

передавальних антен доцільніше задіяти для формування вузького променя (beamforming) при передачі одного потоку даних (рисунок 5.1).

Для досягнення гарної якості роботи мережі при різних умовах експлуатації в технології LTE реалізована адаптивна багатопоточна передача, при якій число потоків, що пересилаються одночасно, даних може постійно регулюватися відповідно до мінливого стану каналу зв'язку. Якщо стан каналу задовільний, можна одночасно пересилати до чотирьох потоків даних, досягаючи тим самим швидкості їхньої передачі до 100 Мбіт/с при ширині займаної смуги частот 20 МГц. При не настільки сприятливому стані каналу передається менше число потоків. У цій ситуації антени частково використовуються для формування вузької діаграми спрямованості, що підвищує загальну якість прийому й, як наслідок, збільшує пропускну здатність системи й розширює зону обслуговування (до 100-120 км). Для забезпечення великої зони радіопокриття або високої швидкості передачі даних на границі стільника можна передавати один потік даних у вузькому промені.

6 МЕРЕЖЕВА АРХІТЕКТУРА SAE

Для переходу до мереж 3G LTE консорціумом 3GPP була запропонована нова мережна інфраструктура (System Architecture Evolution). Метою й сутністю концепції SAE є ефективна підтримка широкого комерційного використання будь-якої послуги на базі IP і забезпечення безперервного обслуговування абонента при його переміщенні між мережами, які відповідають і не відповідають специфікаціям 3GPP (GSM, UMTS, WCDMA і т.д.). Архітектура LTE/SAE знижує експлуатаційні й капітальні витрати. Нова, плоска модель, наприклад, означає, що буде потрібно підвищити пропускну здатність вузлів тільки двох типів базових станцій і шлюзів, щоб вони впоралися із трафіком у випадку його значного росту. Крім того, явно простежується тенденція до все більшого ступеня автоматизації.

SAE описує розподіл необхідних функцій до логічних вузлів і необхідні інтерфейси між вузлами. Необхідними функціями є функції доступу до радіомережі (RAN function). Однак у мобільній мережі так само існують додаткові функції, які потрібні для надання різних послуг: аутентифікація, необхідна для визначення дійсності абонента; установка послуг, необхідних, для того щоб гарантувати безперервне з'єднання й т.д. Як показано на рисунку. 6.1 системна архітектура розділена на дві частини: мережа радіодоступу (Radio access network, RAN) і core network (CN).

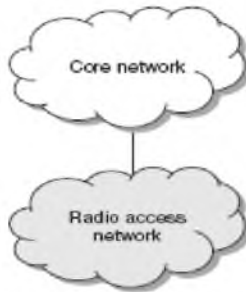


Рисунок 6.1 – Системна архітектура

Функціональна розбивка між мережею радіодоступу й Core network(CN).

У процесі розробки стандарту LTE першорядне завдання полягало в тому, щоб розподілити функції між мережею радіодоступу RAN і CN. Хоча на перший погляд це може здатися відносно простим завданням, практично виявляється інакше. Більшість функцій може легко бути розташовано або в RAN або в CN, однак є деякі функції, що вимагають більше ретельної уваги.

Ключова особливість розробки RAN складається в мінімізації кількості вузлів і в пошуку рішення, де RAN складається тільки з одного типу вузла. У той же час особливість CN полягає в як можна більшій незалежності від RAN.

Функції RAN:

1. кодування, модуляція й інші типові функції фізичного рівня
2. ARQ
3. функції безпеки (шифрування й т.д.)
4. керування радіо ресурсами, хендовер

Функції CN:

1. керування піднесучих
2. керування рухливістю (спостереження за користувачами - роумерами)
3. керування односпрямованим каналом і обробка якості послуг
4. конфіденційність користувальницьких потоків даних
5. з'єднання із зовнішніми мережами

Основними принципами архітектури LTE/SAE є:

1. загальна опорна точка й вузол шлюзу (GW) для всіх технологій доступу;
2. оптимізована архітектура для площини користувача - початок переходу на знижену кількість типів вузлів (із чотирьох до двох - базові станції й шлюзи);
3. протоколи на базі IP у всіх інтерфейсах;
4. поділ функцій RAN-CN, аналогічний поділу у випадку WCDMA/HSPA;

5. поділ у площинах керування/користувача між системою керування мобільністю (MME) і шлюзом;

6. інтеграція технологій доступу, що не ставляться до 3GPP, за допомогою IP для мобільного зв'язку.

