



Габовда О. В.,
Садовнікова Т. М.

АНАЛІЗ СТАНУ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 4-ГО ПОКОЛІННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

Досліджено сучасний стан бездротових мереж 4-го покоління, проведений аналіз стандартів мобільного зв'язку WiMAX-Advanced та LTE-Advanced. Досліджені розширені функції цих технологій, завдяки яким вдалося забезпечити вимоги до 4G, висвітлені переваги у порівнянні із попередніми стандартами. Розглянуті питання конвергенції мереж за технологіями IMT-Advanced, а також проблеми та перспективи впровадження їх в Україні.

Ключові слова: бездротовий мобільний зв'язок, WiMAX-Advanced, LTE-Advanced, IEEE802.16m, 3GPPRelease10, WiMAX-Forum.

1. Вступ

На кінець 2014 року по мобільних підключеннях широкопasmового доступу Україна займала 101 місце у світі [1]. Очевидно, що це відставання негативно впливає на всі сфери життя країни. У лютому 2015 року відбувся тендер з отримання ліцензій на користування радіочастотним ресурсом (РЧР) для 3G в смугах радіочастот 1920–1935/2110–2125 МГц; 1950–1965/2140–2155 МГц; 1965–1980/2155–2170 МГц, які отримали ТОВ «Астеліт», ПрАТ «МТС Україна» та ПрАТ «Київстар» [2]. До недавнього часу послуги 3G в Україні надавав національний оператор телекомунікацій ТОВ «ТриМоб», засновником та учасником якого є ПАТ «Укртелеком».

Ця подія стала поштовхом до поступового впровадження й технологій 4-го покоління (4G), початком якого має бути проведення тендеру на отримання ліцензій на частоти для LTE, запланованого на 2017 рік.

Неможливість безпосереднього переходу на технологію LTE пояснюється нестачею діапазону частот 1800 МГц, на якому будується переважна більшість стільникових мереж, які в Україні використані під мобільний зв'язок стандарту GSM. Оскільки вже 80 % користувачів мають абонентські пристрої 3G, очікується швидка «міграція» трафіка передачі даних і частково голосового трафіка на 3G [3].

Відомо, що до 4-го покоління (4G) відносять технології, які забезпечують швидкість передачі даних на рівні 100 Мбіт/с у русі (від 120 км/год) та на рівні 1 Гбіт/с у стаціонарному положенні. У 2012 році Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) офіційно визнав технологію LTE-Advanced (стандарт 3GPPRelease10) і технологію Mobile WiMAX Release2.0 (стандарт IEEE802.16m), відому ще як Wireless-MAN-Advanced, WiMAX2 або WiMAX-Advanced, бездротовими стандартами зв'язку 4G, присвоївши сертифікат «IMT-Advanced (вдосконалена система міжнародного рухомого зв'язку)» – офіційний статус мереж четвертого покоління. Це єдині технології, які отримали цей статус.

Попередні версії цих технологій (стандарти IEEE802.16e та 3GPPRelease8) хоча й називаються умовно технологіями 4G, але не забезпечують заявлену пропускну здатність, тобто є практично 3,9G-стандартами. Мережі Mobile WiMAX за стандартом IEEE 802.16e в Ук-

раїні вперше з'явилися у 2009 році. На даний час найбільш відомими операторами в Україні, які надають послуги за технологією Mobile WiMAX, є «FreshTel» та «Intellicom» (ТМ «Giraffe»). Ці мережі не отримали в нашій країні належного розвитку, але вони заслуговують на увагу.

Завдяки появі нових функцій в технологіях, про які піде мова, їх розробникам вдалося забезпечити вимоги до 4G.

Як обстоють справи з мобільним зв'язком у світі і на що орієнтуватися для подальшого розвитку мобільних технологій в нашій країні? На сьогоднішній час ці питання є вкрай актуальними для України.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Технології WiMAX та LTE настільки стрімко розвиваються, що їх стандарти розробляються в часі майже паралельно. Не встигши широко розповсюдитися у світі зв'язок за стандартом 3GPPRelease10, вже повним ходом йде розробка стандартів 3GPPRelease12 та 3GPPRelease13. На основі технології WiMAX-Advanced з'явилися ще дві версії – WiMAX2.1 та WiMAX2.2.

Основним джерелом інформаційного забезпечення є результати аналізу документів та новин сайтів WiMAX Forum (організації, створеної на основі робочої групи IEEE) та 3GPP (партнерської телекомунікаційної асоціації), а також міжнародні та вітчизняні фахові періодичні видання.

