

Г. В. Бешлей, М. О. Селюченко, І. А. Берневек,  
С. І. Пушчак, М. І. Бешлей  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра телекомунікації

## АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ, АГРЕГАЦІЇ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ M2M-ПРИСТРОЇВ У ГЕТЕРОГЕННІЙ МЕРЕЖІ 4G/5G

© Бешлей Г. В., Селюченко М. О., Берневек І. А., Пушчак С. І., Бешлей М. І., 2018

Запропоновано алгоритм кластеризації, агрегації та класифікації M2M-пристроїв у майбутніх мережах 4G/5G, що дасть змогу ефективніше використовувати радіоресурс мобільної мережі, зменшити сигнальне навантаження на базову станцію та знизити енергозатрати M2M-пристроїв. Новизна алгоритму полягає у виборі головного вузла M2M на основі діаграми Вороного та методів нечіткої логіки. Цей алгоритм реалізується на нововведених шлюзах M2M, який виконуватиме функції вибору головного вузла, групування різноманітних даних на класи послуг та балансування навантаження між шлюзами з метою передавання даних на недовантажені базові станції 4G/5G.

**Ключові слова:** M2M, 4G/5G, кластер, діаграма Вороного, нечітка логіка.

H. V. Beshley, M. O. Seliuchenko, I. A. Bernevek,  
S. I. Pushchuk, M. I. Beshley  
Lviv Polytechnic National University,  
Department of Telecommunications

## ALGORITHM FOR CLUSTERIZATION, AGGREGATION AND PRIORITIZATION OF M2M DEVICES IN HETEROGENEOUS 4G/5G NETWORK

© Beshley H. V., Seliuchenko M. O., Bernevek I. A., Pushchuk S. I., Beshley M. I., 2018

The transition to building Smart City, Smart House and other places using M2M imposes tight network requirements. This includes delays, bandwidth, transmission duration. When introducing M2M, an important feature is reducing the sensor's power consumption when transmitting information and the amount of signaling information to the 4G/5G mobile heterogeneous network base station. To do this, the paper proposes to combine sensors into clusters in which the main sensor acts as a gateway for all others. Aggregation of data in intermediate nodes is also a form of processing of output data and allows solving a number of problems associated with energy consumption of nodes in the network. Much of the electricity consumed by the network node is for data transmission, not for the process of obtaining data from M2M devices from the environment and processing them. Therefore, one way to reduce the power consumption of a node is to reduce the amount of data transmitted, which can be achieved by pre-processing them in intermediate nodes. Data aggregation in intermediate nodes may be appropriate for the cases with a fairly tight placement of M2M nodes in the sensory field, data from neighboring nodes with a high probability may coincide, that is, having redundancy. This allows to combine completely or partially identical messages in order to reduce the amount of data transmitted by nodes. In this paper we propose algorithm for clustering, aggregation and classification of M2M devices in future 4G / 5G networks. The

**proposed algorithm ensures more efficient use of the radio resource of the mobile network, reduction of the signal load to the base station and the power consumption of M2M devices.**

**Key words: M2M, 4G/5G, cluster, Voronoi diagram, fuzzy sets.**

### Вступ

Одним з перспективних і динамічних ринків послуг для мобільних операторів, зокрема LTE-операторів, може стати ринок послуг M2M (машина-машина) або IoT сервіси. Мережі M2M визначаються як мережі комунікації інтелектуальних машин, які об'єднують кінцеві пристрої M2M і системи, що працюють без участі або з обмеженою участю людини як кінцевого користувача, для управління одне одним. Використання мереж LTE для взаємодії елементів M2M має принести операторам додаткові доходи і надати імпульс подальшого зростання інвестицій. Згідно з прогнозами Machina Research (рис. 1), кількість M2M-з'єднань у мережах мобільних операторів в 2018 р. перевищить 1,5 млрд., що в 5 разів більше поточного показника, а у 2022 році на частку мобільних операторів припаде понад 2,6 млрд. M2M-з'єднань. При цьому частка M2M-з'єднань від загальної кількості з'єднань у мережах мобільних операторів зросте з поточних 5 % до 15 % у 2018 р. і до 22 % – 2022 р.

