

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

на тему: **“ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ КЛАСИФІКАТОРІВ ДЛЯ
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ”**

Виконав: студент 4 курсу, групи
ТСД-48
спеціальності

172 Телекомунікації і радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Бондаренко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____

Київ - 2021

ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП.....	8
1 САМООРГАНІЗАЦІЯ І УПРАВЛІННЯ ЧАСТОТНИМ РЕСУРСОМ У МЕРЕЖАХ LTE.....	9
2 ОПИС ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ LTE З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ КЛАСИФІКАТОРІВ.....	23
2.1 Розробка нечіткої темпоральної моделі для опису впливу параметрів зовнішнього середовища.....	25
3. ВЗАЄМОДІЯ МЕРЕЖІ LTE З МЕРЕЖАМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ РІЗНИХ СТАНДАРТІВ.....	38
3.1 Взаємодія мережі LTE з іншими мережами стандартів 3GPP.....	38
3.2 Сценарії взаємодії мережі LTE з мережами стандартів не-3GPP.....	43
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	51
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	53

ВСТУП

На сьогоднішній день розвиток сучасних систем зв'язку є запорукою як економічної так і науково-технічної стабільності країни. Нові засоби передачі інформації – це не лише нові можливості для проведення наукових досліджень, а і способи підтримки комунікацій між людьми, можливість проектування нових телекомунікаційних мереж, і, як наслідок – можливість подальшого вкладу в розвиток світової ІТ-спільноти.

Однією з найперспективніших та актуальних систем обміну інформацією в Україні є мережі зв'язку стандарту LTE. Це сучасні високошвидкісні системи, які дозволяють не лише передавати дані на більш високих швидкостях у порівнянні з попередніми поколіннями, але і відкривають користувачу смартфону нові можливості взаємодії як з телефоном, так і з телекомунікаційною радіомережею в цілому.

Проектування та розгортання мереж радіозв'язку – складний та відповідальний для інженерів процес, який в першу чергу характеризується жорсткими вимогами до якісних показників надаваних послуг та економічною вигодою як для оператора, так і для абонента мережі.

Проте, навіть при сумлінному підході до вирішення даних питань, виникають ситуації коли показники вищезазначених пріоритетів можуть знаходитися під дією зовнішніх факторів, дію яких, у свою чергу, досить складно охарактеризувати одним або декількома характеристиками. Для вирішення питань підтримки якісних показників системи зв'язку пропонується представлення всіх зовнішніх дестабілізуючих факторів в якості нечіткої темпоральної моделі (нечітких класифікаторів), аналіз та дослідження яких допоможе не тільки встановити закономірності впливу зовнішнього середовища на показники системи, а і сформулювати нові методи боротьби зі зниженням якісних властивостей функціонування мережі в цілому.

1 САМООРГАНІЗАЦІЯ І УПРАВЛІННЯ ЧАСТОТНИМ РЕСУРСОМ У МЕРЕЖАХ LTE

Самоорганізація мережі LTE (SON - Self-organized Network) включає в себе 3 напрямки:

- самоконфігурацію;
- самооптимізацію;
- самоврядування (self-healing).

Останнє означає зміни в структурі мережі або її параметрів, які автоматично роблять з метою повного відновлення оперативності мережі при відмовах апаратури.

Найбільш важливим напрямком самоорганізації в мережах LTE є їх оптимізація. Вона заснована на балансуванні навантаження між сусідніми eNB з метою їх рівномірного завантаження і підвищення пропускної спроможності мережі в цілому. Трафік в мережі є випадковий процес і непоодинокі випадки, коли окремі стільники перевантажені, а в сусідніх є вільний каналний ресурс. Рішення полягає в перемиканні частини UE на eNB більш вільних сот, тобто в організації покращення хендоверу і зміні параметрів, що впливають на реселекцію сот при переміщенні по мережі абонентів.

При балансуванні навантаження використовують такі функції і процедури:

- обмін інформацією про навантаження між сусідніми сотами;
- балансування навантаження з використанням хендовера;
- зміна параметрів при реселекції сот і хендовера.

Функціональна архітектура балансування навантаження наведена на рис. 1.1.