Були проаналізовані документи: WMF-T31-132-v02 (технічні вимоги для підтримки співіснування широкопasmових бездротових мереж WiMAX на базі продуктів WiMAX Forum Certified з бездротовими мережами LTE широкопasmового доступу на основі 3GPP специфікацій с точки зору мережевих операторів); WMF-T31-136-R022v02 (вимоги до версії WiMAX2.2, які визначають особливості співіснування з попередніми версіями та додаткові функції у розвитку технології WiMAX-Advanced); WMF-T21-003-R020v02 (вимоги до радіоінтерфейсу WiMAX-Advanced).

На глобальному рівні інформаційно-комунікаційні технології досягли великого успіху, однак, зберігається

розрив в області широкосмугового зв'язку між розвиненими країнами і країнами, що розвиваються. Наприклад, Південна Корея на кінець 2014 року мала 100 % охоплення населення і використання технологій 4G. В 2015 році рівень проникнення рухомого широкосмугового зв'язку становив 87 % в розвинених країнах у порівнянні з 39 % в країнах, що розвиваються [4–7].

Хоча по цій тематиці було написано багато наукових праць, у вітчизняних виданнях недостатньо відстежений сучасний розвиток технології Mobile WiMAX. Це пояснюється тим, що в Україні, де вона не набула широкого розповсюдження, взято курс на LTE. Розрізнено представлені розширені функції обох технологій IMT-Advanced.

У зв'язку з актуалізацією питань впровадження мобільних технологій 4G в нашій країні, автори статті вважають доцільним дослідити сучасний стан мобільного зв'язку 4G, функції, реалізовані у останніх версіях технологій IMT-Advanced, сфери застосування, проблеми впровадження їх в Україні.

3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єктами дослідження є технології 4-го покоління WiMAX-Advanced і LTE-Advanced, сучасний стан розгортання мереж за цими технологіями у світі та проблеми впровадження їх в Україні.

Ціль — висвітлити останні досягнення у розвитку обговорюваних технологій, стан їхнього впровадження.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- проаналізувати документацію розробників технологій та інші інформаційні джерела з метою виявлення вимог до технічних характеристик останніх версій;
- сконцентрувати розрізнені дані та дати, зробити повнішу характеристику сучасного стану розгортання мереж у світі і перспективи їх впровадження в Україні.

4. Матеріали і методи дослідження

Дослідження проводилися із застосуванням загальнонаукових методів шляхом аналізу науково-технічної інформації за даною тематикою.

5. Результати досліджень сучасного стану мобільних мереж 4-го покоління у світі та проблеми й перспективи впровадження їх в Україні

Обидві технології мають багато спільного, незважаючи на різне походження: WiMAX-Advanced є результатом еволюції мереж широкосмугового доступу, а LTE-Advanced — це подальший крок у розвитку стільникових мереж, із стандартами яких у LTE-Advanced набагато менше спільних рис, ніж з технологією WiMAX-Advanced.

В основу обох технологій закладені: повністю плоска мережева інфраструктура (All-IP), технологія OFDMA (множинний доступ з розподілом по ортогональних частотах), адаптивні методи модуляції і кодування сигналу (QPSK, 16QAM, 64QAM), технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output — множинний вхід, множинний вихід), підтримка технології VoIP (Voice over IP) для передачі голосового трафіка.

5.1. Аналіз стану мереж за технологією WiMAX. Треба відмітити більш просту архітектуру мереж WiMAX, високий рівень захисту у порівнянні з LTE. WiMAX та LTE використовують різні протоколи аутентифікації і захисту даних: в WiMAX — EAP-TLS (Extensible Authentication Protocol — Transport Layer Security) на основі заздалегідь наданого сертифікату, в LTE — ідентифікаційні карти USIM.

Технологія Mobile WiMAX має перевагу у часі десь у 2–3 роки. Вперше мережі Mobile WiMAX були запущені в комерційну експлуатацію в Домініканській республіці (ONEMAX) і в Чилі (Telmex) у кінці 2007 року, в той час як запуск в експлуатацію першої у світі мережі на базі технології LTE відбувся у Швеції (TeliaSonera) у грудні 2009 року [8].