Нижче представлена спрощена схема загальної архітектури SAE. Шлюз здатний виконувати функції мережі пакетних даних (PDN) і обслуговуючого шлюзу, при цьому може бути настроєний як на кожну із цих ролей, так і на обидві. PDN-Шлюз служить загальною опорною точкою для всіх технологій доступу, забезпечуючи стабільну IP-точку присутності для всіх користувачів поза залежністю від мобільності. Функціонально MME відділений від шлюзу для полегшення розгортання мережі, для переходу на незалежну технологію й для максимально гнучкої масштабованості пропускну здатності.

GSM і WCDMA/HSPA інтегруються в SAE за допомогою стандартизованих інтерфейсів, що з'єднують вузол SGSN (обслуговуючий вузол підтримки GPRS) і вдосконалену опорну мережу. Сюди входять інтерфейси з MME для передачі контексту й установки каналів при переміщенні між технологіями доступу, а також зі шлюзом для установки IP-З'єднання з користувальницьким устаткуванням. Так що для терміналів GSM і WCDMA/HSPA вузол шлюзу функціонує в якості GGSN (вузла підтримки шлюзу GPRS). Дана архітектура дозволяє також створювати загальну опорну пакетну мережу для GSM, WCDMA/HSPA і LTE шляхом з'єднання SGSN і.

Сервер абонентів власної мережі (Home Subscriber, Server, HSS) підключається до пакетної опорної мережі через інтерфейс, що, швидше за все, буде базуватися на протоколі Diameter (сеансовий протокол, забезпечує взаємодію між клієнтами з метою аутентифікації, авторизації й обліку різних сервісів (AAA- authentication, authorization, accounting, в основі протоколу DIAMETER лежить концепція в створенні базового протоколу з можливістю його розширення для надання сервісів AAA з появою нових технологій доступу.), а не на SS7. Це дозволить створити уніфіковане й більше просте рішення для площини керування в IP-Мережі, оскільки мережна сигналізація для керування правилами й тарифікації вже базується на протоколі Diameter.

Базові станції LTE підключаються до опорної мережі через інтерфейс RAN-CN. MME обробляє сигнали керування, наприклад для мобільності. Користувальницькі дані пересилаються між вузлами базових станцій і шлюзів через транспортну інфраструктуру на базі IP. Для підтримки високошвидкісного переходу обслуговування терміналів в активному режимі кожна базова станція LTE логічно підключена до всіх прилежних базових станцій.

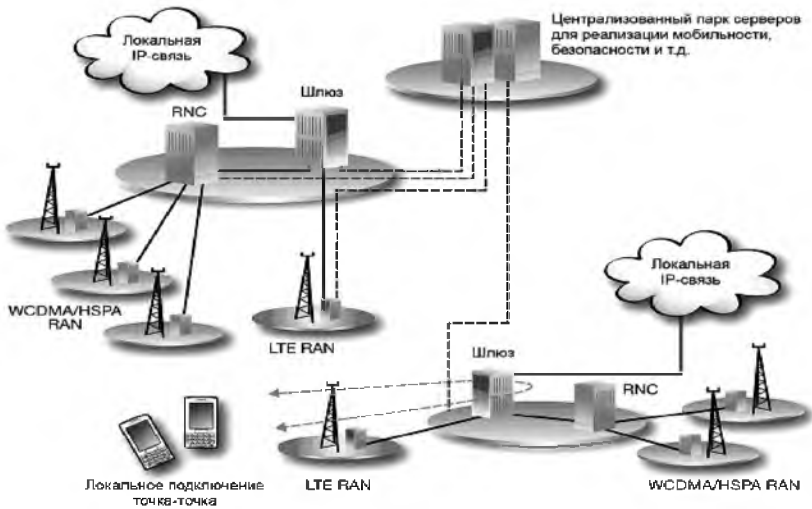


Рисунок 6.2 – Приклад топології мережі

Оскільки існуюча концепція Qo для систем GSM і WCDMA трохи складна, SAE уживає спроба реалізувати концепцію Qo, яка б об'єднала в собі простоту, гнучкість доступу з підтримкою зворотної сумісності. У системі SAE використовується концепція якості обслуговування, заснована на класах. Вона пропонує операторам прості, але ефективне рішення для диференціювання різних пакетних послуг.

