

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка
до бакалаврської роботи

на тему: “Аналіз технічних аспектів проектування мереж зв’язку
стандарту LTE”

Виконав: студент 5 курсу, групи
РТЗ-51
спеціальності

172 Телекомунікації і радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Козачок В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____

ЗМІСТ

	стр.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ LTE.....	10
1.1 Шляхи розвитку технології LTE.....	10
1.2 Короткий розгляд основних параметрів технології LTE	17
1.3 Архітектура мережі стандарту LTE.....	18
1.4 Принципи побудови радіоінтерфейсу за технологією LTE..	20
1.5 Спектр послуг, що надаються мережами LTE.....	25
2. РОЗРАХУНОК МОЖЛИВОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ, ТА КІЛЬКОСТІ ПОТЕНЦІЙНИХ АБОНЕНТІВ.....	27
3. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ LTE.....	33
3.1 Основні види та властивості систем LTE, як складних систем.....	33
3.2 Властивості складних систем.....	34
3.2.1. Цілісність.....	34
3.2.2. Причинність.....	35
3.2.3. Стійкість.....	35
3.2.4. Зв'язність.....	37
3.2.5. Складність.....	39
4. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ LTE.....	43
4.1 Основні елементи мережі стандарту LTE.....	43
4.2 Організація інформаційних каналів.....	44
4.3 Якість обслуговування в мережах стандарту LTE.....	45
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	57
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	59

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3GPP	-	об'єднання з розробки стандартів мобільного зв'язку 3-го покоління
Cdma 2000	-	стандарт мобільного зв'язку 3-го покоління в еволюційному розвитку мереж IS – 95
eNB	-	базова станція стандарту LTE
E-UTRAN	-	мережа радіодоступу стандарту LTE
ETSI	-	європейський інститут телекомунікаційних технологій
FDD	-	дуплекс з частотним поділом напрямків
GERAN	-	мережа радіодоступу стандарту GSM/EDGE
GSM	-	глобальна система мобільного зв'язку технологія бездротового широкосмугового радіозв'язку, яка
HSPA	-	використовує пакетну передачу даних в мережах WCDMA/UMTS
IMS	-	мультимедійна система передачі даних на основі протоколу IP
MIMO	-	технологія передачі даних за допомогою N антен і їх прийому M антенами
OFDM	-	технологія мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів
SAE	-	архітектура ядра мережі, розроблена для стандарту LTE
SC-FDMA	-	множинний доступ ущільнення каналів з частотним рознесенням передачі на одній несучій
TDD	-	дуплекс з тимчасовим поділом напрямків
UMTS	-	універсальна мобільна телекомунікаційна система
WCDMA	-	широкосмуговий множинний доступ з кодовим поділом каналів
БМР	-	будівельно-монтажні роботи
ГНН	-	година найбільшого навантаження
ЦП	-	циклічний префікс

ВСТУП

Сучасний розвиток мобільних технологій дозволяє обробляти все більші об'єми інформації тим самим відкриваючи для користувача мобільного пристрою (смартфона, планшета, нетбука) нові можливості навчання, ведення бізнесу або маніпуляції з різними видами мультимедійних даних.

Найближчим часом технічні рішення, які забезпечать плавний перехід до мереж мобільного зв'язку 5-го покоління (5G), допоможуть операторам мобільного зв'язку задовольнити швидкозростаючий попит на мобільні сервіси.

Мобільний зв'язок 4G (LTE) розвиває ідеї та технології, які вже застосовуються в стандартах 3G. Проте з розвитком цих технологій знайшла своє втілення і низка оригінальних ідей.

Головна відмінність технологій 4G від технологій попередніх поколінь полягає в тому, що швидкість передавання даних від базової станції перевищує 100 Мбіт/с. Приклад ефективного співіснування мереж 3G із мережами стільникового зв'язку 2G, що забезпечило створення інтегрованих мереж, дав поштовх до гармонійного співіснування систем LTE із системами попередніх поколінь. Так, багатомодові пристрої здатні працювати як у мережах LTE, так і в мережах 3G, або мати набір режимів залежно від кон'юнктури ринку. Завдяки стандарту LTE з'явилась нова технологічна платформа радіозв'язку, яка дозволяє операторам досягати вищої пікової пропускної здатності, використовуючи для цього набагато ширші смуги пропускання.

Головна мета LTE - забезпечення абонентів послугами радіодоступу надзвичайно високої продуктивності з одночасним гарантуванням повної мобільності абонента під час його пересування зі швидкістю автомобіля. Забезпечення можливості передачі даних за швидкостями більше ніж 1 Гбіт/с з організацією завадозахищеності каналу зв'язку на базі технології OFDM. Стандарт LTE є черговим етапом еволюційного розвитку стільникової технології, що бере свій початок від GSM і має такі ключові пункти як EDGE, UMTS і HSPA.

1 АНАЛІЗ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

1.1 Шляхи розвитку технології LTE

Безпроводові цифрові комунікації продовжують розвиватися з високою швидкістю. Цьому сприяє неухильний прогрес в мікроелектроніці, що дозволяє випускати усе більш складні і при цьому, усе більш дешеві – засоби безпроводового зв'язку. Пік розвитку стільникового зв'язку, порівнянний лише із зростанням виробництва персональних комп'ютерів і розвитком Інтернету, не сповільнюється вже чверть століття. Мобільних телефонів у всьому світі вже значно більше, чим звичайних стаціонарних телефонних апаратів. Швидкими темпами розвиваються персональні мережі, широко упроваджуються безпроводові мережі регіонального масштабу. Низька вартість, швидкість розгортання, широкі функціональні можливості передачі даних, телефонії, відео потоків роблять безпроводові мережі одним з основних напрямів розвитку телекомунікаційної IT-індустрії [5].

Розвиток радіозв'язку супроводжується неперервною зміною технологій, в основі яких лежать стандарти стільникового зв'язку GSM і CDMA, а також стандарти систем передачі даних IEEE 802 (рис. 1.1).

Нові покоління мобільного зв'язку починали розроблятися практично через кожні десять років з моменту переходу від розробок першого покоління аналогових стільникових мереж в 1970-і роки (1G) до мереж з цифровою передачею (2G) в 1980-х роках. Від початку розробок до реального впровадження проходила достатня кількість часу (наприклад, мережі 1G були впроваджені в 1984 році, мережі 2G – в 1991 році). Історично технології радіозв'язку розвивалися по двох незалежних напрямках – системи телефонного зв'язку (стільниковий зв'язок) і системи передачі інформації (Wi-Fi, LTE, WiMAX). Але останнім часом спостерігається явна тенденція до злиття цих функцій. У 1990-х роках почав розроблятися стандарт 3G, який базується на методі множинного доступу з кодовим розділенням каналів; він був впроваджений тільки в 2000-х роках.

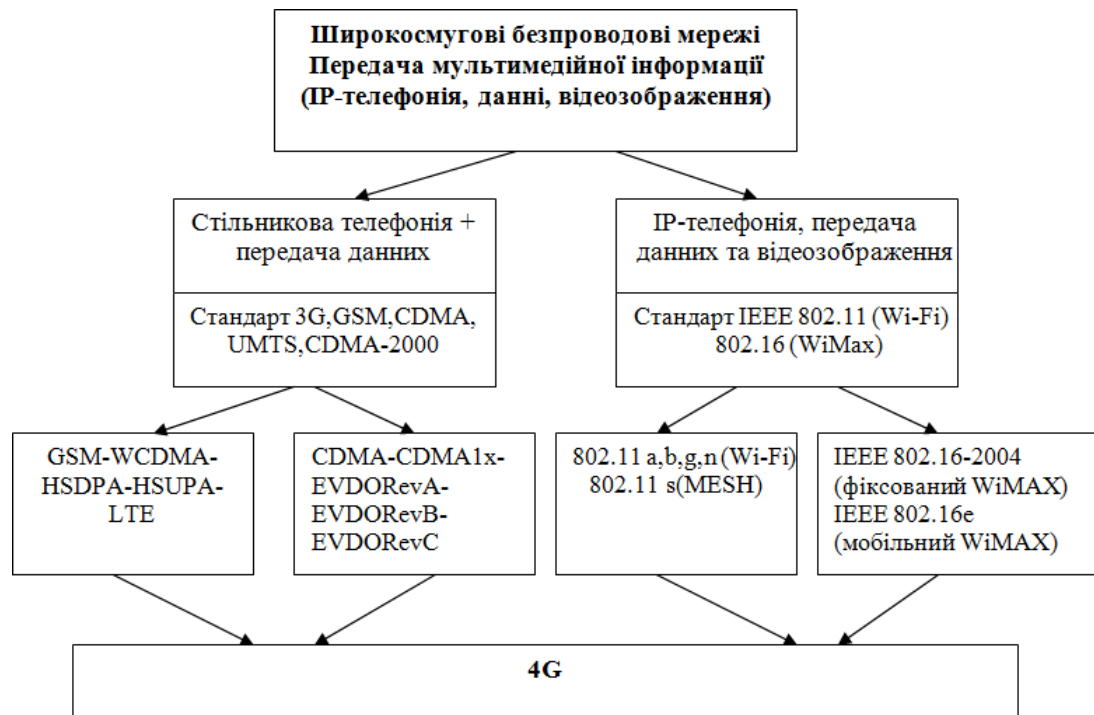


Рис. 1.1 Основні напрями розвитку технології широкопугового зв'язку

До того ж об'єм пакетних данних в мережах стільникового зв'язку третього покоління (3G) вже перевищує обсяг голосового трафіку, що пов'язане з впровадженням технологій HSPA [6]. У свою чергу, сучасні мережі передачі інформації обов'язково забезпечують заданий рівень якості послуг для різних видів та типів трафіку. Реалізується підтримка пріоритезації окремих потоків інформації, причому як на мереженому/транспортному рівнях (на рівні TCP/IP), так і на MAC – рівні (стандарти IEEE 802.16). Це дозволяє використовувати їх для надання послуг голосового зв'язку, передачі мультимедійної інформації і тому подібне.

Технологія фіксованого WiMAX (IEEE 802.16-2004) не виправдала надій, що поклалися на неї, по швидкодії, об'єму зони покриття і ціновим характеристикам. Проте оператори справедливо чекають від WiMAX (IEEE 802.16e) прориву та якісних мобільних послуг.

Але вимоги користувачів постійно підвищуються [10-12].

Мобільні мережі використовуються не лише для стільникового зв'язку, але і для передачі відео, музики і роботи в мережі Інтернет з високими швидкостями.

Саме з цією метою в рамках проекту співпраці в створенні мережі третього покоління 3GPP була почата розробка технології LTE покоління зв'язку з підвищеними вимогами. [2, 5, 8]

Четвертому поколінню притаманні перспективні технології, що дозволяють здійснювати передачу даних зі швидкістю більше 100 Мбіт/с мобільним і 1 Гбіт/с – стаціонарним абонентам. Розробка технології LTE офіційно розпочалася в кінці 2004 р. Основною метою досліджень на початковому етапі був вибір технології фізичного рівня, яка змогла б забезпечити високу швидкість передачі даних. Основними були запропоновані два варіанти: розвиток існуючого радіоінтерфейсу W-CDMA (використаного в HSPA) і створення на основі технології OFDM - нового.

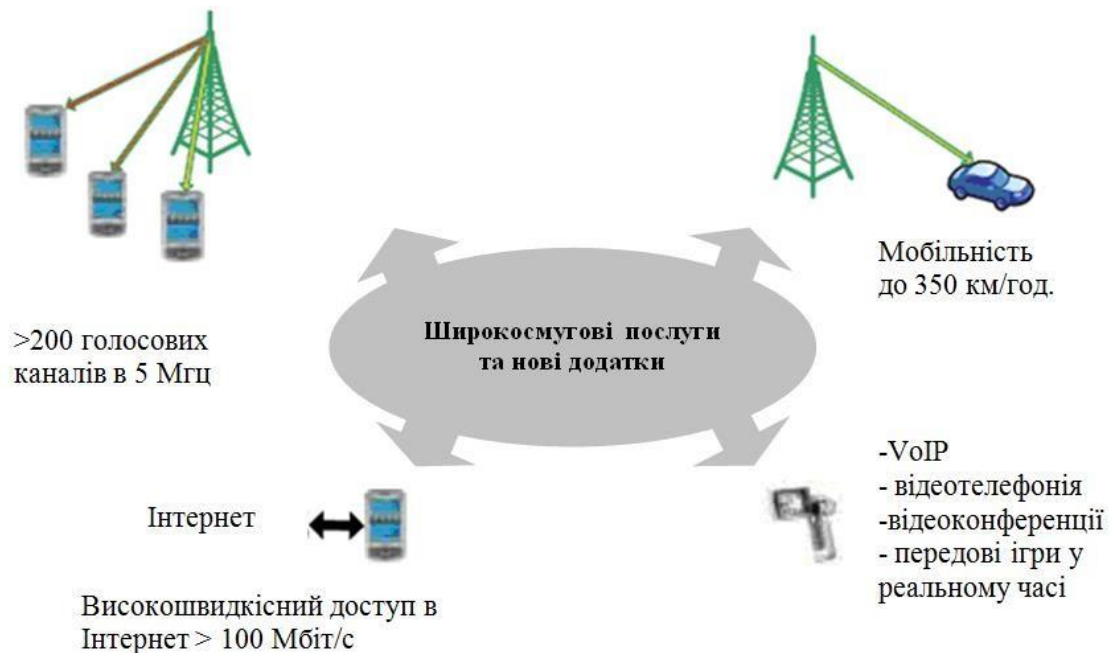


Рис. 1.2 Широкополосні послуги і нові застосування, стимулюючі еволюцію систем 3G

В результаті проведених досліджень єдиною відповідною технологією виявилася OFDM – ортогонального частотного ущільнення, що володіє властивостями, які дозволяють забезпечити тенденції часу. Тобто, LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогональних OFDM несучих, що транслюються за допомогою багатопроменевих систем MIMO

та на еволюційній системній архітектурі мережі SAE. Суть технології MIMO заключається в тому, що передавальні і приймальні антени рознесені так, щоб досягти слабкої кореляції між сусідніми антенами. Це важливо для сучасних систем доступу на базі LTE, які вимагають досягнення максимальних швидкостей передачі інформації в порівнянні з іншими технологіями [8, 13]. Структурна схема мережі LTE представлена на рис. 1.3.