На момент появи мереж за технологією LTE технологія WiMAX була вже зрілим рішенням для високошвидкісного широкосмугового доступу, її мережі були розгорнуті 477 операторами у 150 країнах світу. Хоча кількість мереж WiMAX значно перевищує усі мережі технології 4G, самі вони в основному невеликі. Найбільшими мережами Mobile WiMAX є: Sprint/Clearwire в США, UQ Communications в Японії, KT/СКТ в Південній Кореї і YTL Communications в Малайзії.

Покриття, створене стільниковими мережами, починаючи з стандарту GSM, який з'явився у 90-х роках, незрівнянно більше у порівнянні з WiMAX.

З появою технології LTE, яка не поступається WiMAX, багато крупних операторів бездротового широкосмугового доступу планують поступову міграцію на LTE в непарному частотному спектрі (TD-LTE — Time Division Long Term Evolution — різновид технології LTE з дуплексною передачею з розподілом каналів за часом), оскільки всі комерційні мережі WiMAX працюють у режимі TDD, незважаючи на те, що технологія WiMAX-Advanced підтримує обидва дуплексних режими (TDD, FDD/HFDD).

Задача WiMAX-Forum полягає в тому, щоб забезпечити операторам гнучкість у використанні своїх мереж для підтримки декількох технологій радіодоступу в одному і тому ж частотному діапазоні та звести до мінімуму інвестиції шляхом узгодження технологій і стандартів WiMAX та LTE у рамках IMT-Advanced. Фактично перехід на технологію WiMAX-Advanced та розробка її версій — WiMAX-Advanced Release2.1 та WiMAX-Advanced Release2.2 спрямовані на конвергенцію WiMAX з TD-LTE. WiMAX-Advanced Release2.2 має підтримувати балансування навантаження між LTE TDD і WiMAX, балансування навантаження в межах базової станції або між піко- і макростільниками, забезпечувати агрегацію несучих (Link Aggregation).

WiMAX використовує унікальні переваги TDD наряду з агрегацією несучих, методом модуляції і кодування сигналу 256QAM, 8x8MIMO, балансуванням навантаження з метою досягти мобільної швидкості 1 Гбіт/с до 2017 року. Оператори на зрілих ринках, які мають доступ до додаткового спектру, вже почали розгортання мереж LTE TDD паралельно з існуючими мережами WiMAX. Зростає швидкими темпами і ринок пристроїв TDD LTE [9].

Провідним постачальником WiMAX є японський оператор UQ Communications, який забезпечив 100 % покриття території країни. Компанія просуває свої послуги через власний UQ WiMAX, а також його оптових

постачальників, розширяє модельний ряд абонентських пристроїв, включаючи WiMAX-Advanced-смартфони, ноутбуки, збільшивши швидкість завантаження смуги пропускання WiMAX-Advanced (Release2.1, Release2.2) до 220 Мбіт/с (подвоєна швидкість). Підтримка WiMAX-Advanced за цими версіями була введена для смартфонів ще в травні 2014 року. У травні 2015 року кількість контрактів компанії перевищила 10 млн. [10].

За даними на 2014 рік близько 25 комерційних мереж WiMAX-Advanced в основному працювали на частотах 2,3 ГГц, 2,6 ГГц, 3,5 ГГц. Різний розподіл TDD спектра в різних регіонах є проблемою для WiMAX-Advanced з точки зору глобалізації та роумінгу. В табл. 1 представлено стандартизований спектр TDD, придатний для розгортання WiMAX-Advanced, а в табл. 2 – основні країни та регіони, які використовують такі частоти [11].

Говорячи про перспективи технології WiMAX, можна відмітити, по-перше, що WiMAX-Advanced буде й далі розвиватися, підтримуючи різні радіотехнології в рамках єдиної мережі, по-друге, WiMAX-форум буде розвивати технології WiMAX для інтелектуальних енергетичних мереж (Smart Grid), він розробив новий стандарт – WiGRID, який орієнтований виключно на завдання комунальних енергетичних мереж, по-третє, одне із значущих напрямків – стандарт AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Communications System) для побудови інтегрованих систем зв'язку аеропортів. Новий стандарт ґрунтується на стандарті IEEE 802.16, він має забезпечувати зв'язок в зоні аеропорту між літальними апаратами, спеціальним наземним транспортом, персоналом і різними фіксованими точками зв'язку. Для систем AeroMACS спеціально виділений діапазон 5,0–5,1 ГГц [12].