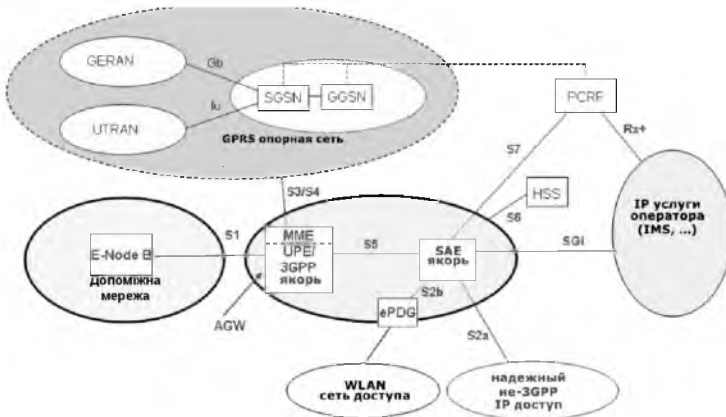


Рисунок 6.3 – Основні компоненти архітектури SAE

У мережі з архітектурою SAE можуть застосовуватися вузли тільки двох типів - базові станції (evolved Node, eNode) і шлюзи доступу (Access Gateway, AGW). Зменшення числа типів вузлів дозволить операторам знизити витрати як на розгортання мереж LTE/SAE, так і на їхню наступну експлуатацію. Ядро мережі SAE містить у собі чотири ключових компоненти:

1. Модуль керування мобільністю (Mobility Management Entity, MME) забезпечує зберігання службової інформації про абонента й керування нею, авторизацію термінальних пристроїв у наземних мережах мобільного зв'язку й загальне керування мобільністю, управляє протоколами, такими як призначення ідентифікаторів UE, безпека, перевірка дійсності й керування роумінгом.

2. Модуль керування абонентом (User Plane Entity, UPE) відповідає за термінацію нисхідного з'єднання, шифрування даних, маршрутизацію й пересилання пакетів. Управляє протоколами користувальницького рівня, наприклад, зберіганням поточного статусу UE, перериванням стану LET_IDLE на рівні користувача й кодуванням поточного стану.

3. 3GPP якір відіграє роль шлюзу між мережами 2G/3G і LTE

4. SAE якір використовується для підтримки безперервності сервісу при переміщенні абонента між мережами, що відповідають і не відповідним специфікаціям 3GPP (I-WLAN і т.п.).

Останні два компоненти являють собою зовсім нові елементи архітектури ядра мережі мобільного зв'язку (Evolved Packet Core) і зобов'язані своєю появою згаданій вимозі підтримки мобільності при переміщенні абонента між мережами різних типів. Функціональні елементи можна фізично сполучати або розподіляти по мережі - все залежить від особливостей застосовуваних продуктів і самої мережі. Наприклад, 3GPP якір припустимо розташовувати разом з модулем керування абонентом, хоча це не є обов'язковою вимогою. Точно так само модулі MME і UPE можуть бути сполучені або перебувати в різних вузлах мережі.

Користувальницькі дані пересилаються між вузлами базових станцій і шлюзів через транспортну інфраструктуру на базі IP.

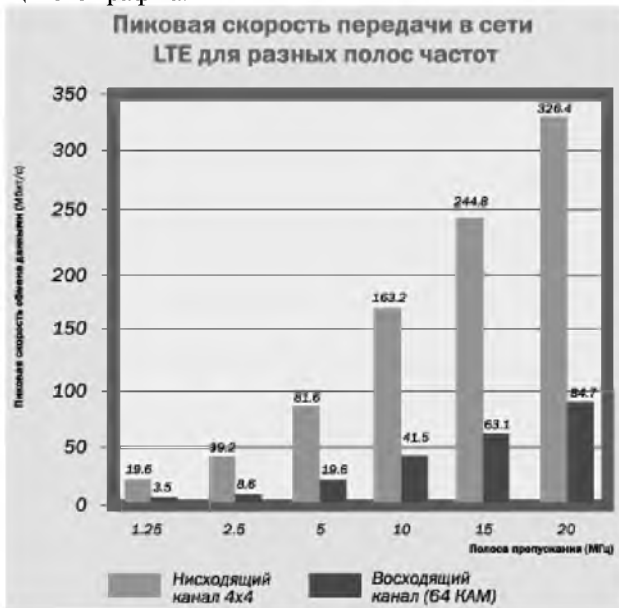
Значна увага в документі 3GPP Release 8 приділена забезпеченню якості сервісу, вибору мережі й використанню ідентифікаційних даних. Поява багатомодових терміналів, призначених, наприклад, для роботи в мережах Wi-Fi і стільникового зв'язку, дозволяє обслуговувати абонентів із застосуванням різних варіантів доступу. У цьому зв'язку в SAE передбачені механізми вибору найбільш зручної інфраструктури для надання послуг, необхідних абонентів.