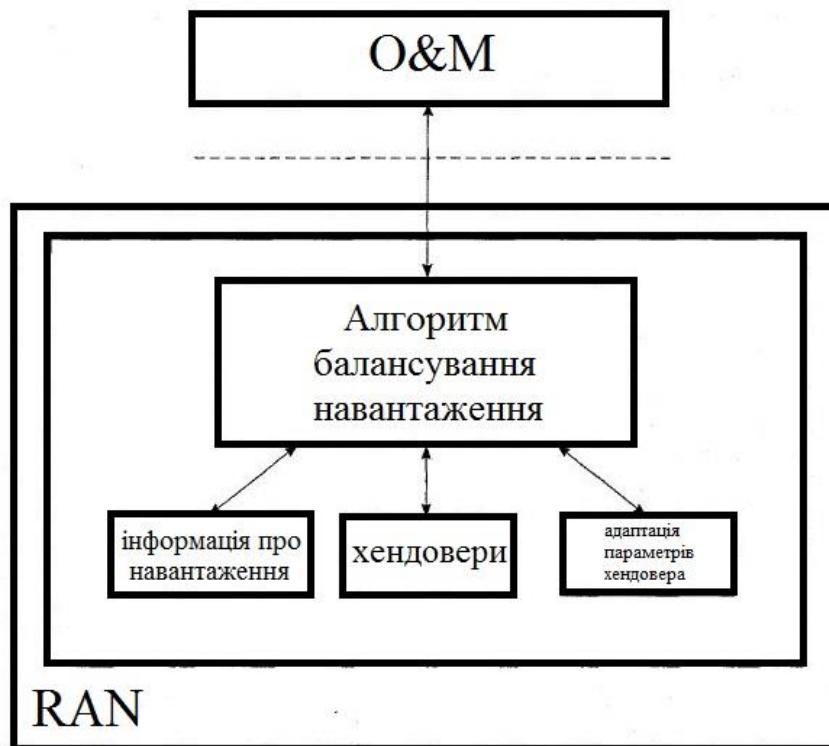


Рис. 1.1 Функціональна архітектура балансування навантаження

При балансуванні всередині мережі LTE сусідні eNB обмінюються такою інформацією:

- використання радіоресурсу (загальне число фізичних ресурсних блоків, що виділяються для передач вгору і вниз, число ресурсних блоків, виділених для трафіку з гарантованою швидкістю і з негарантованою швидкістю),
- індикатор завантаження радіонтерфейсу вгору і вниз (низький, середній, високий, перевантаження);
- індикатор навантаження транспортних каналів вгору і вниз (низький, середній, високий, перевантаження);
- обсяг пропускної здатності стільнику, який може бути виділений для балансування навантаження вгору і вниз;
- індикатор відносної пропускної спроможності стільника (опціонально).

В даний час триває розробка алгоритмів балансування навантаження MLB (Mobility Load Balancing), які дозволять оптимізувати навантаження на основі багатокритеріальних цільових функції. Зокрема в них повинні бути враховані

витрати ресурсів на процедури хендовера, збільшення затримок і зниження при хендовера якісних показників.

Самоконфігурація мережі полягає в підключенні/відключенні вузлів базових станцій eNB або фемто базових станцій на основі алгоритмізованих процедур. При підключенні eNB в нього завантажують необхідні параметри і програмне забезпечення (ПЗ). eNB повинен отримати IP-адресу, списки сусідніх базових станцій, встановити фізичні та логічні з'єднання з ядром мережі, з eNB сусідніх сот. Все це в SON відбувається автоматично під керуванням сервера конфігурації в Центрі оперативного управління мережею OAM (Operation, Administration and Maintenance Center).

Можливий алгоритм самоконфігурації представлений на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Алгоритм самоконфігурації

Головною його особливістю є те, що підключення нового eNB відбувається через діючу eNB сусідньої соти, яка по відношенню до нової станції є

спонсорською eNB. При цьому на етапах 1-6 алгоритму нова eNB поводитья як UE.

1. На початку процесу нова eNB поводитья як UE.
2. Він сканує мережу і знаходить eNB сусідніх сот.
3. Новий eNB вибирає спонсорську eNB, що має активне з'єднання з ядром мережі і OAM.
4. Нова eNB запитує доступ до мережі через спонсорську eNB як UE. Однак при цьому він використовує спеціально виділені коди доступу, щоб спонсорська eNB зрозуміла, що йде підключення не UE, а нового eNB.
5. Відбувається взаємна аутентифікація нового eNB і мережі. У цій процедурі спонсорський eNB направляє запит на аутентифікацію в OAM. Але завершення процедури аутентифікації OAM посилає новому eNB його IP-адреса, IP-адреси обслуговуючого шлюзу і сервера настройки через спонсорську eNB.
6. Тепер новий eNB може організувати з'єднання з сервером конфігурації; відбувається завантаження ПЗ в нову eNB.
7. Після всіх завантажень нова eNB конфігурує себе.
8. Новий eNB змінює свій статус (mode). Він починає працювати як eNB.
9. Новий eNB встановлює фізичні і логічні з'єднання з сусідніми вузлами базових станцій і з ядром мережі.
10. Самоконфігурація нового eNB в мережі завершена і він готовий до обслуговування абонентів.

