

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ M2M ІЗ ВЕЛИКОЮ КІЛЬКІСТЮ ПРИСТРОЇВ

Шосткинський інститут Сумського Державного Університету

### *Анотація*

*Запропоновано аналіз продуктивності та енергетичної ефективності мобільних мереж M2M із великою кількістю пристроїв у мережах зв'язку n'ятого покоління 5G.*

**Ключові слова:** мережа 5G, машина-машина, мобільна мережа, енергетична ефективність.

### *Abstract*

*The analysis of productivity and energy efficiency of M2M mobile networks with a large number of devices in the fifth generation 5G communication networks is offered.*

**Keywords:** 5G network, machine-to-machine, mobile network, energy efficiency.

### Вступ

Останнім часом велика кількість робіт присвячена технології машинної взаємодії M2M [1-12]. Сьогодні активно впроваджується використання мобільних технологій зв'язку для організації масового доступу пристроїв M2M в мережу. Це обумовлено їх великою зоною обслуговування, порівняно низької вартості розгортання, високому рівню інформаційної безпеки, роботі в контрольованому ліцензійному спектрі, а також простоті керування. Розробники значно покращили технологію LTE, щоб вона могла ефективно використовувати пристрої M2M при стрімкому зростанні кількості користувачів.

Для встановлення початкового з'єднання із мережею LTE пристрої M2M такі, як сенсори, лічильники та вимірювачі, можуть використовувати канал випадкового доступу RACH. Оскільки протокол роботи цього каналу не враховував особливості взаємодії між машинами типу M2M, то є актуальним дослідження параметрів його роботи у випадках, коли мережа доступу має велику кількість завантаження, що пов'язані з одиничними підключеннями великої кількості M2M пристроїв [13]. При цьому конкуренція між множиною користувачів за можливість передачі у режимі перенавантаження робить такий аналіз складним [14-15]. Також важливим є порівняння характеристик роботи каналу RACH в умовах перенавантаження та у режимі нормальної роботи, тобто коли немає великого завантаження системи.

Робота розумної енергосистеми, де велика кількість пристроїв M2M встановлює з'єднання із мережею LTE [16-20] під досить короткого інтервалу часу, для відправлення повідомлення об зміні режиму енергоспоживання. Оскільки лічильники, сенсори та вимірювачі є пристроями невеликого розміру, що живляться від батареї, то дослідження їх енергетичного споживання є важливим.

Метою роботи є аналіз функціонування системи PRACH в умовах перенавантаження, коли велика кількість пристроїв M2M, що мають різні пріоритети, встановлює своє з'єднання із мережею доступу.

### Результати дослідження

Розумна енергосистема є важливим доданком M2M, що містить велику кількість сенсорів, лічильників та вимірювачів, що передають свої данні через мережеву інфраструктуру. Це є типовим для масових сервісів M2M, тому є опорним сценарієм, що показує основні особливості між машинної взаємодії, що подана на рис. 1.

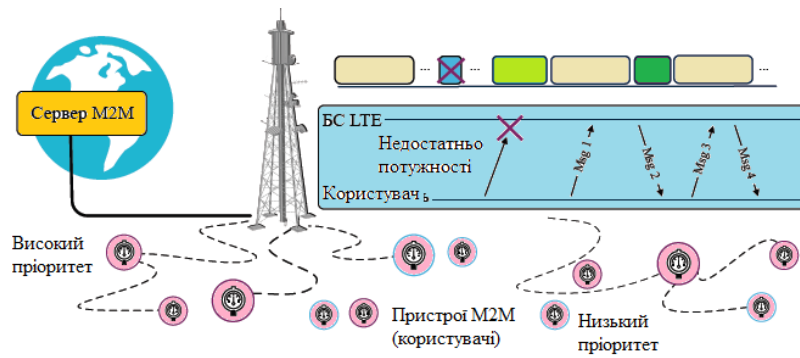


Рис. 1. Архітектура M2M з великою кількістю пристроїв

Пристрої M2M, що входять до складу розумної енергосистеми залежно від збільшення інформації, що вона відправляють, ділять на такі класи: високопріоритетні та низькопріоритетні. З боку мережі зв'язку передача високопріоритетних повідомлень потенційно є громіздкою, оскільки вони часто виникають майже синхронно і при цьому мають суворі обмеження на припустиму затримку доступу.

Для передачі даних від пристроїв M2M по лінії вгору система LTE надає ряд виділених каналів. Зокрема, канал PRACH використовується користувачами для початкового доступу, а також щоб створити запит для необхідних радіоресурсів, коли вони ще не були надані. Внаслідок обмеженої ємності підключення до мережі пристроїв M2M на протязі короткого часового інтервалу може слугувати причиною завантаження каналу PRACH. Робота система здійснюється у два кроки. На першому кроці здійснюється синхронізація звіту часу по лінії вгору, що пов'язана із обміном повідомленнями Msg 1 та Msg 2. У режимі спеціального доступу при передачі преамбул використовується поступове збільшення потужності для її налаштування під стан каналу зв'язку. На другому кроці використовується повідомлення Msg 3, щоб відправити службову інформацію по лінії вгору на базову станцію та повідомлення Msg 4 для наступного дозволу можливих колізій.