Як відзначають розроблювачі SAE, запропоновані ними архітектурні зміни дозволять значно зменшити затримки передачі даних, які особливо критичні для таких додатків, як VoIP або онлайнові інтерактивні ігри. Як орієнтир для коротких IP-Пакетів і невеликого мережного навантаження

сумарна затримка при обігу пакета по мережі LTE/SAE повинна становити близько 5 мс для смуги 5 МГц і понад 10 мс для меншої смуги. Ці значення, принаймні, на 50% краще аналогічних показників найбільш зроблених з нинішніх мереж 3G.

6.1 Продуктивність

Ефективність доступу в системі LTE ретельно аналізувалася 3GPP. Аналіз показав, що доступ LTE задовольняє сформульованим вимогам і відповідним чином забезпечує необхідну гнучкість спектра. Схожим образом Еріксон провів всебічні випробування з імітаційним моделюванням системи і її продуктивності на рівні каналів. На малюнку показана ефективність використання змодельованого спектра й пропускної здатності користувальницького трафіка.



Ефективність спектра становить 1, 7-2,7 біт/з/Гц на стільнику в спадному каналі й 0,7 біт/з/Гц на стільнику у висхідному каналі при відстані між станціями 500 м. Пропускна здатність користувальницького трафіка на границі стільника – 18-0,28 біт/з/Гц на стільнику в спадному каналі й 0, 022-0,05 біт/з/Гц на стільнику у висхідному каналі, при моделюванні роботи з 10 користувачами й до кінця заповнених буферів кожної стільники.

Технологія LTE здатна забезпечувати швидкість передачі, що перевищує в задані 100 Мбіт/с для нисхідних й 50 Мбіт/с для висхідних каналів. На практиці, при виділенні смуги пропускання в 20 МГц, досягнута

швидкість в 325 Мбіт/с для нисхідного каналу й 80 Мбіт/с для висхідного каналу.

Орієнтовна затримка відгуку в мережі становить 7 мс; затримка в одну сторону становить 3,5 мс, а значення затримки відгуку в мережі для HARQ - 5 мс.

7 МЕХАНІЗМ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ

Під диспетчеризацією розуміється процес розподілу мережних ресурсів між користувачами, що передають дані. У технології LTE передбачена динамічна диспетчеризація у висхідному й спадному каналах.

Метою диспетчеризації є збалансованість якості зв'язку й загальної продуктивності системи. У радіоінтерфейсі LTE реалізована функція диспетчеризації залежно від стану каналу зв'язку. Вона забезпечує передачу даних на підвищених швидкостях (за рахунок використання модуляції більше високого порядку, зменшення ступеня кодування каналів, передачі додаткових потоків даних і меншого числа повторних передач), задіючи для цього часові й частотні ресурси з відносно гарними умовами зв'язку. Таким чином, для передачі будь-якого конкретного обсягу інформації потрібно менше часу. Частотно-тимчасова сітка OFDM допомагає вибирати ресурси одночасно в частотній і часовій областях.

Для трафіка сервісів, пересилаючих пакети з невеликим корисним навантаженням і через однакові проміжки часу, об'єм трафіка сигналізації, необхідної для динамічної диспетчеризації, може перевищувати об'єм переданої користувачем інформації. Тому в LTE також є функція статичної диспетчеризації (на додаток до динамічного). Під статичною диспетчеризацією розуміється виділення користувачеві радіочастотного ресурсу для передачі певного числа субкадрів.

