

УДК 621.396

К.П. Кануннікова, В.В. Червинський (канд. техн. наук, доц.)
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк
кафедра автоматики та телекомунікацій
E-mail: tscherwi@mail.ru

АЛГОРИТМ ДИНАМІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ МІКРОСТІЛЬНИКАМИ ГЕТЕРОГЕННОЇ МЕРЕЖІ LTE

У роботі проаналізовано питання підвищення енергоефективності базових станцій мобільних мереж зв'язку на базі технології LTE, показано що одним з варіантів його вирішення є використання динамічного енергозбереження. Розроблено імітаційну модель гетерогенної LTE мережі, яка включає макростільники, мікростільники та Wi-Fi зони. Розроблено алгоритм динамічного регулювання споживаної потужності сайту на основі інформації про місцезнаходження активних абонентів. Проведено моделювання режимів роботи гетерогенної мережі.

Ключові слова: гетерогенна мережа, LTE, Wi-Fi, місцезнаходження активних абонентів, споживана потужність базової станції, макростільник, мікростільник.

Загальна постановка проблеми

Зі значним зростанням вимог абонентів до швидкості передачі даних у змозі впоратися технологія LTE стандарту 3GPP, яка здатна забезпечити швидкість передачі даних від 100 Мбіт/с та вище. Такого напрямку слід дотримуватись і українським операторам. Але в процесі проектування оператор стикається з такою проблемою, як нерівномірність розміщення абонентів у мережі. Використання в мережі лише макростільників не дозволяє ефективно регулювати пропускну здатність об'єкта проектування. Одним з шляхів рішення такої задачі є впровадження гетерогенної мережі, яка використовує мікро- та макростільники [9].

В такій мережі за рахунок одночасної роботи багатьох стільників різного рівня значно збільшується споживана потужність мережі. Таким чином, виникає проблема скорочення енергоспоживання обладнання, а саме базових станцій, оскільки вони споживають до 80% всієї енергії, що потрібна для роботи мережі. Скорочення енергоспоживання мережею дає можливість як зниження експлуатаційних витрат оператора зв'язку, так і покращення екологічної обстановки.

Ця проблема характерна не тільки для гетерогенних мереж стандарту LTE. Основними заходами щодо зниження споживаної потужності базовими станціями є використання альтернативних джерел енергії, оптимізація числа базових станцій, зниження споживаної потужності за рахунок більш сучасного обладнання, гнучка (динамічна) зміна ємності мережі в залежності від її завантаженості [5].

Постановка задач дослідження

Основним завданням даної роботи є дослідження можливостей динамічного зміни ємності гетерогенної мережі в залежності від її завантаженості з метою зменшення енергоспоживання мережею в цілому і базовими станціями зокрема.

Для дослідження динамічного регулювання споживаної потужності сайту гетерогенної мережі LTE/Wi-Fi, яка будується за принципом поєднання макро- та макрорівнів мережі, необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати методи динамічної зміни ємності гетерогенної мережі в залежності від її завантаженості.

2. Розробити алгоритм динамічного регулювання вживаної потужності сайту на основі пеленгування активних абонентських терміналів.

3. розробити імітаційну модель гетерогенної мережі, перевірити за її допомогою функціональність запропонованих рішень.

Рішення задачі і результати досліджень

Досягнення якісного обслуговування абонентів вимагатиме збільшення продуктивності сайту мережі. При цьому найбільш проблемними місцями залишаються: краї стільника, закриті приміщення та відкриті площі, де спостерігається велике скупчення абонентів. Саме в таких «проблемних зонах» пропонується встановлювати мікростільники та точки доступу AP Wi-Fi [8]. З іншого боку, оператори стикаються з більш високими витратами за кіловат-годину і збільшується вплив на навколишнє середовище. Скорочення енергоспоживання обладнання стільникового зв'язку дозволяє не тільки скоротити операційні витрати оператора, але і знизити викид CO₂. Динамічне регулювання вживаної потужності мережі – це інтелектуальний спосіб знизити енергоспоживання мережі. Основна ідея полягає в зниженні потужності мережевого елемента у разі зміни навантаження у мережі. Це може бути зроблено за рахунок відключення малих стільників та точок доступу Wi-Fi або зниження швидкості передачі даних у сайті. Ключові підходи до керування тригерами вимкнення/увімкнення стільників та AP Wi-Fi:

- розподілений підхід, який не вимагає залучання OAM;
- централізований підхід, тобто, центральна система управління OAM (SON) відповідає за диспетчеризацію мережі і за її режим роботи;
- гібридна архітектура поєднує розподілені і централізовані підходи.

