

УДК 621.391

Стрихалюк Б. М., канд. техн. наук (Тел. +380 (93) 920 06 98. E-mail: bogdan_str@ukr.net)

Бешлей М. І., аспірант (Тел.: +380 (93) 710 32 44. E-mail: beshlebmi@gmail.com)

Холявка Г. В., студент (Тел.: +380 (93) 488 99 02. E-mail: halink@ukr.net)

Брич М. В., аспірант (Тел.: +380 (93) 710 32 44. E-mail: brych@ua.fm)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГЕТЕРОГЕННОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

Стрихалюк Б. М., Бешлей М. І., Холявка Г. В., Брич М. В. Моделювання та тестування системи управління гетерогенної мережі доступу. Розроблено імітаційну модель системи управління гетерогенної мережі в програмному середовищі OPNET MODELER. Розглянуто сценарії інтеграції мереж LTE, UMTS із технологією Wi-Fi з врахуванням мобільності абонентів та типу наданих послуг. Досліджено процес оптимізації мережевої інфраструктури мобільного оператора, шляхом перерозподілу мережевих ресурсів та балансуванні навантаження при впровадженні конвергенції технологій. Розроблено імітаційну статистичну модель фемтосоти, як конвергентного пристрою на рівні доступу для забезпечення мультисервісних послуг з реалізацією вертикального хендоверу.

Ключові слова: гетерогенна мережа, навантаження, хендовер, фемтосота, оптимізація, якість сервісу

Стрихалюк Б. М., Бешлей М. І., Холявка Г. В., Брич М. В. Моделирование и тестирование системы управления гетерогенной сети доступа. Разработана имитационная модель системы управления гетерогенной сети в программной среде OPNET MODELER. Рассмотрены сценарии интеграции сетей LTE, UMTS с технологией Wi-Fi с учетом мобильности абонентов и типа предоставляемых услуг. Исследован процесс оптимизации сетевой инфраструктуры мобильного оператора, путем перераспределения сетевых ресурсов и балансировке нагрузки при внедрении конвергенции технологий. Разработана имитационная статистическая модель фемтосоты как конвергентного устройства на уровне доступа для обеспечения мультисервисных услуг с реализацией вертикального хэндовера.

Ключевые слова: гетерогенная сеть, нагрузка, хендовер, фемтосоты, оптимизация, качество сервиса

1. Введення і постановка задачі. Телекомунікації відіграють значну роль у прискоренні розвитку економіки та соціальної сфери. Сталий прогрес інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури є найважливішою передумовою для підвищення конкурентоспроможності економіки та інтеграції України у глобальне інформаційне суспільство, які дозволяють розширити можливості людини і отримувати доступ до національних та світових інформаційних ресурсів, поліпшити якість послуг що надаватимуться громадянам [1, 2].

Основними тенденціями на ринку мобільного зв'язку є стрімкий розвиток різноманітних технологій доступу до радіосередовища, а також розповсюдження мобільних пристроїв, що мають множинні мережні інтерфейси. За даними компанії «Ericsson» щомісячний мобільний трафік у 2014 році у світі складає близько 800 петабайт, при цьому він зростає експоненційно, і вже у 2017 році очікується збільшення трафіку у 15 разів, здебільшого за рахунок відеосервісів та сервісів реального часу. При цьому зростають вимоги користувачів до якості та спектру інфокомунікаційних послуг, які повинні забезпечуватися в будь-який час у будь-якому місці, тобто повинна дотримуватися концепція «Always Best Connected» (ABC), яку покликано реалізовувати гетерогенні мережі наступного покоління [3].

Покриття жодної із безпроводних національного масштабу не є абсолютним, а при впровадженні мереж нового покоління перед проєктантами виникають проблеми обмеженого бюджету, складності отримання ліцензії та обмеженого радіочастотного ресурсу. Тому виникає необхідність в об'єднанні мережних інфраструктур різних операторів, побудованих за різними технологіями, тобто формування гетерогенної мережі. Мотивом такого сценарію також є неможливість визначення єдиної технології радіодоступу, яка би поєднувала оптимальну пропускну здатність з оптимальним покриттям, при цьому забезпечуючи збалансовані витрати на побудову таких мереж. Способом зменшення витрат у такому випадку є інтеграція існуючих безпроводних мереж із сучасними технологіями безпроводного доступу. Найбільшими викликами при реалізації такої мережі є ефективно управління спільними радіоресурсами і прозоре “безшовне” переміщення абонента, що включає у себе підтримку мобільності, хендовер, забезпечення QoS, систему безпеки та тарифікації [4].

Існуючі системи безпроводного доступу характеризуються низьким рівнем якості надання послуг, а також значними експлуатаційними витратами. Крім того, низька енергетична та спектральна ефективність негативно впливають на вартість послуг для кінцевих користувачів, а також обмежують можливості щодо впровадження нових видів сервісів [5].

Розроблені та запропоновані рішення дають можливість спростити процес розгортання мережі як в локальному, так і в глобальному масштабі, знизити капітальні та експлуатаційні витрати, а також запропонувати нові типи сервісів, які неможливо реалізувати з використанням існуючих технологій.

2. Аналіз літературних даних. Проблематикою побудови гетерогенних мереж 5-го покоління займаються українські вчені Поповський В. В., Агеєв Д. В., Абакумов В. Г., Беркман Л. Н., Лемешко А. В., Сундучков К. С., Глоба Л. С., Воробієнко П. П та численні зарубіжні учені, серед яких найбільш помітні роботи Minho Jo, Rodrigo L. Batista, Tarcisio F. Maciel, André L.F. de Almeida, Дмитриев А. В., Чередниченко А. В., Пакулова Е. А., J. Kang, J. Strassner, S. Seo and J. W. Hong, Smaoui, F. Zarai, R. Bouallegue and L. Kamoun, M. N. Dumbre, M. M. Patwa and M. K. Patwa, D. Sabella, P. Rost, Y. Sheng, E. Pateromichelakis, U. Salim, C. F. M. Silva, J. M. B. Silva and T. F. Maciel. Основна частка робіт спрямована на покращення якості надання послуг мобільного зв'язку за рахунок ефективного використання ресурсів гетерогенної безпроводної мережі та оптимальної процедури вертикального хендоверу із застосуванням різних технологій радіодоступу [6].

