

УДК 621.29 (045)

**ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ В УКРАЇНІ
ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ПЕРЕХОДУ ДО МЕРЕЖ LTE****Р. С. Одарченко**, канд. техн. наук, доц.; **Н. В. Дика**Національний авіаційний університет
odarchenko.r.s@mail.ru

У статті проаналізовано основні архітектурні рішення до стільникових мереж, розглянуті різні мережі стільникового зв'язку, їх архітектура та технічні характеристики. Проведено порівняльний аналіз мереж LTE, GSM, WCDMA та виділено їх спільні риси та відмінності. Також проведено порівняння вимог IMT-Advanced, LTE Rel.8 і LTE-Advanced та визначено їх головні недоліки. Висвітлено питання переходу існуючих стандартів стільникових мереж до мережі LTE. Досліджені відмінності етапів планування стільникових мереж стандартів GSM/WCDMA/LTE, завдяки яким вдалося сформулювати завдання побудови мережі LTE. Також окреслено необхідні вхідні дані для первинного планування стільникової мережі LTE.

Ключові слова: стільник, покоління, мережа, LTE, технологія, GSM, стандарт, частота.

In this work, the main architectural concepts to cellular networks were analyzed, in particular, different cellular transmission networks, their architecture and technical characteristics were considered. The comparative analysis of the LTE, GSM, WCDMA networks is carried out and their common features and distinctions are selected. Also comparing of the requirements of IMT-Advanced, LTE Rel.8 and LTE-Advanced was carried out and their main shortcomings are defined. Questions of transition of the existing standards of cellular networks to the LTE network are taken up. Investigated differences in the stages of planning standards for cellular networks GSM/WCDMA/LTE, which managed to formulate the task of building a network of LTE. Also necessary input data for the primary planning of a cellular network of LTE were contoured.

Keywords: cell, generation, network, LTE, technology, GSM, standard, frequency.

Вступ

Появі мереж стільникового зв'язку з рухомими (мобільними) об'єктами передував довгий період еволюційного розвитку радіотелефонної системи зв'язку, у плінні якого освоювалися різноманітні частотні діапазони й удосконалювалась техніка зв'язку.

Історія стільникового зв'язку має довгий період розвитку.

У грудні 1971 р. була вперше запропонована архітектура стільникового зв'язку в технічній доповіді компанії Bell System, яку представили у федеральну комісію зв'язку США. Ця архітектура передбачала побудову системи у вигляді сукупності осередків, що покривають обслуговувану територію.

Осередки схематично зобразили у вигляді правильних шестикутників, що схожі на бджолині стільники. Це і стало причиною назви систем *стільниковими* [1].

В Україні оператори мобільного зв'язку з'явилися в 1993 р. [2]. Вірніше, це був єдиний представник бездротового зв'язку — «Український мобільний зв'язок».

З того часу, ринок послуг мобільного зв'язку дуже швидко розвинувся. З'явилися нові оператори мобільного зв'язку, які стали професійними суб'єктами господарювання у цій сфері, а стрім-

кий розвиток телекомунікаційних технологій привів до масового користування мережами стільникового зв'язку.

Аналіз досліджень та публікацій

У той час, як в закордонній літературі велося порівняння мереж нового покоління [3], визначення їх переваг та недоліків [4; 5], розроблялися вимоги до мереж нового покоління, наприклад, 5G [9], у вітчизняній літературі широко досліджувалися лише теоретичні аспекти впровадження мереж 3G та 4G [6], визначались перспективи [7] та причини відсутності їх впровадження, висувались різноманітні стратегії розвитку стільникових мереж в Україні [8; 9], розглядалися питання рефармінгу радіочастотного ресурсу [10].

Постановка мети та завдання дослідження

На сьогодні телекомунікаційний ринок є одним з найбільш перспективних та швидко зростаючих напрямків галузі зв'язку України.