Звичайно, більш функціональним є варіант впровадження гібридної архітектури мережі SON [3]. Не заважаючи на всі переваги цього підходу, він не є оптимальним. Оскільки його реалізація вплине на показники CAPEX, OPEX та значно ускладнить архітектуру гетерогенної мережі. Тому пропонується впровадження централізованої системи SON. У централізованій OAM системі eNB буде інформувати, наприклад, через кожні 5 хв. про поточну ситуацію з навантаженням. Остаточне рішення для відключення проводиться системою OAM. Перевага централізованої системи стає відразу очевидною, OAM має повне картину всіх стільників у мережі. У гібридній архітектурі eNB можуть самостійно виходити/входити у сплячий режим. У разі, якщо QoS не досягає зазначеного рівня за рахунок активного макрорівня, можуть бути активовані мікростільники. Повне відключення мікростільника в періоди низького навантаження або відсутності навантаження можливе, оскільки покриття підтримується макрорівнем. OAM визначає навантаження на мікростільник та приймає рішення, щодо його відключення. Після цього мікростільник вже не може аналізувати навантаження у його радіусі покриття. Тому задача ввімкнення мікростільника стає важливим питанням. Для цього використовуються такі методи: згідно статистичних даних встановлюється час включення та відключення стільника; всі стільники включені, режим відключення стільника заборонено; сплячий режим; мікростільники вмикаються з певною частотою.

У всіх цих методів є один значний недолік – відсутня можливість динамічного регулювання режиму роботи мережі залежно від навантаження на неї. Замість відключення мікростільника пропонується динамічне регулювання вживаної потужності малими стільниками відповідно до зміни навантаження у мережі. Макростільник виконує диспетчеризацію сайту: визначає місце знаходження абонентів та навантаження, яке вони створюють. Отримані дані eNB передає до блоку OAM (SON). Там відбувається вибір способу підключення UE: макростільник, мікростільник, AP Wi-Fi. UE може знаходитись у двох станах: UE обслуговується AP доти, доки UE знаходиться у зоні покриття AP та на UE увімкнено модуль Wi-Fi; UE обслуговується eNB або HeNB доти, доки UE знаходиться поза зоною покриття AP та на UE не увімкнено модуль Wi-Fi.

Таким чином, AP володіє більшим пріоритетом для UE, завдяки більш високій пропускній здатності та більш низькій вартості трафіку у порівнянні з мережею LTE. Якщо UE знаходиться у зоні покриття декількох AP, то OAM буде обирати AP виходячи з таких показників, як вартість та продуктивність, враховуючи при цьому розподіл навантаження. При позиціонуванні UE виникають складності, оскільки зараз оператори мобільного зв'язку не забезпечують високої точності позиціонування абонентських станцій, що істотно ускладнює завдання регулювання потужності мікростільника. У зв'язку з цим необхідна розробка і впровадження нових підходів систем позиціонування, тому рішення на основі спільно функціонуючих мереж мобільного зв'язку та спеціальної пеленгаційної мережі представляється актуальним. Існуючі технології позиціонування в мережах мобільного зв'язку дають велику похибку позиціонування UE або вимагають значних витрат на їх реалізацію. У зв'язку з цим більшість операторів мобільного зв'язку на практиці використовують найпростіший і дешевий метод позиціонування, заснований на визначенні ідентифікатора стільника (Cell-ID), в якому знаходиться UE. Але його точність позиціонування не є достатньою для впровадження гетерогенних рішень. У мережах третього покоління перспективною технологією є визначення місця розташування по напрямку прийому і виміру різниці часу прийому сигналів. Завдання позиціонування вирішується у кілька етапів [5]:

1 Процедура визначення Cell-ID мереж, в якому знаходиться абонентська станція.

