованого граничного значення потужності малих пристроїв M2M системи зв'язку 5G.

Методика реалізації. Пропонується алгоритм розподілу ресурсів, що використовує контрольований доступ на межі. Це техніка розподілу ресурсу низхідної лінії, за якої пристрої приймають рішення про виділення блоків ресурсів на основі їх пріоритету та рівні потужності відповідного додатка.

Результати дослідження. Метод складається з двох етапів. На першому етапі вибирається кількість носійних, які мають бути виділеними для визначеного пристрою МТС із низьким споживанням енергії, щоб збільшити строк його служби. На другому кроці реалізується ефективний розв'язок через введення значення на межі. Визначено значення межі на основі метрики QoS. Така межа покращує вибір носійних для пристроїв малої потужності.

Висновки. Поданий метод використовується для фізичного шару мережі 5G. Отримані результати показують, що запропонований алгоритм є більш простим і досягає кращої працездатності порівняно з існуючими, оскільки забезпечує менший час затримки, більшу енергетичну ефективність і більшу пропускну здатність.

Ключові слова: машина-машина; машинний тип зв'язку; енергетична ефективність; якість обслуговування; пропускну здатність.

Вступ

Останнім часом великого поширення набуває концепція Інтернету речей (IoT), де базовою технологією для доступу в Інтернет є взаємодія між машинами machine-to-machine (M2M) [1–4]. Ця технологія забезпечує передачу даних між двома пристроями без участі базової станції. Вона може бути використана в розумних мережах або підприємствах, в електронній системі охорони здоров'я, в електронних системах контролю трафіка руху, в системах безпеки тощо. Технологія M2M використовується в мережах зв'язку п'ятого покоління 5G, що перебувають у процесі дослідження та розроблення [5]. Існує багато викликів і нерозв'язаних задач при розгортанні таких мереж: різні вимоги до потужності, висока мобільність, велика кількість пристроїв, різні вимоги до якості тощо. Оскільки всі пристрої з машинним типом зв'язку machine-type communication (МТС) працюють на малих батареях [6], які складно замінити або зарядити,

то енергетична ефективність є важливою характеристикою таких мереж [7–9]. Енергетична ефективність таких пристроїв має бути збільшеною мінімально в 10 разів, щоб підвищити строк служби батареї в 10 разів.

Мережа 5G задовольняє деякі вимоги МТС: підвищена надійність і масштабованість, забезпечення доступності, зменшення затримки та забезпечення сумісності, підвищення енергетичної ефективності та оновлення безпеки [10, 11]. Використання 5G обумовлює нові методи кодування, методи зменшення перевантаження, підтримку гетерогенних мереж, забезпечення програмно-визначених мереж (SDN) та віртуалізації мережевих функцій (NFV) для створення ядра і гнучких транзитних мереж [12]. Мережі 5G використовують ортогональне мультиплексування із частотним розділенням каналів (OFDM) [13], а також нові методи модуляції, зокрема схеми з декількома носійними банками фільтрів FBMC. FBMC забезпечує високе розширення сприйняття спектра, в той час як якість сприйняття спектра погіршується в методиці

OFDM. Тому вибір ефективних методів розподілу радіоресурсів може бути важливими в безпроводних мережах FBMC. Обмеження енергетичної ефективності мережі M2M обумовлене дослідженнями розподілу ресурсів висхідної лінії зв'язку [14].

Важливо розробити нові схеми розподілу ресурсів, оскільки пристрої M2M підтримують низхідну лінію зв'язку. Підвищення енергетичної ефективності для розподілу ресурсів висхідної лінії M2M призводить до погіршення інших характеристик: більш висока затримка, менша кількість пристроїв M2M, що обслуговуються, обмежені вимоги за якістю та інші.