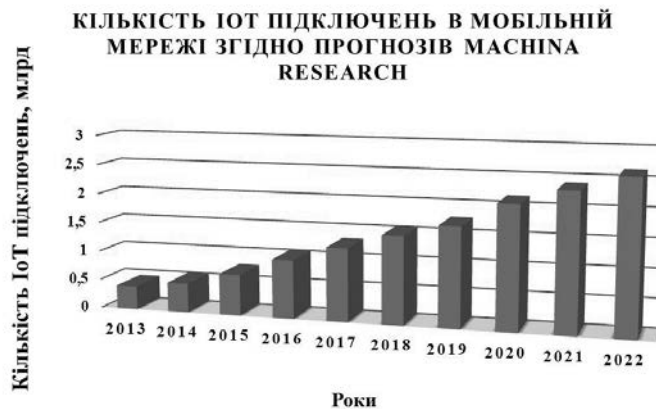


Рис. 1. Кількість M2M-з'єднань у мобільних мережах

Сьогодні найперспективнішою мобільною технологією для впровадження сервісів M2M вважають стандарт LTE. Більшість передових країн розвивають інфраструктуру четвертого покоління LTE до майбутньої мережі 5G, яка покликана змінити повсякденне життя суспільства і зробити можливим масове застосування технологій Інтернету речей (IoT). Цей стандарт мережі розробляють з урахуванням реалій, коли доступ до мобільного Інтернету можливий не тільки з мобільних пристроїв (яких і зараз вкрай багато), але й із розумних годинників, дронів та інших пристроїв, які поки маловідомі.

Значне зростання кількості безпроводних вузлів M2M призводить до деяких проблем у сучасних мобільних мережах [1]. Незважаючи на те, що ємність мереж 4G/5G є достатньою, щоби задовольнити потреби більшості M2M пристроїв, сигнальне навантаження, яке генероване ними, перевищує можливості базових станцій. У цій роботі як вирішення подібних проблем, зокрема і в майбутніх мережах 5G, пропонується використати алгоритм кластеризації для локалізації трафіка в межах кластера і подальшої його агрегації та класифікації під час передавання в ядро мережі, що дасть змогу розумно використовувати радіоресурс мережі і зменшити сигнальне навантаження на базову станцію.

### Алгоритм кластеризації, агрегації та класифікації M2M-пристроїв у мережі 4G/5G

Технологія M2M насамперед орієнтована на надійну комунікацію між пристроями, хоча сфера застосування датчиків не обмежена. Перехід до побудови Smart City, Smart House та інших місць із застосуванням M2M-накладає жорсткі вимоги на мережу: щодо затримок, пропускну здатності, тривалості передавання. Із запровадженням M2M важливою особливістю стає зменшення енерговитрат датчика під час передавання інформації та кількості сигнальної інформації на базову

станцію мобільної гетерогенної мережі 4G/5G [2–7]. Для цього у роботі запропоновано об'єднувати датчики у кластери, в яких головний датчик виконує роль шлюза для всіх інших.

Агрегування даних у проміжних вузлах також є формою обробки вихідних даних і дає змогу вирішувати проблеми, пов'язані зі споживанням енергії вузлами мережі. Значну частину споживаної електроенергії вузол мережі витрачає саме на передавання даних, а не на процес отримання даних від M2M пристроїв з навколишнього середовища та їх обробку. Тому одним із способів зменшення енергоспоживання вузла є зменшення обсягу переданих даних, чого можна досягти їхньою попередньою обробкою в проміжних вузлах зв'язку. Агрегування даних у проміжних вузлах може бути доцільним з тієї причини, що за доволі щільного розміщення M2M-вузлів у сенсорному полі дані від довколишніх вузлів з високою ймовірністю можуть збігатися, тобто бути надмірними. Це дає змогу об'єднати повністю або частково однакові повідомлення з метою зменшення обсягу переданих вузлами даних.