Таблиця 1

Номери діапазонів, діапазони частот, ширини смуг

Номер діапазону 3GPP TDD	Діапазон частот, МГц	Ширина смуги, МГц	Номер діапазону 3GPP TDD	Діапазон частот, МГц	Ширина смуги, МГц
33	1900–1920	20	39	1880–1920	40
34	2010–2025	15	40	2300–2400	100
35	1850–1910	60	41	2496–2690	194
36	1930–1990	60	42	3400–3600	200
37	1910–1930	20	43	3600–3800	200
38	2570–2620	50	44	703–803	100

Таблиця 2

TDD частотний спектр в країнах та регіонах

Частота, ГГц	Номер діапазону 3GPP TDD	Регіон
1,9/2,0	33, 34, 35, 36, 37, 39	Австрія, Китай, Європа, Японія, Росія, Південна Африка, Південна Азія
2,3	40	Африка, Канада, Китай, Індія, Латинська Америка, Росія, Південна Корея, Південна Азія, Близький Схід
2,6	41	Африка, Бразилія, Китай, Європа, Японія, Індія, Латинська Америка, Північна Америка, Саудівська Аравія
3,5/3,7	42, 43	Австралія, Європа, Латинська Америка, Північна Америка, Росія

5.2. Аналіз стану мереж за технологією LTE. Що стосується технології LTE, за даними GSA (Глобальної асоціації постачальників мобільного обладнання) станом на липень 2015 року у 143 країнах світу розгорнуто більше 400 мереж (темпи поширення мереж представлені на діаграмі – рис. 1). В 45-ти країнах 88-ми операторами введені в експлуатацію мережі LTE-Advanced.



Рис. 1. Розгортання мереж за технологією LTE

Швидкість передачі даних залежить не тільки від типу мережі, а й від категорії абонентських пристроїв. В 37 мережах LTE-Advanced для абонентів з абонентськими пристроями Category6 доступні швидкості до 300 Мбіт/с. В серпні 2015 року австралійська телекомунікаційна компанія Telstra успішно протестувала дві нових моделі абонентських пристроїв Category9 – смартфони SamsungGalaxyS6 EdgePlus та GalaxyNote5 в мережі LTE-Advanced, отримавши швидкість завантаження 450 Мбіт/с. Telstra застосувала агрегацію трьох смуг частот: 700 МГц, 1800 МГц і 2600 МГц, а вже через місяць запустила перший у світі пристрій Category11 з піковими швидкостями до 600 Мбіт/с [13, 14].

Розглянемо детальніше розширені можливості мереж LTE-Advanced у порівнянні з попередніми стандартами:

1. Збільшення пікової швидкості передачі даних: до 3 Гбіт/с у низхідному каналі (DL) та до 1,5 Гбіт/с у висхідному (UL).

2. Більш висока спектральна ефективність (Release10 – до 30 біт/с на 1 Гц, Release8 – до 16 біт/с на 1 Гц).

3. Збільшення числа одночасно активних абонентів.

4. Розширення смуг частот й агрегація спектру (Carrier Aggregation). Агрегація несучих смуг дозволяє передавати дані на кількох несучих частотах LTE з кожного терміналу й на кожен термінал. При цьому розширюється загальна смуга частот і підвищується швидкість передачі даних кінцевим користувачам (рис. 2, а). Агрегація несучих може бути використана як для FDD, так і TDD. Несучі смуги можуть мати пропускну здатність 1, 4, 3, 5, 10, 15 або 20 МГц, причому можуть бути об'єднані не більше п'яти несучих смуг. Таким чином, максимальна пропускну здатність становить 100 МГц. Кількість агрегованих несучих може бути різною в DL і UL, проте кількість несучих UL не може бути більше, ніж кількість несучих DL.

Крім агрегації сусідніх несучих частот в межах одного діапазону, технологія LTE-Advanced також підтримує можливість агрегації смуг з різних діапазонів частот (рис. 2, б), як це реалізовано в мережі Telstra. Подібна позасмугова агрегація частот або агрегація спектра, дозволяє операторам з фрагментованими спектрами отримувати більш широкі смуги частот.