Широкі можливості самоконфігурації мереж з'являються при переході до стандарту LTE-A, представленому специфікаціями 3GPP, Rel.10. У LTE-A поряд з агрегацією робочих смуг до 100 МГц, розвитком технологій MIMO (табл. 1.1), запропоновані варіанти конфігурації мереж LTE-A з використанням релейних базових станцій і фемтосот.

Мета управління частотним ресурсом в мережі LTE полягає в досягненні максимальної пропускної здатності мережі при виконанні вимог якості послуг, що надаються (QoS). Безпосередньо управлінням частотним ресурсом здійснюють командами протоколу RRM (Radio Resource Management). На більш високому

рівні працює неспеціалізована програма, яку поставляє виробник апаратури - планувальник (scheduler). Функції управління радіоресурсом можна представити у вигляді окремих модулів (рис. 1.3).

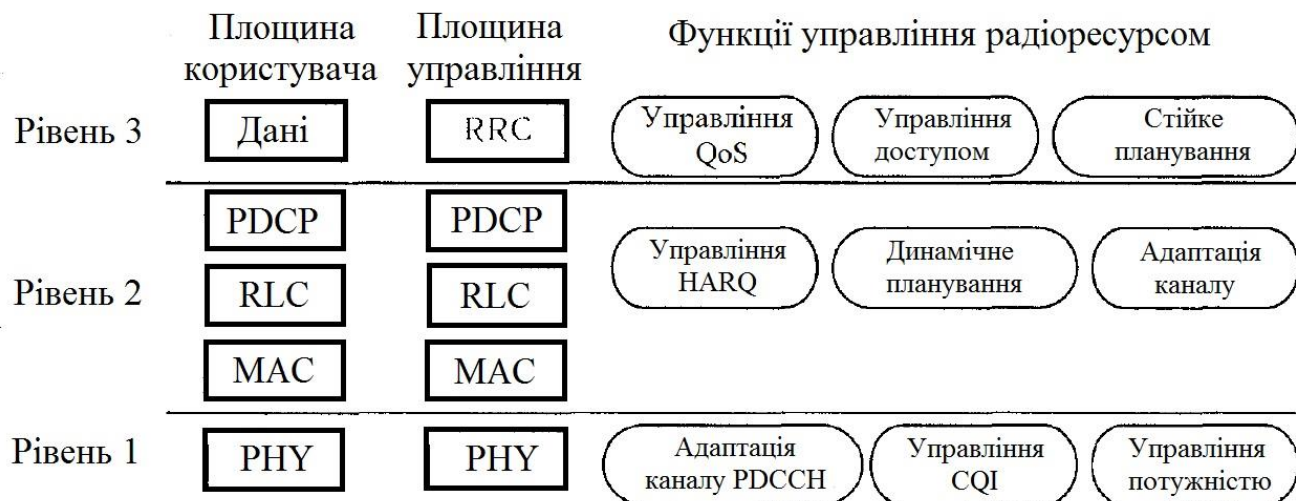


Рис. 1.3 Стеки протоколів і функції управління радіоресурсом

При управлінні доступом AC (Admission Control) eNB дозволяє організацію нового користувальницького каналу, або не дозволяє. Новий капає може звернутися до користувач (UE) або ядра мережі. При організації нового каналу eNB бере до уваги розподіл ресурсів в соті, вимоги QoS, рівні пріоритетів і підтримку QoS для існуючих в соті в даний час активних з'єднань. Новий запит буде прийнятий в тому випадку, якщо можна забезпечити необхідну QoS для нового каналу, підтримуючи необхідну якість обслуговування в існуючих каналах з таким же або більш високим пріоритетом.