Вибираючи головний вузол, враховують низку параметрів, зокрема центральність відносно кластера, рівень батареї. На рис. 2 показано запроповану архітектуру гетерогенної мережі 4G/5G на рівні доступу з кластеризацією пристроїв M2M. Важливим елементом цієї архітектури є шлюз M2M, який має зв'язок між головними вузлами за каналом Wi-Fi та базовою станцією за каналом LTE. Основною перевагою шлюзів M2M є виконання функцій вибору головного вузла, групування різноманітних даних на класи послуг та балансування навантаження між шлюзами з метою передавання даних на недовантажені базові станції 4G/5G. Таке рішення дасть змогу операторам мережі залишити існуючі базові станції eNodeB без змін, зменшити на них сигнальне навантаження від M2M-датчиків та відповідно покращити якість обслуговування.

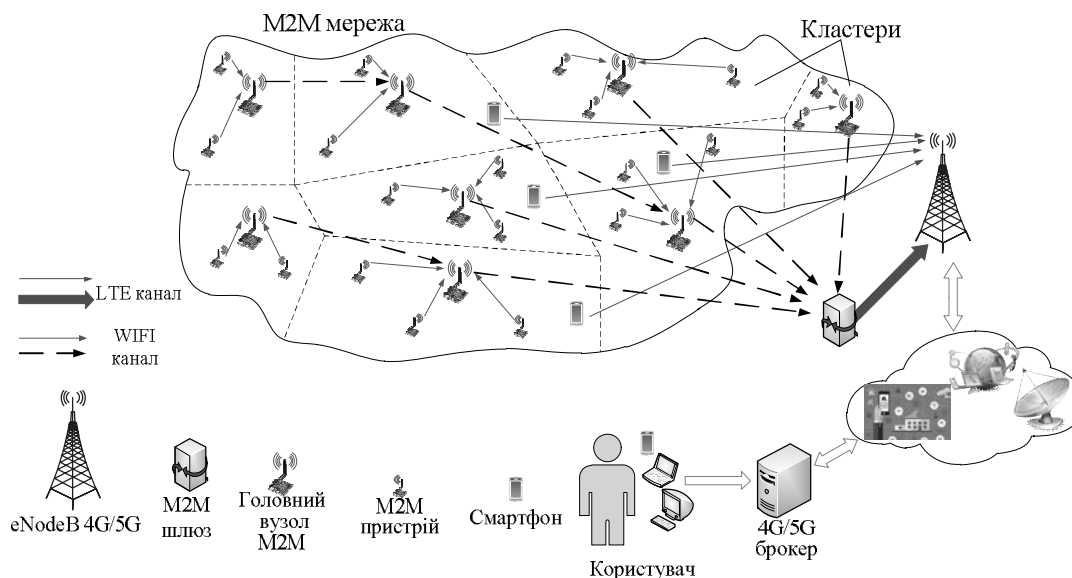


Рис. 2 Архітектура гетерогенної мережі 4G/5G на рівні доступу з кластеризацією пристроїв M2M

Запропоновано новий алгоритм вибору головного вузла кластера M2M-мережі, який використовує одночасно переваги як діаграм Вороного, так і методів нечіткої логіки. Блок-схемою на рис. 3 зображено виконання алгоритму кластеризації вибору головного вузла кластера для датчиків M2M у програмі “MatLab”.

У розробленому алгоритмі кластер формується на основі діаграм Вороного. У кожному раунді сенсорне поле поділяють випадково. Після вибору головного вузла кластера в кожному кластері обчислюють відстань між сенсорними вузлами і головним вузлом кластера за формулою (1).

$$(D_i, C_j) = \sum_{i=1}^n \sqrt{(D_i - C_j)^2}, \quad (1)$$

де  $D_i$  –  $i$ -й M2M вузол у кластері ( $i=1, \dots, n$ ) і  $T_j$  – головний вузол  $j$  кластера ( $j=1, \dots, k$ )

У розробленому алгоритмі використано два параметри для вибору головного вузла кластера: залишкову енергію і центральність за діаграмами Вороного. Залишкову енергію і центральність за діаграмами Вороного оцінюють за методами нечіткої логіки. Контролер нечіткої логіки FLC (Fuzzy Logic Controller) складається з таких компонентів (рис. 3): блоку фазифікації, бази правил, блоку нечіткого виведення і блоку дефазифікації. Програмну реалізацію функцій даного контролера міститимуть запропоновані шлюзи M2M, які виконуватимуть необхідні обчислення.