На рис. 2 наведені залежності, що дозволяють зрозуміти, як велика кількість пристроїв M2M впливає на характеристики процедури випадкового доступу в системі LTE.

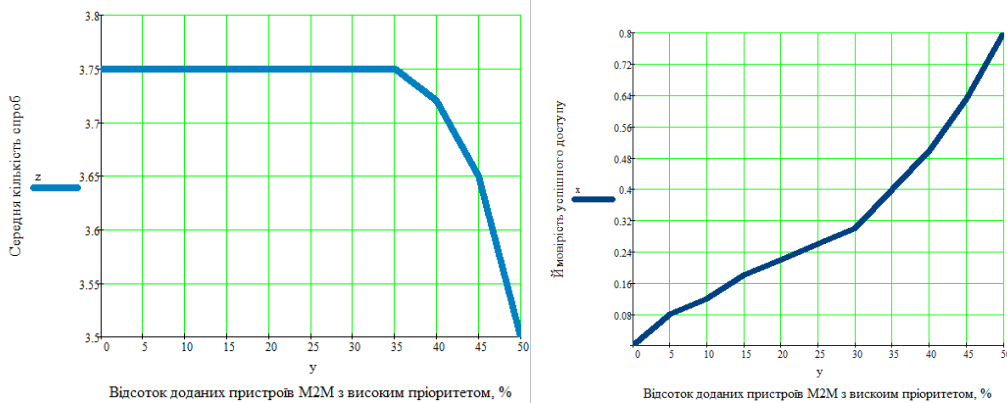


Рис. 2. Характеристики доступу із різними пріоритетами

Із рис. 2 бачимо, що при додаванні порядку 40% абонентів з високим пріоритетом, що відправляють тривожні повідомлення до типової множини в 30000 абонентів з низьким пріоритетом, що передають данні своїх вимірювань, різко погіршується якість роботи по відношенню до ймовірності успішного доступу.

Коротка тривалість циклу опитування в системі LTE може бути незадовільна для пристроїв M2M, особливо при значних інтервалах між надходженням даних з врахуванням порівняної стійкості до затримки послуг M2M. Отже, зменшення тривалості циклу опитування у режимі простоювання дозволяє таким користувачам знаходитися у режимі очікування більше часу і тим самим економити ресурс своєї батареї. Щоб визначити споживану потужність необхідно побудувати адекватну модель, що враховує типові параметри трафіка пристроїв M2M. На рис. 3 подана залежності відносної енергетичної ефективності та відсотку часу роботи від тривалості циклу.

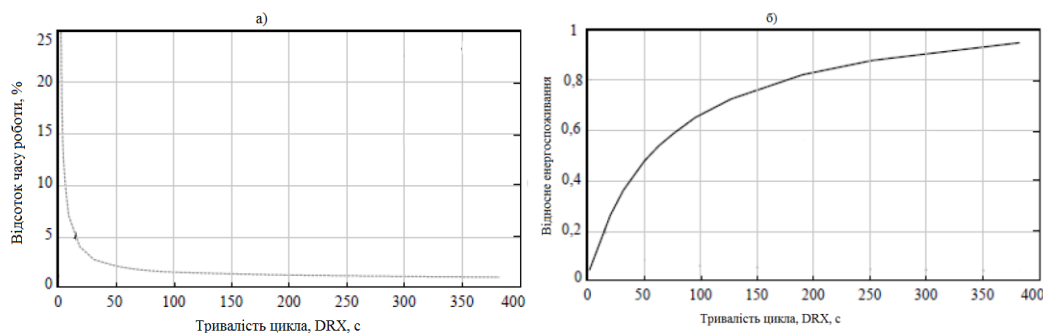


Рис. 3. Залежність енергоспоживання від тривалості циклу D2D

Із рис. 3 бачимо, що збільшення максимальної тривалості циклу опитування та періоду непостійного приймання DRX дозволяє досягти суттєвого збільшення енергетичної ефективності.