Кожному каналу трафіку відповідає набір параметрів QoS. Для кожного класу передачі (QCI) вказані допустима затримка, пріоритет і допустима відносна величина неприйнятих пакетів. На основі врахування пріоритетів і затримок планувальник вибудовує чергу пакетів на передачу. Важливим параметром є пріоритетна швидкість PBR (Prioritized Bit Rate). Її обов'язково встановлюють для каналів з гарантованою швидкістю (GBR) відповідно до вказівок, які eNB отримує від S-GW по інтерфейсу S1. Однак PBR може бути встановлена і для каналів з негарантованою швидкістю (Non-GBR). Призначення PBR здійснюють відповідно

до пріоритетів класів передачі. У разі, коли UE одночасно підтримує «вгору» кілька з'єднань, для кожного встановлюють свою PBR. Планувальник може динамічно змінювати параметри QoS існуючих каналів. Крім специфікованих параметрів QoS, планувальник враховує додаткові параметри, наприклад, пріоритет збереження місця розташування ARP (Allocation Retention Priority).

Оскільки в мережах LTE використовують динамічне управління ресурсом, планувальник також відноситься до класу динамічних (Dynamic Packet Scheduler - динамічний пакетний планувальник). Виділення ресурсних блоків (РБ) здійснюється для кожного субкадру тривалістю в 1 мс. Відповідно до вказівок планувальника для всіх переданих потоків рівень MAC починає виставляти у вигляді блоків на передачу пакети різних потоків даних. При цьому MAC визначає формати транспортних блоків (число виділених ресурсних блоків і типи модуляційно-кодуючих схем). Рішення про розподіл каналного ресурсу планувальник приймає на основі встановлених динамічних пріоритетів передачі і повідомлень CQI, переданих абонентськими станціями. При неприйомі пакетів, використовуючи технологію HARQ, планувальник вирішує, чи передати наступний блок даних абоненту або повторити неприйнятий. Комбінацію цих варіантів в одному субкадрі не допускають.

Для збільшення пропускної спроможності системи використовують технологію планування передачі пакетів в частотній області FDPS (Frequency Domain Packet Scheduling). Принцип FDPS наведено на рис. 1.4.

Відповідно до інформації про якість прийому (CQI), яка постійно надходить, переданої «вгору» активними UE, планувальник виділяє абонентам ресурсні блоки в тих частинах робочої смуги, де умови прийому найкращі. При використанні FDPS можливий 40% -й виграш в пропускній здатності при низьких швидкостях переміщення UE, але при збільшенні швидкостей руху абонентів виграш зменшується. Останнє обумовлено тим, що радіоканал не може бути точно відстежено в реальному часі через затримки на лінії «вгору» при передачі CQI. При повільних переміщеннях абонента планувальник може відстежувати швидкі селективні завмирання на різних частотах робочої смуги і вибирати для

безлічі активних абонентів оптимальні варіанти розподілу каналного ресурсу від субкадра до субкадру.

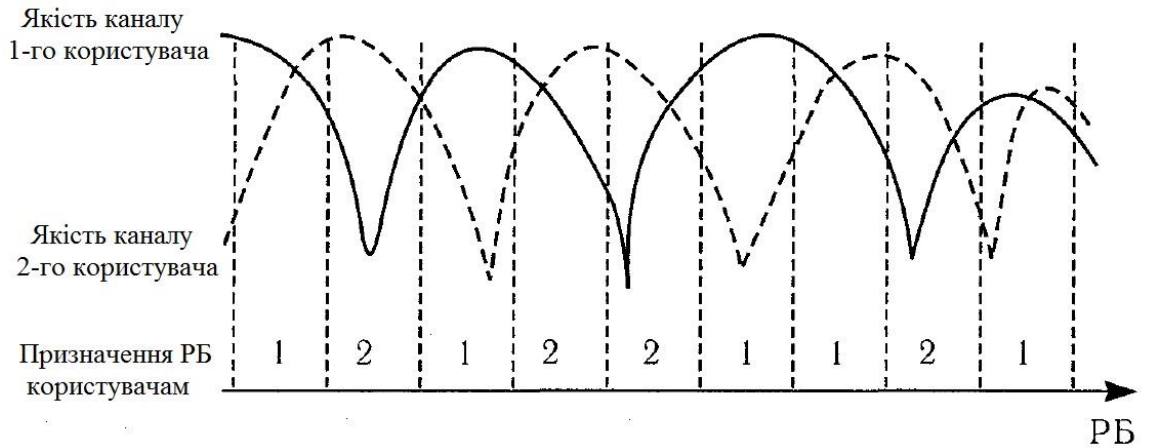


Рис. 1.4 Виділення каналного ресурсу в частотній області

Складніше виглядає ситуація з розподілом каналного ресурсу між сусідніми базовими станціями, зокрема між базовими станціями, обслуговуючими сектора однієї eNB. Для зниження рівня соканалних перешкод при малому завантаженні системи загальний каналний ресурс може бути поділений між сусідніми сотами відповідно до навантаження в цих сотах (рис. 1.5). Таке розподілення РБ називають дробовим (fractional).