Розподіл ресурсів мережі MTC для досягнення енергетичної ефективності не достатньо висвітлений у науковій літературі. Існуючі методи не розглядають автономного вибору ресурсу 5G із концепцією IoT. У праці [15] запропонований ресурсний розподільчий алгоритм, що визначає методику розподілу потужності для отримання максимального значення пропускної здатності. Праця [16] розглядає гетерогенний розподіл ресурсів для виконання сервісних вимог при одночасному зменшенні середньої вартості зв'язку. Для керування електричним живленням пристроїв мобільної мережі M2M у [17] вводиться техніка розподілу ресурсів для Інтернету всього (IoE). Для розподілу ресурсів без зіткнень пропонується метод випадкового доступу [18]. У [19] запропонована технологія "інфраструктура-пристрій" (I2D), що максимізує ресурс для виділеної мережі D2D. Алгоритм розподілу ресурсів [20] реалізує максимальний підхід дводольного графа для призначення безпосередніх ресурсів під час надзвичайної ситуації.

Постановка задачі

Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності при збільшенні автономного ресурсу розподілення на пристроях MTC. Для досягнення цієї мети ставиться задача розробити схему розподілу ресурсів із контрольною межею потужності пристроїв M2M за допомогою мережі зв'язку 5G.

Модель керування завадами

Усі невеликі пристрої та датчики системи MTC підключені через мережу, що забезпечує відправку й отримання даних у періодичній фор-

мі на основі M2M. Завдяки великому охопленню та стабільності мобільні мережі набули значного поширення [21].

Пристрої MTC діляться на масивні MTC (mMTC) та наднадійні MTC (uMTC). Розглянемо систему 5G, зосередившись на пристроях M2M із низьким енергоспоживанням. Як метод доступу до мережі 5G вибрано концепцію FBMC на фізичному рівні [22]. На каналному рівні мережа 5G містить відкриту безпроводну архітектуру нижньої та верхньої мереж. У частотній області в межах смуги частот від 27 до 29 ГГц блоки ресурсів діляться на носійній із рознесенням 75 кГц.

Модель багатоадресних послуг машинного типу (MtMS) будемо використовувати для обробки та керування завадами (інтерференцією) [23]. MtMS визначає процедури передачі, що пов'язані з керуванням архітектурою для обробки багатоадресного трафік-зв'язку M2M (рис. 1).

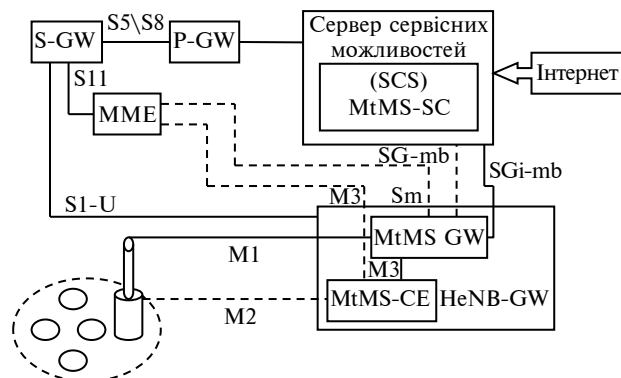


Рис. 1. Модель керування завадами

Сервісний центр MtMS (MtMS-SC) ініціює сеанс MtMS, що виконаний як частина SC та є основним джерелом контенту MtMS, який є базовим елементом сервісного центру (SCS) для пристроїв M2M, де отримуються та відправляються дані від пристроїв MTC. MtMS-SC забезпечується параметрами від SCS під поточну сесію MtMS. Пристрої MTC мають можливість підключення з необхідною групою машин, які необхідно обслуговувати. Після приєднання до групи через процедуру інформація про області відстеження подається MME для координаційного об'єкта (MtMS-CE). Пристрої, що починають пейджинг за допомогою інтерфейсів керування M3, мають актуальну інформацію про зону відслідковування. MtMS-CE виконує процедуру з'єднання після успішного завершення

процедури приєднання шлюзу MtMS (MtMS-GW), що відповідає за доставку даних у поточному сеансі MtMS завдяки збалансованому розподілу частотних ресурсів із відповідними властивостями передачі. У розширеному груповому пейджин-гу пристрої MtMS діляться на підгрупи та пей-джинг здійснюється на властивостях підгруп. Розмір підгрупи і час підкачки інтервалу залежать від доступних ресурсів на поточному радіоінтерфейсі.

