

УДК 654.16(043.2)

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНІСТЮ В БЕЗДРОТОВОМУ ЗВ'ЯЗКУ

О. К. Юдін, д-р техн. наук, проф.; Р. В. Зюбіна

Національний авіаційний університет

e-mail: kszi@ukr.net

Проведено дослідження розвитку систем мобільного зв'язку від аналогового зв'язку 1G до швидкісного широкопasmового 4G. Визначено, що зростання досягнень в галузі досліджень і розробки технологій бездротового зв'язку, збільшення можливостей електронних пристроїв сприяють розповсюдженню послуг для мобільних користувачів. Визначено поняття 4G та проведено порівняльний аналіз основних підходів до взаємодії різних технологій у неоднорідному середовищі 4G. Представлено та обговорено різні способи мобільного менеджменту та основна процедура передачі даних. Визначено, що жодна технологія не може забезпечити одночасно високий рівень пропускну здатності, малу затримку, високу мобільність та широкий діапазон послуг для великої кількості користувачів.

Ключові слова: передача даних, 4G, мобільний зв'язок, аналоговий зв'язок.

Development of mobile communication systems from analogue connection 1G to 4G high speed broadband was investigated. increasing achievements in research and development of wireless communication technologies, the increasing capabilities of electronic devices contribute to the spread of services for mobile users was determined. The concept of 4G and the comparative analysis of the main approaches to the interaction of different technologies in 4G heterogeneous environment were determined. Presented and discussed the different ways mobile management and the basic procedure of data transmission. It is determined that no technology can provide both a high level of bandwidth, low latency, high mobility and wide range of services to a large number of users.

Keywords: data transfer, 4G, mobile communications, analog communications.

Вступ

Протягом останніх тридцяти років процес комунікації між людьми значно змінився та перейшов на значно вищий, у розуміння можливостей, рівень. Розвиток бездротових технологій дозволив користувачам мати зв'язок у будь-якій точці світу. Найближчим часом розвиток бездротових технологій матиме ще більший вплив на спілкування людей та їх взаємодію.

Зростання досягнень в галузі досліджень і розробки технологій бездротового зв'язку, збільшення можливостей електронних пристроїв сприяють розповсюдженню послуг для мобільних користувачів. Бездротові мережі стають все більш взаємодіючими, що сприяє зрушенню парадигми до нових поколінь мобільних мереж, де *безперервна мобільність* в неоднорідних мережах стає основним принципом. Це покоління згадується як четверте покоління(4G)[1–2].

Постановка завдання

Користувачі вимагають простоти використання та можливості контролювати послуги що надаються, відповідно до своїх уподобань. Із збільшенням можливостей пристроїв, постає очевидне запитання, чи може

термінал користувачів контролювати та керувати передачею через різні технології доступу?

Делегування керування передачею до мобільного терміналу може дати користувачам саме те, чого вони потребують.

Мета роботи — дослідження розвитку систем мобільного зв'язку від аналогового зв'язку 1G до швидкісного широкопasmового 4G. Визначення поняття 4G та порівняльний аналіз основних підходів до взаємодії різних технологій в неоднорідному середовищі 4G. У статті представлено та обговорено різні способи мобільного менеджменту та основна процедура передачі даних.

Розвиток стільникової технології

За останні тридцять років розвиток Інтернету та досягнення бездротових технологій значно вплинули на стиль життя в усьому світі. Разом ці два чинники змінили спосіб спілкування, праці та відпочинку людей.

Із упровадженням стільникових комунікацій, суспільство відчуло величезну потребу у бездротових сервісах. Зростання було таким швидким, що до 2002 р. стали помітними величезні зміни у використанні мережі: уперше в історії телекомунікацій кількість користувачів мобільного зв'язку перевищила кількість тих,

хто користувався стаціонарними лініями. Ця тенденція зберігається і дотепер.

Згідно з Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ), до вересня 2005 р., кількість користувачів мобільного зв'язку досягла 2 млрд, а відповідно до статистики Міжнародної Асоціації мобільних операторів (GSA) в кінці першого кварталу 2007 р. налічувалося 2.8 млрд користувачів мобільного зв'язку. Хоча історія стільникового зв'язку була достатньо короткою, вона пережила три покоління, а четверте вже на підході.