2 Процедура визначення списку вимірювальних пунктів ВП. На даному етапі після надходження у пульт керування інформації про Cell-ID, в якому знаходиться UE, далі відбувається зіставлення «Cell-ID - ВП». Пульт управління містить базу даних відповідності «Cell-ID-ВП, які обслуговують даний Cell-ID». Інформація про зону знаходження UE надходить з пульта управління через контролер базових станцій на відповідні ВП для позиціонування UE з більш високою точністю.

3 Алгоритм виходу абонентської станції на максимальну потужність передачі. У процесі позиціонування, коли UE наближається до БС, її потужність зменшується і виникає проблема електромагнітної доступності по висхідній лінії від UE до ВП, що в свою чергу суттєво зменшує точність позиціонування. Для цього пропонується використовувати алгоритм примусового виведення на максимальну потужність передавача UE на короткий проміжок часу.

4 Процедура позиціонування абонентської станції засобами пеленгаційної мережі. Вимірюваними параметрами є кути напрямку приходу випромінювання UE щодо лінії (бази), що з'єднує два ВП мережі.

Вимірювальні пункти пеленгаційної мережі розташовуються в позиційних районах базових станцій (eNB) і мають у своєму складі приймачі LTE та антенні пристрої, що є прийомними фазованими антенами решітки (ФАР) з електронним управлінням. Управління та обробка результатів роботи пеленгаційної мережі проводиться в спеціальному пульті управління, який взаємодіє з контролерами і системою комутації мережі мобільного зв'язку.

Отже, підведемо підсумки, щодо алгоритму динамічного регулювання потужності. Допустимо, що $A=\{a_1, \dots, a_n\}$, $B=\{b_1, \dots, b_n\}$ та $C=\{c_1, \dots, c_m\}$ – це AP Wi-Fi, та HeNB та eNB відповідно. При цьому $m=1$, або значно менше за n , так як множина точок доступу розгортається в середині зон покриття мобільної мережі. OAM зберігає список A , B та C , як список можливих кандидатів для підключення, також зберігає інформацію щодо навантаженості кожного з них. $U=\{u_1, \dots, u_k\}$ – це АС. Кожний АС вимагає підключення, кожна AP та HeNB або eNB можуть забезпечити певну максимальну пропускну здатність (Y_{macro_max} , Y_{micro_max} , Y_{wifi_max}). Таким чином, після знаходження точного місця знаходження абонента у мережі, відбувається визначення способу підключення абонента у мережу, це може здійснитися через макростільник, мікростільник та AP Wi-Fi. Пріоритетним є підключення абонента до AP, це відбувається, якщо абонент знаходиться у зоні покриття AP,

та на пристрої, з якого здійснюється запит на підключення до Інтернету, увімкнений модуль Wi-Fi. Якщо абонент підключився через AP Wi-Fi, то перераховується навантаження на AP Wi-Fi, якщо ж ні, то перевіряється можливість підключення до мікростільника. За умови, що абонент знаходиться у зоні покриття мікростільника і на нього вистачає пропускної здатності, абонент підключається до мікрорівня. У іншому випадку абонент підключається до макростільника. Тепер залежно від навантаження на макрорівень розраховується необхідну зону покриття мікростільника:

$$R_{micro} = R_{max} \cdot \frac{Y_{micro}}{Y_{micro_max}}, \tag{1}$$

де R_{max} – максимальний радіус зони покриття мікростільника, R_{micro} – розрахований необхідний за даним навантаженням на мережу радіус зони покриття стільника, Y_{micro} – навантаження на мікростільник у даний момент, Y_{micro_max} – максимальна пропускна здатність мікростільника. Таким чином, радіус зони покриття стільника залежить від поточного навантаження на мережу. Блок-схему алгоритму наведено на рис. 1.

