

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE У СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Дрововозов В. І., Гребіниченко К. С.

Національний авіаційний університет

katherina.moonshine@gmail.com

*Розглянуто застосування високошвидкісної технології LTE для підвищення надійності збирання та передавання даних у системах реального часу. Визначені особливості та проблеми, пов'язані з запровадженням систем LTE. Однією з головних особливостей є специфіка радіочастотного спектру та забезпечення електромагнітної сумісності таких систем. У статті виділено основні проблемні питання використання радіочастотного спектру при побудові мереж на технології LTE в системах реального часу.*

*Application of high-speed technology of LTE is examined for the increase of reliability of collection and communication of data in the real-time systems. It is important to estimate features and problems, related to the input of the systems of LTE. One of main features there is a specific of radio frequency spectrum and providing of electromagnetic compatibility of such systems. In the articles distinguished basic problem questions of the use of radio frequency spectrum are at the construction of networks on technology of LTE in the real-time systems.*

### Постановка проблеми

Розвиток бездротового зв'язку супроводжується безперервною зміною технологій. Питання підвищення швидкості та надійності передачі даних у сучасному суспільстві завжди будуть актуальними, особливо в теперішній час постійного розвитку бездротових мереж та технологій нового покоління (4G). Четверте покоління технологій пов'язано зі створенням універсальних мобільних мультимедійних мереж передавання інформації. Сьогодні дві групи технологій націлені на надання універсальних послуг зв'язку. Це WiMAX (як розвиток лінії IEEE 802) та технології мобільного зв'язку *super 3G*. Проте потреби користувачів у послугах, що надаються, постійно зростають. Після переходу від мереж GPRS/EDGE до WCDMA/HSPA технологія LTE (Long-Term Evolution) стала логічним продовженням розвитку мереж 3G та початком четвертого покоління (4G) систем передавання даних. Запровадження технології LTE в системах реального часу

© В.І. Дрововозов, К.С. Гребіниченко, 2009

дасть змогу значно знизити собівартість передачі одиниці трафіку, а мережа радіодоступу LTE містить у собі базові рішення, які можуть лягти в основу систем 4G [1; 5].

Технології LTE особливо перспективно використовувати в системах управління реального часу, в мобільних телефонах (відеодзвінок та мобільне телебачення), у смартфонах та комунікаторах, у ноутбуках та нетбуках (швидкісний доступ в Інтернет).

### Цілі

Мета аналіз — використання технології LTE, яка дає змогу підвищити швидкість та надійність передавання даних у системах реального часу, та особливостей використання радіочастотного спектру при побудові мереж.

Дослідження технології LTE почалося з 3GPP у 2004 році, і наразі розробка специфікацій 3GPP (Rel'8) з радіоінтерфейсу та мережної архітектури LTE майже завершена.

Головним питанням досліджень стало створення нового радіоінтерфейсу, і, зокрема, вибір методу множинного доступу до загальних ресурсів радіомережі. У результаті з низки критеріїв як базові були обрані два методи, основані на ортогональному частотному мультиплексуванні як у лінії «вниз», так і в лінії «вгору». Прогнозується, що ці та інші ефективні рішення зможуть потенційно забезпечити швидкість передавання даних понад 300 Мбіт/с у напрямку до користувача, та порядку 80 Мбіт/с у напрямку від користувача. Досягнення таких швидкостей залежить від розміру виділеного частотного ресурсу. У технології LTE стандартизовані шість частотних каналів з шириною 1,4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц та 20 МГц, а крок сітки частот становить 100 кГц [7]. Слід зауважити, що технологія LTE за характером інтерфейсу принципово відрізняється від існуючих модифікацій UMTS та має ряд істотних особливостей. Ці особливості можуть значною мірою вплинути на характер використання радіочастотного ресурсу та визначення електромагнітної сумісності (ЕМС) під час побудови майбутніх мереж технології LTE.

### Основні особливості технології LTE

Можна назвати такі основні особливості технології LTE.

*По-перше*, у системах LTE використовуються два основні методи дуплексного зв'язку: дуплекс з частотним поділом (FDD) і дуплекс з тимчасовим поділом (TDD). Застосовуються й інші варіанти, в тому числі FDD з половиною швидкістю. При цьому інтеграція режимів FDD і TDD у LTE значно ближче, ніж це було в UMTS [5].