У системах мобільного зв'язку кожне десятиліття відбувається зсув парадигми.

Системи першого покоління (1G) у 1980 рр. були оригінальним аналогом мобільної голосової мережі. Друге покоління (2G) виникло у 1990 рр. і базувалося на цифрових технологіях для мобільного зв'язку та передачі інформації.

Третє покоління (3G) вперше було представлено в Японії у 2001 р., та характеризувалося високошвидкісним цифровим мобільним зв'язком, інформаційними та мультимедійними сервісами. Очікується, що 4G стане цілком комерційним вже найближчим часом.

Шлях розвитку мобільних систем показано на рис. 1.

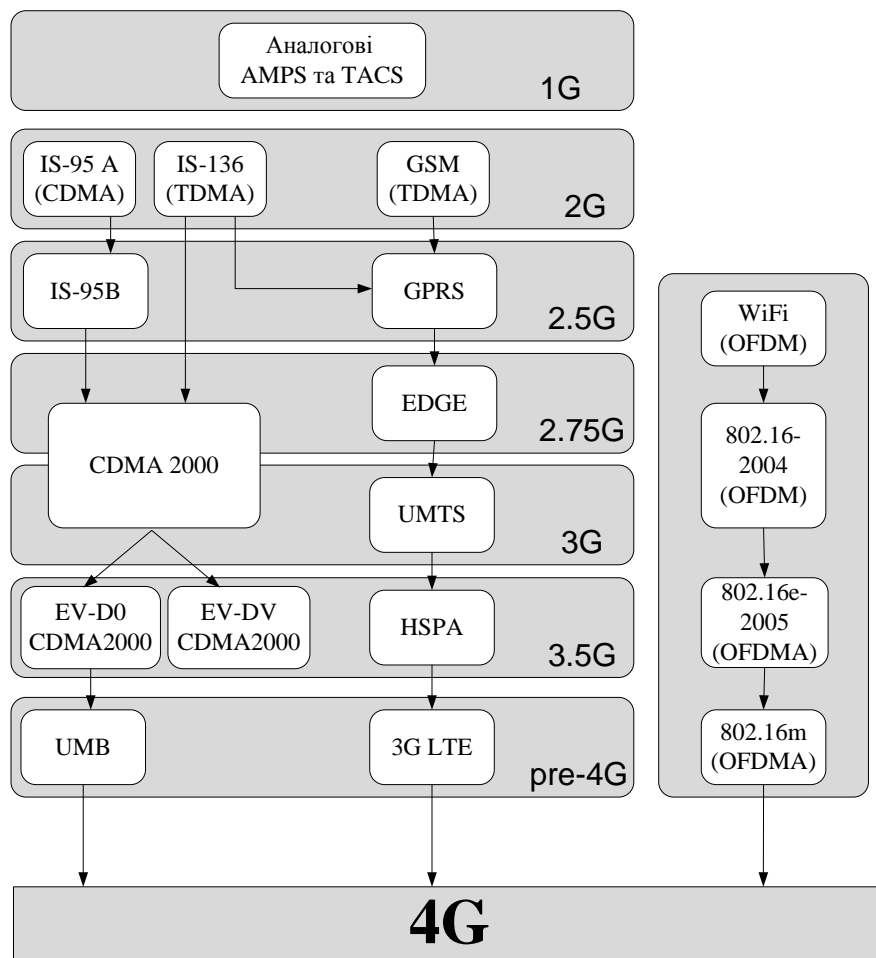


Рис. 1. Розвиток мобільних технологій

Однак, необхідно враховувати, що розвиток бездротових технологій в Україні значно відстає від світового.

У липні 2014 р. президентом України був підписаний наказ № 613/2014 «Про забезпечення умов для впровадження сучасних телекомунікаційних технологій», у якому йдеться про прийняття всіх необхідних заходів для проведення конверсії частот для впровадження в

Україні стандарту мобільного зв'язку третього покоління IMT-2000 (UMTS).

Зважаючи на те, що чимало пристроїв підтримують 3G та 4G, є сенс впроваджувати одразу два стандарти.