В науковій літературі є велика кількість робіт присвячених системам третього покоління, які використовують одночасно декілька технологій радіодоступу, наприклад [7...9]. Дослідження можливості реалізації мережі на основі декількох технологій радіодоступу проведено у роботі [8], а в роботі [9] запропонована система MRA, яку можна реалізувати на практиці. Поряд з системами третього покоління проаналізовано системи з декількома технологіями радіодоступу з метою максимізації потужності мережі в роботах [10...13].

На відміну від максимізації пропускної здатності ми зосередилися на мінімізації потужності передачі [13]. Ми запропонували механізми розвантаження систем LTE/Wi-Fi та UMTS/Wi-Fi, які дають змогу мінімізувати завантаження мережі, забезпечуючи необхідні показники якості обслуговування.

Серед іноземних учених питаннями гетерогенної природи сучасних мереж займаються Kaleem, Faisal. В рамках даних робіт пропонуються механізми, що реалізують процедури хендоверу мобільних пристроїв, однак алгоритми прийняття рішення про переключення, які є індивідуальними для кожної конкретної системи, в цих роботах не розглядаються. Таким чином, задача оптимізації процесу хендоверу на сьогодні не вирішена. Отже, аналіз напрацювань вітчизняних та зарубіжних учених підтверджує актуальність тематики проекту та вказує, що проблема створення гетерогенної інформаційно-телекомунікаційної мережі, із підвищенням якості надання послуг соціальному сектору країни може бути вирішена із застосуванням запропонованих наукових засад побудови та тестування безпроводної мережі нового покоління.

3. Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розширення функціональності та покращення якості послуг соціального сектору країни на основі запропонованих наукових рішень побудови гетерогенної системи нового покоління у сфері телекомунікацій. Для досягнення даної мети створено макет тестування системи управління гетерогенної мережі доступу на основі імітаційної моделі розробленої в програмному середовищі OPNET MODELER 15. Задачею моделювання є розроблення наступних сценаріїв інтеграції технологій доступу з оцінкою відповідних параметрів системи:

- Дослідження мобільності абонентів (тривалість активності, вектор руху, швидкість руху, поточне місце розташування, віддалі до всіх базових станцій, рівень сигналу від усіх базових станцій).
- Інтеграція Wi-Fi/UMTS з ініціацією вертикального хендовера та вплив на параметри QoS при передаванні VoIP трафіку.
- Інтеграція Wi-Fi/LTE з ініціацією вертикального хендовера та оцінка виграшу при балансуванні навантаження;
- Дослідження функціонування фемтостільників з підтримкою (Multi-RAT), інтерфейсів багатьох технологій радіо доступу.

4. Розроблення макету функціонування гетерогенної мережі в програмному середовищі OPNET MODELER. Все більше і більше постачальників телекомунікаційних послуг розглядають IMS (IP Multimedia Subsystems) платформу для розгортання та побудови мереж наступного покоління NGN. Посилаючись на концепцію IMS, розглянемо роботу мобільних систем через базову мережу IP Multimedia Subsystem (IMS) [4]. IMS запропонована великою групою організації зі стандартизації (3GPP, 3GPP2, ETSI TISPAN), який поєднує в собі різноманітні мережі доступу з послугами та цілями на основі IP. Різні мобільні пристрої доступуються до сервісів за допомогою різних технологій доступу, таких як з кодовим поділом каналів множинного доступу UMTS, WCDMA, GPRS, WiMAX, WLAN, LTE.

Ми пропонуємо конвергентну архітектуру IMS платформи для розгортання гетерогенної мережі (Рис. 1).

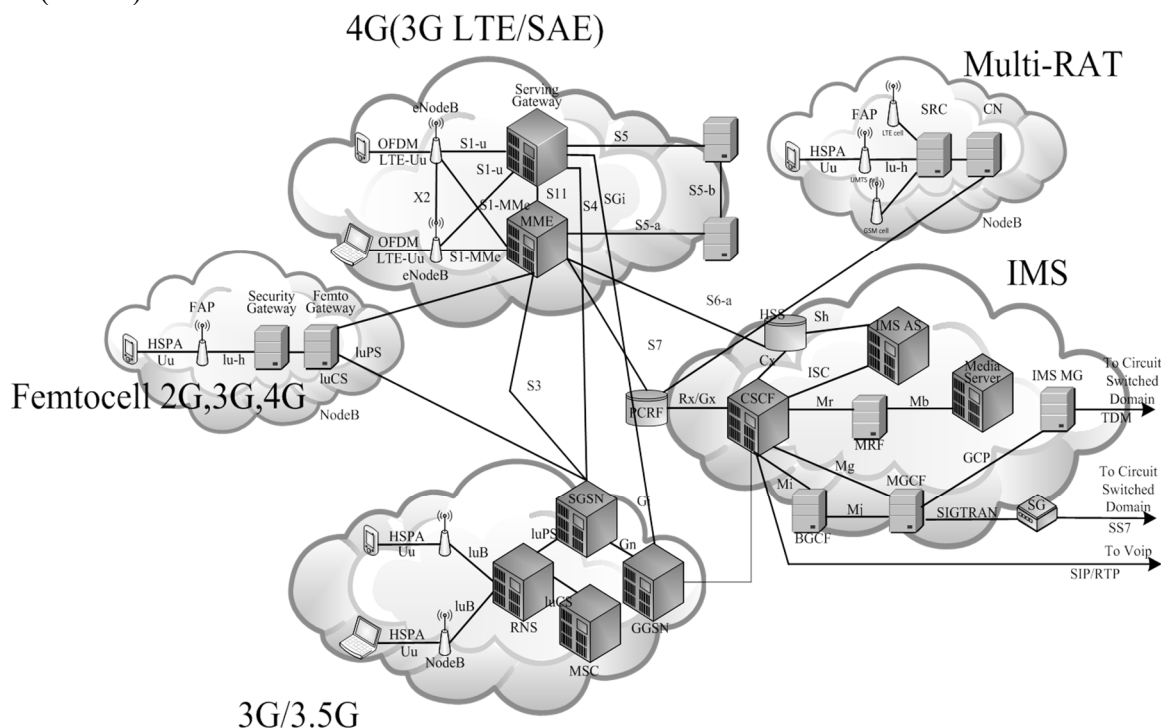


Рис. 1. Концепція гетерогенної мережі наступного покоління

Моделювання системи завжди вимагало від розробника імітаційної моделі перевірки адекватності створеної моделі процесам, що відбуваються в реальній системі масового обслуговування. Найпростіший спосіб визначити характеристики системи обслуговування полягає в отриманні експериментальних даних щодо процесу обслуговування. Аналіз цих даних дає змогу визначити, які параметри системи обслуговування необхідно змінити для того, щоб підвищити якість обслуговування, тобто оптимізувати процес.