Також принциповим рішенням є організація дуплексного розділення каналів, яке може бути як частотним (FDD), так і часовим (TDD).

Обмін між базовою станцією (БС) і мобільною станцією (МС) будується за принципом передавання радіокадрів, що циклічно повторюються. Тривалість радіокадра становить 10 мс. В технології LTE всі часові параметри розраховуються на основі мінімального часового кванта:

$$T_s = 1 / (2048 \cdot \Delta f),$$

де Δf – крок між носівними, який дорівнює 15 кГц.

Таким чином, тривалість радіокадру складає $307200 T_s$. Сам же квант часу відповідає тактовій частоті 30,72 МГц, яка кратна стандартній для 3G-систем частоті 3,84 МГц.

Технологіям LTE Advanced (LTE-A) і Mobile WiMAX Release 2 (також відомі, як WirelessMAN-Advanced або IEEE 802.16m) присвоєно офіційне позначення IMT-Advanced, що дозволяє їх кваліфікувати як технологій 4G [6].

Специфікації будь-якого покоління зв'язку, як правило, відносяться до зміни фундаментального характеру обслуговування, технологій передачі, більш високим піковим бітрейтом, новими смугами частот, ширшим каналом смуги пропускання, а також більшою місткістю для множини одночасної передачі даних (більш високій системі спектральної ефективності).

У березні 2008 року сектор радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU) визначив ряд вимог для стандарту міжнародного мобільного широкосмугового зв'язку 4G, що дістав назву специфікацій International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced), зокрема встановивши вимоги до швидкості передачі даних для обслуговування абонентів: швидкість 100 Мбіт/с

повинна надаватися високорухливим абонентам (наприклад, потягам і автомобілям), а абонентам з невеликою рухливістю (наприклад пішоходам і фіксованим абонентам) повинна надаватися швидкість 1 Гбіт/с [145, 148-150].

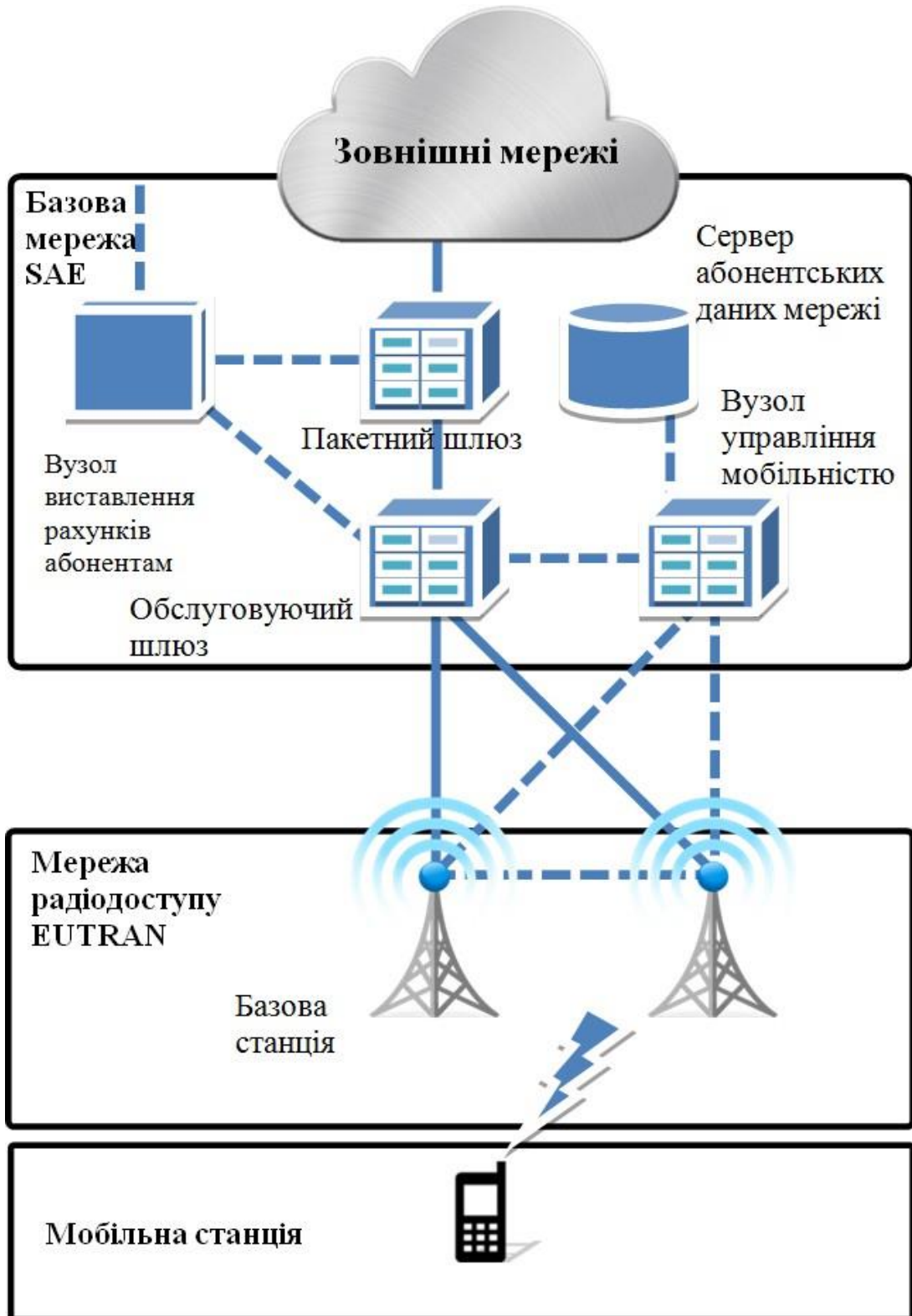


Рис. 1.3 Структурна схема мережі LTE

Основні дослідження при створенні систем зв'язку четвертого покоління ведуться у напрямі використання пакетних протоколів передачі даних. Для пересилки даних використовується протокол IPv4; в майбутньому планується підтримка IPv6.

В грудні 2008 року затверджена версія стандартів 3GPP (Release 8), фіксуючі архітектурні і функціональні вимоги до систем LTE.

Передові міжнародні мобільні телекомунікаційні системи (IMT-Advanced), визначені сектором радіозв'язку МСЕ, повинні відповідати деяким вимогам, щоб вважатися мережами покоління 4G:

- базуються на комутації пакетів, використовуючи протоколи IP;
- пікові швидкості передачі даних від 100 Мбіт/с для користувачів з високою мобільністю (від 10 км/год до 120 км/год) і від 1 Гбіт/с для користувачів з низькою мобільністю (до 10 км/год);
- використовуються мережеві ресурси, що динамічно розділяються, для підтримки більшої кількості одночасних підключень до одного стільника;
- їх масштабована смуга частот каналу 40 МГц;
- мінімальні значення для пікової спектральної ефективності 15 біт/с/Гц в низхідному каналі і 6,75 біт/с/Гц у висхідному каналі (мається на увазі, що швидкість передачі інформації 1 Гбіт/с в низхідному каналі має бути можлива при смузі пропускання радіоканалу менше 67 МГц);
- спектральна ефективність на сектор в низхідному каналі від 1,1 до 3 біт/с/Гц/сектор і у висхідному каналі від 0,7 до 2,25 біт/с/Гц/сектор;
- плинний хендовер через різні мережі;
- висока якість мобільних послуг.

Подальший розвиток технологія LTE одержала у рамках 3GPP як продовження CDMA і UMTS спочатку не відносився до четвертого покоління мобільного зв'язку [9, 36, 37].

Міжнародним союзом електрозв'язку як стандарт зв'язку, що відповідає усім вимогам безпроводового зв'язку четвертого покоління, було обрано стандарт 3GPP Release 10 (LTE Advanced), який уперше був представлений японською

компанією NTT DoCoMo. Оскільки цей стандарт можна реалізувати на існуючих стільникових мережах, він став популярніший у операторів стільникового зв'язку. У квітні 2008 року компанія Nokia заручилася підтримкою ряду компаній (Sony Ericsson, NEC) для розвитку стандарту LTE і надання цьому стандарту конкурентоспроможності проти WiMAX [5].

У 2009 року Шведська телекомунікаційна компанія TeliaSonera, спільно з Ericsson оголосила про запуск першої в світі комерційної мережі четвертого покоління стандарту LTE в Стокгольмі і Осло.

Сформульовані основні вимоги, яким задовольняє LTE Advanced, по суті, це вимоги до стандарту мобільних мереж четвертого покоління (4G):

- максимальна швидкість передачі даних в низхідному радіоканалі до 1 Гбіт/с, у висхідному – до 500 Мбіт/с (середня пропускна спроможність на одного абонента – в три рази вище, ніж в LTE);
- смуга пропускання в низхідному радіоканалі – 70 МГц, у висхідному – 40 МГц;
- максимальна ефективність використання спектру в низхідному радіоканалі – 30 біт/с/Гц, у висхідному – 15 біт/с/Гц (втричі вище, ніж в LTE);
- повна сумісність і взаємодія з LTE й іншими 3GPP системами.
- радіоканали (до 100 МГц), асиметричне розділення смуг пропускання між висхідним і низхідним каналом в разі частотного дуплексу; більш за удосконалену систему кодування і виправлення помилок; гібридну технологію OFDMA і SC-FDMA для висхідного каналу, а також передові рішення в області антенних систем (MIMO). Ця технологія сьогодні знаходиться у стадії динамічного розвитку.

1.2 Короткий розгляд основних параметрів технології LTE

LTE володіє високою гнучкістю радіоінтерфейсу. Тип мережі носить назву E-UTRAN — Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (універсальна наземна мережа радіо доступу яка розвивається). Основні параметри технології:

Технологія множинного доступу:

прямий канал (Downlink — DL) — OFDMA;

зворотний канал (Uplink — UL) — SC-FDMA;

Робочий діапазон частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц;

1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 — 2,5 ГГц; 2,6 — 2,7 ГГц.

Бітова швидкість:

прямий канал (DL) MIMO 2TX Ч 2RX: 100 - 300 Мбіт/с.;

зворотний канал (UL): 50 - 172,8 Мбіт/с.

Ширина смуги радіоканалу: 1,4 - 20 МГц.

Радіус: 5 - 30 км.

Ємність (кількість обслуговуваних абонентів):

більше 200 користувачів при смузі 5 МГц;

більше 400 користувачів при смузі більше 5 МГц.

Мобільність: швидкість переміщення до 250 км/г.

Параметри MIMO:

прямий канал (DL): 2TX Ч 2RX, 4TX Ч 4RX;

зворотний канал (UL): 2TX Ч 2RX.

Значеннями затримки (latency): 5мс.

Спектральна ефективність: 5 біт/сек/Гц.

Підтримувані типи модуляції:

прямий канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.

зворотний канал (UL): QPSK, 16 QAM.

Дуплексний поділ каналів: FDD, TDD.

1.3 Архітектура мережі стандарту LTE

Архітектура мережі LTE розроблена так, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку з «безшовною» мобільністю, мінімальними затримками доставки пакетів і високими показниками якості обслуговування. Основною метою розробників стандарту LTE було максимально можливе спрощення структури мережі і виключення дублюючих функцій мережевих протоколів, характерних для системи 3G UMTS.