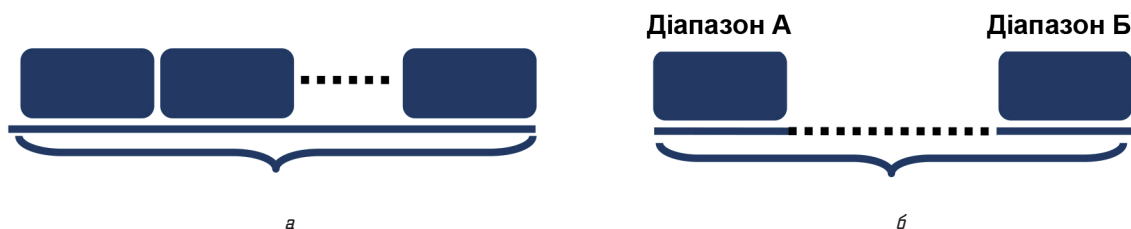


Рис. 2. Агрегація спектру: а — агрегація несучих частот (сумарна ширина смуги до 100 МГц); б — агрегація смуг на рознесених частотах

5. Однією з основних змін в LTE-Advanced є введення 8 x 8 MIMO в DL та 4 x 4 MIMO в UL.

6. Розширена підтримка гетерогенних (HetNet) мереж. До макростільників додаються пікостільники, що дозволяє передавати більший об'єм трафіка та збільшувати швидкість передачі даних.

7. У Release10 введені три нові категорії абонентських пристроїв — Category6, Category7, Category8.

часу не був популярним через брак відповідних абонентських терміналів і незначну поширеність TDD на ринку в цілому.

9. Функція ретрансляції, яка дозволяє мобільним терміналам обмінюватися даними з мережею через вузол ретрансляції, з'єднаний по бездротовому зв'язку з донорним вузлом eNodeB (рис. 3) з використанням технології радіодоступу LTE.

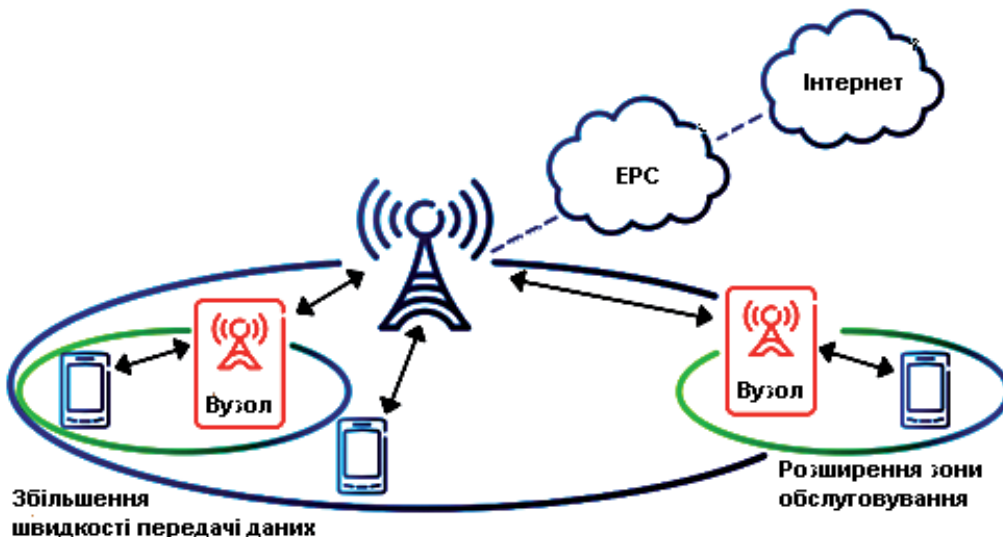


Рис. 3. Ретрансляція

8. Конвергенція радіодоступу для парного і непарного спектрів, що підвищує ефективність його використання, є однією з основних переваг всіх версій LTE. Як відомо, існують два альтернативних варіанти дуплексу для мобільного зв'язку: FDD (Frequency Division Duplex — частотний розподіл сигналу) для парного спектра і TDD (Time Division Multiplex — розподіл каналів за часом) для непарного спектра. До теперішнього часу ці схеми дуплексу підтримувалися різними технологіями радіодоступу: GSM і WCDMA/HSPA для FDD і TD-SCDMA для TDD. Хоча FDD історично є переважаючою схемою дуплексу для мобільного зв'язку, інтерес до TDD, як вже було сказано, зростає. Однією з причин цього є доступність непарного спектра, для ефективного використання якого потрібна наявність будь-якої доступної і загально визнаної технології TDD. Підтримуючи FDD і TDD в рамках єдиної технології радіодоступу, LTE забезпечує конвергенцію радіодоступу для парного і непарного спектра на єдиній технологічній платформі. Це полегшує використання схеми TDD і непарного спектра, який до останнього

З точки зору терміналу вузол ретрансляції представляється «звичайною» базовою станцією. Це означає, що застарілі абонентські пристрої також можуть підключатися до мережі через вузол ретрансляції. Функція ретрансляції дає можливість як розширити зони обслуговування, так і збільшити швидкості передачі даних [15, 16].