Системи стільникового зв'язку динамічно розвиваються в усіх країнах світу і є одним з найбільш перспективних сегментів міжнародного ринку телекомунікацій. Тому, основною метою цієї статті є дослідження та аналіз архітектурних рішень стільникового зв'язку, вивчення світового досвіду із їх розгортання та розроблення рекомендацій по їх упровадженню в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження

Існує ряд стандартів і технологій, що стосуються кожного покоління бездротових мереж — GSM, CDMAOne, GPRS, EDGE, CDMA2000, UMTS (також званий 3GSM), HSDPA та ін. Далі детальніше розглянемо архітектуру основних стандартів стільникових мереж.

Архітектури сучасних стільникових мереж

Архітектура мереж GSM представлена в праці [1]. Системи зв'язку стандарту GSM розраховані на використання у різних сферах. Вони надають широкий діапазон послуг з передачі мовних повідомлень і даних, аварійних сигналів, забезпечують підключення до телефонних мереж загального користування (PSTN), мереж передачі даних (PDN) і цифрових мереж з інтеграцією служб (ISDN).

3G (англ. *3rd Generation*) — «третє покоління технологій мобільного зв'язку» — набір послуг, який включає до себе як високошвидкісний мобільний доступ до послуг мережі Інтернет, так і технологію радіозв'язку [11]. Цю технологію також ще називають і технологією UMTS.

Мережі третього покоління 3G працюють на частотах дециметрового діапазону (близько 2 ГГц), швидкість передачі даних становить понад 2 Мбіт/с. Завдяки цій швидкості, можна комфортно дивитися на мобільному пристрої фільми, телепрограми, завантажувати дані, а також організувати відеотелефонний зв'язок.

3G використовує кілька мобільних стандартів. Найбільш поширеними є три з них:

- CDMA2000 — є подальшим розвитком стандарту 2 покоління CDMA One;
- WCDMA (UMTS) (англ. *Wideband Code Division Multiple Access* — широкопasmовий CDMA) — технологія радіоінтерфейсу, обрана більшістю операторів стільникового зв'язку для забезпечення широкопasmового радіодоступу з метою підтримки послуг 3G.
- TD-SCDMA (англ. *Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*) — китайський стандарт мобільних мереж третього покоління.

Архітектура мереж 3G розглянута в праці [1]. Дана архітектура використовує ту ж відому архітектуру, яка застосовується у всіх основних системах другого покоління і подібна вже до розглянутої архітектури системи GSM.

Мережа 3G будується на базі тих же компонентів, що були розглянуті в праці [1]. В основу архітектури входить: мобільна телефонна станція, в системі UMTS вона називається UE (User Equipment); базова телефонна станція, по використуваній термінології — вузол B; контролер

базової станції (BSC) і центр комутації мобільного зв'язку (MSC).

Long Term Evolution (LTE, англ. *Long Term Evolution* — «довготерміновий розвиток»), маркетингова назва 4G LTE — назва мобільного протоколу передачі даних; проект 3GPP, стандарт з удосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості.

Мережі 4G на основі стандарту LTE працюють у всіх існуючих діапазонах частот, що виділені для стільникового зв'язку по всьому світу.

Швидкість закачування за стандартом 3GPP LTE в теорії досягає 326,4 Мбіт/с (download), і 172,8 Мбіт/с на віддачу (upload). Практично забезпечує швидкість передачі даних від базової станції до пристрою абонента до 100 Мбіт/с і швидкість від абонента до базової станції — до 50 Мбіт/с.

Мережа LTE складається з двох найважливіших компонентів: мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE (System Architecture Evolution) або EPC (Evolved Packet Core Network) (рис. 1) [12].