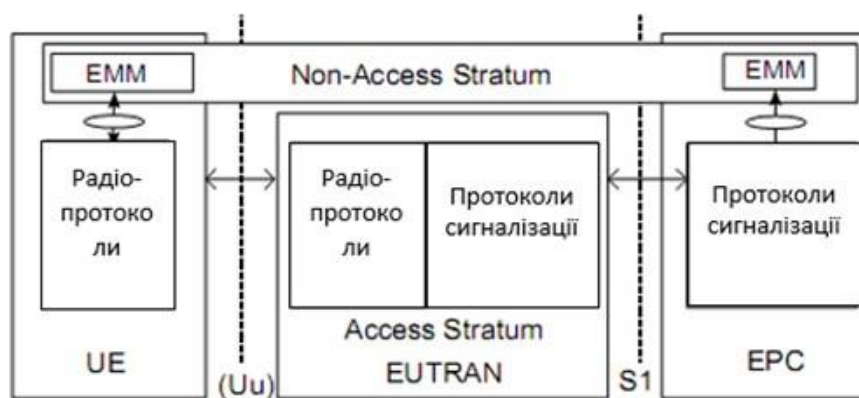


Рис. 1.4. Узагальнена структура мережі LTE

В архітектурі стандарту LTE вся мережева взаємодія відбувається між двома вузлами: базовою станцією (eNB) і блоком управління мобільністю (MME), який включає в себе мережевий шлюз GW (Gateway).

На фізичному рівні мережа LTE складається з двох компонентів: мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE (System Architecture Evolution).

Мережа E-UTRAN складається з базових станцій eNB. Базові станції є елементами повної мережі і з'єднані між собою за принципом «один з одним». Кожна eNB має інтерфейс S1 з базовою мережею SAE, побудованою за принципом комутації пакетів. На eNB в мережах LTE покладені такі функції: управління радіоресурсами, шифрування потоку даних користувача, маршрутизація в користувальницькій площині пакетів даних.

Базова мережа SAE, звана ще EPC (Evolved Packet Core), містить вузли MME/UPC, що складаються з логічних елементів MME і UPC. Логічний елемент

MME (Mobility Management Entity) відповідає за вирішення завдань управління мобільністю абонентського терміналу і взаємодіє з базовими станціями за допомогою протоколів площини управління C-plane. Крім цього, MME розподіляє повідомлення виклику (paging) до eNB, управляє протоколами площини управління, призначає ідентифікатори абонентських терміналів, забезпечує безпеку мережі, перевіряє справжність повідомлень абонентів та управляє роумінгом.

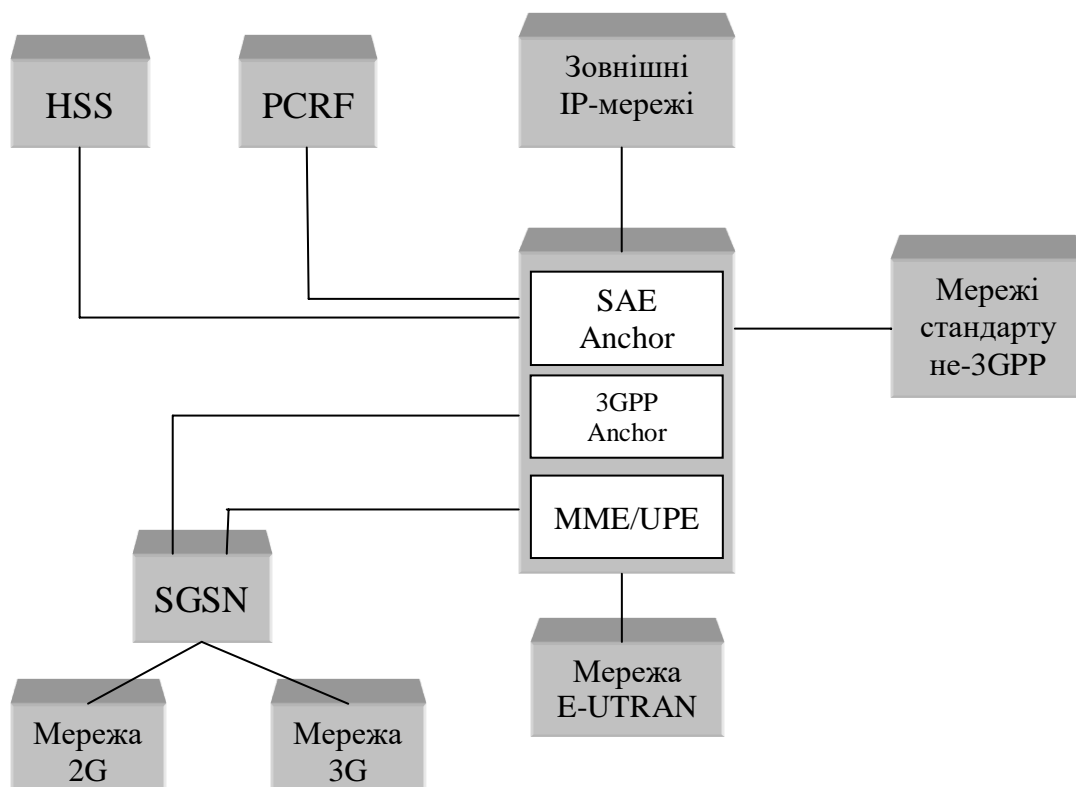


Рис.1.5. Архітектура базової мережі SAE

Логічний елемент UPE (User Plane Entity) відповідає за передачу даних користувачів згідно з протоколами площини користувача U-plane. Елемент UPE виконує наступні функції: стиснення заголовків IP-протоколів, шифрування потоків даних, термінацію пакетів даних.

Архітектура базової мережі SAE являє собою пакетний PS-домен системи LTE, який надає як голосові, так і всю сукупність IP-послуг на основі технологій пакетної комутації даних. В основу базової мережі SAE покладена концепція «все через IP» і та обставина, що доступ до неї може здійснюватися як через мережі

радіодоступу другого і третього покоління (UTRAN/GERAN), так і через мережі не-3GPP (WiMAX, Wi-Fi), а також через мережі, що використовують провідні IP-технології (ADSL+, FTTH).

1.4 Принципи побудови радіоінтерфейсу за технологією LTE

Технологія LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогональних несучих OFDM, багатоантенні системи MIMO і еволюційна системна архітектура мережі SAE.

Принципово те, що дуплексний поділ каналів може бути як частотним (FDD), так і часовим (TDD). Це дозволяє операторам дуже гнучко використовувати частотний ресурс. Таке рішення відкриває шлях на ринок тим компаніям, які не володіють спареними частотами. З іншого боку, підтримка FDD дуже зручна для традиційних стільникових операторів, оскільки у них спарені частоти є "за визначенням" – так організовані практично всі існуючі системи стільникового зв'язку. Сама ж по собі система FDD істотно більш ефективна в плані використання частотного ресурсу, ніж TDD, – в ній менше накладних витрат (службових полів, інтервалів тощо).

Обмін між базовою станцією (БС) і мобільною станцією (МС) будується за принципом циклічно повторюваних кадрів (у термінології LTE – радіокадр). Загальна тривалість радіокадра – 10 мс. Всі часові параметри в специфікації LTE прив'язані до мінімального часового кванту $T_s = 1 / (2048 \cdot \Delta f)$, де Δf – крок між піднесучими, стандартно – 15 кГц. Таким чином, тривалість радіокадра – $307200 T_s$. Сам же квант часу відповідає тактовій частоті 30,72 МГц, що кратно стандартній в 3G – системах (WCDMA з смугою каналу 5 МГц) частоті обробки 3,84 МГц ($8 \times 3,84 = 30,72$). Стандарт LTE передбачає два типи радіокадрів. Радіокадр типу 1 призначений для частотного дуплексування – як для повного дуплексу, так і для напівдуплексу. Такий кадр складається з 20 слотів (тривалістю 0,5 мс), нумерованих від 0 до 19. Два суміжні слоти утворюють субкадр (рис. 1.4). При повнодуплексному режимі радіокадри у висхідному і

низхідному каналах передаються паралельно, але з оговореним у стандарті часовим зсувом.

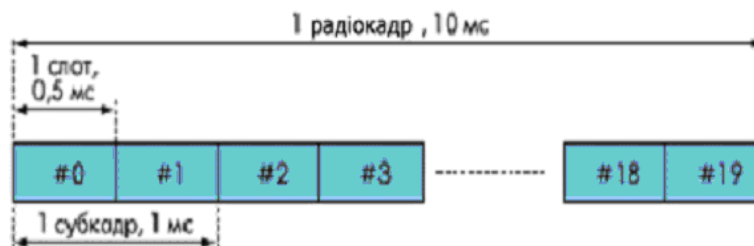


Рис. 1.6. Структура кадру LTE при частотному дуплексуванні

Радіокадр типу 2 (рис. 1.7) призначений тільки для часового дуплексування. Він складається з двох полів тривалістю по 5 мс. Кожен напівкадр включає 5 субкадрів тривалістю 1 мс. Стандарт передбачає два цикли часового дуплексування – 5 і 10 мс. У першому випадку 1-й і 6-й субкадри ідентичні і містять службові поля DwPTS, UpPTS і захисний інтервал GP. При 10-мс циклі TDD 6-й субкадр використовується для передачі даних у низхідному каналі.

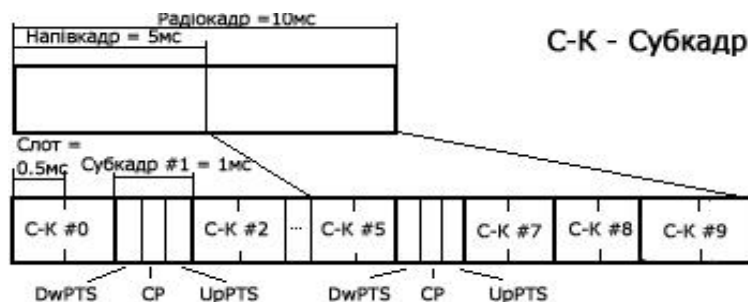


Рис. 1.7. Структура кадру LTE при часовому розділенні дуплексних каналів

Субкадри 0 і 5, а також поле DwPTS завжди відносяться до низхідного каналу, а субкадр 2 і поле UpPTS – до висхідного. Розподіл решти субкадрів визначається за табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Розподілення субкадрів у радіо кадрі типу 2, D – низхідний канал,

U – висхідний канал, S – субкадр зі спеціальними полями.

Конфігурація	Цикл TDD, мс	Номер субкадру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Можливо кілька варіантів тривалості полів DwPTS, UpPTS і GP, але їх сума завжди дорівнює 1 мс. Як уже зазначалося, в LTE використовується модуляція OFDM, добре досліджена в системах DVB, Wi-Fi і WiMAX. Нагадаємо, що технологія OFDM передбачає передачу широкосмугового сигналу за допомогою незалежної модуляції вузькосмугових піднесучих виду: $S_k(t) = ak \cdot \sin[2\pi(f_0k\Delta f)]$ розташованих з певним кроком по частоті Δf . Один OFDM-символ містить набір модульованих піднесучих. У часовій області OFDM-символ включає поле даних (корисна інформація) і так званий циклічний префікс CP (Cyclic Prefix) – повторно передається фрагмент кінця попереднього символу. Призначення префікса – боротьба з міжсимвольною інтерференцією у приймачу внаслідок багатопроменевого розповсюдження сигналу. Відбитий сигнал, що приходить з затримкою, потрапляє в зону префікса і не накладається на корисний сигнал. У LTE прийнятий стандартний крок між піднесучими $\Delta f = 15$ кГц, що відповідає тривалості OFDM-символу 66,7 мкс. Кожному абонентському пристрою (АП) в кожному слоті призначається певний діапазон каналних ресурсів у частотно часовій області (рис. 1.8) – ресурсна сітка.

Комірка ресурсної сітки – так званий ресурсний елемент – відповідає одній піднесучій в частотній області і одному OFDM–символу в тимчасовій.

Ресурсні елементи утворюють ресурсний блок – мінімальну інформаційну одиницю в каналі. Ресурсний блок займає 12 піднесучих (тобто 180 кГц) і 7 або 6 OFDM–символів, в залежності від типу циклічного префікса (табл. 1.2) – так, щоб загальна тривалість слота становила 0,5 мс.

Таблиця 1.2

Фізичний префікс у низхідному каналі при $\Delta f=15\text{кГц}$

Тип префіксу	Довжина префіксу		Довжина слоту OFDM-символів
	Ts	мкс	
Стандартний			7
Перший символ слоту	160	5,2	
Інші 6 символів слоту	144	4,7	
Розширений	512	16,7	6

Число ресурсних блоків NRБ у ресурсній сітці залежить від ширини смуги каналу і становить від 6 до 110 (ширина частотних смуг висхідного / низхідного каналів у LTE – від 1,4 до 20 МГц). Ресурсний блок – це мінімальний ресурсний елемент, що виділяється абонентському пристрою планувальником базової станції. Про розподіл ресурсів у кожному слоті базова станція повідомляє в спеціальному керуючому каналі.