За даними оператора, на даний момент у мережі «Київстар» перебуває близько 300 тис. пристроїв, що підтримують LTE.

З кожним роком їх кількість збільшується на 40 %. Тобто до моменту запуску 3G/4G-мереж тільки в одного «Київстару» буде налічуватися більш 420 тис. таких смартфонів, не говорячи вже про мільйони 3G-пристроїв [3].

1G

1G-системи вперше були представлені в Японії в 1979 р. і були аналогом системи передачі. Ключові стандарти 1G включали просунуті системи мобільних телефонів (AMPS), комунікаційні системи поширеного доступу (TACS), японські комунікаційні системи повного доступу (JTACS) та Північні мобільні телефони (NMT). 1G — насправді була головною інновацією в історії телекомунікацій. Хоча, виникло багато проблем щодо якості передачі, безпеки та неефективного використання спектру та доступної частоти.

2G

2G-мережа являла цифрову замкнуту технологію, що використовувала спектр частот більш ефективно. Така система і зараз успішно обслуговує користувачів мобільного зв'язку та ще деякий час залишиться на ринку. Основні стандарти 2G-GSM, IS-136 CdmaOne.

- GSM використовує Множинний доступ з часовим поділом (TDMA) і дуплексну передачу з частотним розділенням (FDD). GSM стала найбільш швидко поширюваною комунікаційною технологією у світі за весь час і ведучим глобальним мобільним стандартом.

- IS-136 відома як цифрова передова система мобільного зв'язку (D-AMPS) що використовує TDMA та TDD. Розгорнута в Америці, особливо в США та Канаді. IS-136 — це цифрове накладання, що може взаємодіяти з аналоговою інфраструктурою AMPS (тобто використовує AMPS для сигналізації, щоб зарезервувати ресурси). IS-136 дозволяє досягти швидкості передачі інформації до 30 кБіт/с.

- CdmaOne належить до оригінального MCE IS-95, що використовує Множинний доступ з кодовим розділенням (CDMA), який уперше був стандартизованим у 1993 р. Сьогодні існує дві версії IS-95, IS-95A та IS-95B. IS-95A використовує FDD з пропускнуою можливістю 1,25 Мгц для кожного напрямку та підтримує швидкість передачі даних до 14,4 кБіт/с. IS-95B може підтримувати швидкість передачі даних до 115 кБіт/с, використовуючи до восьми каналів. Завдяки своїм швидкісним можливостям IS-95B підпадає під категорію 2,5G-технології.

2,5G

2,5G — це сфера покращених послуг передачі даних. Основа 2,5G включає GPRS (загальна пакетна радіослужба), покращену швидкість

передачі даних для розвитку GSM (EDGE) та IS-95B. GPRS це покращений мобільний сервіс для користувачів GSM та IS-136. Теоретично GSM підтримує передачу інформації до 172,2 кБіт/с, проте його вважають міграційною стратегією до 3G. На шляху до створення 3G, EDGE з'явився як розширення для GPRS, що забезпечує вищу швидкість передачі інформації (до 384 кБіт/с). Використовуючи EDGE, оператори мають змогу обслуговувати втричі більше користувачів, ніж дозволяє GPRS, втричі збільшується кількість інформації для абонента та з'являються додаткові можливості для голосового зв'язку. Іноді EDGE згадується як 2,75G-технологія.

3G

Мережі 3G характеризуються вищою піковою швидкістю передачі даних, більшою системною потужністю та покращеним спектром ефективності. Існує цілий діапазон для 3G, що базується на CDMA, включаючи UMTS (з FDD та з варіантами TDD), CDMA2000 TD-SCDMA.

- UMTS, іноді відомий як 3GSM, використовує Ширококутовий множинний доступ з кодовим поділом (WCDMA) як базовий інтерфейс радіофіру, що був стандартизований як 3GPP. UMTS — технологія 3G, яку обрали більшість мобільних операторів GSM/GPRS. Максимальна швидкість передачі інформації складає 1,92 кБіт/с, проте реально на даний момент становить лише 384 кБіт/с. Для покращення обслуговування 3G UMTS, було введено два стандарти HSDPA та HSUPA, разом відомі як HSPA та такі, що відносяться до технології 3,5G.