Сучасні системи масового обслуговування містять велику кількість компонентів, кожний з яких є складною системою, яка також має свої параметри та характеристики. Загалом всі ці компоненти впливають на характеристики якості обслуговування системи. А тому для створення адекватної імітаційної моделі та адекватного оцінювання результатів моделювання необхідно врахувати всі компоненти, що беруть участь в процесі обслуговування. Велика кількість абонентів, програмних додатків та сесій, що генеруються цими додатками, та їхня різноманітність значно впливають на характеристики трафіку, що надходить у систему обслуговування. Тому, щоб змоделювати такий трафік, необхідно застосувати потужний математичний апарат, який би дав змогу більш або менш точно описати характеристики такого трафіку. Зрозуміло, що найефективнішим способом моделювання в такій ситуації є розроблення спеціального програмного забезпечення.

Завдяки програмній реалізації імітаційної моделі можна не тільки повністю реалізувати всі необхідні функції моделі, але і забезпечити контроль над її роботою. Програмне забезпечення дає змогу за допомогою графічного інтерфейсу користувача динамічно змінювати параметри моделі, тим самим оцінити поведінку системи, що моделюється, в

конкретній ситуації, яка може виникнути в реальній системі обслуговування. Крім того, програмне забезпечення за допомогою графічної оболонки дає змогу в реальному режимі часу давати оцінку всім параметрам моделі. Це можливо здійснювати за допомогою графіків, діаграм, списків та таблиць, які обновляються в реальному режимі часу.

Для дослідження функціонування реальної системи мобільного зв'язку в умовах високої мобільності абонентів доцільно здійснити моделювання такої системи, приділивши найбільшу увагу саме переміщенню абонента. Для цього у роботі розроблена імітаційна модель інтеграції Wi-Fi/UMTS із врахуванням мобільності абонента в програмному середовищі Ornet Modeler (Рис.2).

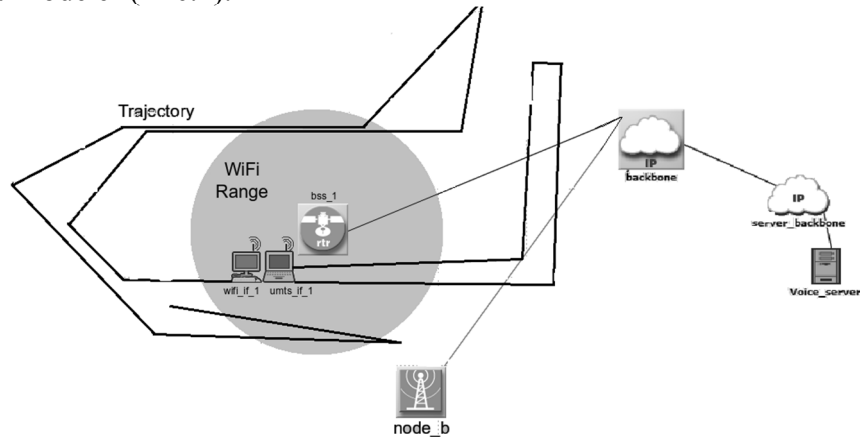


Рис. 2. Модель інтеграції Wi-Fi/UMTS із врахуванням мобільності абонента

Абонент на своєму терміналі підтримує два інтерфейси Wi-Fi та UMTS, які протягом часу моделювання є активними. Програму налаштовано так, що абонент завантажує із FTP сервера файл, розмір файлу 35 Кбайт при доступі із інтерфейсу UMTS і 50 Кбайт при завантаженні файлу за допомогою інтерфейсу Wi-Fi. Різні розміри вибрано із метою наглядно відобразити процес завантаження файлу при вертикальному хендовірі кожною із досліджуваних технологій.

Термінал рухається по шляху заданим випадковим чином із швидкістю $V=2$ м/с. Загальна довжина шляху складає приблизно 1,4 км. Поріг рівня сигналу при якому спрацьовуватиме вертикальний хендовер становить -83 дБм (Рис.3).

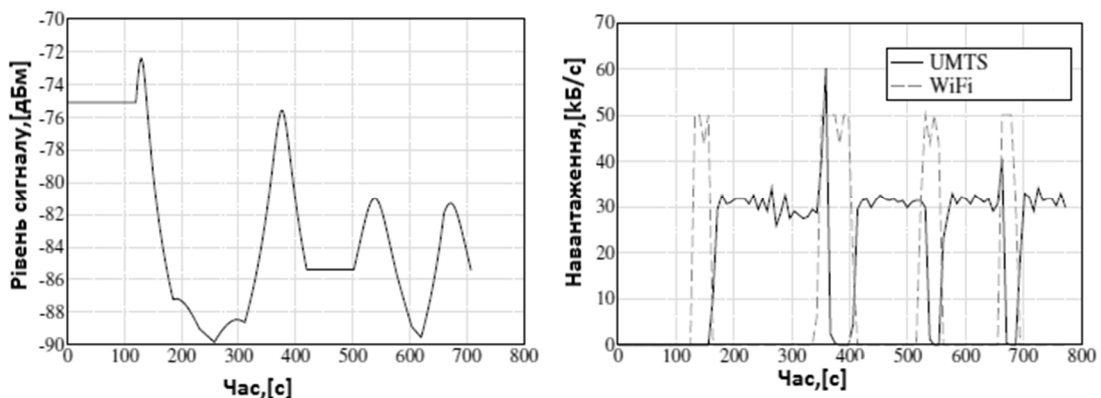


Рис. 3. Потужність прийнятого сигналу на інтерфейсі Wi-Fi і навантаження на обох інтерфейсах протягом моделювання

Також в процесі моделювання проводилось дослідження із передаванням голосового трафіку VoIP протягом часу спостереження 120с і оцінили його джитер та затримку при ініціації вертикального хендоверу Wi-Fi/UMTS. Результати дослідження показані нижче.

Також програма дослідження, завдяки отриманим результатам, дає змогу побудувати графіки зміни джитера, затримки та варіації затримки від мінімального значення протягом часу дослідження (Рис. 4...7). Ці величини наведені у мілісекундах, а також були виміряні із інтервалом у 0,1 секунди, як і решта графіків що наведені у попередніх дослідженнях.