*По-друге*, в радіоінтерфейсі використані нові методи радіодоступу:

- *OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)* — ортогональне багаточастотне мультиплексування – в лінії «вниз»;

- *SC-FDMA (Single Carrier FDMA)* — частотне мультиплексування з однією несучою частотою — в лінії «вгору».

При цих методах радіодоступу разом з квадратною фазовою маніпуляцією *QPSK*, у технології *LTE* використовується модуляція більш високого порядку — квадратна амплітудна маніпуляція 16 *QAM* та 64 *QAM*.

По-третє, в *LTE* використана технологія багатоканальних антен, основана на просторово-часовому кодуванні радіоканалів *MIMO (Multiple Input Multiple Output)*.

Метод радіодоступу *OFDMA* поєднує в собі ортогональне багаточастотне (*OFDM*) та тимчасове (*TDMA*) мультиплексування каналів, за якого кожний користувацький канал, який складається з сукупності паралельно випромінюваних підносійних частот, послідовно займає визначену частину спектра на своєму виділеному часовому інтервалі. При цьому, кількість підносійних частот у кожному користувацькому каналі може динамічно змінюватися. Тобто, на кожному часовому інтервалі, що має назву *OFDM*-символ (*OFDM Symbol*), різним користувачам виділений частотний ресурс, розмір якого може змінюватися від одного часового інтервалу до іншого.

Метод радіодоступу *SC-FDMA*, який реалізується за допомогою модуляції з однією несучою, обраний для зменшення граничної потужності, яка є критичною для передатчика абонентської станції (АС). Крім того, цей метод дає можливість максимізувати покриття зони обслуговування в лінії «вгору» за рахунок можливості унікального динамічного планування частотних каналів у різних ділянках виділеного ресурсу.

Для забезпечення алгоритмів такої передачі даних у технології *LTE* задана одиниця частотно-часового ресурсу, який називається ресурсним блоком (*RB — Resource Block*).

Такий блок у частотній області вміщує 12 підносійних частот, ширина спектра кожної з яких дорівнює 15 кГц, а сумарна ширина блоку становить  $12 \times 15 = 180$  кГц [8].

У технології *LTE* може використовуватися мінімум шість ресурсних блоків, що відповідає ширині каналу — 1,4 МГц, і максимально — 110 ресурсних блоків, що, свою чергою, відповідає ширині каналу 20 МГц. Характеристики каналів різної ширини наведено в таблиці. Із таблиці видно, що кожній кількості *RB*, а отже і кількості підносійних частот, має відповідати необхідна ширина каналу [7]. Наприклад, для каналу шириною 5 МГц максимально допустимими є 25 ресурсних блоків, які займають сумарний спектр шириною  $18 \text{ кГц} \times 25 = 4500$  кГц. У межах запланованої в мережі ширини частотного каналу в

якійсь моменти часу може використовуватися лише деяка частина його ресурсу залежно від потрібної швидкості передачі даних у користувацькому каналі.

#### Характеристики каналів різної ширини

Ширина каналу, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Смуга підносійної	15 кГц					
Тактова частота, МГц	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	307,2
Кількість підносійних	73	181	301	601	901	1201
Кількість <i>RB</i>	6	15	25	50	75	100

#### Проблеми та особливості використання радіочастотного спектру та EMC

У результаті розгляду основних особливостей радіопідсистеми технології *LTE* можна визначити ряд проблемних аспектів та особливостей радіочастотного забезпечення мереж *LTE*. До таких аспектів можна віднести [4]:

- регуляторні аспекти;
- аспекти електромагнітної сумісності;
- аспекти планування мереж операторам.

Серед регуляторних аспектів можна виділити питання, на які наразі немає однозначної відповіді:

- які смуги частот переважають за низькою критеріїв для побудови мереж *LTE* на певній території;

- які особливості виділення ресурсу операторам для побудови мереж *LTE* з урахуванням розподіленого характеру;

- які методи координації мереж *LTE* в приграничних областях з урахуванням складності призначення частот та відсутності кодів скремблювання, які зараз використовуються для приграничної координації мереж *UMTS*. Ця проблема тісно пов'язана з проблемою EMC.