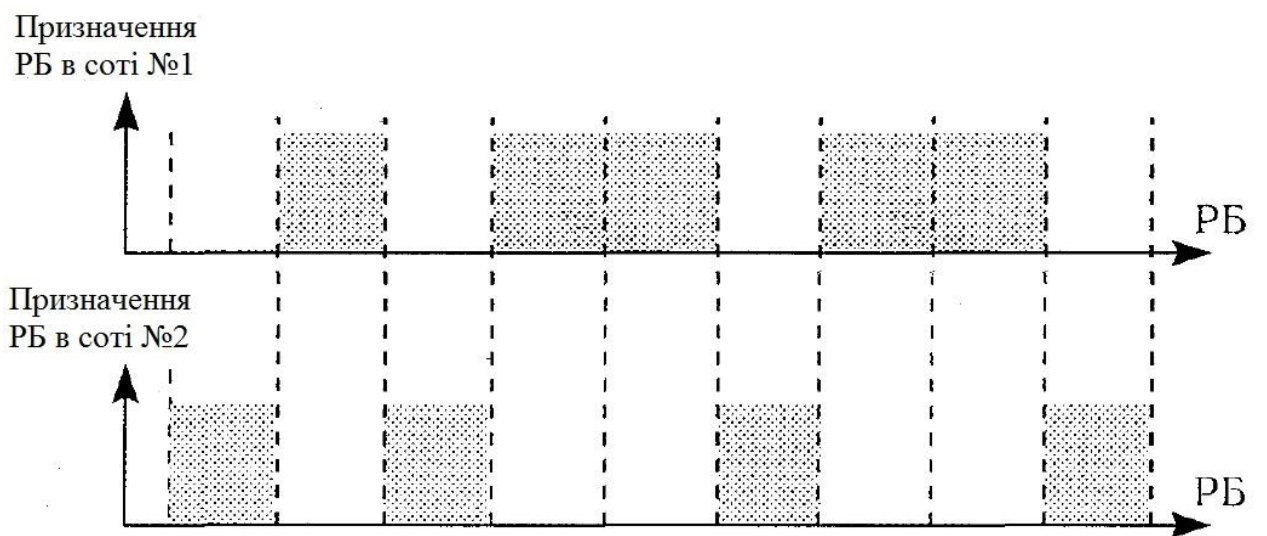


Рис. 1.5. Планування в частотній області при дробовому розподілі каналного ресурсу

Однак на практиці при навантаженні в мережі, близькою до граничної, такий простий розподіл каналного ресурсу не є оптимальним. Для мереж LTE розроблені різні механізми управління рівнем соканальних перешкод в сусідніх сотах ICIC (Inter-Cell Interference Control). Механізми ICIC засновані на динамічному розподілі каналного ресурсу між сотами і управлінні потужністю передачі. По інтерфейсам X2, що з'єднує сусідні eNB, йде обмін повідомленнями про рівні соканальних перешкод та іншою інформацією в рамках команд X2-AP. Кожна eNB повідомляє сусідні eNB про те, як вона збирається використовувати каналний ресурс для своїх абонентів. При цьому він враховує інформацію, отриману від планувальників сусідніх eNB по інтерфейсам X2. На практиці можуть бути реалізовані комбінації різних сценаріїв розподілу каналного ресурсу.