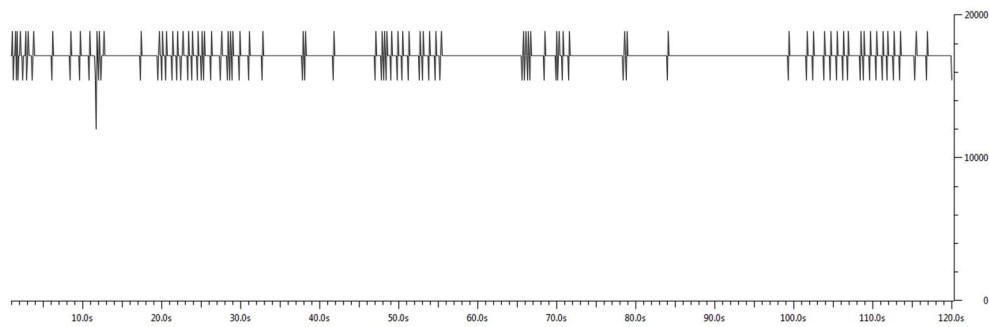


Рис. 4. Інтенсивність поступлення в бітах за секунду

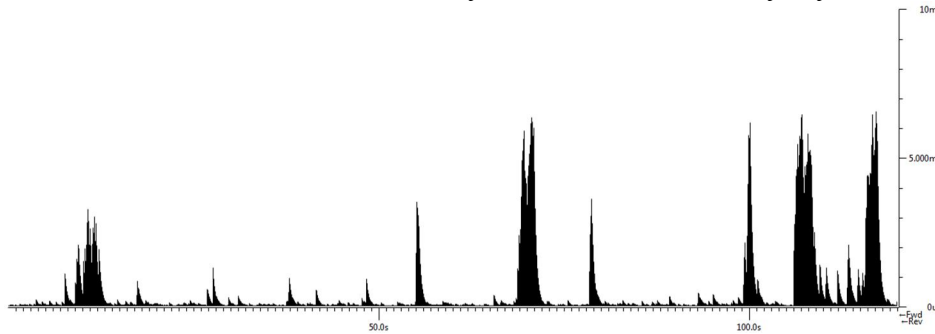


Рис. 5. Зміна значення джитер протягом дослідження

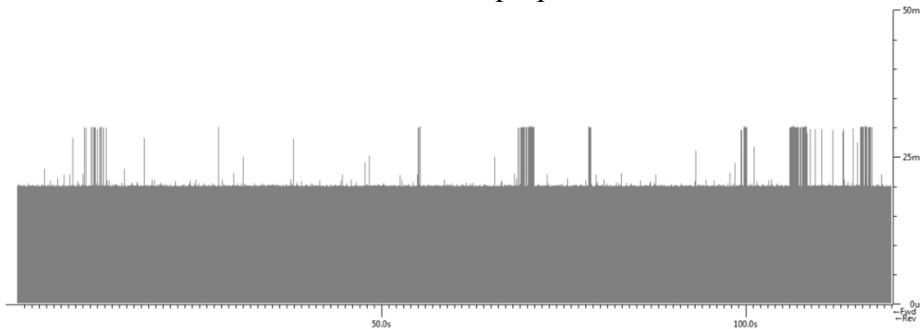


Рис. 6. Зміна затримки протягом дослідження

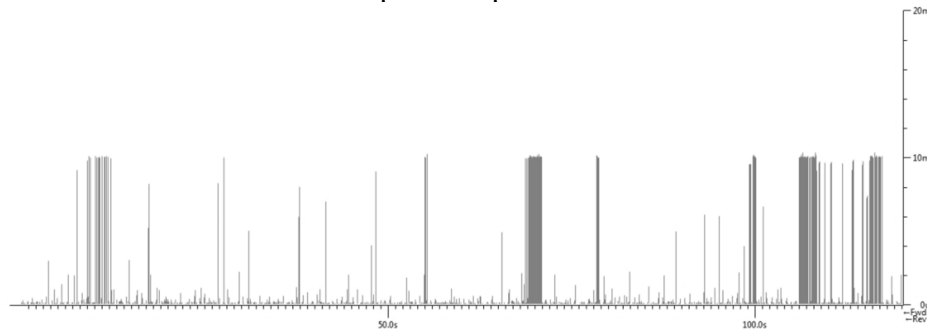


Рис. 7. Відхилення затримки від мінімального значення затримки

Як бачимо в результаті дослідження інтегрованої Wi-Fi/UMTS мережі дає змогу в місцях зони покриття Wi-Fi розвантажувати мережу UMTS, а також забезпечити безшовне передавання голосову трафіку із забезпеченням високого рівня якості обслуговування абонентів гетерогенної мережі.

На Рис. 8 зображено модель гетерогенної мережі. Для детального дослідження її функціонування, моделювання проводилося при різних сценаріях інтеграції систем доступу. Першим етапом дослідження є інтеграція UMTS/Wi-Fi мережі. У цьому випадку, кількість абонентів, які моделюються в мережі становить 40 терміналів. Абоненти довільно рухаються по зображеній площині квадрата в залежності від моделі мобільності RandomWaypoint [3] зі швидкістю, яка рівномірно розподілена в інтервалі між 0 і 5 м/с. Також в зоні покриття UMTS мережі встановлено Wi-Fi-точки. Якщо абонент встановив активне з'єднання через систему UMTS і, не перериваючи його, увійшов в зону покриття не ліцензованої бездротової мережі Wi-Fi, поточне з'єднання автоматично перемикається на іншу мережу без переривання послуги. Хендовер відбувається непомітно для користувача.