Окремо можна виділити одну з важливих проблем у регуляторній сфері. Ця проблема пов'язана з розміром радіочастотного ресурсу, який має бути виділений операторам.

Критерієм для визначення такого розміру може бути умова досягнення ефективності впровадження систем *LTE* порівняно з діючими системами *IMT-2000/UMTS* останніх модифікацій (*Rel'6, Rel'7*).

На рисунку подано експертні порівняльні показники спектральної ефективності різних модифікацій системи *UMTS* та *LTE* в низхідних каналах. Ефективність переходу до *LTE*  $\eta_{DL}$  може бути оцінена таким чином [8]:

$$\eta_{DL} = \frac{V_{LTE} (n \text{ МГц})}{V_{HSPA} (5 \text{ МГц})},$$

де  $\eta_{DL}$  — вигрaш за ємністю мережі в низхідних каналах DL;  $V$  — швидкість передачі даних;  $n$  — ширина каналу (кількість МГц).

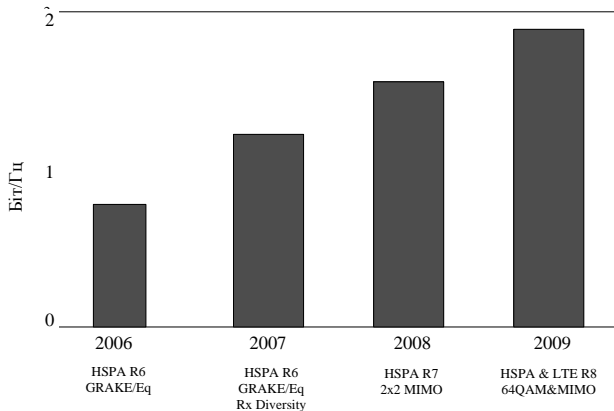


Рис. 1. Експертні порівняльні показники

Використовуючи наведену формулу та враховуючи дані, подані на рисунку, можна оцінити наскільки ефективним є перехід до *LTE* від *UMTS (HSPA Rel'7, 2x2 MIMO)* та *UMTS (HSPA Rel'6, Rx Diversity* — рознесений прийом).

Результати такої оцінки показують, що в першому випадку ефективність переходу  $\eta_{DL} \geq 1$  може бути досягнута за ширини каналу *LTE* більше, ніж 10 МГц ( $n \geq 5,8$ ), а в іншому випадку — при всіх розмірах ширини каналу *LTE* ( $n \geq 0,8$ ). Це свідчить про те, що для нових операторів *3G* перехід до *LTE* буде ефективним за будь-якого розміру виділеного ресурсу, починаючи з  $2,0 \times 1,4$  МГц, але для діючих операторів *3G* необхідний частотний ресурс не менше, ніж  $2,0 \times 10$  МГц.

Серед аспектів, пов'язаних з EMC, неочевидними залишаються такі питання, як:

- оцінка впливу на радіоелектронні засоби енергетики базових станцій *LTE*, яка розподілена в частотних блоках різних розмірів, а також енергетики абонентських станцій, яка зосереджена в кінцевій смузі;

- визначення еквівалентно-ізотропної випромінюваної потужності під час використання розподілених у просторі антен системи *MIMO*;

- різноманітні спектральні маски сигналу *LTE* за різної ширини каналу.

Та, нарешті, аспекти планування мереж *LTE* мають такі особливості:

- необхідність особливого обліку різного впливу суміжних каналів за різної ширини;

- необхідність планування ширини частотного каналу у виділеному ресурсі задля досягнення його ефективного використання.

Така необхідність викликана тим, що в *LTE* не забезпечується вибір частотних блоків, розмір яких строго кратний розмірам всіх стандартизо-

ваних каналів із шириною 1,4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц та 20 МГц (див. таблицю).

## Висновки

Розглянуто основні особливості технології *LTE* та проблеми використання радіочастотного спектра і забезпечення електромагнітної сумісності в разі запровадження цієї технології.

Проведений аналіз показав, що використання радіочастотного ресурсу для систем *LTE* має істотні особливості, які обумовлені специфікою технології.