Робота алгоритму

Запропонований алгоритм здійснює розподіл ресурсів відповідно до споживання менших пристроїв. Оскільки кожний пристрій має різну потужність, то необхідно враховувати якість обслуговування. Алгоритм складається з двох кроків. На першому кроці ресурси розподіляються відповідно до метрики профілю якості обслуговування потужності, а на другому кроці здійснюється пошук оптимального рішення завдяки значенню на межі для збільшення виділеного ресурсу.

Кожен ресурсний блок входить у матрицю ресурсних блоків. Отримана потужність пристрою порівнюється із найбільшим значенням межі P_{\max} . Ранг матриці потужності визначається

$$R = 1 - \frac{S(\varphi_P)}{P_{\max}}$$

Кількість носійних, що призначаються пристрою:

$$\lambda_m = 10^a; \quad a = 0, 1(N_m - P_{BS});$$

$$N_m = \frac{S(\varphi_P)}{R} - P_L,$$

де P_{BS} – потужність базової станції, P_L – втрати на шлях, φ_P – потужність від M2M пристрою, N_m – розрахована оціночна потужність для m -го пристрою.

Максимальна швидкість передачі даних для кожного пристрою на носійній становить

$$V_{\max} = 10^a, \quad a = V_{\max} \cdot \beta,$$

де a – розрахована кількість носійних, β – загальна кількість доступних носійних.

Алгоритм контрольованого вибору значення межі складається з таких кроків:

1. Визначається найбільше значення потужності P_{\max} .
2. Обчислюється ранг матриці R .
3. Обчислюється оціночна потужність для m -го пристрою N_m .
4. Обчислюється параметр a .
5. Обчислюється кількість необхідних носійних V_{\max} .

Цей алгоритм можна скоректувати відповідно до вимог домену, оскільки різні пристрої M2M мають різні значення максимальної потужності: геодезія – 10 дБ, охорона здоров'я – 8 дБ, контроль – 9 дБ, підприємства – 16 дБ.

Для оптимального вибору визначаємо значення на межі ω :

$$R = \omega \cdot R.$$

Значення ω оновлює значення рангу матриці R для визначення кількості носійних. При виборі відповідного значення на межі розподіл носійних може бути кращим для невеликих пристроїв, де обмежена потужність. Поданий алгоритм використовує інтерполяційну функцію, що створює зв'язок між потужністю пристрою MTC і значенням межі.

Аналіз результатів

Результати моделі алгоритму подані для обох сервісів ймовірності та енергетичної ефективності. Ймовірність пропускової здатності є виміром успішного розподілу ресурсів пристроями в межах доступної смуги пропускання. Вона оцінює можливість забезпечити алгоритм виконання рішення при визначеному SNR.

Результати роботи алгоритму подані в смузі частот 27–29 ГГц, де відстань між носійними становить 80 кГц. Для каналу втрати у тракці встановлені на 30 с із урахуванням умов LOS, релеєвське значення амплітуди сигналу становить 7 дБ, потужність релеєвського сигналу – 11 дБ. Для моделі 5G використані значення параметрів, що подані у працях [24, 25]. Результати запропонованого алгоритму порівнюються зі стандартними алгоритмами коловим (КА) та індикатора найкращої якості (АІНЯ). Алгоритм КА виділяє рівну кількість блоків ресурсів для пристроїв, а алгоритм АІНЯ віддає перевагу пристрою із найбільш високим значенням SNR. Використовуються різні значення межі потужності від 8 до 16 дБ для тестування сценарію. Блоки ресурсів розділені на набір підносійних для кращого розділення мережі 5G.

На рис. 2 подані залежності енергетичної ефективності та пропускної здатності від потужності пристрою з порогом 8 (рис. 2, а, б), 10 (рис. 2, в, г) і 16 (рис. 2, д, ж) на частоті 28 ГГц.