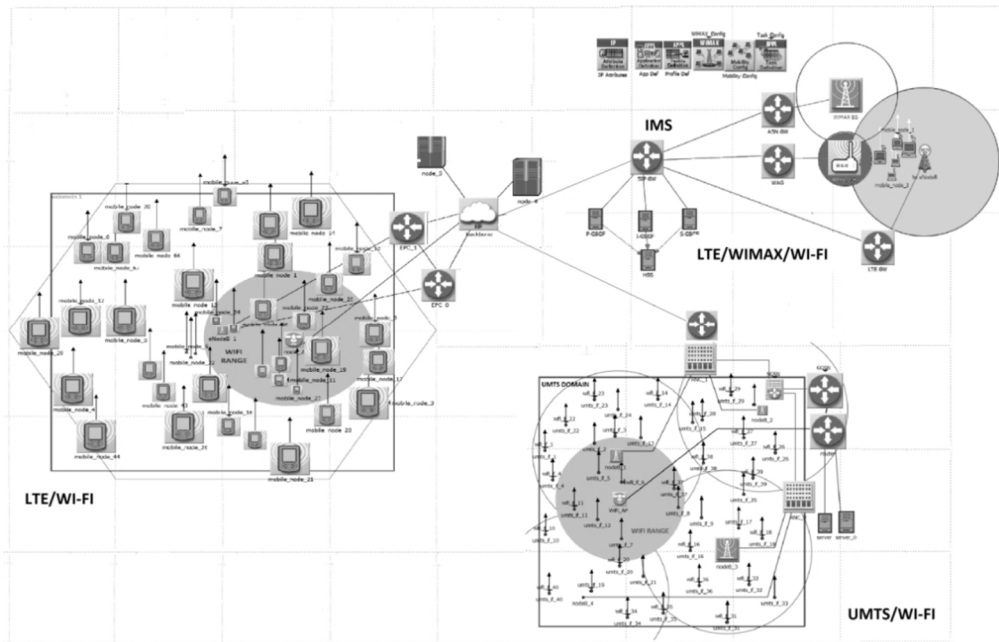


Рис. 8. Модель тестування гетерогенної мережі

Рівень сигналу покриття Wi-Fi зони, становить 7 дБм (приблизно 5 мВт). Кожен мобільний термінал намагається кожної секунди завантажити файл розміром 30 кбайт, в результаті загальне навантаження від 40 абонентів становить 1200 Кб/с. Кількість базових станцій UMTS мережі становить 4, щоб забезпечити UMTS з'єднання для всіх мобільних терміналів у виділеній площині квадрата, позначеної як "UMTS ОБЛАСТЬ" Контролери радіомережі (RNC) і шлюзи доступу (SGSN і GGSN) системи UMTS є також показано, так само, як і два FTP-сервери. На Рис. 9 ми показуємо відповідну кількість підключених мобільних терміналів та загальне навантаження на мережу протягом часу моделювання.

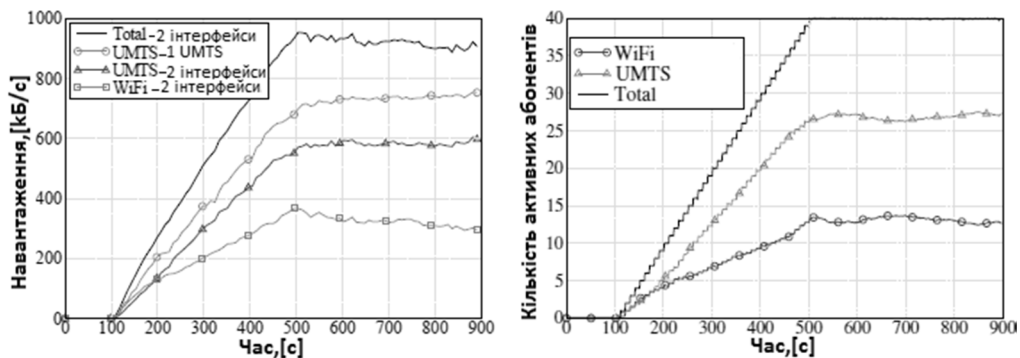


Рис. 9. Кількість підключених мобільних терміналів та загальне навантаження на мережу UMTS\Wi-Fi

Для досягнення належного рівня статистичної похибки результатів моделювання проведено шістьдесят незалежних дослідів. В результаті моделювання встановлено, що загальне навантаження є зростаючою функцією часу. Це пов'язано з тим, що кількість активних терміналів в мережі постійно збільшується і, отже, загальний отриманий трафік на кожному інтерфейсі стає більшим. Крім того, з Рис. 9 можна побачити, що, коли обидва інтерфейси мобільного пристрою є активні, загальне навантаження становить 1000 кб / с, що є наближеним до максимального можливого значення 1200 кб / с. З іншого боку, коли активний тільки інтерфейс UMTS, трафік становить приблизно 800 кб / с. Таким чином, наявність зв'язку Wi-Fi забезпечує додатковий зв'язок, необхідний для досягнення (теоретично) максимально можливого завантаження та балансування навантаження.

На Рис. 8, представлено третій сценарій моделювання роботи інтегрованої LTE/Wi-Fi мережі, в якій зареєстровано 40 абонентів, що рухаються по площині чотирикутника. Модель мобільності і швидкості руху користувачів такі ж, як і у другому сценарії. В моделі задіяні точки доступу Wi-Fi і вузли системи LTE (eNodeB і Evolved Packet Core, EPC) з'єднані між собою, а також 2 сервера HTTP додатку.

На Рис. 10 показано необхідну пропускну здатність, як функцію часу, для одного абонента мережі при доступу до ресурсів мережі. В процесі моделювання встановлено, що при передаванні трафіку через мережу LTE в момент недостатності ресурсів для його обслуговування відбувається процедура вертикального хендовера і необхідні ресурси для даного сервісу забезпечує Wi-Fi мережа. Розроблена гетерогенна мережа є набагато ефективнішою в наданні сервісів абонентам, оскільки дозволяє балансувати навантаження між двома системами доступу.

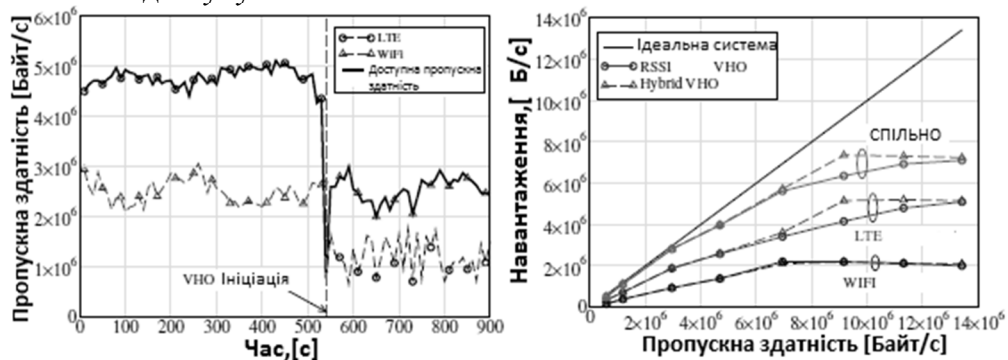


Рис.10. Необхідна пропускну здатність для надання сервісу з ініціацією VHO(вертикального хендовера) в інтегрованій LTE/Wi-Fi мережі