### Висновки

Таким чином, в умовах, коли пристрої M2M можуть переносити деякі підвищені затримки, можна використовувати прямі з'єднання D2D для подальшого зменшення споживаною ними потужності. Наприклад, один із пристроїв M2M може пересилати у мережу доступу дані від сусідніх користувачів, що спостерігають низьку якість інфраструктурного з'єднання. Такі механізми ретрансляції дозволяють зменшити кількість повторних передач і тим самим знизити енергетичне споживання пристроїв користувача. Це особливо важливо для тих користувачів, що розміщені на межі комірки та передають дані малого обсягу. В іншому випадку, якщо введення додаткової затримки неприпустиме, то додаткове зменшення затримки доступу може бути досягнуте за рахунок скорочення процедури PRACH.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ali A. Energy efficient techniques for M2M communication: a survey / A. Ali, G. A. Shah, J. Arshas // *Journal of Networking and computer applications*. – 2016. – Vol. 682. – pp. 42-55. DOI:10.1016/J.JNCA.2016.04.002.
2. Park I. MAC Achieving low latency and Energy efficiency in hierarchical M2M networks with clustered nodes / I. Park, D. Kim, D. Har // *IEEE Communications Magazine*. – 2014. – Vol. 52, No. 4. – pp. 1657-1661. DOI:10.1109/JSEN.2014.2364055.
3. Zhou Z. Energy efficient resource allocation for energy harvesting-based cognitive machine-to-machine communications / Z. Zhou, Z. Chuntian, J. Wang, B. Gu, S. Mumtaz, J. Rodriguez, X. Zhao // *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*. – 2019. – Vol. 5, No. 3. – pp. 595-607. DOI:10.1109/TCCN.2019.2925025.
4. Драган М.О. Енергетична ефективність систем M2M у стільникових мережах / М.О. Драган, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року*. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 178–179.
5. Забегалов І.В. Аналіз трафіка за допомогою коефіцієнта Хьорста в безпроводних сенсорних мережах 5G / І.В. Забегалов, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року*. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 144–145.
6. Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою технології D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // *Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи»*. Київ, 18–24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 57–59.
7. Забегалов І.В. Аналіз мережі 4G на основі технології LTE / І. В. Забегалов, А. В. Булашенко // *Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи : матеріали III Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 19 квітня 2018 р*. – Суми : СумДУ, 2018. – С. 161-162.
8. Гнитецький В.А. Використання прямих з'єднань у системі вивантаження даних D2D із мережевим кодуванням / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // *Матеріали III всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіoeлектроніка в XXI столітті»*. – Київ: КПІ, 12-15 травня 2020. – С. 13–15.

9. Ляшко Д.Г. Спільне використання ресурсів D2D та мобільного зв'язку / Д.Г. Ляшко, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 170–171.
10. Zabegaloff I.V. 5G Ultra dense networks / I.V. Zabegaloff, A.V. Bulashenko // Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2017. — С. 183–185.
11. Діхтярук І.І. Спільна оптимізація у машинному навчанні з мультидоступними граничними обчисленнями / І.І. Діхтярук, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 150–151.
12. Забегалов І.В. Частотний діапазон майбутніх мереж 5G / І.В. Забегалов, А.В. Булашенко // Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – С. 181–183.
13. Zheng K. Challenges of massive access in highly dense LTE-advanced networks with machine-to-machine communications / K. Zheng, S. Ou, J. Alonso-Zarate, et al. // IEEE Wireless Communications. – 2014. – Vol. 21, No. 3. – pp. 12-18.
14. Gerasimenko M. Impact of machine-type communications on energy and delay performance of random access channel in LTE-advanced / M. Gerasimenko, V. Petrov, O. Galinina, et al. // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. – 2013. – Vol. 24, No. 4. – pp. 366-377.
15. Al-Kaseem B. Energy efficient MAC protocol with smart sleep scheduling for cluster-based M2M networks / B.R. Al-Kaseem, H.S. Al-Raweshidy // 6th International Conference on Information Communication and Management (ICIM), 29-31 October 2016, Hatfield, UK. DOI:10.1109/INFOCOMAN.2016.7784248.
16. Гладун В.В. Система вигризки на основі D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 166–167.
17. Демченко І.В. Маршрутизація в мережі 5G із рухомими вузлами безпроводних сенсорних мереж / І.В. Демченко, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 148–149.
18. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі МЕС / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18–24 листопада 2019 р – Київ, 2019. – С. 153–155.
19. Wu Y. Non-orthogonal random access and a transmission scheme for M2M communication in cellular networks / Y. Wu, N. Zhang, K. Rong // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – pp. 27687-27704. DOI:10.1019/ACCESS.2020.2972064.
20. Li M. Energy efficient M2M communication in virtualized cellular networks with mobile edge computing / M. Li, F.R. Yu, P. Si, Y. Zhang // IEEE Transactions on mobile computing. – 2019. – Vol. 18, No. 7. – pp. 1541-1555. DOI:10.1109/TMC.2018.2865321.

**Шарпан Ярослав Едуардович** — студент групи СУ-21ш, Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, e-mail: yar\_sharpan@rambler.ru;

**Забегалов Ігор Вікторович** — викл. кафедри системотехніки та інформаційних технологій, Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка.

**Sharpan Yaroslav E.** — Shostka Institute of Sumy State University, Shostka, e-mail: ut3ulj@gmail.com;

**Zabegalov Igor V.** — lecture of the chair of systems engineering and information technology, Shostka Institute of Sumy State University, Shostka.