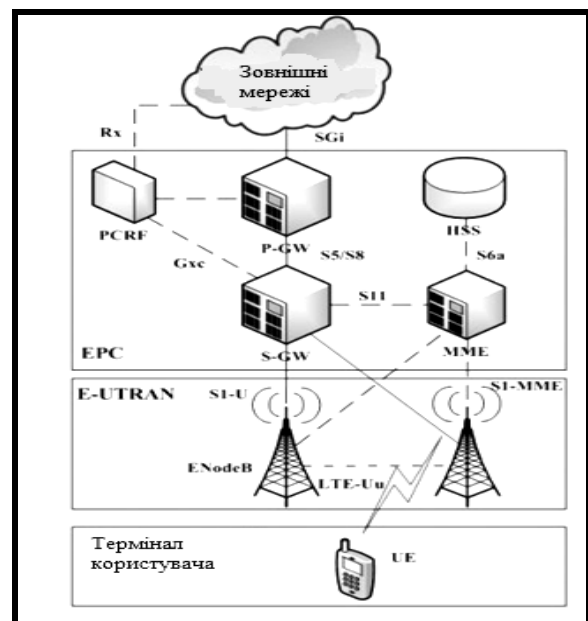


Рис. 1 Архітектура мережі LTE

Основним досягненням такої архітектури, порівняно з попередніми поколіннями, є менші затримки під час передачі як даних користувача, так і керуючої інформації у зв'язку з проходженням через меншу кількість проміжних елементів.

Обмін даними в мережі EPC відбувається тільки по IP-протоколу з комутацією пакетів, що суттєво відрізняє мережу LTE від мереж попередніх поколінь, у яких використовувалася комутація каналів між окремими елементами. У дану мережу входять елементи, що відповіда-

ють за управління, маршрутизацію, комутацію і зберігання різних даних, про які далі буде пояснено більш докладно.

Мережа E-UTRAN, що складається з базових станцій (eNodeB) бере на себе функції радіоінтерфейсу і є сполучною ланкою між терміналами (UE) і мережею EPC.

Головною особливістю, що відрізняє мережу LTE від мереж інших поколінь, є те, що базові станції eNodeB можуть обмінюватися між собою інформацією по протоколу X2 і здійснювати функції управління. На відміну від стандарту GSM, де підсистема базових станцій BSS складалася із базового приймача BTS і контролера базових станцій BSC, у мережі LTE в одному елементі eNodeB об'єднані функції передавача і контролера.

Виділяють такі основні елементи мережі стандарту LTE, функції яких розглянуто в праці [12]:

1) MME (вузол управління мобільністю — Mobility Management Entity).

2) S-GW (Serving Gateway — обслуговуючий шлюз).

3) PGW (пакетний шлюз — Packet Data Network Gateway).

4) PCRF (вузол виставлення рахунків абонентам — Policy and Charging Rules Function).

5) Policy Function (управління політикою).

6) Charging Function (управління нарахуванням плати).

7) HSS (Home Subscriber Server — сервер абонентських даних мережі).

Дослідження мережі LTE-Advanced

LTE-Advanced — стандарт мобільного зв'язку. LTE-Advanced стандартизований 3GPP, як поліпшення стандарту Long Term Evolution (LTE). Основною особливістю LTE-Advanced буде більш гнучке використання спектра та підтримка більш широкої смуги пропускання.

Вимоги до LTE-Advanced були сформульовані так [4]:

– високий ступінь функціональності для надання широкого діапазону високошвидкісних послуг у масштабах світового ринку з істотною економічною ефективністю і якістю;

– можливість взаємодії з іншими системами радіодоступу, включаючи повну сумісність з LTE (Rel'8);

– гармонізація і сумісність абонентських пристроїв у міжнародному масштабі;

– реалізація роумінга по всьому світу;

– підтримка ширини каналу до 40 МГц включно;

– можливість організації більш широкої смуги каналу (до 100 МГц), яка потенційно може забезпечити пікову швидкість передачі даних 3 Гбіт/с в Downlink і 1,5 Гбіт/с в Uplink;

– забезпечення спектральної ефективності в каналах Downlink до 15 біт/с/Гц при 4x4 MIMO і до 6,75 біт/с/Гц при 2x4 MIMO в каналах Uplink;

– використання 8 передавальних антен MIMO в каналах Downlink.

У табл. 1 приводиться порівняння вимог IMT-Advanced, LTE Rel.8 і LTE-Advanced.