5. Дослідження та моделювання завантаженості фемтосоти технологіями мобільного зв'язку, як основного конвергентного пристрою на рівні доступу гетерогенної мережі. Основним приладом, що повинен об'єднувати покоління 2-4,5G вибрано фемтосоту – це мініатюрна базова станція, призначена для домашнього або офісного використання. Відповідно даний пристрій дозволяє здійснювати покриття різних поколінь мереж мобільного зв'язку маючи лише доступ до інтернету. Фемтостільники працюють як на платформі IMS-A так і на основі UMA-A платформи. Оскільки кожна з технологій має свої особливості та параметри функціонування, в роботі запропоновано алгоритм моделі управління радіо та фізичними ресурсами для прогнозування різноплановості та кількості виділених ресурсів (Рис.11), необхідних для забезпечення якісного надання мультисервісних послуг абонентам мобільного зв'язку.

Вхідні дані імітаційної моделі: пропускну здатність каналу фемтосоти $C=10\text{Гбіт/с}$; кількість технологій мобільного зв'язку, які підтримуються станцією $i=7$ (GPRS, EDGE, WCDMA, CDMA20001RevA, HSPA, LTE, LTE-A) необхідна пропускну здатність технології для забезпечення якісного надання послуг мобільним абонентам C_i [Мбіт/с] (GPRS = 0.000171, EDGE =0.000384, WCDMA =2, CDMA20001RevA =3.1, HSPA =14.4, LTE =100, LTE-A 1000); ймовірність доступу абонентів i -ї категорії послуг до ресурсів фемтостільника P_i (0.15, 0.25, 0.2, 0.1, 0.15, 0.1, 0.05); тривалість виклику $T_{\text{трив}}$ від i -го абонента, згенерованих за Пуассонівським законом розподілу із середнім значенням $\lambda=600\text{с}$; моменти початків викликів $T_{\text{поч}}$ згенерованих випадковим чином з рівномірним законом розподілу; моменти кінців викликів, визначених як $T_{\text{кін}} = T_{\text{поч}}+T_{\text{трив}}$; тривалість моделювання $T_{\text{трив}}=1$ год.

На Рис. 12 показано величину пропускну здатності та рівень потужності сигналу, яку використовують абоненти при спільному доступі до ресурсів пристрою. Кількість абонентів кожної із технологій, які активні протягом часу моделювання показано на Рис. 13...15.

В результаті моделювання роботи конвергентного пристрою досліджено що максимальна кількість викликів до фемтосоти від абонентів становить 250. Проте на 2350 с пропускну здатність, яку використовують абоненти мобільного зв'язку різних поколінь становить 8.45Гбіт/с з 10Гбіт/с можливих. Отримані результати показують, що конвергентний прилад здатен надавати якісні послуги визначеній кількості користувачів. Для якісного надання послуг фемтостільник робитиме плавне переключення між різними мережними технологіями в залежності від замовлених абонентом якості та типу трафіку.