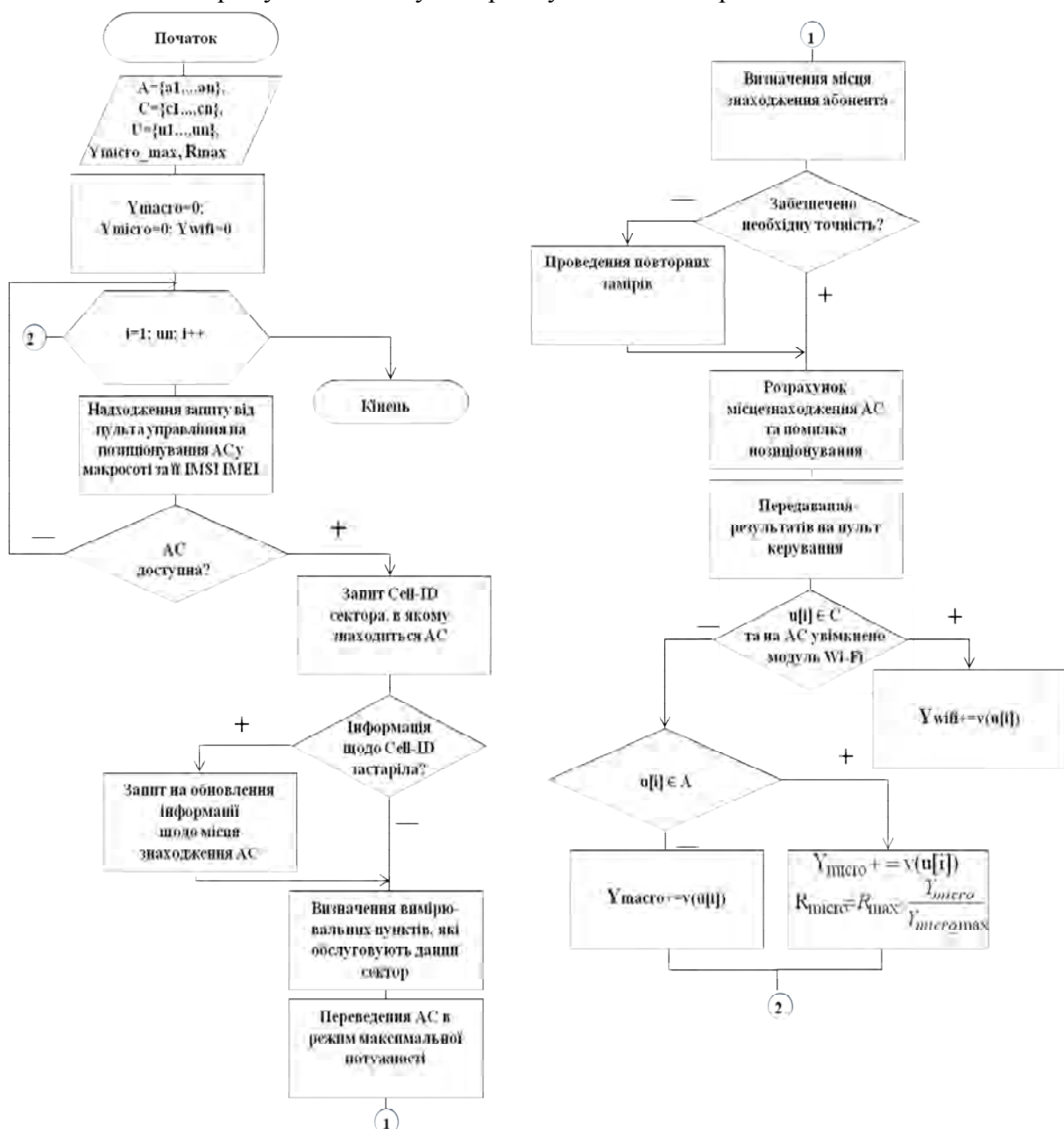


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму динамічного регулювання потужності мережі