- HSDPA — оснований на пакетній функції стандарту WCDMA, що забезпечує покращенні можливості передачі даних. Теоретично піковий рівень може складати 14,4 МБіт/с, але реальний кінцевий користувач отримує 1,8 МБіт/с. Згідно з публікаціями GSA у січні 2008 р., 166 мереж HSDPA комерційно запущені у 75 країнах.

- HSUPA також впроваджує значні покращення швидкості передачі даних та QoS. Стандарт HSUPA дозволяє користувачам передавати потік даних зі швидкістю 5,8 МБіт/с.

- CDMA2000 — безпосередній наступник 2G CdmaOne, що представляє цілу групу технологій, включаючи CDMA2000 1xRTT (технології радіопередачі), CDMA2000 EV-DO, CDMA2000EV-DV, стандартизовані 3GPP2. CDMA2000 — це 3G-технологія, обрана багатьма CDMA операторами стільникового зв'язку.

- CDMA2000 1xRTT офіційно вважається 3G-технологією, але дехто вважає, що це лише

2,75G. Хоча пікова швидкість передачі може сягати 307 кБіт/с, можливості даної технології обмежені 144 кБіт/с.

- CDMA2000 EV-DO використовує окремого постачальника послуг до 1,25 МГц для даних і підтримує до 2,4 МБіт/с низькочастотного потоку, та до 153 кБіт/с високочастотного потоку. 1×EV-DO Revision підтримує Інтернет протокол (IP) та збільшує низькочастотний піковий рівень до 3,1 МБіт/с та значно підвищує піковий рівень високих частот до 1,2 МБіт/с. 1×EV-DO Revision версії В дозволяє операторам досягати до 15 каналів з частотою 1,25 МГц, щоб отримати швидкість передачі 73,5 МБіт/с.

- CDMA2000 EV-DV інтегрує мову та дані за тих самих 1,25 МГц. CDMA2000 EV-DV пропонує пікову швидкість передачі даних низькочастотного потоку до 4,8 МБіт/с та високочастотного до 307 кБіт/с. Хоча у 2005 р. Qualcomm зупинив розвиток 1× EV-DO на невизначений час, через відсутність зацікавленості постачальника послуг, в основному тому що Verizon Wireless і Sprint обрали EV-DO.

- TD-SCDMA було запропоноване Китайською Асоціацією Стандартів Зв'язку та затверджене MCE у 1999 р. TD-SCDMA використовує TDD режими та може працювати при мінімальній частоті 1,6 МГц з швидкістю 2 МБіт/с, або з частотою 5 МГц та швидкістю 6 МБіт/с.

Незважаючи на те, що в деяких країнах розгортання 3G було відкладено через вартість додаткових ліцензованих зборів, Асоціація GSM доповіла про 200 млн користувачів даної технології у другому кварталі 2007 р. Корея і Японія, перші дві країни, що впровадили 3G. Мережа 3G продовжить розповсюджуватися у світі, подібно 2G та проіснує також приблизно 20 років.

pre-4G

У грудні 2009 р. в Швейцарії вперше в світі було запущено комерційні мережі стандарту Long Term Evolution (LTE) та Ultra-Mobile Broadband (UMB).

- LTE-3GPP, це наступна версія стандарту, який базується на радіостандарті. LTE створили для досягнення вищої швидкості передачі даних (понад 100 МБіт/с для високочастотного каналу та 50 МБіт/с для низькочастотного каналу відповідно для кожних 20 МГц спектру), меншої затримки та оптимізації системи порівняно з 3G. З цією метою LTE використовує Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) для низькочастотних ліній зв'язку та Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) для високочастотних ліній зв'язку, а також Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) з

максимальною кількістю антен для станції, що дорівнює чотирьом. Нещодавно повідомлялось LTE, що 3GPP теоретично має піковий показник пропускної здатності 326 МБіт/с в 2×20 МГц з 4×4 конфігурацією MIMO для низькочастотного каналу передачі даних. LTE розроблений для підтримування всіх IP-адресів та підтримувати безперервну мобільність у неоднорідних мережах доступу.