Загальна тривалість префікса 4,7 мкс дозволяє боротися з затримкою відбитого сигналу, що пройшов шлях на 1,4 км більше, ніж прямо поширюваний сигнал. Для систем стільникового зв'язку в умовах міста цього звичайно цілком достатньо. Якщо ж ні – використовується розширений префікс, що забезпечує придушення міжсимвольної інтерференції в осередках радіусом до 120 км. Такі величезні осередки корисні для різного роду ширококомовних сервісів (MBMS), таких як мобільне телевізійне мовлення. Для цих же режимів (тільки в низхідному каналі) передбачена особлива структура слота, з кроком між піднесучими 7,5 Гц і циклічним префіксом 33,4 мкс. У слоті при цьому всього три OFDM–символи.

Особливий випадок широкомовного сервісу представляє режим MBSFN (мультимедійний широкомовний сервіс для одночастотної мережі). У цьому режимі кілька БС в певній MBSFN-зоні одночасно і синхронно транслюють загальний широкомовний сигнал.

Кожна піднесуча модулюється за допомогою 4-, 16- і 64-позиційної квадратурної фазово-амплітудної модуляції (QPSK, 16-QAM або 64-QAM). Відповідно, один символ на одній піднесучій містить 2, 4 або 6 біт. При стандартному префіксі символна швидкість складе 14000 символів / с, що відповідає, при FDD-дуплексі, агрегатній швидкості від 28 до 84 кбіт/с на піднесучій. Сигнал із смугою 20 МГц містить 100 ресурсних блоків або 1200 піднесучих, що дає загальну агрегатну швидкість в каналі від 33,6 до 100,8 Мбіт/с.

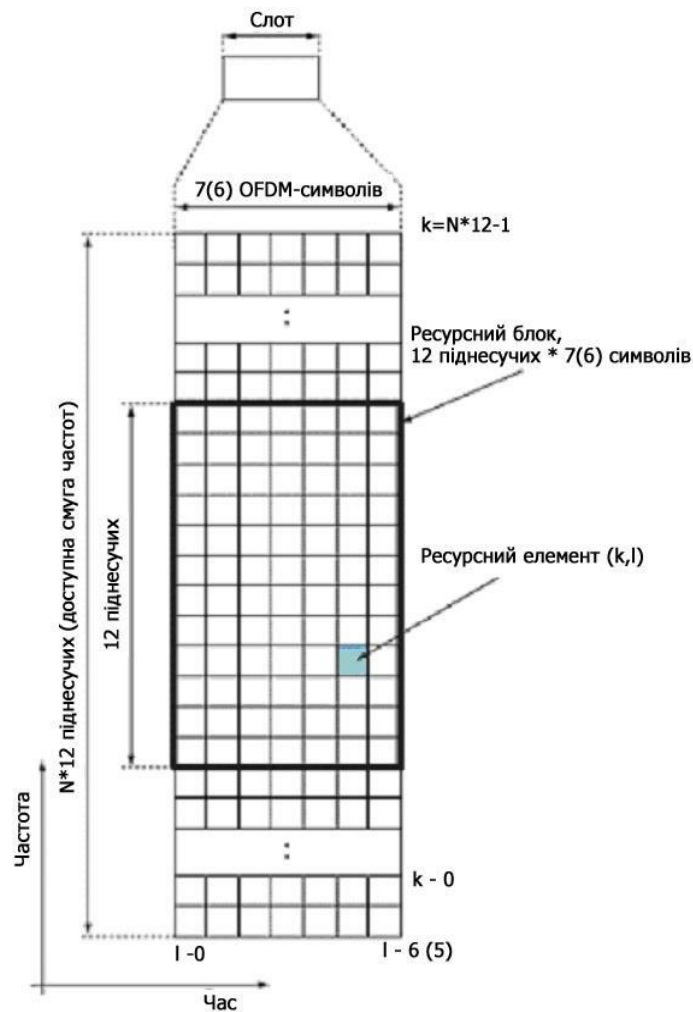


Рис. 1.8. Ресурсна сітка LTE при стандартному кроці піднесучих $\Delta f = 15$ кГц

Специфікації LTE визначають декілька фіксованих значень для ширини висхідного і низхідного каналу між БС і АС (у мережах E-UTRA) (табл. 3). Оскільки в OFDM використовується швидке перетворення Фур'є (ШПФ), число формальних піднесучих для спрощення процедур цифрової обробки сигналу має бути кратним $N = 2n$ (тобто 128, 256, ..., 2048).

Таблиця 1.3

Параметри каналу передачі між БС і АП

Ширина каналу, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число ресурсних блоків	6	15	25	50	75	100
Число піднесучих	72	180	300	600	900	1200
Число номінальних несучих для ШПФ	128	256	512	1024	1536	2048
Тактова частота, МГц	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30,72

При цьому частота вибірок повинна становити $F_s = \Delta f \cdot N$. При заданих в стандарті значеннях вона виявляється кратною 3,84 МГц – стандартній частоті вибірок в технології WCDMA. Це дуже зручно для створення багатомодових пристроїв, що підтримують як WCDMA, так і LTE. Зрозуміло, що при формуванні сигналу амплітуди "зайвих" піднесучих (включаючи центральну піднесучу каналу) вважаються рівними нулю.

1.5 Спектр послуг, що надаються мережами LTE

Послуги мереж LTE мають ширший спектр в порівнянні з мережами попередніх поколінь. Перш за все це пов'язано з високою пропускнуою здатністю мереж і підвищеною швидкістю передачі інформації. Також важливу роль відіграє перехід на концепцію «все через IP».

Основні послуги мереж LTE є:

- передача мови (пакетна);
- робота з E-Mail;

- передача мультимедійних повідомлень;
- мультимедійне мовлення, яке включає в себе потокові послуги, послуги із завантаження файлів, телевізійні послуги та ін.;
- VoIP (відео конференції та відео мовлення);
- онлайн-ігри.

2 РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ, ТА КІЛЬКОСТІ МОЖЛИВИХ АБОНЕНТІВ МЕРЕЖІ

При побудові мережі LTE існує ряд відмінностей від процесу планування інших технологій бездротового радіодоступу. Головна з них - це використання нового типу множинного доступу на базі технології OFDM, в зв'язку з чим з'являються нові поняття і змінюються алгоритми проектування.

Процес планування радіомережі складається з двох етапів:

- формування максимальної площі покриття;
- забезпечення необхідної ємності.

Планування радіомережі LTE буде проводитися в сільській місцевості, а це означає, що щільність абонентів буде невисока і базові станції повинні встановлюватися на максимальній відстані одна від одної з метою закрити кожною eNB якомога більшу територію. У зв'язку з цим потрібно підібрати відповідний частотний діапазон. В даному випадку потрібно керуватися правилом, що чим нижча частота, тим далі поширення радіосигналу. Частотний діапазон 791 - 862 МГц цілком підійде для виконання цього завдання. Тип дуплексу виберемо частотний - FDD.

Пропускна здатність, або ємність, мережі оцінюють, базуючись на середніх значеннях спектральної ефективності стільників в певних умовах.

Спектральна ефективність системи мобільного зв'язку є показник, який вираховується як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц використовуваної смуги частот (біт/с/Гц). Вона є показником ефективності використання частотного ресурсу, а також характеризує швидкість передавання інформації в заданій смузі частот.

Спектральна ефективність може розраховуватися як відношення швидкості передачі даних всіх абонентів мережі в певній географічній області (соті, зоні) на

1 Гц смуги частот (біт/с/Гц/сота), а також як відношення максимальної пропускної здатності мережі до ширини смуги одного частотного каналу.

Середня спектральна ефективність для мережі LTE, ширина смуги частот якої дорівнює 20 МГц, для частотного типу дуплексу FDD на підставі 3GPP Release 9 для різних конфігурацій MIMO, представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Середня спектральна ефективність для мережі LTE

Лінія	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц)
UL	1×2	1,254
	1×4	1,829
DL	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

Для системи FDD середня пропускна здатність 1 сектора eNB може бути отримана шляхом прямого множення ширини каналу на спектральну ефективність каналу:

$$R = S \cdot W, \quad (2.1)$$

де S - середня спектральна ефективність (біт / с / Гц);

W - ширина каналу (МГц); $W = 10$ МГц.

Для лінії DL:

$$R_{DL} = 3,43 \cdot 10 = 34,3 \text{ Мбіт/с.}$$

Для лінії UL:

$$R_{UL} = 1,829 \cdot 10 = 18,29 \text{ Мбіт/с.}$$

Середня пропускна здатність базової станції eNB обчислюється шляхом множення пропускної здатності одного сектора на кількість секторів базової станції; число секторів eNB прийом рівний 3, тоді:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \cdot 3 \quad (2.2)$$

Для лінії DL:

$$R_{eNB,DL} = 34,3 \cdot 3 = 102,9 \text{ Мбіт/с.}$$

Для лінії UL:

$$R_{eNB,UL} = 18,29 \cdot 3 = 54,87 \text{ Мбіт/с.}$$

Наступним етапом буде визначення кількості сот в планованій мережі LTE.

Для розрахунку числа сот в мережі необхідно визначити загальне число каналів, що виділяються для розгортання проектованої мережі LTE. Загальна кількість каналів N_k розраховується за формулою:

$$N_k = \left[\frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k} \right], \quad (2.3)$$

де Δf_{Σ} - смуга частот, виділена для роботи мережі і рівна 71 МГц;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу;

Під радіоканалом в мережах LTE визначається таке поняття як ресурсний блок (РБ), який має ширину 180 кГц, $\Delta f_k = 180$ кГц.

$$N_k = \frac{71000}{180} \approx 394 \text{ к}$$

Далі визначимо число каналів $N_{k,сек}$, яке необхідно використовувати для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$N_{k,сек} = \left[\frac{N_k}{3} \right], \quad (2.4)$$

де N_k – загальне число каналів;

$N_{кл}$ – розмірність кластера (вибирають з урахуванням кількості секторів eNB, прийmemo рівним 3);

$M_{сек}$ – кількість секторів eNB, прийняте 3.

$$N_{к к} = \left\lfloor \frac{395}{3 \cdot 3} \right\rfloor \quad (3 \text{ к })$$

Далі визначимо число каналів трафіку в одному секторі однієї соти $N_{кт.сек}$.

Число каналів трафіку розраховується за формулою:

$$N_{к к} = N_k \cdot N_{к к}, \quad (2.5)$$

де $N_{кмл}$ – число каналів трафіку в одному радіоканалі, яке визначається стандартом радіодоступу (для OFDMA $N_{кмл} = 1..3$); для мережі LTE виберемо $N_{кмл} = 1$.

$$N_{к к} = 1 \cdot 3 \quad (3 \text{ к })$$

Відповідно до моделі Ерланга, представленої у вигляді графіка на рис. 2.1, визначимо допустиме навантаження в секторі однієї соти $A_{сек}$ при допустимому значенні ймовірності блокування рівним 1% і розрахованим вище значенні $N_{кт.сек}$. Визначимо, що $A_{сек} = 50$ Ерл.