5.3. Проблеми та перспективи впровадження 4G в Україні. В Україні розгорнуті мережі WiMAX за стандартами IEEE802.16d (фіксований WiMAX) та IEEE802.16e (мобільний WiMAX) деє у 34 містах, які в основному використовуються для послуг широкопasmового доступу як для приватних, так й до бізнес-клієнтів. Перехід на наступні стандарти за технологією WiMAX-Advanced на даний час не обговорюється. Йде підготовка до впровадження технології LTE. Є надія, що це буде LTE-Advanced.

Є п'ять діапазонів, де можна впроваджувати 4G LTE: 800 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 2300 МГц і 2500 МГц, але на частотах 800 МГц працюють CDMA-оператори «Інтертелеком» і «Телесистеми України» — PEOPLeNet, а на 900 МГц та 1800 МГц функціонує 2G-зв'язок «Київстар», «МТС-Україна» та «Астеліт» — life). Як вже згадувалося, частоти 2G-зв'язку мають звільнитися під LTE [17].

Видача частот в Україні на початку розвитку стільникового зв'язку велася безсистемно, що призвело до так званого ефекту «черезсмуговості» або фрагментованості спектру, тому для реального впровадження 4G потрібний рефармінг — технічна процедура консолідації радіочастотного ресурсу для збільшення суцільних смуг частот. Крім того, за українським законодавством частоти видаються під конкретні технології, що не дає можливості реалізувати принцип «технологічної нейтральності», який передбачає право операторам використовувати в межах свого ліцензованого РЧР будь-яку технологію передачі сигналу.

Крім вказаних вище, існує ще ряд проблем, які стримують розвиток мобільного зв'язку 4-го покоління: нестача інвестицій в технології, низький ARPPU (Average Revenue Per Paying User — середня виручка з одного платника-споживача), відсутність абонентських пристроїв або несумісність діапазонів частот, на яких вони працюють, низький попит на високошвидкісну передачу даних, пов'язаний з низькою покупною здатністю населення.

Питання розподілу РЧР України, впровадження системи рухомого зв'язку четвертого покоління (LTE), внесення змін до Закону «Про радіочастотний ресурс України» будуть розглядатися Робочою групою, створеною НКРЗІ у рамках контракту на виконання НДР, який був схвалений 4 лютого 2016 року [18].

6. Обговорення результатів дослідження стану мобільних мереж 4G

Розгортання мереж за технологією LTE-Advanced та зростання ринку абонентських пристроїв 3G/4G, WiMAX/TD-LTE у розвинутих країнах світу йде повним ходом. У порівнянні з попередніми версіями в технологіях IMT-Advanced з'явилися такі функції, як розширення смуг частот, агрегація спектру, ретрансляція, підтримка гетерогенних мереж, 8 x 8 MIMO (низхідний канал) та ін. Паралельно 3GPP розробляє наступні версії LTE-Advanced, які вже будуть представляти зв'язок 5G. WiMAX Forum продовжує працювати над вдосконаленням технології WiMAX-Advanced з метою створення TDD екосистеми, яка передбачає співіснування обох технологій операторського класу. Одночасно організація працює над розвитком вертикального ринку продуктів на основі технології WiMAX. У першу чергу — це стандарти AeroMACS та WiGRID.

Дослідження нових функцій в сучасних технологіях дає можливість краще орієнтуватися при виборі шляхів подолання проблем впровадження мобільного зв'язку 4G в Україні та бачити перспективи, опираючись на досвід провідних телекомунікаційних компаній по розгортанню мереж 4-го покоління.

Дослідження, представлені у статті, є продовженням раніше проведеного дослідження стандарту IEEE802.16e технології WiMAX. На думку авторів, цій потужній технології з великими можливостями приділяється недостатньо уваги в нашій країні.

7. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Представлена достатньо повна характеристика стану розгортання мобільних мереж 4G у світі.
2. Визначені розширені функції та можливості технологій IMT-Advanced.

3. Висвітлені проблеми впровадження 4G в Україні.