Таблиця 1

Порівняння вимог до IMT-Advanced, LTE Rel.8 і LTE-Advanced

Параметр	Вимоги IMT-A	LTE Rel.8	LTE-A (Rel.10)
Ширина каналу	Мінімум 40 МГц	До 20 МГц	До 100 МГц
Пікова спектральна ефективність:			
-низхідний канал	15 біт/с/Гц	16 біт/с/Гц	16 (30)* біт/с/Гц
-висхідний канал	6,75 біт/с/Гц	4 біт/с/Гц	8,1(16,1)** біт/с/Гц
Затримка:			
-сигнальні дані	< 100 мс	50 мс	50 мс
-дані користувача	< 10 мс	4,9 мс	4,9 мс

Примітка. * — значення наведені для конфігурації 4*4 (у дужках 8*8);

** — значення наведені для конфігурації 2*2 (у дужках 4*4).

Перехід до LTE

Як бачимо, однією з основних вимог до засновників мереж 4 покоління була сумісність з існуючими мережами 3 покоління. На сьогодні існують алгоритми міжтехнологічного роумінгу, який дозволяє обслуговувати зони з ще недостатнім покриттям мереж LTE за допомогою

мереж GSM. Однак, виникли проблеми з існуючими абонентськими пристроями, які повністю несумісні для обслуговування новою технологією.

Таким чином, мережі LTE необхідно і доцільно розгортати на територіях з прогнозовано високим попитом на широкосмуговий мобільний

доступ, причому економічно доцільним буде модернізація існуючих мереж стандарту GSM до мережі LTE.

Такий перехід дозволить використовувати як технічний, так і частотний ресурс GSM. У цілому LTE-проекти слід розглядати як середньо- і довгострокові, тому мережі стандарту GSM найближчим часом не зникнуть, але можливо, що частина частот перейде в користування технології LTE.

Проведений аналіз показує, що використання діапазонів частот у мережах LTE буде здійснюватися на принципах мультидіапазонності, пов'язаних з видом послуги та географічною зоною обслуговування.

Основним діапазоном першого етапу розвитку мереж LTE стане діапазон 2500-2690 МГц (зі стратегією використання парної смуги UL: 2500–2570 МГц, DL: 2620–2690 МГц для режиму FDD і непарної смуги 2570–2620 МГц для режиму TDD).

Діапазони частот GSM-900/1800 МГц будуть використовуватися в мережах LTE як додаткові, з пріоритетом діапазону GSM-900 МГц. Критерієм вибору величини необхідного частотного ресурсу в процесі планування використання систем LTE може слугувати умова досягнення ефективності їх впровадження порівняно з діючими системами останніх модифікацій.

До теперішнього часу такі великі виробники телекомунікаційного обладнання, як Alcatel-

Lucent, Ericsson, Fujitsu, Huawei Technologies, Motorola, Nokia Siemens Networks, ZTE і ін., протестували технологію LTE, багато з них готові поставляти операторам закінчені LTE-рішення. Причому, абонентські пристрої LTE підтримують протоколи стандартів 3 покоління.

Однією із відмінностей стандартів LTE є більш проста і більш надійна інфраструктура мережі, що пояснюється призначенням стандарту виключно для передачі даних. У той же час, більш складна інфраструктура LTE забезпечує її сумісність зі стандартами поколінь 2G і 3G — GSM і UMTS.

Побудова мережі LTE

З Evolved Packet Core (EPC) перспективне розгортання LTE/2G/3G може бути зроблено або з комбінуванням, або розділенням SGSN і MME (рис. 2). Головна відмінність у тому, що SGSN обробляє як площину користувача, так і площину управління, а MME обробляє тільки площину управління трафіку.

Під час міграції трафіку з 2G/3G до LTE, попит на більш високу пропускну здатність збільшиться в LTE, забезпечуючи більш високу спектральну ефективність порівняно з 2G/3G.

З користувачами LTE є завжди підключення IP до EPC, в той час як в 2G/3G користувачі, як правило, прикріплені до GPRS без контексту PDP. У зв'язку з цим, потреба в носії і ємності збільшується в EPC.