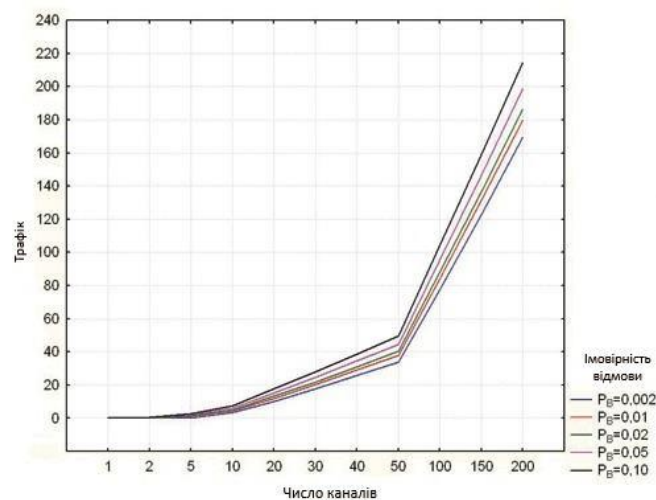


Рис. 2.1. Залежність допустимого навантаження в секторі від числа каналів трафіку і ймовірності блокування

Число абонентів, яке буде обслуговуватися однією eNB, визначається за формулою:

$$N_{аб.eNB} = \frac{A_I}{k} \cdot \left[\frac{A_I}{k} \right], \quad (2.6)$$

де A_I – середня за всіма видами трафіку абонентське навантаження від одного абонента; значення A_I може складати (0,04...0,2) Ерл. Так як проєктована мережа планується використовуватися для високошвидкісного обміну інформацією, то значення A_I приймемо рівним 0,2 Ерл. Таким чином:

$$N_{аб.eNB} = 3 \cdot \left[\frac{50}{0,2} \right] \approx 750 \text{ (аб)}. \quad (2.6)$$

Число базових станцій eNB в проєктованій мережі LTE знайдемо за формулою:

$$N_{eNB} = \left[\frac{N_{аб}}{N_{аб.eNB}} \right] + 1 \quad (2.7)$$

де $N_{аб}$ – кількість потенційних абонентів. Кількість потенційних абонентів визначаємо як 20% від загального числа жителів. Загальна кількість жителів району становить 24500 осіб. Таким чином, кількість потенційних абонентів складе 4900 осіб, тоді:

$$N_{eNB} = \left[\frac{4900}{750} \right] + 1 \approx 7 \text{ (eNB)}.$$

Середню плановану пропускну здатність RN проєктованій мережі визначимо шляхом множення кількості eNB на середню пропускну здатність eNB. Формула набуде вигляду:

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \cdot N_{eNB}, \quad (2.8)$$

$$R_N = (102,9 + 54,87) \cdot 7 \approx 1104,39 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Далі дамо перевірочну оцінку ємності проекрованої мережі і порівняємо з розрахованою. Визначимо усереднений трафік одного абонента в ГНН:

$$R_{\text{аб}} = \frac{T_m}{N_{\text{ГНН}} \cdot N_{\text{дн}}} \cdot q, \quad (2.9)$$

де T_m - середній трафік одного абонента на місяць, $T_m = 30$ Гбайт/міс;

q – коефіцієнт для сільської місцевості, $q = 2$;

$N_{\text{ГНН}}$ – число ГНН в день, $N_{\text{ГНН}} = 7$;

$N_{\text{дн}}$ – число днів у місяці, $N_{\text{дн}} = 30$.

$$R_{\text{аб}} = \frac{30}{7 \cdot 30} = 0,14 \text{ (Гбайт/дн)}$$

Визначимо загальний трафік проекрованої мережі в ГНН $R_{\text{заг./ГНН}}$ за формулою:

$$R_{\text{заг./ГНН}} = R_{\text{аб}} \cdot N_{\text{акт.аб}}, \quad (2.10)$$

де $N_{\text{акт.аб}}$ – число активних абонентів у мережі; визначимо число активних абонентів у мережі як 80% від загальної кількості потенційних абонентів $N_{\text{аб}}$, тобто $N_{\text{акт.аб}} = 3920$ абонентів.

$$R_{\text{заг./ГНН}} = 0,14 \cdot 3920 = 548,8 \text{ (Гбайт/дн)}. \quad (2.11)$$

Отже, $R_N > R_{\text{заг./ГНН}}$. Ця умова показує, що проектована мережа не буде піддаватися навантаженням в ГНН.

3 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ LTE

3.1. Основні види та властивості систем LTE, як складних систем

Рівень економічного розвитку будь-якої країни на даний час визначається ступенем впровадження новітніх технологій. Особливе значення мають новітні технології, які окреслюють напрями науково-технічного прогресу. Характерною ознакою глобального ринку, що формується при цьому – це проникність процесів створення, обробки та передачі інформації. Системи мережі LTE переживають етап динамічного зросту, зумовлений не тільки вимогами інформаційного обміну, але й можливостями новітніх технологій по забезпеченню тривалої якісної роботи засобів. Відповідно набуває особливої ваги визначення та вирішення різноманітних наукових проблем і задач підвищення показників якості систем і пристроїв управління – від загальномережних та загальнооператорських задач оптимізації управління, пов'язаних з побудовою надійних, ефективних, гнучких структур до підвищення надійності, точності, швидкодії окремих компонент - систем управління та контролю їх ефективності. [17, 18, 23, 24]

Розглянуто стан, перспективи використання сучасних систем зв'язку. Проведено системний аналіз видів систем: статичних (безінерційних) і динамічних (інерційних). Кожній з них як об'єкту дослідження властиві певні особливості, які характеризують різні сторони їхнього функціонування. При вивченні інтегральних якостей систем важливу роль відіграє цілісність, що відображає залежність між елементами. Коли вивчається здатність системи реагувати на вхідні впливи, то визначається така властивість як причинність. Розподіл впливів на керуючі (корисні) і збуджуючі діяння (негативні) дає можливість визначити керованість, стійкість і здатність адаптуватися. До основних структурних характеристик належать зв'язність і складність систем. Проведення досліджень основних властивостей систем зв'язку і визначення їх

характеристик дають змогу ефективно підвищити показники якості систем управління телекомунікаційних мереж України.

3.2. Властивості складних систем

3.2.1. Цілісність

Цілісність є однією із найхарактерніших властивостей систем, що проявляється у виникненні нових інтегральних якостей, не властивих для утворюючих систему компонентів. Так, властивості системи зв'язку щодо забезпечення стійкості й інших показників є не тільки простою сумою властивостей елементів, з яких вона складається. [48-50] І в системах живої природи (мурашників, бджолиних родин, а також груп людей, націй і т.п.) системні властивості також не є простою сумою властивостей індивідуумів. Властивості цілісності проявляються в системі із двох основних сторін:

- властивості системи як цілого не зводяться до суми властивостей елементів або частин;

- властивості системи як цілого залежать від властивостей елементів і частин, модифікація однієї частини викличе модифікації у всіх інших частинах та у всій системі.

Істотним проявом властивостей цілісності є нові взаємини системи як цілого з навколишнім, відмінні від взаємодії окремих елементів із цим оточенням. Властивість цілісності пов'язане з метою, для виконання якої призначена система.

Системи можуть мати альтернативну цілісності властивість - фізичну адитивність, незалежність. Властивість фізичної адитивності (незалежності елементів) проявляється в системі, яка ніби розпалася на незалежні елементи. Тому у випадку, коли всі елементи стають незалежними, то говорити про систему немає змісту. Таким чином, будь-яка система перебуває між двома крайніми станами: абсолютною цілісністю, що досягається при максимальному зв'язку між елементами, і абсолютною адитивністю, коли ці зв'язки відсутні.

Термін "з'єднаність" елементів систем підкреслює їхню взаємозалежність. Іноді, розглядаючи еволюцію систем, вводять такі поняття, як факторизація

(прагнення системи до стану з усе більш незалежними елементами) і прогресуюча систематизація, цілісність (прагнення системи до більшої цілісності, до зростання залежності між елементами).

3.2.2. Причинність

Причинністю (каузальністю) називають властивість систем, що визначає залежність вихідної реакції в будь-який момент часу винятково від вхідних впливів. Тобто властивість системи реагувати тільки на існуючі, а не на майбутні впливи. Із причинністю пов'язані властивості непередбачуваності й попередньої обумовленості. У непередбачуваній системі модифікації вихідної реакції не можуть випереджати зміни вхідного впливу. Відсутність попередньої обумовленості означає існування такого часу $t' \in T$, що для будь-яких $t \geq t'$ майбутня еволюція системи визначається винятково попередніми спостереженнями й немає жодної потреби звертатися до будь-яких допоміжних множин типу початкових умов. Вихід $y(t)$ непередбаченої системи можна визначити, знаючи тільки поточний стан системи $z(t)$ і поточне значення вхідного впливу $x(t)$.

У техніці причинність виступає як властивість фізичної реалізації пристроїв або систем.

3.2.3. Стійкість

Стійкість є одним із найважливіших властивостей системи, без якої системи не можуть існувати. Для простих систем характерні пасивні форми стійкості. Вони пов'язані з такими властивостями, як міцність, збалансованість, гомеостатизм (повернення в рівноважений стан при виході з нього). Для складних організаційно-технічних систем, у тому числі систем зв'язку, характерні активні форми стійкості: надійність, живучість, заводозахист. Очевидно, активні форми стійкості варто розглядати з погляду уразливості системи під впливом зовнішніх впливів. При цьому впливу може піддаватися як окремий елемент (група елементів), так і відповідні зв'язки між елементами системи. Стійкість, що

визначається при впливі на відповідні зв'язки між елементами, характеризує властивості зв'язності цієї системи.

Виходячи із причинно-наслідкового аспекту зв'язків, стійкість трактують як властивість незначних модифікацій причин викликати відповідно незначні модифікації наслідків. Тобто система вважається стійкою, якщо незначні вхідні впливи викличуть незначні вихідні її реакції. З даного визначення витікає, що стійкість характерна для динамічних систем, які змінюються з часом і (або) у просторі. Тому іноді говорять про стійкість руху системи.

Для стійких систем характерна наявність врівноважених станів, до яких система приходять внаслідок надходження або зняття зовнішніх впливів. Для складних систем, у тому числі систем зв'язку, визначення таких рівноважних станів відіграє принципову роль, оскільки ці стани характеризують можливості систем вирішувати свої задачі після надходження зовнішніх впливів. До таких врівноважених станів відносяться:

- ентропійний, до нього система приходять внаслідок витрат наявного запасу ресурсів або руйнування своєї структури;
- гомеостатичний, що припускає збереження структури системи при будь-яких зовнішніх впливах;
- морфогенетичний, пов'язаний з перебудовою структури системи під час будь-яких впливів для збереження необхідних властивостей.

Очевидно, що стійкість системи залежить від її типу, і, у першу чергу, від її властивостей:

- незначне відхилення від деякого руху при незначних збурюваннях початкового стану системи (іноді незначні збурювання початкового стану беруться не довільно, а за деяких додаткових умов; іноді незначні збурювання й відхилення визначається лише деякими параметрами);
- зберігати деякі риси фазового стану при незначних змінах закону руху ("зрушення" системи);
- у процесі руху залишатися в обмеженій зоні фазового простору;
- у процесі руху майже повертатися до свого початкового стану.

На загальносистемному рівні звичайно формалізують поняття стійкості підмножини простору станів. Так, якщо $\hat{d} \in D$ і $\hat{e} \in E$ відповідають причині й наслідку деякого явища й існує відображення F , $F(\hat{d}) = \hat{e}$, то пара: (\hat{d}, \hat{e}) , називається стійкою відносно заданих сімейств підмножин D і E (Θ_D і Θ_E) тільки в тому випадку, коли

$$(\forall \alpha \in \overline{N(\hat{e})})(\exists \beta \in \overline{N(\hat{\alpha})})(\forall \alpha)(\alpha \in \beta \rightarrow F(\alpha) \in \alpha), \quad (3.1)$$

де $\overline{N(\hat{e})} \subset \Theta_E$ і $\overline{N(\hat{d})} \subset \Theta_D$ - системи обхідних точок \hat{e} і \hat{d} відносно Θ_E і Θ_D відповідно.

Визначення (3.1) відповідає для одержання ряду більш конкретних понять стійкості систем, наприклад, стійкість реакції, стійкість ізольованої траєкторії та ін.

У теорії систем часто використовують поняття структурної стійкості, що тісно пов'язане з морфологією системи.

Тип поведінки системи $e \in E$ називається структурно стійким тільки в тому випадку, коли для кожного $\hat{d} \in D$ при $\hat{e} = F(\hat{d})$, справедливо

$$(\exists \beta \in \overline{N(\hat{\alpha})})(\forall \alpha)(\alpha \in \beta \Rightarrow F(\alpha)) = \hat{e}. \quad (3.2)$$

Інакше кажучи, допускається, що поточний стан структурно стійкої системи залишається якісно незмінним при досить незначній модифікації деякого параметра. Наприклад, система зв'язку структурно стійка в тому випадку, коли в ній забезпечується обмін інформацією з потрібною якістю при виході з ладу окремих елементів або порушенні зв'язків між ними.

3.2.4. Зв'язність

Зв'язність (або структурна зв'язність) системи є однією з найважливіших її якісних характеристик. Дійсно, зі зникненням структурної зв'язності зникає й сама система, вона розпадається на взаємонезалежні елементи.

Суть дослідження зв'язності полягає в тому, щоб усвідомити й виявити ті математичні конструкції, які описують характер зв'язку між окремими елементами системи. Розглянемо деяку систему S , у якій можна виділити n різних елементів. Тоді її структуру можна представити у вигляді деякого графа, у якому n вершин зображують n елементів системи S , а дуга, що з'єднує елементи i та j показує, що ці два елементи перебувають у деякому співвідношенні між собою. Прикладом може служити система зв'язку. Її елементами є вузли зв'язку або опорні вузли зв'язку. Співвідношення між елементами системи зв'язку залежать від зв'язку між j -м та i -м вузлами. Дану залежність проаналізуємо: так, можна ввести орієнтацію (спрямованість) дуг, які зв'язують елементи системи, і утворити орієнтований граф (орграф). Незважаючи на переваги теоретично-графових засобів, особливо для візуального аналізу, їхнє використання натрапляє на труднощі теоретичного й аналітичного характеру, особливо, якщо враховується структура самих компонентів зв'язку.