- UMB — 3GPP2 Ultra Mobile Broadband, раніше відомий як EV-DO Revision C. UMB також включає OFDMA, MIMO та Множинний доступ просторового розділення (SDMA) з удосконаленими техніками антен, щоб забезпечити ще більшу потужність, покриття та QoS. UMB може підтримати пікову швидкість завантаження до 280 МБіт/с в мобільному середовищі і більш ніж 75 МБіт/с для передачі вихідного потоку (з 4×4 MIMO конфігурацією).

Розвиток широкосмугових бездротових технологій

Широкосмугові бездротові технології є злиттям двох найважливіших історій зростання телекомунікаційних технологій: широкосмугової та бездротової мобільної передачі. Швидке зростання ринку товарів масового виробництва мобільних систем стільникового зв'язку досягло більше ніж 3 млрд користувачів. Паралельно до зростання Інтернет-технологій, прискорився розвиток широкосмугових технологій, щоб запропонувати швидкісний доступ до Інтернету. З недавніх часів був упроваджений широкосмуговий доступ FTTH та VDSL, для того щоб підключити додатки з високою продуктивністю, такі як HDTV, відео- з вимогою гігабайт за секунду.

Бездротові широкосмугові послуги можна підрозділити на два типи: фіксовані широкосмугові та мобільні широкосмугові. До стаціонарних відносяться LMDS, MMDS, WiMAX, що вважаються успішною альтернативою DSL або кабельному модему. В протилежному випадку, широкосмугові бездротові мобільні технології такі як IEEE 802.11, що базуються на Wi-Fi чи мобільному WiMAX мають наміри донести до користувачів швидкісні технології з їхньою функціональністю, портативністю та мобільністю. Нижче ми розглянемо технології Wi-Fi і WiMAX та їх еволюцію.

Wi-Fi

Wi-Fi ґрунтується на групі стандартів IEEE 802.11. Це в першу чергу aWLAN-технологія, призначена для забезпечення широкосмугового покриття. Стандарт Wi-Fi широко використовується для широкосмугового зв'язку в

будинках, офісах і громадських місцях, включаючи готелі, аеропорти, торгові центри, ресторани, кафе і освітні заклади.

За останні кілька років значна кількість муніципалітетів і місцевих громад по всьому світу взяли на себе ініціативу, щоб розгорнути Wi-Fi-системи поза приміщенням і забезпечити широкопasmовий доступ у міських центрах, а також у сільських і недостатньо обслуговуваних районах.

Специфікації стандарту IEEE 802.11 були спочатку впроваджені в 1997 р. для роботи в не ліцензованому діапазоні 2,4 ГГц та містили в собі два методи спектрального розширення: 1 МБіт/с в FHSS і 1 МБіт/с та 2 МБіт/с в DSSS.

У 1999 р. був опублікований стандарт IEEE 802.11b, спираючись на технології передачі DSSS з підтримкою даних 11 МБіт/с. Також у цьому році було стандартизовано IEEE 802.11a, використовуючи OFDM передачу збільшуючи теоретичну швидкість до 54 МБіт/с.

Цей стандарт працює у діапазоні 5 ГГц. У 2003 р. був опублікований стандарт IEEE 802.11g, який використовує OFDM і працює в діапазоні 2,4 ГГц.

Стандарти 802.11b, 802.11a і 802.11g використовуються і сьогодні.

Можливості Wi-Fi були впроваджені щоб забезпечити ще вищий рівень передачі інформації та підтримку QoS.

У великій групі стандартів 802.11 виникло три поправки 802.11e, 802.11i та 802.11g. 11 вересня 2009 р. був затверджений стандарт 802.11n. При використанні технології просторового мультиплексування декількох антен, IEEE 802.11n підтримує пропускну здатність кожної антени до 150 МБіт/с.

802.11n забезпечує значні поліпшення діапазону за рахунок використання різноманітності передач та інших передових технологій.

WiMAX

WiMAX призначена для розміщення стаціонарних і мобільних широкопasmових додатків. Термін WiMAX був створений Форумом WiMAX, який був сформований в червні 2001 р. та присвячений просуванню взаємодії і сумісності бездротових широкопasmових продуктів на основі стандарту IEEE 802.16.