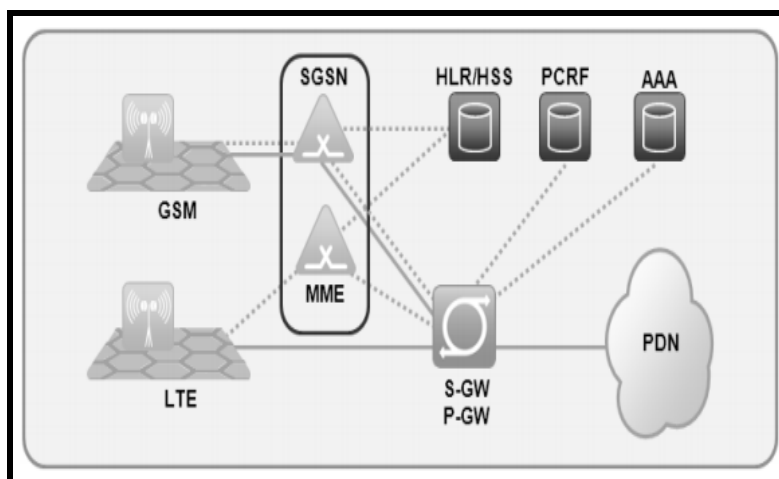


Рис. 2. Одночасне розгортання мереж GSM та LTE

Для отримання вимог до збільшення пропускну здатності та зменшення часу відгуку, а також для переходу до all-IP мережі, необхідно використовувати новий підхід до структури мережі.

Раніше мережа радіодоступу 3G складалася з Node B (базових станцій) і контролерів радіомережі (Radio Network Controllers - RNC). Кілька

Node B були підключені за принципом «зірка» до RNC, який ніс основне навантаження з управління радіоресурсу. У свою чергу, RNC були підключені до ядра мережі і через нього з'єднувалися між собою.

Для забезпечення необхідної функціональності в рамках LTE, в структурі SAE, шар управління зсувається від ядра до периферії.

Керуючі вузли RNC видаляються і управління радіочастотним ресурсом передається базовим станціям. Новий тип базових станцій отримав назву eNodeB або eNB.

Базова станція eNB підключаються безпосередньо до шлюзу основної мережі через новий «інтерфейс S1». На додаток до нього нові eNB з'єднуються з сусідніми eNB за принципом мережі через «інтерфейс X2». Це забезпечує набагато вищий рівень прямої взаємодії. Дане підключення, також дозволяє направляти багато викликів безпосередньо, оскільки велика кількість дзвінків і з'єднань у мережі призначаються для мобільних пристроїв у тій самій або сусідніх сотах. Нова структура дозволяє направляти виклики за більш коротким маршрутом і з мінімальним використанням ресурсу ядра мережі.

На додаток до реалізації 1 і 2-го рівнів OSI, eNB управляє рядом інших функцій, які вклю-

чають в себе контроль радіоресурсів (включаючи управління доступом), балансування навантаження і управління мобільністю, включаючи прийняття рішень про хендовер для мобільних користувачів або обладнання (UE)

Додаткові рівні гнучкості і функціональності означають, що нові станції eNB є більш складними, ніж станції UMTS або базові станції попередніх поколінь.

Однак нова структура мережі SAE дозволяє забезпечити продуктивність набагато більш високого рівня. На додаток, гнучкість, закладена в eNB, дозволяє їм підтримати подальше розширення функціональності для переходу від LTE до LTE Advanced.

Такий функціональний перехід показано на рис. 3.

При переході до мереж LTE необхідно враховувати відмінності в плануванні стільникових мереж різних поколінь (табл. 2).