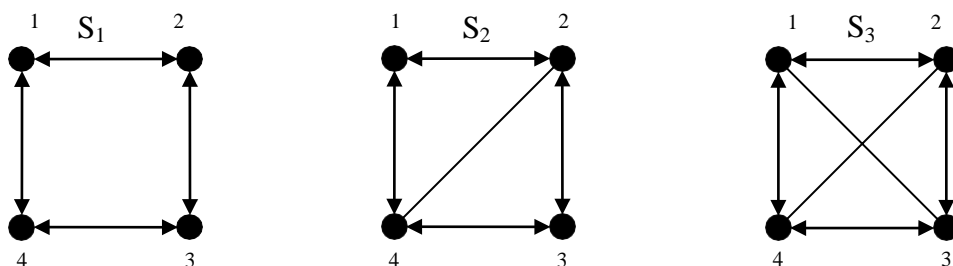


Рис. 3.1. Фрагменти моделі мережі зв'язку

Так, при спробі описати багатомірну структуру пленарним графом багато чого з геометричної структури системи буде приховано або взагалі загублено. Більш продуктивним для аналізу зв'язності є підхід, що базується на топологічних ідеях. Розглянемо топологічний підхід більш детально [5-6].

Для прикладу візьмемо три фрагменти мережі зв'язку, наведені на рис. 3.1. Інтуїтивно ясно, що вони мають різні ступені зв'язності. Для оцінки зв'язності будемо уявляти кожний вузол у вигляді деякого багатомірного об'єкта, вимірність якого визначається числом вихідних (або вхідних) зв'язків. У топології такому

поданню вузла зв'язку відповідає геометричний об'єкт, що називається симплексом.

Відомо, n -мірним симплексом з вершинами $\{x_1, x_2, \dots, x_{n+1}\} \subset R^n$ називається множина точок n -мірного евклідового простору R^n , що задається співвідношенням

$$y = \left\{ x \mid x = \sum_{i=1}^{n+1} \alpha_i x_i, \sum_{i=1}^{n+1} \alpha_i = 1 \right\} \subset R^n \quad (3.3)$$

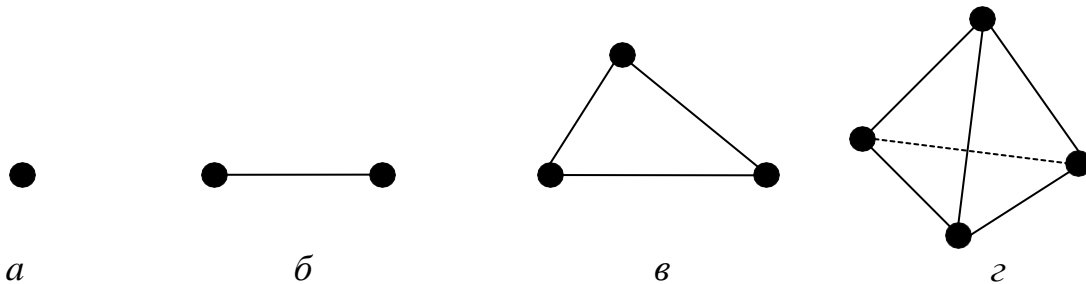


Рис. 3.2. Приклади симплексів вимірів:

a, b, c, d - відповідно 0-, 1-, 2-, 3- симплекс

На рис. 3.2 зображено приклади симплексів різних вимірів. З визначення випливає, що симплекс однозначно визначається заданістю множини вершин. Тому для подання вузла у вигляді багатомірного геометричного об'єкта кожною лінією зв'язку, що виходить із вузла, ставлять у відповідність вершину симплекса. При цьому вершині привласнюється номер, що відповідає вузлу, у бік якого направлена лінія зв'язку.

3.2.5. Складність

Існують два варіанти тлумачення цієї властивості системи. Перше, чисто суб'єктивне, характеризує відносини спостерігача до об'єкта, коли один може різними спостерігачами сприйматися як простий, або ж досить складний. Друге тлумачення - об'єктивна характеристика, не пов'язана зі спостерігачем. Щодо самих систем об'єктивну складність визначають у такий спосіб. Виділяють сторони складності: структурну, динамічну й обчислювальну.

Структурна складність визначається властивостями зв'язків між елементами системи. Вона може характеризувати ієрархічну структуру, схему зв'язності, розмаїтість елементів, рівень або силу взаємодії між елементами системи.

Структурна складність, віднесена до ієрархії елементів системи, повинна, припускати наявність цієї ієрархії. Така ієрархія стосовно систем зв'язку встановлюється не тільки відповідною підпорядкованістю (головна станція і її користувачі), але й тим, що існують первинні й вторинні мережі, різні рівні перетворення сигналів.

Структурна складність, віднесена до схеми зв'язності, визначається способом, яким елементи системи поєднуються в єдине ціле. Ця складність може бути визначена чисто геометрично, через вимірність зв'язків. Разом з тим, вона може бути визначена також і з алгебраїчних позицій. Так, подання системи лінійним диференціальним рівнянням

$$\frac{dx}{dt} = F(x; x_0) = c \quad (3.4)$$

припускає наявність у матриці F різноманітних недіагональних елементів f_{ij} , які визначають зв'язки між окремими компонентами вектора $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)$, $i = 1, N$. Таким чином, складність у цьому випадку визначається не тільки розмірністю N , але ще більшою мірою наявністю міжкомпонентних зв'язків, визначених за f_{ij} . При цьому може виявитися, що навіть система, великої вимірності насправді виявляється досить простою, наприклад у випадку, якщо матриця F діагональна. Система при цьому подається набором взаємно незв'язних елементів, і, по суті, не може бути системою.

Структурна складність є однією з властивостей, за допомогою яких система здобуває здатність перетворювати надходжувану інформацію. Ця складність пов'язана із принципом необхідної розмаїтості Ешбі: розмаїтість може бути усунуто або знищено тільки розмаїтістю. Наприклад, розмаїтість впливів на систему зв'язку різних завод можна запобігти тільки відповідною розмаїтістю

керування його параметрами або іншими засобами, у результаті яких перейдемо до ентропійного, гомеостатичного або морфологічного врівноваженого стану.

Структурна складність, віднесена до рівня взаємодії між елементами системи, дозволяє враховувати різноманітний характер цих взаємозв'язків. Тому будь-яка система може бути складною, з одного боку, і простою, з іншого, або ж ця складність може визначатися в деяких співвідношеннях.

Динамічна складність або складність поведіння системи визначається тим, наскільки складна реакція системи на простий вплив. Динамічна складність також пов'язана з характеристиками стійкості, коли малі вхідні впливи приводять до значних вихідних реакцій.

Структурна складність системи також впливає на динамічну складність. Однак зворотна залежність не виконується. Так, система може бути структурно простою, хоча її поведіння виявиться досить складним.

Обчислювальна складність може характеризуватися кількістю кроків, необхідних для обчислення зображення системи. Якщо система, зображена яким-небудь алгоритмом, то обчислення може проводитися за допомогою методу Тьюрінга.

Аксіома системної складності є математичною основою, тобто за допомогою порівняння. Як міру складності використовують реальну величину $\Theta(S)$. Аксіомами складності є аксіоми ієрархії, паралельного з'єднання підсистем, послідовного з'єднання, з'єднання зі зворотним зв'язком.

Аксіома ієрархії: якщо S_0 підсистема S , то $\Theta(S_0) \leq \Theta(S)$, тобто підсистема не може бути складнішою, ніж система в цілому.

Аксіома паралельного з'єднання підсистем: якщо $S = S_1 \oplus S_2 \oplus \dots \oplus S_n$, то $\Theta(S) = \max_{1 \leq i \leq n} \Theta(S_i)$, тобто складність системи визначається тією паралельною підсистемою, що має максимальну складність.

Аксіома послідовного з'єднання: якщо $S = S_1 \oplus S_2 \oplus \dots \oplus S_n$, тоді $\Theta(S) \leq \Theta(S_1) + \Theta(S_2) + \dots + \Theta(S_n)$, тобто складність системи визначається сумою складностей всіх послідовних підсистем.

Аксиома з'єднання зі зворотним зв'язком: якщо має місце зворотний зв'язок Θ із системи S_2 , у систему S_1 то $\Theta(S_1 \oplus S_2) \leq \Theta(S_1) + \Theta(S_2) + (S_2 \oplus S_1)$.

Очевидно, що попередня аксіома є частковим випадком даної, якщо зворотний зв'язок відсутній [7].

Аксиома нормалізації: у класі систем, які задовольняють цим аксіомам, може бути виділена підмножиною систем Σ , для яких $\Theta(S) = 0$ для всіх $S \in \Sigma$.

4. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ LTE

4.1 Основні елементи мережі стандарту LTE

Serving SAE Gateway або просто **Serving Gateway (SGW)** - обслуговуючий шлюз мережі LTE. Призначений для обробки і маршрутизації пакетних даних, що надходять з/в підсистему базових станцій. SGW має пряме сполучення з мережами другого і третього покоління того ж оператора, що спрощує передачу з'єднання в/з них з причин погіршення зони покриття, перевантажень і т.п. У SGW немає функції комутації каналів для голосових з'єднань, тому що в LTE вся інформація, включаючи голос комутується і передається за допомогою пакетів.

Public Data Network SAE Gateway або просто **PDN Gateway (PGW)** - шлюз до мереж передачі даних інших операторів для мережі LTE. Основне завдання PGW полягає в маршрутизації трафіку мережі LTE до інших мереж передачі даних, таких як Інтернет, а також мереж GSM, UMTS.

Mobility Management Entity (MME) - вузол управління мобільністю мережі стільникового зв'язку стандарту LTE. Призначений для обробки сигналізації, переважно пов'язаної з управлінням мобільністю абонентів в мережі.

Home Subscriber Server (HSS) - сервер абонентських даних мережі стільникового зв'язку стандарту LTE. Являє собою велику базу даних і призначений для зберігання даних про абонентів. Крім того, HSS генерує дані, необхідні для здійснення процедур шифрування, аутентифікації і т.п. Мережа LTE може включати один або декілька HSS. Кількість HSS залежить від географічної структури мережі і числа абонентів.

Policy and Charging Rules Function (PCRF) - елемент мережі стільникового зв'язку стандарту LTE, який відповідає за управління нарахуванням плати за надані послуги зв'язку, а також за якість з'єднань відповідно до заданих конкретному абоненту характеристиками.

4.2 Організація інформаційних каналів

Для того, щоб дані могли бути транспортовані через інтерфейс радіо LTE, використовуються різні «канали». Вони використовуються для того, щоб виділяти різні типи даних і дозволити їм транспортуватися через мережу доступу більш ефективно. Використання декількох каналів забезпечує інтерфейс більш високого рівня в рамках протоколу LTE і включають більш чітку і визначену сегрегацію даних.

Є три категорії, в які можуть бути згруповані різні канали передачі даних:

Логічні канали - надає послуги середнього рівня управління доступом MAC (Medium Access Control) в межах структури протоколу LTE. Логічні канали на кшталт переданої інформації діляться на логічні канали керування і логічні канали трафіку. Логічні канали керування використовуються для передачі різних сигнальних та інформаційних повідомлень. За логічним каналам трафіку передають призначені для користувача дані.

Транспортні канали - транспортні канали фізичного рівня пропонують передачу інформації в MAC і вище. Інформацію логічних каналів після обробки на RLC/MAC рівнях розміщують в транспортних каналах для подальшої передачі по радіоінтерфейсу в фізичних каналах. Транспортний канал визначає як і з якими характеристиками відбувається передача інформації радіопослуга. Інформаційні повідомлення на транспортному рівні розбиваються на транспортні блоки. В кожному часовому інтервалі передачі (Transmission Time Interval, TTI) радіопослуга передають хоча б один транспортний блок. При використанні технології MIMO можлива передача до чотирьох блоків в одному TTI.

Фізичні канали - це канали передачі, які переносять призначені для користувача дані і керуючі повідомлення. Вони змінюються між висхідним і спадним потоками, оскільки кожен з них має різні вимоги і діє по-своєму.

4.3 Якість обслуговування в мережах стандарту LTE

Концепція системи QoS для мереж UMTS мобільного зв'язку 3-го покоління визначена в специфікації TS 23.107, і використовується також для мереж LTE 4-го покоління.

При розробці і впровадженні системи якості обслуговування до атрибутів такої системи пред'являються наступні загальні вимоги.

- Кількість і значення атрибутів повинні бути такі, щоб забезпечити можливість багаторівневої градації користувачів;

- Використання механізму QoS не повинно заважати політиці ефективного використання радіоресурсів, незалежного розвитку базової мережі та мережі радіо доступу;

- Всі атрибути і їх комбінації повинні мати однозначні показники.

Виходячи з перерахованих загальних вимог до якості обслуговування, в специфікаціях сформульовані конкретні технічні вимоги, що стосуються набору параметрів QoS.

- Механізми QoS функціонують в рамках тимчасової (peer to peer) моделі організації зв'язку в межах «призначений для користувача термінал - мережевий шлюз», забезпечуючи взаємнооднозначне відображення між мережевими послугами та зовнішніми додатками.

- Управління якістю обслуговування здійснюється на основі кінцевого, по можливості, мінімального набору параметрів QoS, що підтримують ефективно використання радіоресурсів, а також асиметричне функціонування наскрізних каналів.