Спочатку IEEE сформував групу під назвою 802.16 для розробки стандарту для бездротової міської мережі (WMAN) в 1998 р.

- IEEE 802.16 уперше випустив стандарти для рівнів PHY і MAC систем зі смугою пропускання 10-66 ГГц у грудні 2001 р., відомі як LMDS.

- У 2003 р. був створений стандарт 802.16a, який за допомогою OFDM пом'якшує порушення затухання в смузі пропускання від 2 до 11 ГГц. Подальші зміни в стандарті 802.16a були внесені в 2004 р. Цей стандарт IEEE 802.16-2004, змінює 802.16, 802.16a і 802.16c єдиним стандартом, що називається WiMAX.

- IEEE 802.16, відомий також як Mobile WiMAX, спочатку був розроблений, для підтримки мобільних додатків. Він був завершений у грудні 2005 р. і формально опублікований як IEEE 802.16e-2005. Він використовує масштабований ортогональний множинний доступ з частотним розділенням (SOFDMA) та багатотональну модуляцію, що використовує альтернативні підканали, що коливаються від 1,25 до 20 МГц. Ключовим атрибутом IEEE 802.16e є введення можливості передачі

У жовтні 2007 р. Сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-R) включав технологію WiMAX у набір стандартів ІМТ-2000, також відомий як 3G.

Сьогодні проводять безліч досліджень та розробок технології WiMAX.

Дві найбільш відповідні поправки в прогресі — 802.16j (Multihop Relay) і 802.16 m (розширений інтерфейс Air).

Метою стандарту 802.16m є досягнення швидкості передачі даних до 1 Гбіт для стаціонарних абонентів і 100 МБіт/с для мобільних користувачів. Вона направлена на підвищення потужності і продуктивності мультимедійної широкопasmової багато-адресної служби (MBMS) і VoIP.

Рушієм 802.16m буде технологія антени MIMO у верхній частині OFDM на основі системи радіозв'язку 802.16 m порівняний з LTE або UMB з точки зору технології, потужності та служб.

Шляхи розвитку стільникового зв'язку, Wi-Fi та технології WiMAX були узагальнені в двох попередніх розділах. Коротко кажучи, WiMAX це компроміс між технологіями 3G та WiFi, при порівнянні ключових аспектів швидкості передачі даних, покриття, QoS та підтримки мобільності. Табл. 1 надає зведені порівняння технологій серед 3G (3.5G HSPA, 1xEV-DO), Mobile WiMAX і WiFi 802.11n.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики широкосмугових бездротових технологій

Критерії	HSPA	1×EV-DO	Мобільний WIMAX	WiFi
Стандарт	3GPP R6	3GPP2	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.11n
Пікова швидкість передачі даних DL	14,4 МБіт/с використовуючи всі 15 кодів	3,1 МБіт/с (Rev A); 4,6 МБіт/с (Rev B)	46 МБіт/с @ 3:1, 2×2, 10 МГц	150 МБіт/с
Пікова швидкість передачі даних UL	5,8 МБіт/с	1,8 МБіт/с	7 МБіт/с @3:1, 10 МГц	150 МБіт/с
Смуга пропускання	5 МГц	1,25 МГц	3,5, 7,5, 10,8, 75 МГц	20/40 МГц
Дуплекс	FDD	FDD	TDD	TDD
Мультиплексування	TDM/CDMA	TDM/CDMA	TDM/OFDMA	CSMA-CA
Покриття	1–5 км	1–5 км	< 3,5 км	< 300 м
Мобільність	Висока	Висока	Середня	Низька

Ці технології обрані тому, що вони, швидше за все, будуть домінувати на ринку мобільних широкосмугових телекомунікаційних послуг сьогодні, а також у найближчі кілька років.

Дві інших технології оснований на цих стандартах, а саме: IEEE 802.20 — технологія мобільного широкосмугового бездротового доступу (MBWA) і IEEE 802.22 — технологія бездротової регіональної області мереж (WRAN).

Ми коротко розглянемо ці дві підрозробки стандартів.