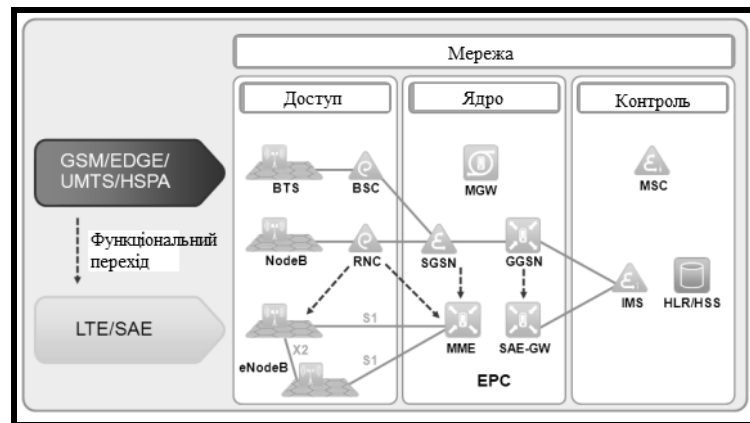


Рис. 3. Перехід від мережі GSM до мережі LTE

Таблиця 2

Відмінності між мережами LTE, GSM, WCDMA

Найменування	LTE	GSM	WCDMA
Планування частотного ресурсу	Розподіл фрагментів полоси системи між користувачами базових станцій	Розподіл частотних каналів між базовими станціями	Не потрібне
Наявність регулярної методики планування	Немає	Існує	Існує для високошвидкісної і низькошвидкісної передачі
Комутація	Пакетів (все через IP)	Каналів, пакетів	Каналів, пакетів
Передача інформації	OFDM	Вузкополосний сигнал	Широкополосний сигнал
Профіль трафіка	VoIP, потокове відео, мобільний Інтернет, фоновий трафік	Мова, мобільний Інтернет, фоновий трафік	Мова, потокове відео, мобільний Інтернет, фоновий трафік
Дисципліна обслуговування	VoIP – СМО з відмовами, мобільний Інтернет – СМО з чергами і пріоритетами, потокове відео – СМО без затримок	Мова – СМО з відмовами, мобільний Інтернет – СМО з чергами і пріоритетами	Мова – СМО з відмовами, мобільний Інтернет – СМО з чергами і пріоритетами, потокове відео – СМО без затримок

При цьому відрізняються і етапи планування стільникових мереж стандартів GSM/WCDMA/LTE (табл. 3).

Таблиця 3

Етапи планування стільникових мереж стандартів GSM/WCDMA/LTE

Стандарт	Етапи планування
GSM	Вибір типу частотного кластеру Визначення просторових параметрів мережі Визначення параметрів базових станцій (виходячи із бюджету радіолінії) Складання частотного плану
WCDMA	Визначення числа каналів трафіку на стільник залежно від внутрішньо-системних перешкод (завантаження мережі) Визначення просторових параметрів мережі Розрахунок параметрів базових станцій (виходячи з того, що сигнал груповий; по розрахунку пілотного сигналу) Розподіл кодових зрушень по секторам
LTE	Визначення просторових параметрів мережі Частотне планування Оцінка пропускної здатності за заданому профілю трафіку Уточнення параметрів базових станцій та зони обслуговування, виходячи із наявного трафіку

Дослідивши етапи планування стільникових мереж стандарту LTE, завдання побудови початкового наближення мережі LTE можна сформулювати таким чином:

– при заданій смузі частот потрібно визначити просторові параметри мережі (кількість базових станцій та розміри їх зон обслуговування) за умови, що пікові швидкості передачі даних по лінії «униз» і лінії «угору» максимальні, а число базових станцій у складі мережі не перевищує допустимого значення;

– іншим варіантом може бути вирішення задачі мінімізації числа базових станцій у складі мережі за заданих значеннях пікових швидкостей передачі даних по лінії «униз» і лінії «угору».

Складність завдань побудови початкового наближення мережі LTE не дозволяє знайти пряме рішення. При побудові початкового наближення мережі з ортогональним частотним поділом каналів будемо вважати, що:

1) щільність абонентів на території обслуговування мережі постійна, а розподіл абонентів по території рівномірний.

2) розміри всіх стільників мережі однакові.

3) морфоструктура місцевості однотипна (відкрита місцевість, приміський район або міська забудова).

Для підвищення точності побудови початкового наближення мережі всю територію обслуговування необхідно умовно розбити на фрагменти, де сформульовані вище допущення можна вважати прийнятними.

Таким чином, на етапі побудови початкового наближення вся мережа декомпозується на однорідні фрагменти, стосовно до яких знаходять розподіли базових станцій по зонах обслуговування, параметри базової мережі і розподіл частотного ресурсу.

Виходячи з сформульованих вище обмежень, мережа має регулярну однорідну структуру, тобто вузли eNB віддалені між собою на однакову відстань, технічні характеристики і кількість приймачив-передавачів, а також висоти підвісу антен, азимуту і кути нахилу однакові для всіх eNB.