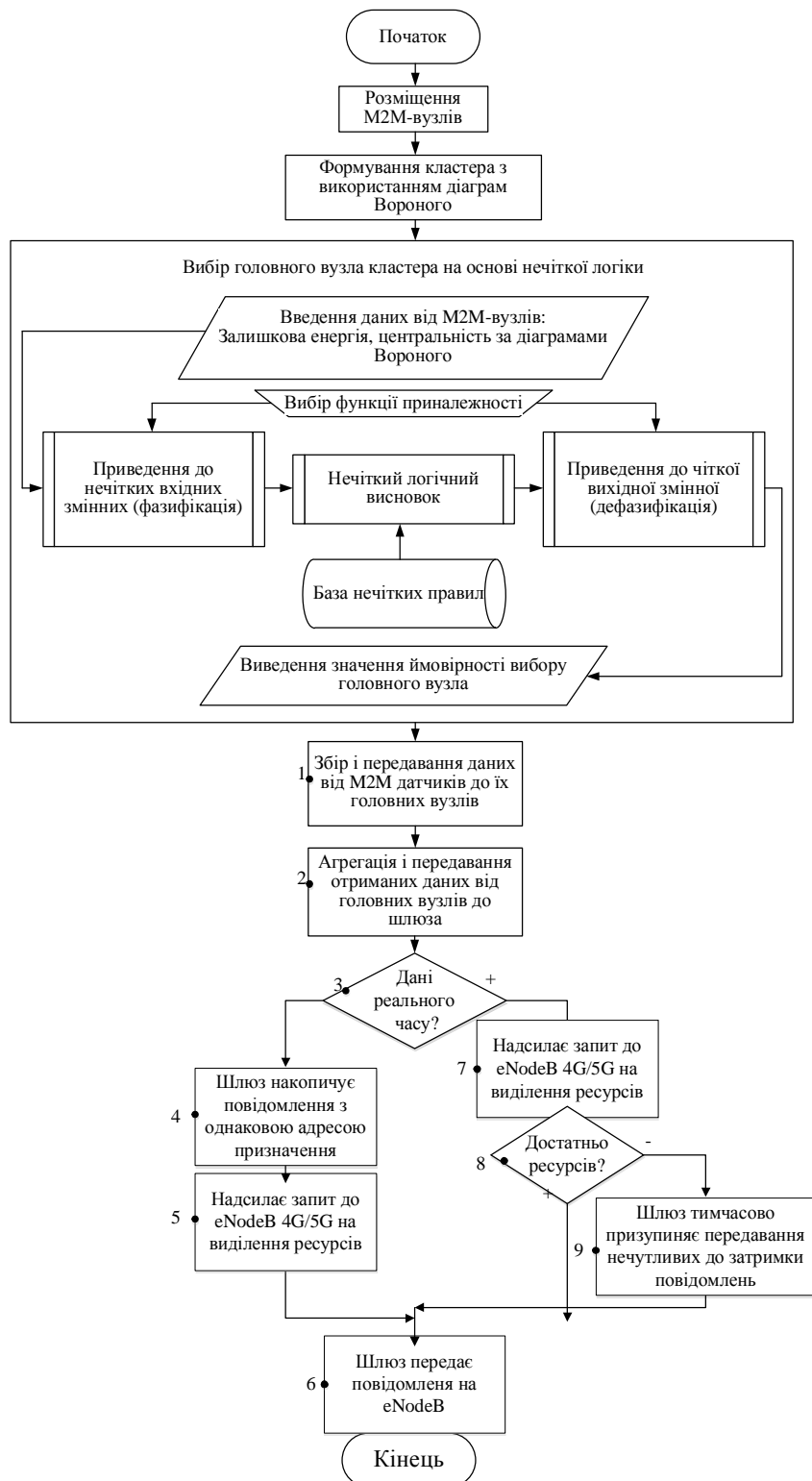


Рис.3 Блок-схема алгоритму кластеризації, агрегації та класифікації M2M-пристроїв у гетерогенній мережі 4G/5G

Розглянемо роботу цього алгоритму докладніше. Від усіх М2М-вузлів на вхід контролера нечіткої логіки надходять дані про стан кожного вузла.