Із рис. 2, а, в, д бачимо, що запропонований алгоритм ілюструє кращу працездатність порівняно зі стандартними КА й АІНЯ, особливо для пристроїв М2М, що споживають менше

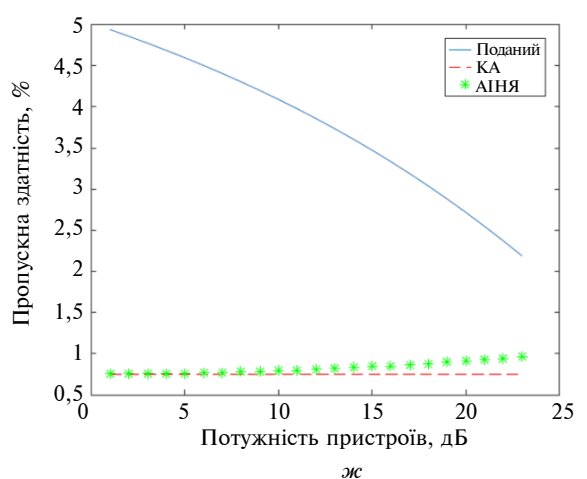
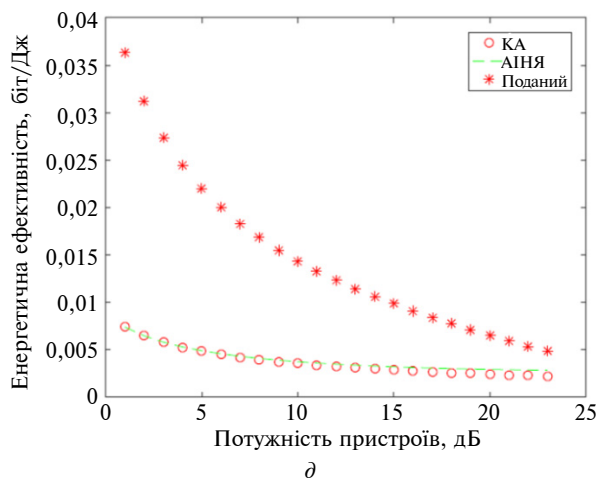
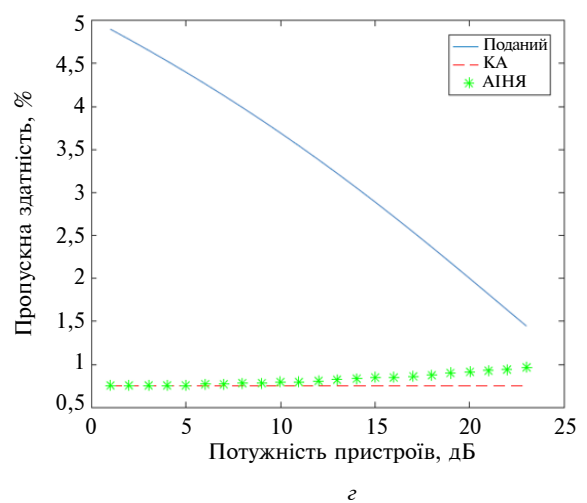
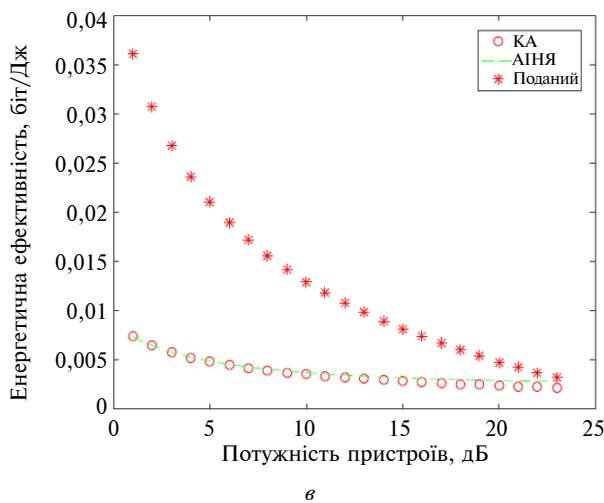
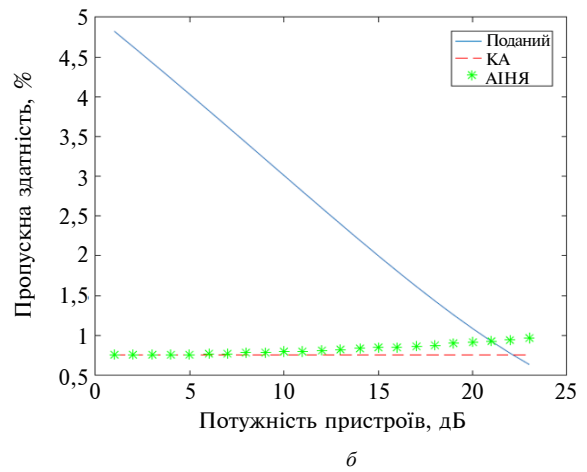
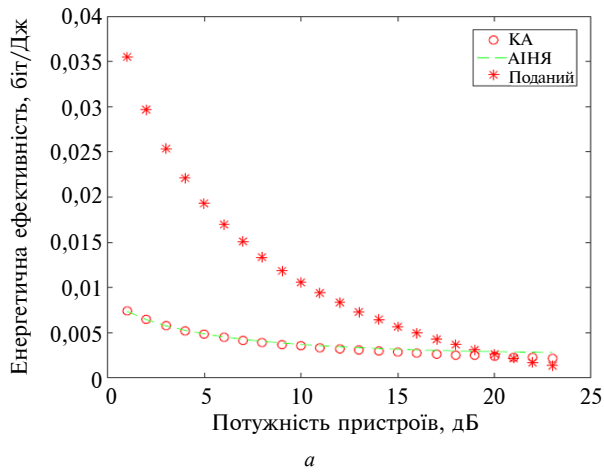