Для побудови мережі початкового наближення потрібно досить великий набір вихідних даних, достовірність яких може істотно вплинути на адекватність прийнятого рішення. На цьому етапі проводиться оцінка бюджету втрат — показника, що характеризує допустимі втрати в радіолінії для заданого стандарту стільникового мобільного зв'язку. Нагадаємо, що в мережі LTE, на відміну, наприклад від GSM, кожній абонентській станції для інформаційного обміну в кожному слоті призначається певний діапазон каналних ресурсів в частотно-часовій області або, інакше, ресурсна сітка. Таким чином, вхідними даними до первинного планування мережі LTE будуть такі параметри (табл. 4).

Отже, використовуючи параметри із табл. 4, можна побудувати перше наближення мережі LTE або на базі вже існуючої GSM, або зовсім нової. В подальшому для такої мережі необхідно буде проводити оптимізацію її параметрів.

Таблиця 4

Вхідні дані до первинного планування мережі LTE

Параметр	Одиниці виміру/ варіанти
Площа території, на якій необхідно забезпечити покриття	м ²
Характер забудови	Місто Передмістя Сільська місцевість
Затримка в каналі	с
Імовірність бітової помилки	Не вище p_{bit}
Необхідна пропускна здатність на одного абонента	Мбіт/с
Кількість абонентів	Од.

Висновки

Таким чином, проаналізувавши архітектуру та порівнявши основні стандарти мереж різних поколінь стільникового зв'язку, можна дійти висновку, що архітектура WCDMA подібна до архітектури системи GSM, так як архітектура WCDMA мережі будується на базі тих самих компонентів, що і архітектура GSM.

У статті проведено аналіз мереж LTE та LTE-Advanced, їх порівняння із мережею GSM. Цей аналіз дозволив сформулювати два можливі напрямки впровадження мереж LTE: або в результаті паралельного розгортання разом із GSM, або в результаті функціонального переходу вузлів мереж 2G/3G до LTE.

Розглянуто відмінності етапів планування стільникових мереж стандартів GSM/WCDMA/LTE дозволили сформулювати порядок розрахунку першого наближення мережі LTE. Для цієї мети були окреслені необхідні вхідні дані для планування.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Бойко М. П.* Системи стільникового зв'язку : конспект лекцій / М. П. Бойко. — Одеса : ОНАЗ, 2004. — 76 с.

2. *Мобільний зв'язок в Україні* [електронний ресурс] — електронні текстові дані — режим доступу: <http://uateka.com/uk/article/society/1227/>

3. *Вишневський В. М.* Енциклопедія WiMAX: путь к 4G / В. М. Вишневський, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. — М. : Техносфера, 2009. — 472 с.

4. *GSA Evolution to LTE report* [електронний ресурс] — електронні текстові дані — режим доступу: http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSA_Evolution_to_LTE_report_060514.php4.

5. *Ericsson Mobility Report* [електронний ресурс] — електронні текстові дані — режим доступу: <http://www.ericsson.com/mobility-report>.

6. *Understanding 5G* [електронний ресурс] — електронні текстові дані — режим доступу: <http://www.arnitsu.com>.

7. *Перспективи та рекомендації по впровадженню стільникового зв'язку 4-го покоління* / В. В. Ткаченко, Р. С. Одарченко, В. С. Повхліб, Т. Р. Андрійченко // Проблеми навігації та управління рухом : Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів; Київ, 21–22 листопада 2011 р. : тези доповідей/редкол. : М. С. Кулик та ін. — К. : НАУ, 2011. — С. 122.

8. *Ткаченко В. В.* Вітчизняні перспективи розвитку технології LTE / В. В. Ткаченко, І. О. Дударчук, К. В. Дружиніна // Проблеми навігації та управління рухом : Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів; Київ, 23–24 листопада 2010 р. : тези доповідей/редкол. : М. С. Кулик та ін. — К. : НАУ, 2010. — С. 105.