Фазифікація – процес, що перетворює точні значення вхідних змінних на значення лінгвістичних (нечітких) змінних за допомогою застосування певних функцій приналежності. На виході з FLC ми зможемо вибрати головний вузол у процентах

Таблиця 1

Параметри системи нечіткого виведення та їхні нечіткі множини

Тип змінної	Назва змінної	Терм множини	Тип функції приналежності	Значення функції приналежності
Вхідна	Залишкова енергія [0;0.1]Дж	Мала	z-подібна	[0 ; 0.02 ; 0.05]
		Середня	трикутна	[0.02 ; 0.05; 0.08]
		Висока	s-подібна	[0.05 ; 0.08; 0.1]
	Центральність за діаграмою Вороного [0 ; 100] %	Дальня	z-подібна	[0 ; 25 ; 50]
		Середня	трикутна	[20 ; 50 ; 80]
		Близька	s-подібна	[50 ; 75 ; 100]
Вихідна	Ймовірність вибору головного вузла [0 ; 100] %	Дуже мала	z-подібна	[0 ; 5 ; 15]
		Мала	трикутна	[5 ; 15 ; 25]
		Більше малої	трикутна	[15 ; 25 ; 35]
		Менше сер.	трикутна	[25 ; 35 ; 45]
		Середня	трикутна	[35 ; 50 ; 65]
		Більше сер.	трикутна	[55 ; 65 ; 75]
		Невелика	трикутна	[65 ; 75 ; 85]
		Велика	трикутна	[75 ; 80 ; 95]
		Дуже велика	трикутна	[85 ; 95 ; 100]

Як функції приналежності для кожного значення всіх лінгвістичних змінних вибираємо трикутні функції приналежності. Після визначення функції приналежності та вхідних параметрів необхідно визначити базу правил для відповідних параметрів. На основі таблиці для нечітких множин зазначених параметрів, використовуючи програмний пакет Fuzzy Logic Toolbox (пакет нечіткої логіки в середовищі MatLab) [2], можна отримати функції приналежності. На виході нечіткого контролера отримуємо ймовірність вибору головного вузла, яку отримано в результаті дефазифікації вихідного нечіткого рішення.

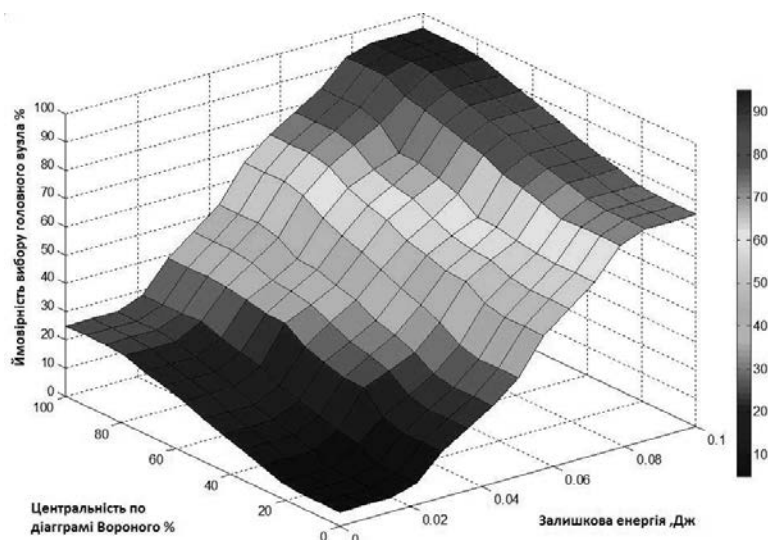


Рис. 4. Залежність ймовірності вибору головного вузла від залишкової енергії і центральності за діаграмами Вороного