Механізми адаптації каналу потрібні для того, щоб максимально використовувати можливості каналу з якістю, що змінюється, зв'язку. Такий механізм «вибирає» схеми модуляції й каналного кодування відповідно до умов зв'язку. Від його роботи залежать швидкість передачі даних і ймовірність виникнення помилок у каналі.

8 РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ У ВИСХІДНОМУ КАНАЛІ

Мова йде про керування рівнем випромінюваної терміналами потужності для того, щоб збільшити ємність мережі, розширити зону радіопокриття, підвищити якість зв'язку й знизити енергоспоживання. Для досягнення перерахованих цілей механізми регулювання потужності, як правило, домагаються максимального збільшення рівня корисного прийнятого сигналу при одночасному зниженні рівня радіоперешкод.

Сигнали у висхідному каналі LTE є ортогональними, тому взаємні радіоперешкоди між користувачами однієї стільниці відсутні - принаймні, при ідеальних умовах радіозв'язку. Рівень завад, створюваний користувачем сусідніх стільниць, залежить від місця розташування випромінюючого мобільного терміналу, а точніше, від рівня загасання його сигналу на шляху до цих стільниць. Загалом кажучи, чим ближче термінал до сусіднього стільника, тим вище рівень створюваних їм перешкод у ній. Відповідно термінали, що перебувають на більше далекій відстані від сусіднього стільника, можуть передавати сигнали більшої потужності, ніж термінали, розташовані поруч із нею.

Ортогональність сигналів у висхідному каналі LTE дозволяє мультиплексувати сигнали термінальних пристроїв різної потужності в цьому каналі в одній і тій ж соте. Це означає, що замість компенсації сплесків рівня сигналу, що виникають внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль (шляхом зниження випромінюваної потужності), їх (сплески) можна використовувати для збільшення швидкості передачі даних за допомогою механізмів диспетчеризації й адаптації каналу зв'язку.

9 LTE ADVANCED

Оскільки робота над першим випуском стандарту LTE закінчується, центр робіт тепер поступово рухається до подальшого розвитку LTE, за назвою LTE-Advanced. Схема розвитку LTE-advanced представлена на рисунку 9.1. Одна із цілей цього розвитку полягає в тому, щоб досягти й навіть перевершити вимоги IMT-advanced. IMT-Advanced - системи рухомого зв'язку, що володіють новими можливостями. Такі системи забезпечують доступ до широкого діапазону послуг електрозв'язку, включаючи послуги вдосконалених систем рухомого зв'язку, надавані мережами рухомого й фіксованого зв'язку, у яких всі частіше використовується пакетна передача. Системи IMT-Advanced забезпечують застосування з низкою й високою мобільністю, а також великий діапазон підтримуваних швидкостей передачі даних залежно від потреб користувачів і служб у середовищі з безліччю

користувачів. Системи IMT-Advanced також здатні забезпечувати мультимедійні застосування високої якості в широкому спектрі служб і платформ, істотно поліпшуючи показники роботи і якість обслуговування.

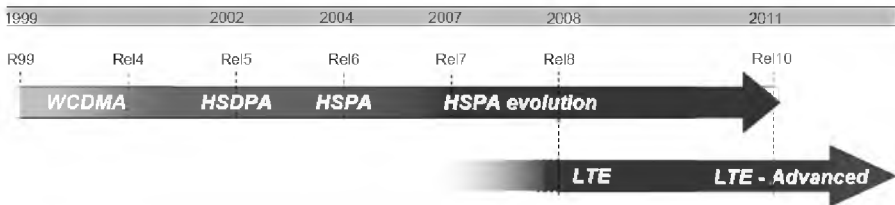


Рисунок 9.1 – Схема розвитку

Стандарт LTE-advanced повинен мати сумісність із LTE, у тому розумінні, що організація мережі LTE-advanced повинна бути можлива в спектрі частот уже зайнятому LTE, без заміни існуючих терміналів LTE. Така сумісність спектра має дуже велике значення для гладкого й дешевого переходу до LTE-advanced, цей перехід подібний до розвитку WCDMA до HSPA.