Задля спостереження ефективності гетерогенних мереж створено імітаційну модель. Модель забезпечена сучасним графічним інтерфейсом та використовує мову програмування Javascript. Модель дозволяє змінюючи конфігурацію мережі досліджувати зміну пропускну здатності мережі, її завантаження, кількість абонентів, що обслуговуються. Також модель реалізує алгоритм динамічного регулювання потужності мікростільника. Моделювання проводиться для умов міста, для місць, де спостерігається перевантаження мережі, внаслідок великої кількості абонентів. Вхідні дані моделі: радіуси, споживані потужності, максимальні пропускну здатності макростільника, мікростільника та AP

Моделювання проводиться для діапазону 1800 МГц, для умов міста, для яких найбільш підходить модель згасання сигналу Cost231-Hata. Радіуси макро- та мікросот розраховуються з обліком основних витрат сигналу на трасі [4]:

$$L_H = 69,55 + 26,26 \lg(f) - 13,87 \lg(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \lg(h_b)] \cdot \lg R, \quad (2)$$

де f – частота, МГц; h_b – висота антени базової станції, м; d – відстань від передавача до приймача, км; $a(h_m)$ – поправочний коефіцієнт:

$$a(h_m) = (1,1 \lg(f) - 0,7) \cdot h_m - (1,56 \lg(f) - 0,8). \quad (3)$$

Стани мережі при моделюванні:

- працює лише макростільник;
- працює макростільник та одна/дві мікростільники (режим динамічного регулювання вимкнено/увімкнено);
- працює макростільник, одна/дві мікростільники та точки доступу Wi-Fi (режим динамічного регулювання вимкнено/увімкнено).

Для стану, коли працює макростільник, спостерігається перевантаження макростільника. Це означає, що частин абонентів отримують відмову у доступі до мережі. Для стану, коли працює макростільник та два мікростільники, макромережа розвантажилась, та ємність сайту значно зросла. Але незначне перевантаження одного мікростільника також може призвести до відмови доступу до Інтернет. При вмиканні AP Wi-Fi всі абоненти забезпечені якісним зв'язком, імовірність відмови у з'єднанні значно знизилась. Зростання пропускну здатності в 2 рази призводить до непомірного зростання споживаної потужності стільниками. Але мережа мікростільників не завантажена, мережа в цілому працює не ефективно. Для вирішення цієї проблеми застосовується алгоритм динамічного регулювання споживаної потужності мікростільниками. Результати моделювання наведено на рис. 2, 3.

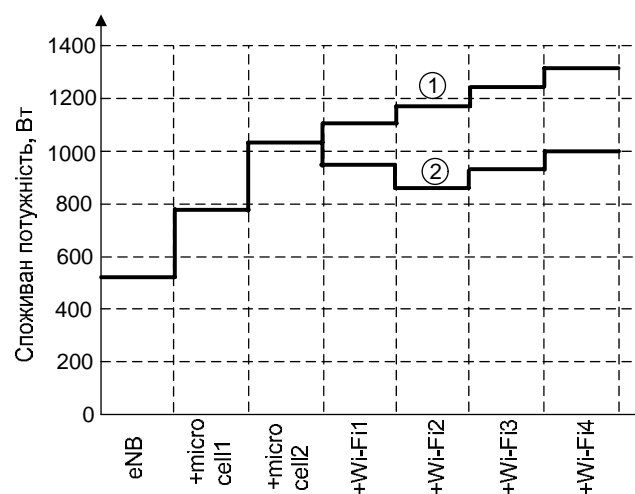


Рисунок 2 – Залежність споживаної потужності мережі залежно від її стану: 1 - режим динамічного регулювання мікростільника вимкнений, 2 - увімкнений)