- Методи управління QoS реалізуються на основі послідовних сесій, стосовно пакетної передачі даних, в тому числі, до мультіпоточної передачі, коли кілька різних потоків мають одну і ту саму адресу.

- Мережеві погіршення і ускладнення, викликані впровадженням системи якості обслуговування, повинні бути по можливості мінімізовані, також, як і кількість додаткової інформації, що зберігається та передається в мережі.

- Користувальницькі додатки повинні мати можливість ідентифікації значень QoS при передачі даних в різних мережевих вузлах.

- Система якості обслуговування повинна бути динамічною, що дозволяє змінювати параметри QoS протягом активної сесії.

Розглянемо архітектуру системи якості обслуговування і передачу послуг в рамках такої системи, розглядаючи, для визначеності, випадок, коли зв'язок здійснюється між кінцевим обладнанням (КО), підключеним до призначеного для користувача терміналу мобільної мережі, і термінальним обладнанням, розташованим у зовнішній пакетній мережі (рис. 4.1).

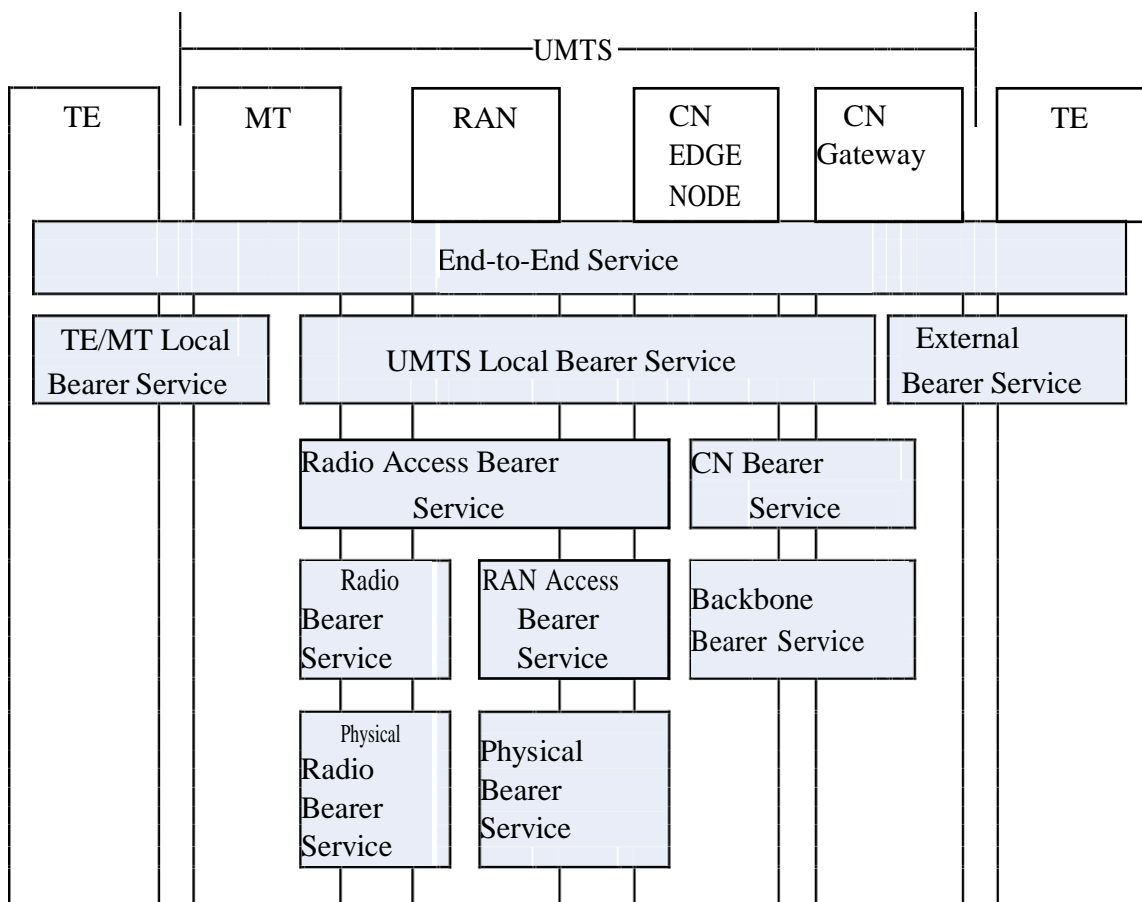


Рис. 4.1 Архітектура системи якості обслуговування

Аналогічно поняттю наскрізного каналу вводиться поняття наскрізної послуги (end-to-end service) як послідовність дій між двома кінцевими користувачами і, відповідно, частин послуг - по їх відношенню до певних мережевих складових: в локальному каналі «кінцеве обладнання – термінал»

(Terminal Equipment/Mobile Terminal local Bearer Service), в каналі мережі LTE (LTE Bearer Service), в зовнішньому каналі (External Bearer Service). Таким чином, виникає багаторівнева взаємодія при передачі послуги в різних мережевих вузлах і на різних рівнях.

Передача послуги з мережі LTE розглядається, відповідно до мережевої архітектури, окремо в мережі радіодоступу (Radio Access Bearer Service), де забезпечується конфіденційна передача даних користувачів або із заздалегідь обраним або встановленим за замовчуванням рівнем якості обслуговування, і в базовій пакетній мережі (Core Network Bearer Service), також здатної підтримувати різну якість обслуговування.

Послугу в мережі радіодоступу реалізують двома частинами: в радіоканалі (Radio Bearer Service) і в механізмі радіодоступу (Access Bearer Service). Реалізація послуги в радіоканалі містить всі аспекти, що стосуються передачі даних по радіоінтерфейсу, включаючи сегментацію і повторне складання призначених для користувача пакетів. Крім того, на фізичному рівні (Physical Radio Bearer Service) здійснюється управління підпотоків призначених для користувача даних. Механізм радіодоступу забезпечує на фізичному рівні (Physical Bearer Service) передачу даних між мережею радіодоступу та базовою мережею.

Нарешті, проходження послуги в «магістральному» каналі (Back-bone Network Bearer Service) розглядається в функціональній сукупності Рівнів 1 і 2 та призначеними вимогами якості обслуговування.

Перерахуємо і коротко опишемо основні функції мережі LTE, пов'язані з управлінням якістю обслуговування. У користувальницькій площині такі функції спрямовані на підтримку призначеного для користувача трафіку і сигналізації з певними обмеженнями, встановленими параметрами QoS.

Функція відображення (MF, Mapping Function) забезпечує розподіл кожного призначеного для передачі пакета даних відповідними параметрами QoS.

Функція класифікації (CF, Classification Function) призначена для виставлення пакетів даних параметрів QoS, призначених для певного ТК (термінал користувача), в тому випадку, якщо для цього ТК в мережі встановлено кілька каналів передачі послуг.

Функція управління ресурсами (RMF, Resource Manager Function) розподіляє доступні ресурси між послугами відповідно до параметрів QoS.

Функція узгодження (очищення) трафіку (TCF, Traffic Conditioner Function) забезпечує узгодження між потоком призначених для користувача даних і встановленим рівнем якості обслуговування. Ті пакети даних, які не відповідають виставленим параметрам QoS, будуть відкинуті або позначені як невідповідні для подальшого відкидання після накопичення.

На рис. 4.2 показано взаємодію функцій управління якістю обслуговування в призначеній для користувача площині.

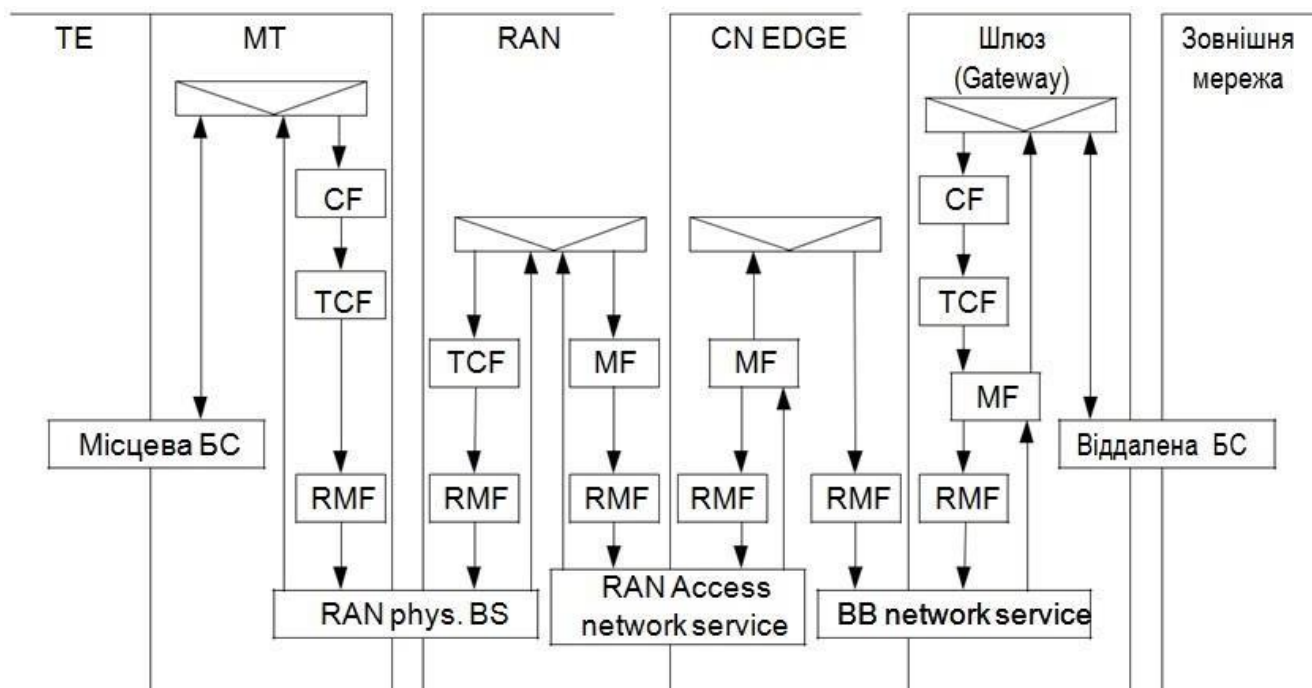


Рис. 4.2 Функції управління якістю обслуговування в призначеній для користувача площині

Функція класифікації, реалізована в ТК, призначає пакети даних, отриманих з зовнішнього (або локального) каналу в послугу мережі LTE з відповідними параметрами QoS. Функція узгодження трафіку, при необхідності, забезпечує узгодження призначеного для користувача потоку в висхідному (в ТК) і низхідному напрямках з встановленими параметрами QoS. Далі, функція відображення постачає кожен пакет даних спеціальним QoS-індикатором, відправляючи того в шлях по мережі, що вимагає виділення відповідних ресурсів - за це відповідальна функція управління ресурсами, реалізована в кожному мережевому вузлі.

У площині управління, як зазвичай, зосереджені функції, необхідні для реалізації механізмів управління та контролю.

Функція управління послугами (SMF, Service Manager Function)

є координуючою функцією при установці, модифікації і управлінні послугами, а також керуючою для функцій управління якістю обслуговування в призначеній для користувача площині.

Трансляційна функція (TF, Translation Function) перетворює внутрішні примітиви послуг мережі LTE в модулі різних протоколів взаємодіючих зовнішніх мереж, включаючи перетворення атрибутів послуг мережі LTE в параметри QoS протоколів зовнішніх мереж.

Функція управління можливостями (A/CCF, Admission / Capability Control Function) забезпечує інформацією про всі можливі ресурси мережевих вузлів, визначаючи при кожному запиті (або модифікації) послуги, чи можуть мережеві вузли забезпечити необхідні ресурси. Ця функція також контролює можливість надання самої послуги, тобто чи реалізована в мережі запитувана послуга.

Функція управління підпискою (SCF, Subscription Control Function) забезпечує контроль доступності абонентів на користування різними послугами з необхідними параметрами QoS.

Взаємодія функцій управління якістю обслуговування в площині управління показано на рис. 4.3.

Трансляційна функція, яка діє в ТК, перетворює службову інформацію, пов'язану із зовнішньою послугою, в примітивні внутрішньої послуги, включаючи і атрибути послуги.