Рис. 2. Залежність енергетичної ефективності та пропускної здатності від потужності пристроїв із порогом 8, 10 і 16

енергії. Це рішення підвищує енергетичну ефективність на 35 % для невеликих пристроїв, таких як давачі. Максимальна межа потужності встановлена на 42 дБ, що зазвичай є живленням для невеликих давачів. Із рис. 2, б, г, ж бачимо, що маємо кращу ймовірність пропускну здатності на межі 8 запропонованого алгоритму. Це дає можливість забезпечити кращий розподіл ресурсів понад 53 % порівняно з іншими малопотужними пристроями. Пропоноване рішення тестується з різними граничними значеннями від 8 до 16 швидкостей передачі даних, які обмежуються. Ймовірність пропускну здатності падає нижче КА й АІНЯ, коли значення потужності пристрою збільшується. Це вимагає більшої потужності, що розширює межі потужності вище 42 дБ.

Такі результати не збільшують максимальну енергетичну ефективність, але покращують продуктивність до високої потужності пристрою. Із рис. 2, ж бачимо, що результати демонструють плавну пропускну здатність при порозі 16. Характер залежності зберігається навіть при збільшенні потужності пристрою і показує кращу ймовірність пропускну здатності порівняно з КА й АІНІ.

References

- [1] V. Gazis, "A survey of standards for machine-to-machine and Internet of Things", *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 482–511, 2016. doi: 10.1109/COMST.2016.2592948
- [2] Z. Yang *et al.*, "Energy efficient resource allocation in machine-to-machine communications with multiple access and energy harvesting for IoT", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 229–245, 2018. doi: 10.1109/JIOT.2017.2778766
- [3] R. Chai *et al.*, "Energy efficient optimization-based joint resource allocation and clustering algorithm for M2M communication system", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 168507–168519, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2954713
- [4] Y. Wu *et al.*, "Non-orthogonal random access and data transmission Scheme for machine-to-machine communications in cellular networks", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 27687–27704, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2972064
- [5] A.V. Bulashenko and M.O. Dragan, "Energy efficiency of M2M systems in cellular networks", in *Proc. V All-Ukrainian Sci. Tech. Conf.*, Shostka, Ukraine, April 23, 2020, pp. 178–179.
- [6] H. Shariatmadari *et al.*, "Machine-type communications: current status and future perspectives toward 5G systems", *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 10–17, 2015. doi: 10.1109/MCOM.2015.7263367
- [7] A. Ali *et al.*, "Energy efficient uplink MAC protocol for M2M devices", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 35952–35962, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2903647
- [8] K. Selvam and K. Kumar, "A novel energy efficient resource allocation algorithm for non-orthogonal multiple access based M2M communication", in *Proc. IEEE 7th Int. Conf. On Signal Processing and Integrated networks*, 2020, ID 9071332. doi: 10.1109/SPIN48934.2020.9071332
- [9] M. Li *et al.*, "Energy efficient machine-to-machine communications in virtualized cellular networks with mobile edge computing", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 18, no. 7, pp. 1541–1555, 2019. doi: 10.1109/TMC.2018.2865312
- [10] Y. Mehmood *et al.*, "M2M communications in 5G: state of the art architecture, recent advances and research challenges", *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 194–201, 2017. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600559
- [11] A.V. Bulashenko and V.V. Gladun, "Providing the required delay time in 5G networks", in *Proc. III All-Ukrainian Sci. Tech. Conf. "Radio Electronics in the XXI Century"*, Kyiv, Ukraine, May 12–15, 2020, pp. 9–12.
- [12] A.V. Bulashenko and I.V. Demchenko, "Slicing technology for 5G networks", in *Proc. XXIV Int. Forum of Young Scientists "Radio Electronics and Youth in the XXI Century"*, Kharkiv, Ukraine, April 16–18, 2019, vol. 4, pp. 129–130.