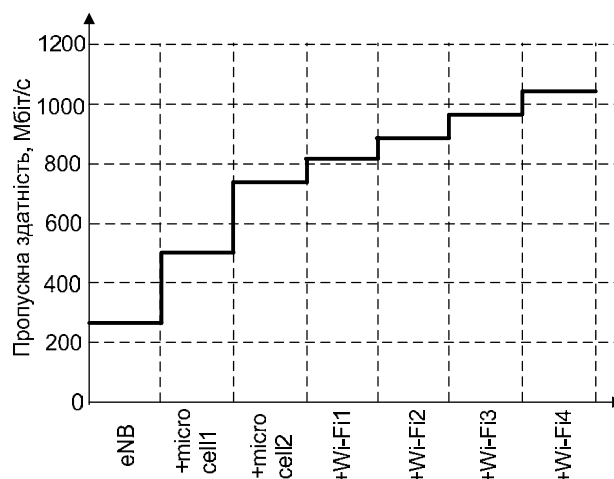


Рисунок 3 – Залежність пропускної здатності мережі від її стану

Висновки

1. Проаналізовано засоби зменшення споживаної потужності гетерогенною мережею LTE. Розглянуто можливість достовірного визначення місцезнаходження абонента.
2. Розроблено алгоритм динамічного регулювання споживаної потужності мікростільниками.
3. Проведено моделювання режимів роботи гетерогенної мережі. Результати моделювання підтвердили ефективність впровадження гетерогенних рішень сумісно з алгоритмом динамічного регулювання вживаної потужності мікростільниками.

Список використаної літератури

1. 4G Americas. Developing Integrating High Performance HET-NET, 2012. Спосіб доступу: <http://www.4gamerica.org/documents/4G%20Americas%20Developing%20Integrating%20High%20Performance%20HET-NET%20October%202012.pdf>
2. 4G Americas. 4G Mobile Broadband Evolution. 3GPP Release 11 & Release 12 and Beyond, 2014. Спосіб доступу: <http://www.4gamerica.org/documents/4G%20Mobile%20Broadband%20Evolution%20Rel-11%20%20Rel%2012%20and%20Beyond%20Feb%202014%20-%20FINAL.pdf>
3. Hämmäläinen S. LTE self-organising networks (SON): network management automation for operational efficiency / S. Hämmäläinen, H. Sanneck, C. Sartori. - United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, – 2012. – 428 p.
4. Rumney M. LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges. / Moray Runney. – Agilent Technologies. – 2008. – 557 p.
5. Бабков В.Ю. Повышение точности позиционирования в сетях мобильной связи / В.Ю. Бабков, А.Н. Степутин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Вып. 4 (128). – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2011. - 170 с. – с. 14-20.
6. Дегтяренко И.В. Модель розвитку мережі мобільного оператора при використанні технології LTE/SON / И.В. Дегтяренко, Д.С. Шахов, Д.А. Кнерцер, А.А. Орехов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Вып. 20 (182). – Донецьк: ДонНТУ, 2011. - с. 130-136.
7. Воропаева В.Я. Алгоритм вертикального хендвера у гетерогенній бездротовій мережі / В.Я. Воропаева, А.Д. Гришаева // Наукові праці Донецького національного технічного

університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Вип. 2 (25). – Донецьк: ДонНТУ, 2013. - с. 96 -103.

8. Емельянов А.К. Пути повышения энергоэффективности подсистемы базовых станций сетей сотовой связи//Интернет-журнал «Науковедение». №4 (17) [Электронный ресурс] - М.: Науковедение, 2013. Спосіб доступу: <http://naukovedenie.ru/PDF/30evn413.pdf>
9. Мисар П. Как lte повлияет на инфраструктуру сети и энергопотребление базовых станций, 2011. Спосіб доступу: <http://www.iksmedia.ru/articles/3928664-Как-LTE-povliyaet-na-infrastrukturu.html>