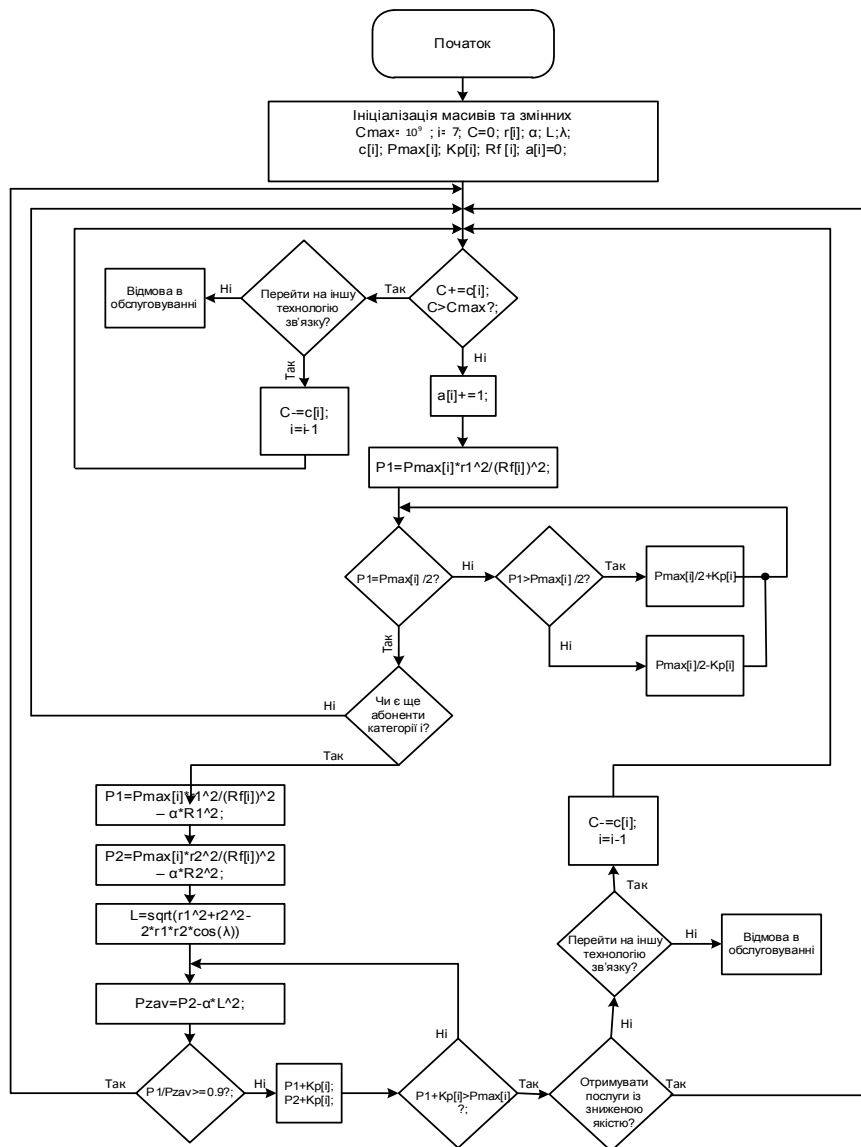


Рис. 11. Алгоритм управління радіо інтерфейсами гетерогенної мережі

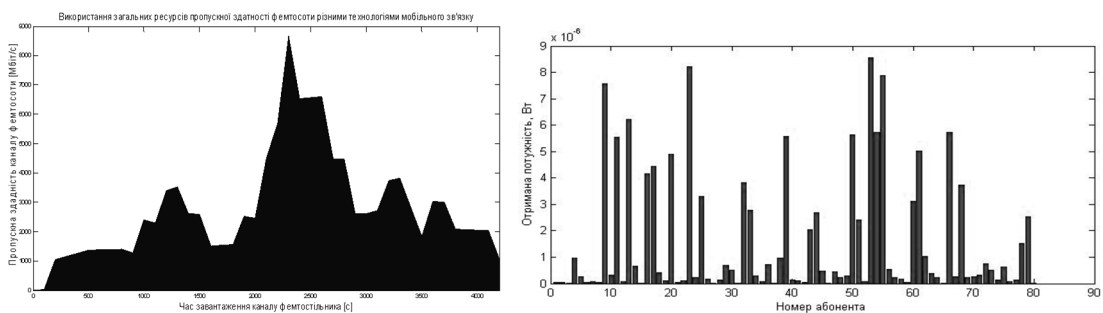


Рис. 12. Величина пропускної здатності та рівень потужності сигналу, яку використовують абоненти при спільному використанні пристрою (N=250)

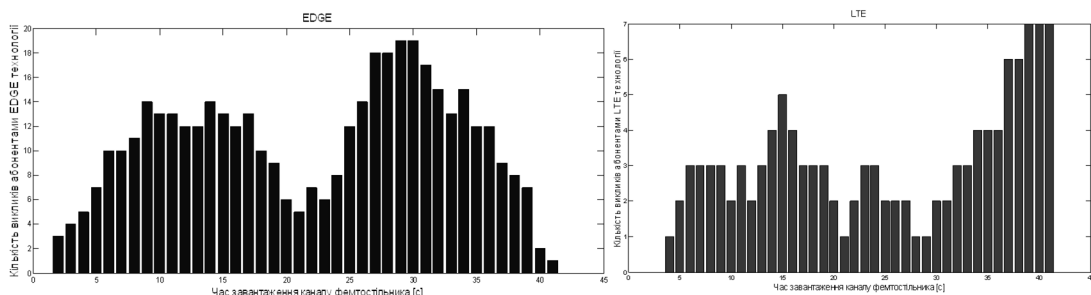


Рис. 13. Кількість абонентів EDGE та LTE протягом часу моделювання

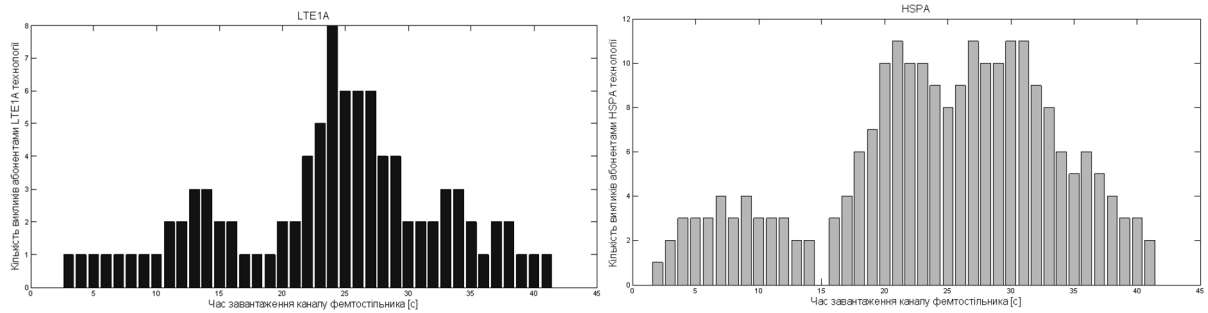


Рис.14. Кількість абонентів LTE-A та HSPA протягом часу моделювання

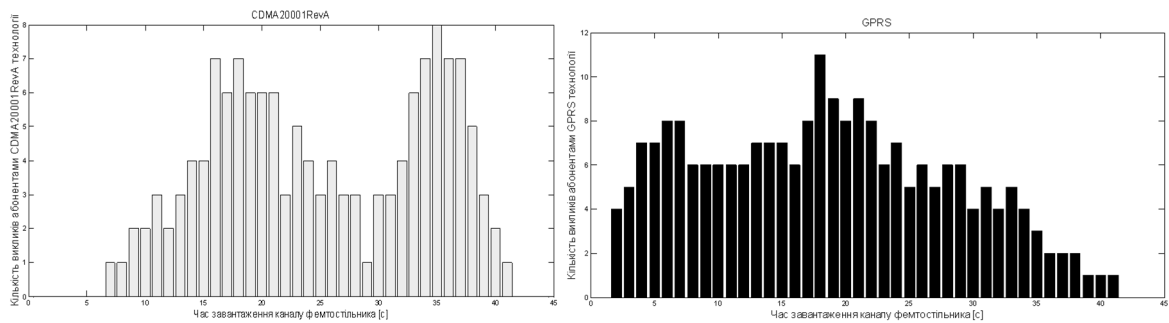


Рис.15. Кількість абонентів CDMA20001RevA та GPRS протягом часу моделювання

На Рис. 16 показано процедуру обслуговування мультисервісних послуг технологіями безпроводних мереж та реалізації вертикального хендверу при виділенні для них необхідних мережевих ресурсів для забезпечення допустимого рівня параметрів QoS.