Для успішного та ефективного впровадження *LTE* передусім необхідно вирішити завдання радіочастотного забезпечення. При цьому одним з важливих кроків є завчасне розроблення ідеальних методологічних підходів до визначення умов електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів мереж *LTE* з іншими радіоелектронними системами.

Для *LTE* планується використовувати як задіяний у мережах 2 та 3G радіочастотний спектр, так і додаткові діапазони частот, наприклад, 2,6 ГГц в Європі та 700 МГц у країнах Північної Америки. Планується використання радіочастот для *LTE* в різних країнах [6]:

*Verizon Wireless, CenturyTel, MetroPCS* (США) — 700 МГц (смуги частот: 698—716 МГц/728—746 МГц, 777—787 МГц/746—756 МГц, 788—798 МГц/758—768 МГц);

*TeliaSonera* (Швеція) — 2,6 ГГц ( $2 \times 20$  МГц у смугах частот 2500—2570 МГц/26201—2690 МГц);

*SmarTone-Vodafone* (Гонконг) — 900/1800 МГц ( $2 \times 15$  МГц в смугах частот діапазонів GSM — 900/1800).

Найближчим часом 26 операторів планують побудувати мережі *LTE*, серед яких *Vodafone, Verizon Wireless, TeliaSonera, NTT DoCoMo u KDDI*. Основними виробниками операторського устаткування *LTE* на сьогодні виступають [2]: *Ericsson, Alcatel-Lucent, Nokia Siemens Networks, Fujitsu, Huawei Technologies, Motorola, Panasonic, Starent, ZTE*.

Розвиток технології *LTE* буде продовжуватися і надалі. Він буде відбуватися в рамках робіт над новим стандартом *3GPP Release 10 (LTE Advanced)*. Сформульовані і основні вимоги, які має задовольняти *LTE Advanced*:

- максимальна швидкість передачі даних у низхідному радіоканалі до 1 Гбіт/с, у висхідному — до 500 Мбіт/с (середня пропускна здатність на одного абонента — в три рази більша, ніж у *LTE*);

- смуга пропускання в низхідному радіоканалі — 70 МГц, у висхідному — 40 МГц;

- максимальна ефективність використання спектра в низхідному радіоканалі — 30 біт/с/Гц, у висхідному — 15 біт/с/Гц (більше, ніж у *LTE*);

- повна сумісність та взаємодія з *LTE* іншими *3GPP* системами [3].

Запровадження технології *LTE* сприятиме підвищенню надійності збору та передачі даних у системах управління реального часу, дасть можливість операторам зменшити капітальні та операційні затрати, знизити вартість володіння мережею та розширити спектр послуг, пов'язаних з передачею даних високошвидкісними каналами. З абонентського погляду, різке збільшення швидкості передачі даних серйозно поліпшить якість послуг, що, своєю чергою, буде сприяти розповсюдженню нових мультимедійних сервісів.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Вишнеvский В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В. Вишнеvский, А. Портной, И. Шахнович. — М. : Техносфера, 2009. — С. 263—281.

2. [http://pc.uz/publish/doc/text49131\\_tehnologiya\\_1te\\_preimushchestva\\_i\\_perspektivy](http://pc.uz/publish/doc/text49131_tehnologiya_1te_preimushchestva_i_perspektivy)

3. *3GPP* TR 36.913 V8.0.0. Requirements for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced), Release 8. —*3GPP*, 06.2008

4. Долговременное развитие радиотехнологии *3GPP*//[www.3gpp.org/Highlights/LTE/LTE.htm](http://www.3gpp.org/Highlights/LTE/LTE.htm).

5. Вишнеvский В. Технологии сотовой связи LTE – почти 4G. – Электроника / В. Вишнеvский, А. Красилов, И. . — НТБ, 2009. — №1. — С. 62—72.

6. *GSM/3G* MARKET/TECHNOLOGY UPDATE. — Information Paper. — Global mobile Suppliers Association (GSA). March 4, 2009.

7. *3GPP* Long Term Evolution: Overview, Product Development and Test Challenges. — Agilent Technologies.

8. 1. *3GPP* TS 36.101 v8.4.0 (2008—12). Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 8).

Стаття надійшла до редакції 12.01.10.