References

1. 4G Americas (2012), “Developing Integrating High Performance HET-NET”, available at: <http://www.4gamericas.org/documents/4G%20Americas%20Developing%20Integrating%20High%20Performance%20HET-NET%20October%202012.pdf> (Accessed 25 January 2014).
2. 4G Americas (2014), “4G Mobile Broadband Evolution. 3GPP Release 11 & Realease 12 and Beyond”, available at: <http://www.4gamericas.org/documents/4G%20Mobile%20Broadband%20Evolution%20Rel-11%20%20Rel%2012%20and%20Beyond%20Feb%202014%20-%20FINAL.pdf>
3. Babkov, V.Yu. and Steputin, A.N. (2011) “Increasing the accuracy of positioning in mobile networks”, *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*, no. 4 (128), pp.14-20.
4. Degtyarenko, I.V., Shakhov, D.S., Knertser, D.O. and Orekhov, O.O. (2011) “Model of development of the mobile operator’s network based on LTE/SON technology”, *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seria: Obchyslyvalna tekhnika ta avtomatyziatsiya*, no 20 (182), pp. 130-136.
5. Emeyanov, A.K. (2013) Ways to improve the energy efficiency of base station subsystem mobile networks”, *Internet-magazine «Naukovedenie»*, no. 4 (17). available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/30evn413.pdf>
6. Hämäläinen, S., Sanneck, H. and Sartori, C. (2012), LTE self-organising networks (SON): network management automation for operational efficiency, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom
7. Misar P. (2011), “How LTE affects the network infrastructure and the consumption of base stations”, available at: <http://www.iksmedia.ru/articles/3928664-Kak-LTE-povliyaet-na-infrastrukturu.html>
8. Rumney, M. (2008), LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges, Agilent Technologies. UK
9. Voropayeva, V. and Grishaeva A. (2013) “A Vertical Handover Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks”, *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seria: Obchyslyvalna tekhnika ta avtomatyziatsiya*, no 2 (25), pp. 96-103.

Надійшла до редакції:
12.05.2014 р.

Рецензент:
докт. техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

К.П. Канунникова, В.В. Червинский

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Алгоритм динамического регулирования потребляемой мощности микросотами гетерогенной сети LTE. В работе проанализированы вопросы повышения энергоэффективности базовых станций мобильных сетей связи на базе технологии LTE, показано что одним из вариантов их решения является использование динамического энергосбережения. Разработана имитационная модель гетерогенной LTE сети, включающей макросоты, микросоты и Wi -

Fi зони. Розробтан алгоритм динамічного регулювання потрєбляемой мощності сайта на основе информации о местонахождении активных абонентов. Проведено моделювання режимов работы гетерогенной сети.

Ключевые слова: гетерогенная сеть, LTE, Wi-Fi, местонахождение активных абонентов, потребляемая мощность базовой станции, макросота, микросота.

K.P. Kanunnikova, V.V. Chervinskiy
Donetsk National Technical University

Power consumption dynamic adjustment algorithm for microcells of heterogeneous LTE network. This paper analyzes the issues of energy consumption efficiency increase for base stations and access points in heterogeneous mobile networks based on technology LTE. It is considered that one way to reduce the power consumption of a heterogeneous network is the temporary shutdown of separate microcells in the periods of reduced network loading, that is, the use of dynamic energy savings. It is shown that the implementation of this approach is the most appropriate with the use of centralized control system OAM (SON) with the ability to obtain current information about the location of active subscribers. The use of promising technologies in determining the location of the subscriber in the direction of receiving and measuring the time difference in signal reception is proposed. The dynamic adjustment algorithm of the site power consumption based on information about the location of active subscribers and the required bandwidth is developed. The conditions are given according to which the selection of the connection method (by macrocell, microcell or Wi-Fi access point) for the active subscriber to the network is made. Correspondingly the conditions are determined for including the base stations and access points. In order to evaluate the effectiveness of the solutions the simulation model of heterogeneous LTE network for large cities is developed including macrocells, microcells and Wi-Fi zones. The simulation is conducted for operation modes of heterogeneous LTE network. The significant decrease (20-30%) of the power consumption of a heterogeneous LTE network is shown using the proposed algorithm.

Keywords: heterogeneous network, LTE, Wi-Fi, location of active subscribers, power consumption of base station, macrocell, microcell.



Кануннікова Катерина Павлівна, Україна, навчається у Донецькому національному технічному університеті (вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001, Україна). Основний напрямок наукової діяльності – розробка та дослідження гетерогенної мережі на базі технологій LTE/Wi-Fi.



Червинський Володимир Володимирович, Україна, закінчив Донецький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматики та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (вул. Артема, 58, м. Донецьк .83001, Україна). Основний напрямок наукової діяльності – автоматизація складних технологічних процесів, промислові системи телекомунікацій.