Визначивши головний вузол, підлеглі вибирають, до якого кластера вони належатимуть. Для оптимального використання енергії головні вузли періодично переобирають. Тому кожному датчику надають можливість стати головним у кластері. Завершальний етап налаштування структури мережі на основі кластерів полягає у формуванні розкладу передавання даних, використовуючи для цього часовий поділ. Так уникають колізій. Підлеглих датчиків повідомляють про час передавання даних, надсилаючи ширококомвне повідомлення. У такий спосіб інформують усі вузли про передавання даних. Кожен з датчиків передає дані тільки у строго визначені моменти часу. Всю отриману інформацію збирає головний вузол та передає на шлюз через канал Wi-Fi. Шлюз, отримавши агреговані дані від M2M-датчиків, передає їх через канал LTE на базову станцію. Використання запропонованих шлюзів дає змогу зменшити сигнальну інформацію на базовій станції 4G/5G завдяки тому, що функції моніторингу параметрів рівня батареї датчиків та їх розташування покладені не на базову станцію, а на шлюз. Своєю чергою, базова станція отримує агреговані дані від шлюза, який попередньо згрупував сервіси M2M на 4 класи з різними вимогами до QoS (табл. 2).  $QCI_{M2M}$  (QoS Class Identifier) є міткою у пакеті IPv6, значення якого записується у полі ToS [8–11]. Таке рішення дає змогу планувальнику базової станції виділяти ресурси лише для 4-х класів M2M, а не для всіх датчиків окремо.

Таблиця 2

### Класифікація M2M

$QCI_{M2M}$	Тип	Пріоритет	Допустима затримка $T_z$ , мс	Допустима кількість відмов в обслуговуванні, $P_v\%$	Клас послуг сервісів M2M
1	Гарантований час передавання даних ( <b>GRB</b> <sub>M2M</sub> ) трафік реального часу	1	10	0,01	L1
2		2	20	0,1	L2
3	Гарантований час передавання даних ( <b>GRB</b> <sub>M2M</sub> ) трафік не реального часу	3	1000	5	L3
4	Не гарантований час передавання даних ( <b>Non-GRB</b> <sub>M2M</sub> ) трафік не реального часу	4	$t_{\text{невизначене}}$	$P_{\text{невизначене}}$	L4

Розглянемо детально процес передавання даних під час агрегації та класифікації згідно з розробленим алгоритмом (рис. 3):

- M2M-пристрої формують повідомлення і відправляють його на головний вузол (1).
- Головний вузол перенаправляє повідомлення на M2M-шлюз (2).
- M2M-шлюз аналізує повідомлення на предмет чутливості до затримок відповідно до попередньо встановлених міток (3).
- Якщо повідомлення не чутливі до затримок, M2M-шлюз накопичує повідомлення з однаковою адресою призначення, об'єднує їх і після цього відправляє запит на eNodeB для виділення ресурсів (4,5).
- Після виділення ресурсів M2M-шлюз передає об'єднане повідомлення через базову станцію на брокер (6).
- Якщо повідомлення чутливі до затримок, M2M відправляє запит на eNodeB для виділення ресурсів (7).
- Якщо ресурсів достатньо, M2M-шлюз передає повідомлення через базову станцію на брокер (8,6).

- Якщо ресурсів не достатньо, M2M-шлюз тимчасово призупиняє передавання нечутливих до затримки повідомлень, тим самим звільняє ресурси для передачі чутливих до затримки повідомлень (9).
- Після виділення та звільнення ресурсів M2M шлюз передає чутливе до затримки повідомлення через базову станцію 4G/5G на брокер, який знаходиться у власній інфраструктурі оператора мобільного зв'язку для гарантування E2E QoS (6).

### Висновок

Значне зростання кількості безпроводних вузлів M2M призводить до деяких проблем у мобільних мережах. Незважаючи на те, що ємність мереж 4G/5G є достатньою, щоби задовольнити потреби більшості M2M-пристроїв, сигнальне навантаження, яке генероване ними перевищує можливості сучасних базових станцій. Саме тому у роботі запропоновано нову архітектуру гетерогенної мережі, розраховану на обслуговування великої кількості M2M-пристроїв. Рівень доступу такої мережі є централізованим завдяки попередній синхронізації пристроїв у кластери, у яких визначають головний M2M-вузол для передавання блоків даних на шлюз, який, агрегуючи та класифікуючи потоки, передає дані на базову станцію мережі 4G/5G. Розроблено алгоритм кластеризації, агрегації та класифікації вузлів M2M для майбутніх мобільних мереж з використанням нечіткої логіки і діаграм Вороного. Таке рішення дасть змогу розумно використовувати радіоресурс мобільної мережі, зменшити сигнальне навантаження на базову станцію та збільшити час роботи M2M-датчиків.