Проведені дослідження висвітлили стрімкий розвиток технологій мобільного зв'язку IMT-Advanced, на основі яких будуються нові мережі та модернізуються старі. Оператори широкосмугового доступу вибирають сценарії конвергенції різних технологій в одній мережі, або побудову паралельних мереж, в залежності від наявного діапазону частот та інших факторів. Швидко розвивається й ринок користувальницького та мережевого обладнання, який гнучко реагує на тенденції поточних змін у технологіях. На даний час очевидним лідером мобільного зв'язку є технологія LTE-Advanced, хоча WiMAX-Advanced разом з іншими стандартами цієї технології буде й далі розвиватися, вирішуючи специфічні задачі, в яких застосовуються її переваги.

Що стосується України, робляться кроки у бік розвитку LTE, про що свідчить підписаний НКРЗІ контракт на проведення науково-дослідної роботи для запровадження 4G, але все це потребує часу, і чекати швидкого впровадження мобільного зв'язку 4G зарано.

Література

1. Кукса, В. Национальный план широкополосного доступа: экзамен на зрелость государственной политики [Текст] / В. Кукса // Wireless Ukraine. — 2014. — № 18/17. — С. 21–23.
2. В Україні розгортається мережа 3G зв'язку [Електронний ресурс] // Український державний центр радіочастот. — Режим доступу: \www/URL: <http://www.ucrf.gov.ua/pres-sluzhba/v-ukrayini-rozhortayetsya-merezha-3g-zv-yazku/>
3. Ворона, Т. Почему нельзя внедрить 4G «через голову» 3G [Электронный ресурс] / Т. Ворона // АІN.UA. — 03.12.2014. — Режим доступу: \www/URL: <http://ain.ua/2014/12/03/553147>
4. Requirements for WiMAX Coexistence with LTE Networks [Electronic resource]: WMF-T31-132-v02 // WiMAX Forum. — 2012. — Available at: \www/URL: http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2012/12/WMF-T31-132-v02_WiMAX-LTE-Coexistence.pdf
5. Requirements for WiMAX Forum®Release 2.2 [Electronic resource]: WMF-T31-136-R022v02 // WiMAX Forum. — 2014. — Available at: \www/URL: http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2014/05/WMF-T31-136-R022v02.pdf
6. WiMAX Forum®Air Interface Requirements. Requirements for WiMAX Air Interface. System Profile Release 2 [Electronic resource]: WMF-T21-003-R020v02 // WiMAX Forum. — 2010. — Available at: \www/URL: http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2013/04/WMF-T21-003-R020v02_Air-Interface-Requirements.pdf
7. Pataki, D. Safeguarding the future of mobile [Text] / D. Pataki // ITU News. — 2015. — № 5. — P. 28–30.
8. Бойко, А. 802.16e. WiMAX [Электронный ресурс] / под ред. А. Бойко // MForum.ru. — 30.03.2013. — Режим доступа: \www/URL: http://www.mforum.ru/analit/802_16e.htm
9. Parker, T. WiMAX Forum: UQ's model will help others adopt WiMAX 2.1, leverage TD-LTE devices [Electronic resource] / T. Parker // FierceWirelessTech. — 30.12.2013. — Available at: \www/URL: <http://www.fiercewireless.com/tech/story/wimaxforum-uqs-model-will-help-others-adopt-wimax-21-leverage-td-lte-devic/2013-12-30>
10. UQ Surpasses 10 Million WiMAX Contracts [Electronic resource] // WiMAX Forum. — 05.06.2015. — Available at: \www/URL: http://www.wimaxforum.org/Page/News/PR/20150605_UQ_Surpasses_10_Million_WiMAX_Contracts
11. WiMAX Advanced: Deployment Scenarios Based on Input from WiMAX Operators and Vendors [Electronic resource] // WiMAX Forum. — 15.09.2014. — Available at: \www/URL: http://www.wimaxforum.org/Page/News/PR/20140915_WiMAX_Advanced_Deployment_Scenarios_Based_on_Input_from_WiMAX_Operators_and_Vendors
12. Шакури, М. WiMAX: развитие продолжается [Текст] / М. Шакури // Первая мила. — 2013. — № 4. — С. 16–18.