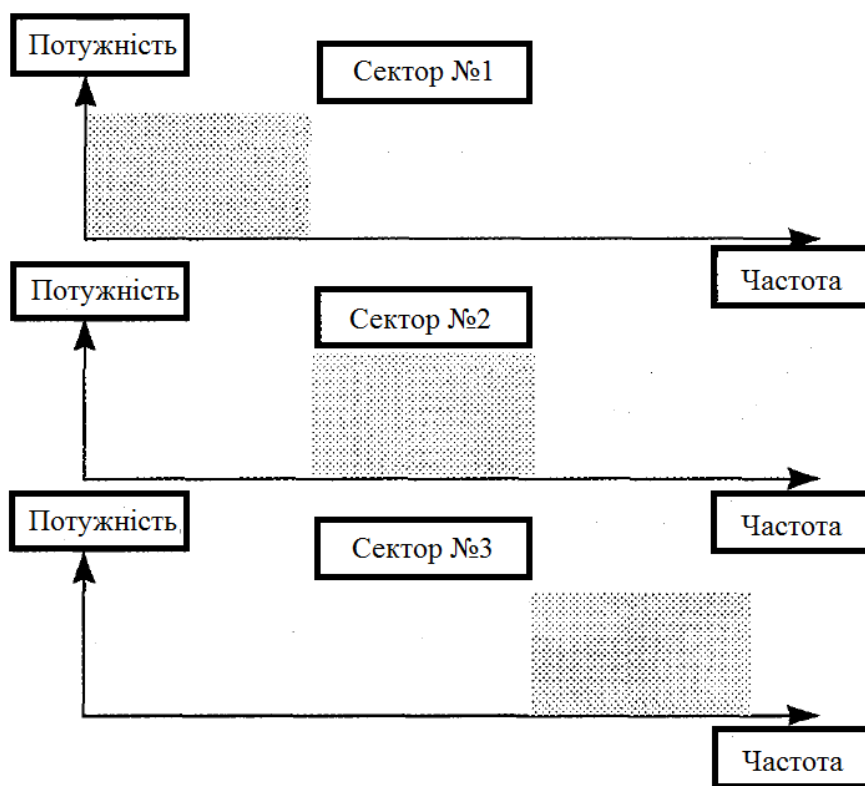


Рис. 1.6 Метод жорсткого повторного використання частотного ресурсу

При жорсткому дробовому розподілі каналного ресурсу весь ресурс розбивають на 3 частини (коефіцієнт повторного використання частот дорівнює 3) - рис. 1.6. При суцільному покритті території використовують трисекторні

структури eNB (рис. 1.7), де для простоти шестикутні сектори замінені ромбами, а каналний ресурс порівну розподілений між 3 секторами. На рис. 1.7 показані траєкторії, що дозволяють визначити відношення сигнал/сумарна перешкода для абонентської станції в точці М, максимально віддаленої від обслуговуючого eNB (точка О на рис. 1.7). У точці М відношення сигнал/сумарна перешкода буде найгіршим (мінімальним), але при жорсткому дробовому розподілі каналного ресурсу воно, в залежності від умов поширення радіохвиль, може перевищувати 8-10 дБ.

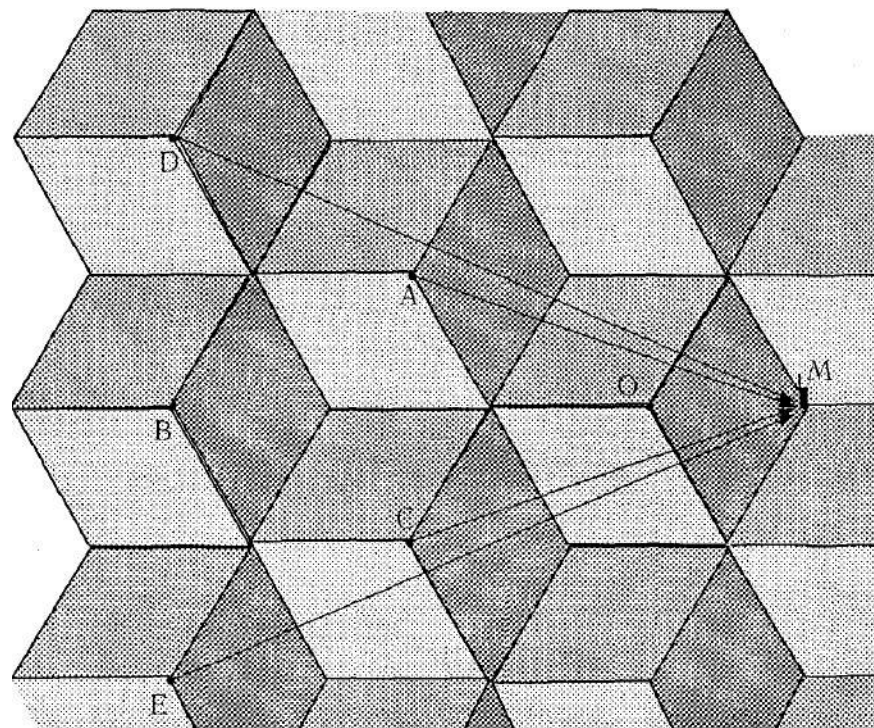


Рис. 1.7 До визначення відношення сигнал/перешкода при жорсткому повторному використанні частотного ресурсу

Однак жорсткий дробовий розподіл каналного ресурсу різко знижує трафік в кожному секторі, а, отже, і в мережі в цілому. Тому на практиці реалізують м'яке повторне використання частот (рис. 1.8).