- Оскільки 802.16e, IEEE 802.20 сподівається визначити широкосмугове вирішення для автомобільного пересування до 250 км/год. Стандарт 802.20 позиціонується як альтернатива стільникового зв'язку 3G, оскільки він може підтримувати високу швидкість передачі і дає можливість бездротового доступу до мережі.

Цілком імовірно повинен бути визначений діапазон для роботи нижче від 3,5 ГГц, для забезпечення пікової користувацької швидкості передачі даних понад 4 і 1.2 МБіт/с в високочастотному і низькочастотному каналах відповідно.

- IEEE 802.22 має на меті приведення широкосмугового доступу в сільських та віддалених районах. У листопаді 2004 р. почалася робота над стандартом 802.22. Основна мета 802.22 — визначення когнітивного радіо, яке може використати телеканали, які не використовуються ТБ в малонаселених пунктах. Працюючи в УКХ та низьких частотах УВЧ 802.22 створює сприятливі умови поширення, які можуть призвести до збільшення діапазону (100 км). Над стандартом 802.22 активно працюють і дотепер (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняння технологій LTE, UMB та WiMAX 802.16m

Критерії	LTE	UMB	WiMAX 802.16m
Пікова швидкість передачі даних	DL: 288 МБіт/с (4×4) UL: 98 МБіт/с (2×4)	DL: 250 МБіт/с (4×4) UL: 100 МБіт/с (4×4)	DL: ~ 350Mbps (4×4) UL: ~ 200Mbps (2×4)
Затримка	Link-Layer Access: < 5 мс Передача: < 50 мс	LLA: < 10 мс Передача: < 20 мс	LLA: < 10 мс Передача: < 20 мс
Конфігурації MIMO	DL: 2×2, 2×4, 4×2, 4×4 UL: 1×2, 1×4, 2×2, 2×4	DL: 2×2, 2×4, 4×2, 4×4 UL: 1×2, 1×4, 2×2, 2×4	DL: 2×2, 2×4, 4×2, 4×4 UL: 1×2, 1×4, 2×2, 2×4
Смуга пропускання (МГц)	1,25, 1,6, 2,5, 5, 10, 15, 20	1,25 до 20	5, 10, 20, 40

Закінчення табл. 2

Критерії	LTE	UMB	WiMAX 802.16m
Дуплекс	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD, FDD
Мультиплексування	OFDMA та SC-DMA	OFDMA	SC-FDMA
Мобільність	Більше 350 км/год	Більше 250 км/год	Більше 350 км/год

Мобільний широкопуговий доступ — сегмент із швидким зростанням мобільного зв'язку. Існує багато галузей в галузі бездротового зв'язку WiMAX і LTE порівняно з UMB.

Багато хто відмовляється від UMB та якими б не були частки попередників 4G на ринку, користувачі спробують переваги мобільних швидкісних послуг уже в близькому майбутньому.

Висновок

Отже, незважаючи на те, що існує багато розмов відносно 4G, поки немає універсального узгодженого визначення 4G бездротової мобільної мережі. Жодна технологія не може забезпечити одночасно високий рівень пропускної здатності, малу затримку, високу мобільність та широкий діапазон послуг для великої кількості користувачів. Так як всі

системи мають свої недоліки та переваги, жодна технологія не в змозі замінити інші існуючі, навіть ті, що передують 4G.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зюбіна Р. В. Широкопугові бездротові технології / Р. В. Зюбіна, Ю. П. Бойко // Наукоємні технології: науково-технічна конференція студентів та молодих учених, 11–15 листопада 2013 р. — К. : НАУ, 2013. — С. 29.

2. Юдін О. К. Аналіз методів виявлення сигналів в системах управління різномірними телекомунікаційними мережами / О. К. Юдін, О. І. Чумак, Н. М. Скоблілова // Сб. науч. тр. по матеріалам. — С. 406–408.

3. Юдін О. К. Захист інформації в мережах передачі даних / О. К. Юдін, О. Г. Корченко, Г. Ф. Конахович // К. : Вид-во ТОВ НВП Інтерсервіс. — 2009.

Стаття надійшла до редакції 16.03.2015