Вимоги LTE-advanced

1. Пікова швидкість передачі даних DL: 1 Гбіт/сек, UL: 500 Мбіт/сек
2. Смуга пропускання передачі: приблизно 70 МГц в DL і 40 МГц в UL
3. Користувальницька пропускна здатність на краях каналу в 2 рази вище, ніж це LTE
4. Середня користувальницька пропускна здатність в 3 рази вище, ніж в LTE
5. Ефективність спектра в 3 рази вище, ніж в LTE
6. Пікова ефективність спектра DL: 30 бітів у секунду/Гц, UL: 15 Біт у секунду/Гц
7. Гнучкість спектра: підтримка масштабованих смуг пропускання
8. Рухливість: така ж, як в LTE
9. Сумісність із фіксованими мережами

Пікова швидкість передачі даних

Пікова швидкість передачі даних - максимальна швидкість передачі, що буде забезпечуватися з погляду вимог до системи, незалежно від параметрів радіо інтерфейсу, таких як смуга пропускання й конфігурації антенних пристроїв.

В LTE-advanced повинне забезпечуватися значно збільшені пікові швидкості передачі даних у порівнянні з іншими мережами. А саме в downlink 1Гбіт/з, а в uplink - 500 Мбіт/с.

Ефективність спектру

Пікова ефективність спектру - досягається при піковій швидкості передачі даних, коли сигнал приймається безпомилково й всі доступні ресурси зв'язку використовуються одним UE.

Метою є підтримка ефективності спектра в downlink 30 біт у сек/Гц, а в uplink 15 біт у сек/Гц. Пропонується використання конфігурації антени 8x8 для DL і 4x4 для UL.

Середня ефективність спектра - визначається, як добуток числа правильно отриманих біт у повідомленні (на певному проміжку часу) і повної смуги пропускання діленої на кількість стільників. Середня ефективність спектра вимірюється в Біт/Сік/Гц/Стільника. В LTE-advanced передбачається наскільки тільки можливе збільшення середньої ефективності спектра, з огляду на звичайно розумну складність створюваної системи. У таблиці 9.1 показана середня ефективність спектра при різних антенних конфігураціях.

Таблиця 9.1 – Значення ефективності спектру

Конфігурація антен		Значення середньої ефективності спектра, біт/с/гц/стільника
UL	1x2	1,2
	2x4	2
DL	2x2	2,4
	4x2	2,6
	4x4	3,7

Користувальницька пропускна здатність на краях стільники визначається як 5% від повної пропускної здатності. У таблиці 9.2 представлені значення, які задовольняють вимогам стандарту.

Таблиця 9.2 – Користувальницька пропускна здатність

Конфігурація антен		Користувальницька пропускна здатність [bps/Hz/cell/user*]
UL	1x2	0.04
	2x4	0.07
DL	2x2	0.07
	4x2	0.09
	4x4	0.12

Мобільність

Система повинна підтримувати зв'язок при різних швидкостях руху до 350км/год, або навіть до 500км/год залежно від діапазону робочих частот. Так само повинна бути забезпечена гарна якість зв'язку при роботі системи на низьких швидкостях від 0 до 10км/ч.

Спектр частот.

В LTE-advanced будуть застосовуватися додаткові групи частотних діапазонів:

1. 450-470 Мгц
2. 698-862 Мгц
3. 790-862 Мгц
4. 2.3-2.4 Мгц
5. 3.4-4.2 Ггц
6. 4.4-4.99 Ггц

Технічні пропозиції.

1. Використання передових антенних рішень (MIMO)
2. Масштабована смуга пропускання системи (від 20 Мгц до 100Мгц)
3. Висока мобільність
4. Гнучке використання спектра
5. Автоматична й автономна конфігурація мережі
6. Удосконалення кодування й усунення помилок
7. Гібрид OFDMA і SC-FDMA в uplink

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю.А. Громаков. Структура TDMA кадров и формирование сигналов в стандарте GSM. // Электросвязь. – 1993. № 10. – С. 9-12.
2. Берлин А. Н. Цифровые сотовые системы связи. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 296 с.
А. Mehrotra. Cellular Radio: Analog and Digital Systems. Artech House. Boston-London. 1994. p. 460.
3. 3GPP, Широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов для универсальных систем подвижной связи. Системы радиодоступа для третьего поколения подвижной связи.: Пер. с англ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 393 с.
4. Бабков В. Ю., Аксёнов А.Н. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – С.170-175
5. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. Издание второе, исправленное и дополнено. — М.: Техносфера, 2006. – 288 с.