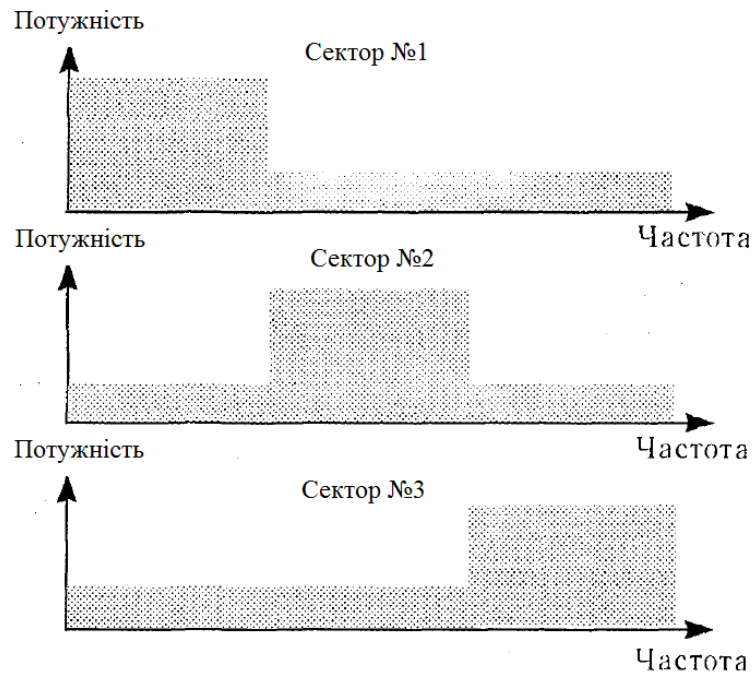


Рис 1.8 Метод м'якого повторного використання частотного ресурсу

Ідея методу полягає в тому, що для UE, що знаходяться поблизу eNB, використовують весь частотний ресурс (коефіцієнт повторного використання частот дорівнює 1), але передавачі в цьому випадку працюють із зниженою потужністю. Для станцій, розташованих на кордоні сот, коефіцієнт повторного використання частот дорівнює 3, і в кожному секторі для обслуговування таких станцій виділяють 1/3 загального каналного ресурсу. Завадова ситуація для даного варіанту проілюстрована на рис. 1.9. Області, де коефіцієнт повторного використання частот дорівнює 1 зафарбовані темним кольором. Для UE на кордоні сот (в точці M) відношення сигнал/сумарна перешкода буде гірше, ніж при жорсткому використанні каналного ресурсу (рис. 1.7). Однак, оскільки це відношення буде динамічно змінюватися в часі, кожна eNB може адаптивно змінювати області повного і часткового використання каналного ресурсу, змінювати використовувані при передачі модуляційно-кодуєчі схеми, досягаючи максимуму переданого в мережі трафіку.