1. V. Deshpande and A. Rajesh, "Design of an improved energy efficient clustering in M2M communication", 2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015], Nagercoil, 2015, pp. 1–6. 2. Masiuk, M. Beshley, O. Lavriv and Y. Deschynskiy, "Common radio resource management model for heterogeneous cellular networks", IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016), Feb. 23–26, 2016, Lviv, Ukraine, pp. 661–663. 3. I. Demydov, M. Seliuchenko, M. Beshley and M. Brych, "Mobility management and vertical handover decision in an always best connected heterogeneous network", The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv, 2015, pp. 103–105. 4. Klymash M., Lavriv O., Maksymyuk T. and Beshley M. "State of the art and further development of information and communication systems," 2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), Kiev, 2016, pp. 1–6. 5. Beshley M., Romanchuk V., Chervenets V. and Masiuk A. "Ensuring the quality of service flows in multiservice infrastructure based on network node virtualization", 2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), Kiev, 2016, pp. 1–3. 6. Klymash M., Savchuk R., Beshley M. and Pozdnyakov P. "The researching and modeling of structures of mobile networks for providing of multiservice radio access". Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske, 2012, pp. 281–282. 7. Klymash M., Beshley M. and Koval V. "The model of prioritization of services for efficient usage of multiservice network resources", Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske, 2012, pp. 320–321. 8. Klymash M., Beshley M. and Stryhaluk B. "System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks", 2014 First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, Kharkov, 2014, pp. 63–66. 9. Beshley M., Romanchuk V., Seliuchenko M. and Masiuk A. "Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network test bed", The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv, 2015, pp. 1–4. 10. Seliuchenko M., Beshley M., Panchenko O. and Klymash M. "Development of monitoring system for end-to-end packet delay measurement in software-defined networks", IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016), Feb. 23–26, 2016, Lviv, Ukraine, pp. 667–670. 11. Beshley M., Seliuchenko M., Panchenko O. and

Polishuk A. "Adaptive flow routing model in SDN", 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), Lviv, 2017, pp. 298–302.

### References

1. V. Deshpande and A. Rajesh, "Design of an improved energy efficient clustering in M2M communication", 2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015], Nagercoil, 2015, pp. 1–6. 2. Masiuk, M. Beshley, O. Lavriv and Y. Deschynskiy, "Common radio resource management model for heterogeneous cellular networks", IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016), Feb. 23–26, 2016, Lviv, Ukraine, pp. 661–663. 3. I. Demydov, M. Seliuchenko, M. Beshley and M. Brych, "Mobility management and vertical handover decision in an always best connected heterogeneous network", The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv, 2015, pp. 103–105. 4. M. Klymash, O. Lavriv, T. Maksymyuk and M. Beshley, "State of the art and further development of information and communication systems", 2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), Kiev, 2016, pp. 1–6. 5. M. Beshley, V. Romanchuk, V. Chervenets and A. Masiuk, "Ensuring the quality of service flows in multiservice infrastructure based on network node virtualization", 2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), Kiev, 2016, pp. 1–3. 6. M. Klymash, R. Savchuk, M. Beshley and P. Pozdnyakov. "The researching and modeling of structures of mobile networks for providing of multiservice radio access". Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske, 2012, pp. 281–282. 7. M. Klymash, M. Beshley and V. Koval, "The model of prioritization of services for efficient usage of multiservice network resources", Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv-Slavske, 2012, pp. 320–321. 8. M. Klymash, M. Beshley and B. Stryhaluk, "System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks", 2014 First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, Kharkov, 2014, pp. 63–66. 9. M. Beshley, V. Romanchuk, M. Seliuchenko and A. Masiuk, "Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network test bed", The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv, 2015, pp. 1–4. 10. M. Seliuchenko, M. Beshley, O. Panchenko and M. Klymash, "Development of monitoring system for end-to-end packet delay measurement in software-defined networks", IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2016), Feb. 23-26, 2016, Lviv, Ukraine, pp. 667–670. 11. M. Beshley, M. Seliuchenko, O. Panchenko and A. Polishuk, "Adaptive flow routing model in SDN", 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), Lviv, 2017, pp. 298–302.