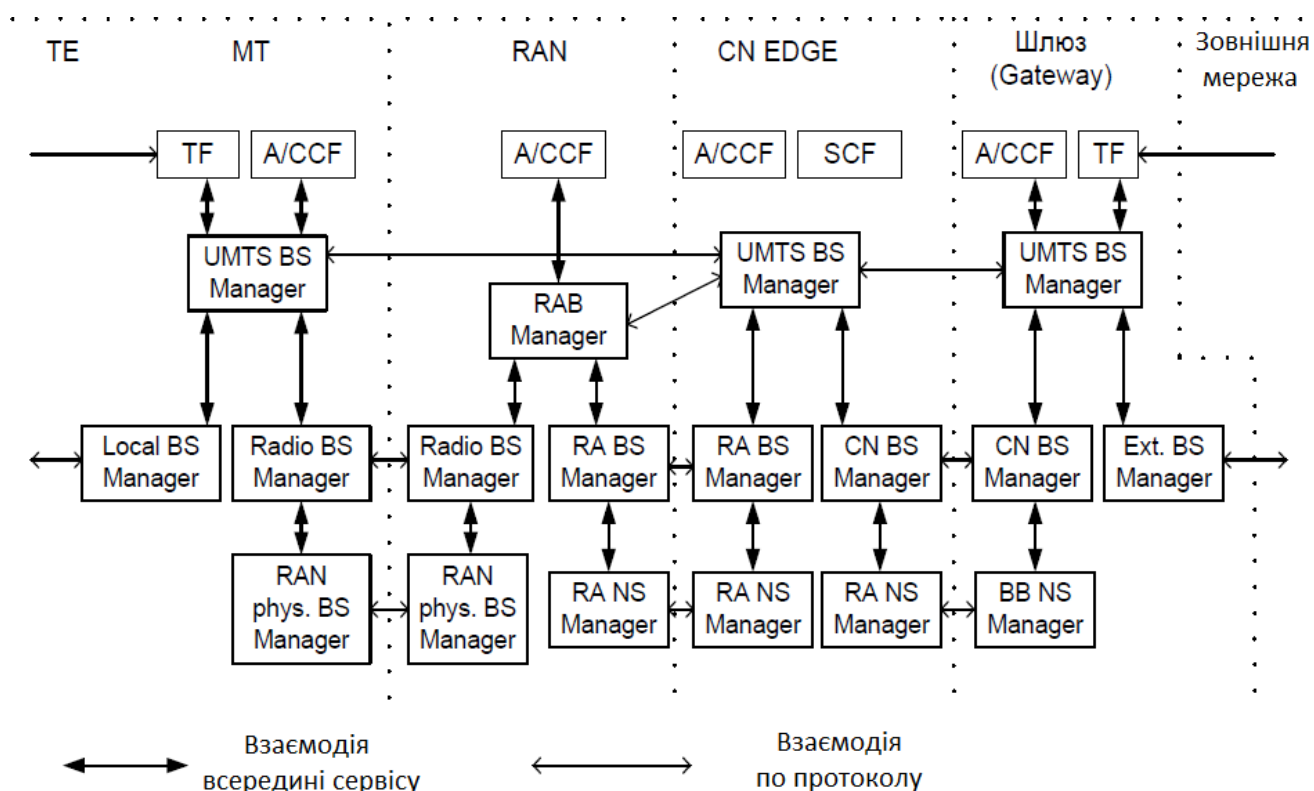


Рис. 4.3 Функції управління якістю обслуговування в площині управління

Функція управління послугою, локалізована в ТК, базовій мережі (тобто, відповідній подфункції), за допомогою трансляційної функції встановлює або модифікує послугу, використовуючи при цьому пов'язані з нею функцію управління можливостями, з метою з'ясування наявності необхідних для даної послуги ресурсів, і функцію управління підпискою, для визначення прав користувача на цю послугу.

Концепція надання послуг передбачає наявність чотирьох класів якості обслуговування, званих також трафіковими класами:

- голосовий (розмовний);
- потоковий;
- інтерактивний;
- фоновий.

Основною відмінністю між названими класами є чутливість до затримок: найбільш чутливим є голосовий трафік, найменш чутливим - фоновий. Голосовий і потоковий класи призначені для використання в реальному режимі часу. Інтерактивний і фоновий класи використовуються для традиційних інтернет-додатків: інтернет-навігація, електронна пошта, віддалений зв'язок та ін. При цьому трафік інтерактивного класу має більш високий пріоритет, ніж трафік фонового класу. Коротко розглянемо особливості послуг різних класів.

Найбільш часто використовуваним видом послуг голосового класу є телефонна розмова, причому, якщо в стандартах першого і другого поколінь, наприклад, традиційних мережах GSM, передача мови здійснювалася за допомогою каналної комутації, проте в сучасних системах стільникового зв'язку мова передається пакетним способом (VoIP, Voice over IP), в тому числі, як складова відеоспілкування. При цьому трафік є симетричним (або майже симетричним). Особливості людського слуху і зору при здійсненні сеансу зв'язку в реальному часі висувають досить жорсткі вимоги до якості мовного потоку. Фундаментальні характеристики QoS в даному випадку є фіксована, по можливості, мінімальна тимчасова затримка між окремими мовними пакетами в загальному мовному потоці, а також жорстко фіксована структура мовних пакетів. Суб'єктивні оцінки сприйняття мови показують, що наскрізна затримка мови не повинна перевищувати 400 мс. - в іншому випадку розмова стає практично неможливою.

Схожі вимоги по затримці інформації має відеотелефонія, однак внаслідок застосування стиснення відеоінформації вимоги до відносного рівня помилок тут суворіші, ніж для передачі мови. У мережах UMTS визначено, що для відеотелефонного зв'язку по з'єднувальним лініям з комутацією каналів повинні використовуватися Рекомендації ITU H324M. В даний час є два підходящі варіанти для систем відеотелефонного зв'язку з комутацією каналів: ITUI Rec. H.323 і IETF SIP.

Прикладами послуг потокового класу є перегляд відео або прослуховування звукового файлу в реальному часі. Для таких послуг також характерна фіксована часова затримка між окремими потоками звукових або відеоданих, проте будь-які вимоги на мінімальну часову затримку відсутні. Поточкові технології стають все більш важливими з розвитком інтернет сервісів, так як більшість користувачів на даний момент не мають можливості з досить високою швидкістю обмінюватися великими об'ємами даних. При використанні поточкових послуг клієнтські програми перегляду - браузері або інші програмні додатки можуть почати відображення даних до того, як буде переданий весь файл.

Для успішної реалізації потокової послуги приймальний ТК (точніше, реалізоване в ньому програмно-апаратне забезпечення), повинен мати здатність збирати, обробляти і посилати дані в вигляді стійкого потоку згідно з алгоритмами, реалізованими в прикладних програмах. Такі поточкові додатки є асиметричними і, тому, здатні витримувати більш тривалу затримку, ніж симетричні діалогові системи. Це означає також, що вони допускають більшу змінну затримку - так званий джиттер, який легко згладжується за допомогою буферизації.

Послуги інтерактивного класу призначені для сприйняття як людиною, так і неживими механізмами і пов'язані з отриманням даних від віддаленого обладнання. Прикладами таких послуг є інтернет-навігація, пошук в базі даних, послуги доступу, а також різні механізми машинної взаємодії. Інтерактивний клас характеризується наявністю послуг типу «запит – відповідь», а також

транспарентною (прозорою) передачею вмісту пакетів даних. При цьому ключовим параметром тут є затримка, пов'язана з підтвердженням прийому.

Прикладом інтерактивної послуги є комп'ютерна гра в інтерактивному режимі. Однак, в залежності від характеру гри, тобто наскільки активно ведеться передача даних, може виявитися так, що таку гру можна віднести і до мовного класу, виходячи з вимог до максимальної затримки.

Нарешті, послуги фонових класу типові при забезпеченні зв'язку між різними механізмами: електронна пошта, прийом звітів, автоматичне заповнення баз даних і т.п. Головною особливістю таких послуг є те, що в них, як правило, використовують дані з практично необмеженим часом існування, тобто в місці призначення не очікують надходження даних в певний час. Інша особливість полягає в тому, що немає необхідності вміст пакетів передавати прозорим чином - вони просто повинні бути прийняті без помилок. Одним із прикладів послуг фонових класу, які поступово набувають все більшого і більшого поширення, є електронні поштові додатки (Messenger). Як тільки в смартфонах з'явилися вбудовані камери і великі кольорові дисплеї, так відразу відбувся стрибок в застосуванні електронних поштових додатків.

Отже, існують мережеві послуги різних класів, які необхідно додатково атрибутовувати в системі якості обслуговування. Перерахуємо список параметрів QoS, за якими здійснюється відносна градація користувачів.

1. Трафіковий клас (голосовий, потоковий, інтерактивний, фоновий).
2. Максимальна швидкість передачі даних (в Мбіт/с). Даний параметр визначає максимальну кількість біт, що доставляються мережею LTE (або в мережу LTE) за певні інтервали часу.
3. Гарантована швидкість передачі даних (в Мбіт/с) визначає гарантоване число біт, що доставляються мережею за визначений інтервал часу.

4. Порядок доставки. Параметр, що показує, чи забезпечує канал послідовну доставку пакетів даних чи ні. Фактично даний параметр показує відміну протоколу передачі даних від призначеного для користувача PDP-протоколу.

5. Максимальний розмір (в байтах) пакетів даних, що переносять вміст послуги (SDU, Service Data Unit).

6. Інформація (в бітах) про формат пакетів даних, що переносять вміст послуги, необхідна в мережі радіодоступу з метою забезпечення функціонування RLC-протоколу в прозорому режимі.

7. Відносний рівень помилково переданих пакетів даних, що переносять вміст послуги. Параметр використовується для вибору належної схеми (модуляції/кодування) передачі даних по мережі радіодоступу.

8. Залишковий коефіцієнт помилок, що відображає число помилково переданих біт в доставлених пакетах даних, що переносять вміст послуги. Також використовується для вибору належної схеми (модуляції/кодування) передачі даних по мережі радіодоступу.

9. Можливість доставки спотворених пакетів даних, що переносять вміст послуги. Параметр використовується при прийнятті рішень про пересилання спотворених пакетів даних.

10. Затримка передачі (в мс.) визначає допустиме відхилення значення затримки в мережі радіодоступу від загального часу затримки в наскрізному каналі серед 95% значень затримок доставлених пакетів даних протягом часу існування всієї послуги.

11. Пріоритет в управлінні трафіком відображає відносну важливість розглянутого потоку даних в порівнянні з іншими потоками. Параметр застосовується до послуг інтерактивного класу, дозволяючи вести диспетчеризацію трафіку.

12. Призначення/зняття пріоритету. Використовується для виявлення пріоритетних відмінностей між каналами передачі послуг, коли виконуються операції за призначенням та зняття каналів в умовах обмеженості ресурсів.

13. Статистичний дескриптор джерела. Розмовна мова має добре відомі статистичні параметри. Тому, з метою інформування про те, що пакети даних мають мовну природу, цей факт може бути експериментально (на основі підрахунку) виявлений в різних точках.

14. Індикатор службової інформації, визначен тільки для послуг інтерактивного класу, показує природу інформації (службова або призначена для користувача) в прийнятих пакетах. Даний параметр є додатковим в системі якості обслуговування і відображає пріоритетність трафіку службової інформації.

15. Виділене призначення/зняття пріоритету – «посилений» параметр призначення/зняття пріоритету, що містить збільшений діапазон рівнів пріоритету, а також додаткову інформацію про можливість переважного заняття каналу і переважного ступеня захищеності.

Відзначимо, що деякі параметри QoS взаємно суперечать одна одній, наприклад, затримка і рівень помилок в прийнятих пакетах, тобто надійність. Так, при передачі голосового трафіку затримка не повинна перевищувати 150 мс. при допустимій втраті інформаційних пакетів не більше 3%. Якщо розглядати потоковий трафік, то в цьому випадку можливі втрати інформаційних пакетів не більше 1%, а для інтерактивного трафіку втрати інформаційних пакетів взагалі неприпустимі - його послуги (як і послуги фоновому трафіку) передаються в режимі з підтвердженням, і необхідність повторної передачі прийнятих з помилками пакетів не дозволяє виміряти величину затримки.

ВИСНОВКИ

В роботі було розглянуто питання організації бездротового доступу з використанням технології LTE. Відзначалася важливість розвитку інноваційних технологій бездротового зв'язку і доступу в мережу Інтернет в Україні.

У першому розділі проведено аналіз розвитку сучасних технологій 4-го покоління, а саме розглянуто технології Wi-MAX та LTE. Проведено порівняльний аналіз та наведено технічні характеристики. Розглянуто архітектуру мережі LTE та принципи побудови радіо інтерфейсу.

У другому розділі проведено розрахунок пропускної здатності мережі. Головним вихідним значенням розрахунку є спектральна ефективність технології LTE, яка заявлена в 3GPP Release 9. Пропускна здатність планованої мережі склала 1,104 Гбіт/с. Частотний діапазон для планованої мережі обраний 791 - 862МГц, тип дуплекса - частотний FDD.

У третьому розділі проведено аналіз методів контролю якісних показників для побудови мереж зв'язку стандарту LTE. Розглянуто основні властивості систем та визначено основні проблеми щодо проектування та побудови мережі.

У четвертому розділі проведено аналіз щодо вибору обладнання для побудови радіомережі стандарту LTE. Розглянуто основні елементи мережі, інформаційні канали LTE та якісні показники при наданні медійних послуг.