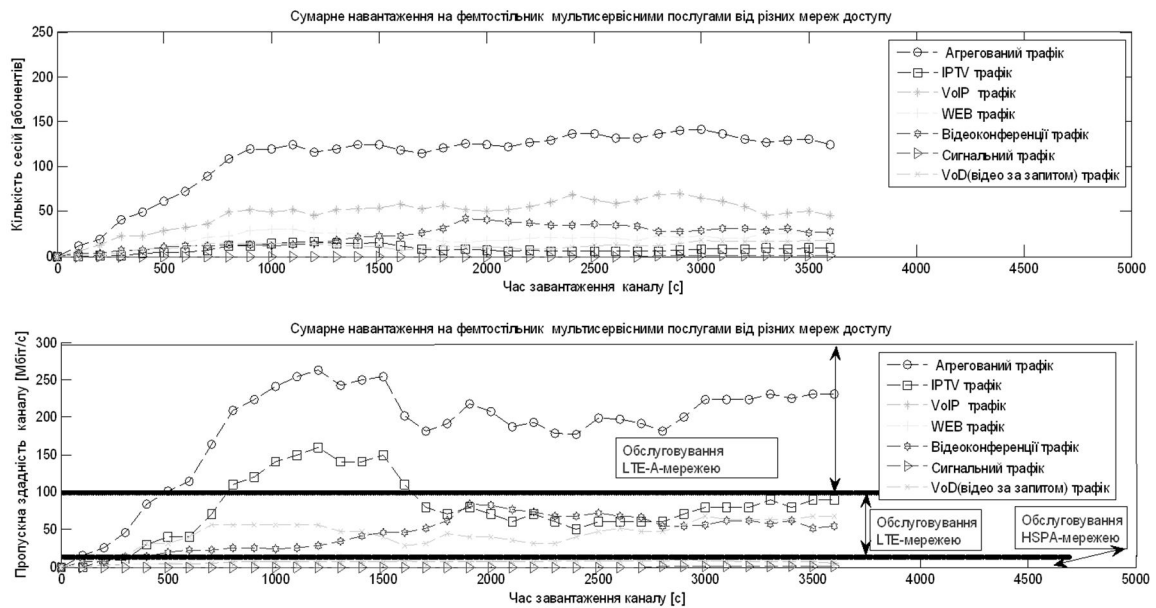


Рис. 16. Завантаженість каналу фемтосети при наданні мультисервісних послуг

7. Висновки. В роботі обґрунтовано можливість підвищення якості надання послуг мобільного оператора при впровадженні гетерогенної мережі наступного покоління. Використання інтеграції безпроводних технологій на основі IMS-A дозволить звільнити частину радіоканальних ресурсів у місцях, де спостерігаються перевантаження. Розроблено модель гетерогенної мережі в програмному середовищі Opnet Modeler 15, що дає змогу дослідити процес оптимізації мережевої інфраструктури мобільного оператора, шляхом перерозподілу мережевих ресурсів та балансуванні навантаження при впровадженні і розвитку в ній елементів NGN-технологій для спільного розгортання інфокомунікаційної мережі. Конвергентний шлях розвитку телекомунікаційних мереж вважається єдиним прагматично обґрунтованим напрямом для операторів, які мають сформований ринок

користувачів. Це особливо актуально в умовах наявності декількох безпроводних мереж доступу, що функціонують на одній території, та мобільних пристроїв, що підтримують функції паралельної взаємодії з такими мережами. Проведено тестування мережі інтегрованих технологій Wi-Fi/LTE та UMTS/Wi-Fi при завантаженні файлу та надання послуги VoIP. Проаналізовано процедуру ініціації вертикального хендвера та його вплив на параметри QoS мережі. Розроблено імітаційну статистичну модель фемтосоти як конвергентного пристрою на рівні доступу для забезпечення мультисервісних послуг гетерогенної системи. Використання фемтосоти дозволить операторам мобільного зв'язку перейти на новий етап розширення сфери свого впливу у наданні телекомунікаційних послуг, створення конкуренції традиційним провідним операторам, що призведе до збільшення кількості користувачів і, відповідно, до зростання прибутків.

Література

1. Xianbo Zhao; Bon-Gang Hwang, A.M. Asce; and Sui Pheng Low, "Developing Fuzzy Enterprise Risk Management Maturity Model for Construction Firms" *Journal of construction engineering and management* © asce / september 2013 . –pp. 1179-1189.
2. J. Kang, J. Strassner, S. Seo and J. W. Hong, "Autonomic personalized handover decisions for mobile services in heterogeneous wireless networks," *Computer Networks*, vol. 55, pp. 1520-1532, 5/16, 2011.
3. Klymash M., Stryhaluk B., Demydov I., Beshley M., Seliuchenko M "A Novel Approach of Optimum Multi-criteria Vertical Handoff Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks" *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. – November 2014. –Volume 5, Issue 5. P. 41-52.
4. M. Beshley, T. Maksymyuk, B. Stryhaluk, M. Klymash. Research and Development the Methods of Quality of Service Provision in Mobile Cloud Systems. *IEEE International Conference [Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom'2014)]*, Odessa, Ukraine, May 27-30, 2014. – P. 165-169.
5. M. Jo, T. Maksymyuk, R. L. Batista, T. F. Maciel, A. L. F. de Almeida, M. Klymash, "A Survey of Converging Solutions for Heterogeneous Mobile Networks," *IEEE Wireless Communications*. – 2014. – Vol. 21, No. 8.
6. I. Smaoui, F. Zarai, R. Bouallegue and L. Kamoun, "Multi-criteria dynamic access selection in heterogeneous wireless networks," in *Wireless Communication Systems, 2009. ISWCS 2009. 6th International Symposium, 2009*. – PP. 338-342.
7. L. Mohamed, C. Leghris and A. Adib, "A hybrid approach for network selection in heterogeneous multi-access environments," in *New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2011 4th IFIP International Conference on, 2011*. – PP. 1-5.
8. G. P. Koudouridis, R. Agero, E. Alexandri, M. Berg, A. Bria, J. Gebert, L. Jorguseski, H. R. Karimi, I. Karla, P. Karlsson, J. Lundsja, P. Magnusson, F. Meago, M. Prytz, and J. Sachs, "Feasibility studies and architecture for multi-radio access in ambient networks," in *Wireless World Research Forum (WWRF) Meeting, Dec. 2005*.
9. E. Gustafsson and A. Jonsson, "Always best connected," *Wireless communication, IEEE Trans.* – Feb. 2003. – Vol. 10, No. 1. – PP. 49–55.
10. Y. Choi, H. Kim, S. Han, and Y. Han. "Joint resource allocation for parallel multi-radio access in heterogeneous wireless networks". – Nov. 2010. – Vol. 9, No. 11. – PP. 3324–3329.
11. L. Liu, Y. Wei, Y. Bi, and J. Song, "Cooperative transmission and data scheduling mechanism of multiple interfaces in multi-radio access environment," in *Proc. Global Mobile Congress (GMC), Oct. 2009*.
12. S. Ghamari, M. Schellmann, M. Dillinger, and E. Schulz, "An approach for automated spectrum reforming for multiple radio access technologies," in *Proc. Technical Symposium at Telecom World (ITU WT), Oct. 2011*.
13. W. Song and W. Zhuang. "Multi-service load sharing for resource management in the cellular/wlan integrated network". – Feb. 2009. – Vol. 8, No. 2. – PP. 725-735.

Дата надходження в редакцію: 27.11.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Ю. В. Кравченко