Висновки

У цій статті проаналізовані задачі виділення ресурсів для невеликих пристроїв M2M із функцією зберігання даних у мережах 5G. Метою роботи було підвищення енергетичної ефективності при збільшенні автономного ресурсу розподілення на пристроях МТС. Розглянутий алгоритм розподіляє блоки ресурсів відповідно до метрики QoS, що пов'язує межі потужності пристрою M2M.

Запропонований розв'язок простий і забезпечує менший час затримки, що покращує результати для невеликих пристроїв M2M. Порівняно зі стандартними алгоритмами запропонований алгоритм забезпечує кращі результати.

У подальших дослідженнях доцільно зосередитися на розумній передачі даних для висхідної лінії потоку мереж концепції IoT, що обслуговує велику кількість пристроїв. Цього можна досягти оптимізацією розподілення ресурсів завдяки використанню методів машинного навчання.

- [13] A.V. Bulashenko and S.V. Tsapkov, "Cross entropy method to reduce the PAPR ratio in OFDM systems", in *Proc. Int. Sci. Tech. Conf. "Radio fields, signals, devices and systems"*, Kyiv, Ukraine, November 18–24, 2019, pp. 51–53.
- [14] D. Malak *et al.*, "Optimizing data aggregation for uplink machine-to-machine communications networks", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, no. 3, pp. 1274–1290, 2016. doi: 10.1109/TCOMM.2016.2517073
- [15] M. Aziz and P.E. Caines, "A mean field game computational methodology for decentralized cellular network optimization", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 25, no. 2, pp. 563–576, 2016. doi: 10.1109/TCST.2016.2558458
- [16] V. Angelakis *et al.*, "Allocation of heterogeneous resources of an IoT device to Flexible services", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 691–700, 2016. doi: 10.1109/JIOT.2016.2535163
- [17] Q. Li *et al.*, "Energy efficient computation offloading and resource allocation in fog computing for Internet of Everything", *China Communications*, vol. 16, no. 3, pp. 32–41, 2019.
- [18] N. Zhang *et al.*, "Resource allocation in a new random access for M2M communications", *IEEE Communications Letters*, vol. 19, no. 5, pp. 843–846, 2015. doi: 10.1109/LCOMM.2015.2413961
- [19] S. Li *et al.*, "Energy efficient resource allocation for industrial cyber-physical IoT systems in 5G era", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 6, pp. 2618–2628, 2018. doi: 10.1109/TII.2018.2799177
- [20] J.S. Kumar and M.A. Zaveri, "Graph-based resource allocation for disaster management in IoT environment", in *Proc. IEEE Second Int. Conf. On Advanced Wireless Information*, 2017, ID 3231830.3231842. doi: 10.1145/3231830.3231842
- [21] S.K. Sharma and X. Wang, "Toward massive machine type communications in ultra-dense cellular IoT networks: current issues and machine learning-assisted solutions", *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 426–471, 2020. doi: 10.1109/COMST.2019.2916177
- [22] F. Schaich and T. Wild, "Waveform contenders for 5G – OFDM vs. FBMC vs. UFMC", in *Proc. IEEE 6th Int. Conf. on Communications, Control and Signal Processing*, 2014, ID 6877912. doi: 10.1109/ISCCSP.2014.6877912
- [23] M. Condoluci *et al.*, "Enabling the IoT machine age with 5G: machine-type multicast services for innovative real-time applications", *IEEE Access*, vol. 4, pp. 5555–5569, 2016. doi: 10.1109/ACCESS.2016.2573678
- [24] A.I. Sulyman *et al.*, "Radio propagation path loss models for 5G cellular networks in the 28 GHz and 38 GHz millimeter-wave bands", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 9, pp. 78–86, 2014. doi: 10.1109/MCOM.2014.6894456
- [25] A.B. Bulashenko, "Evaluation of D2D Communications in 5G networks", *Visnik NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika, Radioaparotobuduvannia*, vol. 81, pp. 21–29, 2020. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.21-29