13. Уже в 143 странах мира есть сети LTE [Электронный ресурс] // ООО «НАГ». — 26.07.2015. — Режим доступа: www/URL: http://nag.ru/news/newline/27848/uje-v-143-stranah-mira-est-seti-lte.html
14. Molinsky, R. Telstra launches world's first 600mbps-capable category 11 device [Electronic resource] / by ed. R. Molinsky // Telstra Exchange. — 16.09.2015. — Available at: <http://exchange.telstra.com.au/2015/09/16/telstra-launches-worlds-first-600mbps-capable-category-11-device/>
15. Wannstrom, J. LTE-Advanced [Electronic resource] / J. Wannstrom // 3GPP. — June 2013. — Available at: www/URL: http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced
16. LTE — решение стандарта 4G [Электронный ресурс]: Аналитический обзор Ericsson // ERICSSON.COM. — Апрель 2011. — Режим доступа: www/URL: http://www.ericsson.com/res/site_RU/docs/wp-lte-4g.pdf
17. Юрасов, С. 4G к 2017 году: где взять частоты [Электронный ресурс] / С. Юрасов // Экономическая правда. — 20.06.2015. — Режим доступа: <http://www/URL: http://www.epravda.com.ua/rus/publications/2015/07/20/551651/>
18. НКРЗІ схвалила контракт на проведення НДР для запровадження 4G в Україні [Электронный ресурс] // Українська асоціація операторів зв'язку «Телас». — Режим доступу: <http://www/URL: http://telas.kiev.ua/01/545--4g->

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ 4-ГО ПОКОЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В УКРАИНЕ

Исследовано современное состояние беспроводных сетей 4-го поколения, проведен анализ стандартов мобильной связи

WiMAX-Advanced и LTE-Advanced. Исследованы расширенные функции этих технологий, благодаря которым удалось обеспечить требования к 4G, освещены преимущества по сравнению с предыдущими стандартами. Рассмотрены вопросы конвергенции сетей по технологиям IMT-Advanced, а также проблемы и перспективы внедрения их в Украине.

Ключевые слова: беспроводная мобильная связь, WiMAX-Advanced, LTE-Advanced, IEEE802.16m, 3GPPRelease10, WiMAX-Forum.

Габовда Ольга Веніамінівна, асистент, кафедра проектування взуття і механіко-технологічних процесів, Мукачівський державний університет, Україна, e-mail: olga_gab@mail.ru.

Садовнікова Тетяна Миколаївна, старший викладач, кафедра проектування взуття і механіко-технологічних процесів, Мукачівський державний університет, Україна.

Габовда Ольга Вениаминовна, ассистент, кафедра проектирования обуви и механико-технологических процессов, Мукачевский государственный университет, Украина.

Садовникова Татьяна Николаевна, старший преподаватель, кафедра проектирования обуви и механико-технологических процессов, Мукачевский государственный университет, Украина.

Habovda Olga, Mukachevo State University, Ukraine, e-mail: olga_gab@mail.ru.

Sadovnikova Tatiana, Mukachevo State University, Ukraine

УДК 621.372.542

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.66418

**Коляденко Ю. Ю.,
Белюсова Е. Э.**

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ПРОТОКОЛА OPENFLOW

В работе показаны несомненные преимущества использования программно-конфигурируемых сетей, а также их взаимовыгодной эксплуатации на базе современного протокола OpenFlow. Для этого были отмечены принципы работы стандарта, особенности функционирования коммутаторов OpenFlow, обозначены выгоды и достоинства использования такой технологии для дальнейшего развития телекоммуникационных систем.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, протокол OpenFlow, пропускная способность, загруженность каналов, коммутаторы OpenFlow.

1. Введение

В связи с постоянным развитием и появлением новых технологий, сети нуждаются в реализации повышенных требований к скорости передачи и усовершенствованию инструментов, использующихся для сетевого управления и мониторинга. Такая ситуация наблюдается из-за появления новых функциональных и технологических сетей, что имеет оборотную сторону — усложнение их структуры, ведь операторы требуют более «умные сети», но старые методы мониторинга и управления уже не справляются со своими функциями.

Поэтому в последнее время возрос интерес к программно-конфигурируемым сетям SDN (Software-Defined Networks). Самой идее сетей SDN уже десять лет, но в последние годы известными компаниями были

предложены новые реализации, которые открывают широкие возможности, например, организация сети SDN с совместным применением протокола OpenFlow. Преимущество представленной технологии в том, что она работает отдельно от сетевых устройств и ее контроль может осуществляться операторами посредством стандартного сервера.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Протокол OpenFlow предназначен для реализации абсолютно нового механизма обработки динамических сетевых нагрузок [1]. Он способен обеспечить сетям SDN высокую производительность, интероперабельность и отличную эффективность. В сети OpenFlow за принятие