9. *Ткаченко В. В.* Методи прогнозування попиту на послуги мереж LTE / В. В. Ткаченко, Р. С. Одарченко, Ю. О. Петрова // Політ-2011. Сучасні проблеми науки: міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, 7–9 квітня 2010 р.: тези доп. — К. : НАУ, 2011. — С. 30.

10. *Одарченко Р. С.* Стратегії розвитку операторів стільникового зв'язку в Україні // Наукоємні технології, том 26, № 2 (2015). — С. 141–148.

11. *Кінець епохи неоліту. Як 3G-інтернет змінить якість життя в Україні* [електронний ресурс] — електронні текстові дані — режим доступу: <http://news.finance.ua/ua/news/~/345778>

12. *Тихвинський В. О.* Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинський, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. — М. : Эко-Трендз, 2010. — 284 с.

LITERATURE

1. *Boyko M. P.* Sistemi stlilnikovogo zv'yazku : konspekt lektsiy. — Odesa : ONAZ, 2004. — 76 s.

2. *Mobilniy zv'yazok v UkraYinI* [elektronniy resurs] — elektronni tekstovi danI — rezhim dostupu: <http://uateka.com/uk/article/society/1227/>

3. *Vishnevskiy V. M. Entsiklopediya WiMAX: Put k 4G* / V. M. Vishnevskiy, S. L. Portnoy, I. V. Shahnovich. — M.: Tehnosfera, 2009. — 472 s.

4. *GSA Evolution to LTE report* [elektronniy resurs] — elektronni tekstovi danI — rezhim dostupu: http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSA_Evolution_to_LTE_report_060514.php4.

5. *Ericsson Mobility Report* [elektronniy resurs] — elektronni tekstovi danI — rezhim dostupu: <http://www.ericsson.com/mobility-report>.

6. *Understanding 5G* [elektronniy resurs] — elektronni tekstovi danI — rezhim dostupu: <http://www.arnitsu.com>.

7. *Perspektivi ta rekomendatsiyi po vprovadzhennyu stlInikovogo zv'yazku 4-go pokollInnya* / V. V. Tkachenko, R. S. Odarchenko, V. S. Povhllb, T. R. Andriychenko // Problemi navIgatsiyi ta upravlnnya ruhom : VseukraYinska naukovopraktichna konferentsiya molodih uchenih i studentiv; m. KiYiv, 21–22 listopada 2011 r. : tezi dopovIdey / redkol. : M. S. Kulik ta in. — K. : NAU, 2011. — S. 122.

8. *Tkachenko V. V. VItchiznyani perspektivi rozvitku tehnologiyi LTE* / V. V. Tkachenko, I. O. Dudarchuk, K. V. DruzhinIna // Problemi navIgatsiyi ta upravlnnya ruhom : VseukraYinska naukovopraktichna konferentsiya molodih uchenih i studentiv; m. KiYiv, 23–24 listopada 2010 r. : tezi dopovIdey / redkol. : M. S. Kulik ta in. — K. : NAU, 2010. — S. 105.

9. *Tkachenko V. V. Metodi prognozuvannya popitu na poslugi merezh LTE* / V. V. Tkachenko, R. S. Odarchenko, Yu. O. Petrova // Polit-2011. Suchasni problemi nauki : mIzhnarodna naukovopraktichna konferentsiya molodih uchenih i studentiv, 7–9 kvitnya 2010 r.: tezi dop. — K. : NAU, 2011. — S. 30.

10. *Odarchenko R.S. Strategiyi rozvitku operatoriv stlInikovogo zv'yazku v UkraYini* // NaukoEmni tehnologiyi, Tom 26, # 2 (2015). — S. 141–148.

11. *Kinets epohi neolltu. Yak 3G-Internet zmInit yakIst zhittya v UkraYinI* [elektronniy resurs] — elektronni tekstovi danI — rezhim dostupu: <http://news.finance.ua/ua/news/~/345778>.

12. *Tihvinskiy V. O. Seti mobilnoy svyazi LTE: tehnologii i arhitektura* / V. O. Tihvinskiy, S. V. Terentev, A. B. Yurchuk. — M. : Eko-Trendz, 2010. — 284 s.

Стаття надійшла до редакції 29.08.2016