A.B. Булашенко

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ M2M В СЕТЯХ 5G

Проблематика. Одной из ключевых задач в сетях 5G является распределение ресурсов для устройств машинной связи (MTC), поскольку они влияют на срок службы устройств с питанием от батарейки, а также на качество обслуживания приложений. Система MTC обычно состоит из небольших устройств и датчиков. Устройства MTC не могут позволить себе большое потребление энергии, поскольку ресурс их батареи ограничен из-за сложности их замены или зарядки.

Цель исследования. Целью работы является повышение энергетической эффективности при увеличении автономного ресурса распределения на устройствах MTC. Для этого ставится задача создания схемы распределения ресурсов с помощью контролируемого граничного значения мощности малых устройств M2M системы связи 5G.

Методика реализации. Предлагается новый алгоритм распределения ресурсов, который использует пороговый контролируемый доступ. Это техника распределения ресурса нисходящей линии, при которой устройства принимают решение о выделении блоков ресурсов на основе их приоритета и уровня мощности соответствующего приложения.

Результаты исследования. Метод состоит из двух этапов. На первом этапе выбирается количество несущих, которые должны быть выделены для определенного устройства MTC с низким энергопотреблением, чтобы увеличить его срок службы. На втором этапе реализуется эффективное решение путем введения порогового значения. Определенное значение порога выбирается на основе метрики QoS. Такой порог улучшает выбор несущих для менее мощных устройств.

Выводы. Представленный метод используется для физического слоя сети 5G. Полученные результаты показывают, что предложенный алгоритм является более простым и достигает лучшей производительности по сравнению с существующими, поскольку обеспечивает меньшее время задержки, большую энергетическую эффективность и большую пропускную способность.

Ключевые слова: машина-машина; машинный тип связи; энергетическая эффективность; качество обслуживания; пропускная способность.

A.V. Bulashenko

RESOURCE ALLOCATION FOR LOW-POWER DEVICES OF M2M TECHNOLOGY IN 5G NETWORKS

Background. One of the key tasks in 5G networks is the resource allocation for machine communication devices (MCD), since they affect the battery life of devices and the quality of service for applications. The MCD system usually consists of small devices and sensors. MCD cannot afford high energy consumption, as their battery life is limited due to the difficulty of replacing or charging them.

Objective. The purpose of the work is to increase energy efficiency while increasing the autonomous distribution resource on MCD. To achieve this goal, the task is allotted to create a resource allocation scheme using a controlled power limit of M2M small devices of 5G communication system.

Methods. The article proposes a new resource allocation algorithm that uses traffic capacity controlled access. This is an uplink resource allocation technique in which devices decide to allocate resource blocks based on their priority and power level of the corresponding application.

Results. The method consists of two stages. At the first stage, the number of carriers that should be allocated for a certain MCD device with low energy consumption is selected in order to increase its service life. At the second stage, an effective solution is implemented by introducing a traffic capacity value. A specific traffic capacity value is selected based on the QoS metric. This traffic capacity improves carrier selection for less powerful devices.

Conclusions. The presented method is used for the physical layer of a 5G network. The results obtained show that the proposed algorithm is simpler and achieves better performance compared to existing ones, as it provides shorter delay times, greater energy efficiency and greater traffic capacity.

Keywords: machine-to-machine; machine-type communication; energy efficiency; quality of service; traffic capacity.

Рекомендована Радою
радіотехнічного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
25 травня 2020 року

Прийнята до публікації
25 червня 2020 року