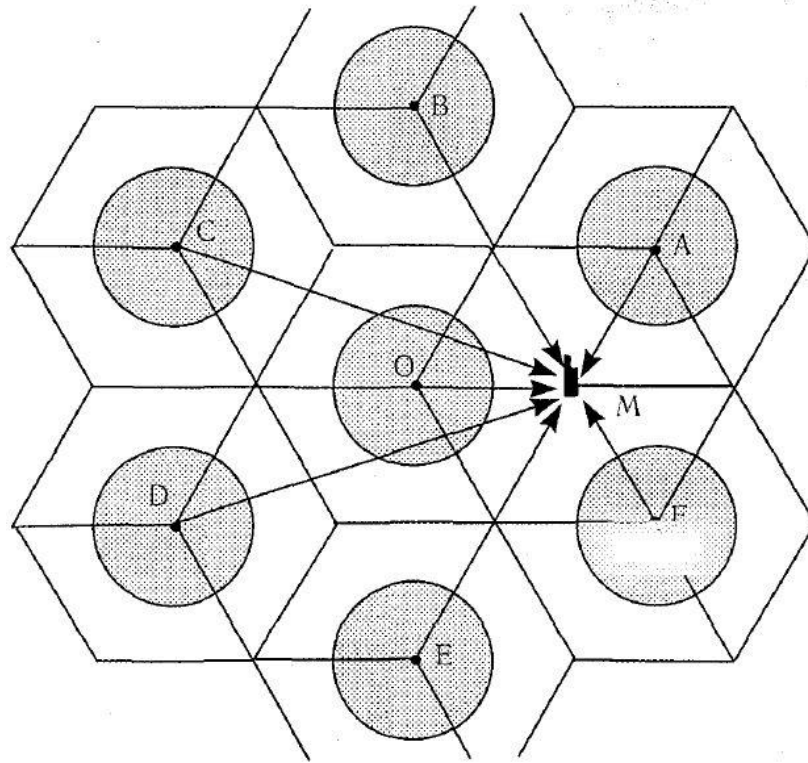


Рис. 1.9 До визначення відношення сигнал/завада при м'якому повторному використанні частотного ресурсу

Вибір блоків на передачу, вибір модуляційно-кодуєчої схеми і виділення ресурсних блоків здійснює ПЗ рівня МАС. Весь цей процес відбувається в реальному часі під керівництвом планувальника (scheduler). Планувальник є програмний продукт, що розробляється і поставляється виробником апаратури. Призначення планувальника полягає в максимізації пропускної здатності окремих сот і мережі в цілому. Швидкості, з якими йде обмін даними між eNB і абонентськими терміналами, залежать від ставлення сигнал/перешкода на входах відповідних приймачів. Планувальник збирає дані про швидкостях передачі, запитуваних різними UE, і вирішує, які термінали будуть обслуговуватися в кожному конкретному субкадрі і з якими швидкостями.

У кожному субкадрі планувальник призначає пріоритети різним призначеним для користувача каналам трафіку, на основі яких йде виділення (або не виділення) каналного ресурсу конкретним абонентам. Існують різні алгоритми роботи планувальника:

- Proportional Fair Resource Allocation Scheme - алгоритм пропорційно-справедливого призначення ресурсу;

- Soft Frequency Reuse Scheme - алгоритм м'якого повторного використання доступного ресурсу;

- Round Robin Scheduling Scheme - алгоритм використання ресурсу в порядку черги;

- Resource Scheduling Scheme based on Maximum Interference - виділення ресурсу на основі максимального показника рівня перешкод;

- Resource Scheduling Algorithm based on Dynamic Allocation - алгоритм розподілу ресурсу, заснований на динамічному виділенні каналів.

Пропорційно-справедливий алгоритм є основним в роботі планувальника. Пріоритет m -го призначеного для користувача каналу для n -го субкадру розраховують за формулою:

$$P_{m,n} = \frac{R_m(n)}{T_m(n)}, \quad (1.1)$$

де $R_m(n)$ - швидкість передачі даних, що визначається вибором модуляційно-кодувочої схеми в залежності від відношення сигнал/перешкода на вході відповідного приймача;

$T_m(n)$ - зважений обсяг раніше переданої інформації з даного з'єднання.

Значення $T_m(n+1)$ для $(n+1)$ -го субкадра визначають як:

$$T_m(n+1) = \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) T_m(n) + \left(\frac{1}{t_c}\right) R_m(n), \text{ якщо в субкадрі } n \text{ була передача,}$$

$$T_m(n+1) = \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) T_m(n), \text{ якщо в субкадрі } n \text{ не було передачі.}$$

Величину t_c називають вікном передачі: це тривалість передачі, виражена числом субкадрів. Зменшуючи t_c можна підвищувати пріоритет з'єднань, що передаються в квазіреальність часу (потоківий трафік). Для з'єднань, які не

критичні до затримок (t_c велике), планувальник вибирає для передачі ті субкадри, в яких може бути забезпечена максимальна швидкість $R_m(n)$.

Якщо для всіх з'єднань встановлений великий t_c (в межі ∞), то пропорційно-справедливий алгоритм максимізує функцію.

$$U(n) = \sum_{m=1}^M \log[T_m(n)]. \quad (1.2)$$

Алгоритм м'якого повторного використання доступного ресурсу дозволяє розподіляти каналний ресурс в залежності від місцезнаходження абонента в соті (рис. 1.9). Абоненти, що знаходяться на краю стільника, отримують частотні смуги з коефіцієнтом повторного використання 3 (смуги, де базова станція передає сигнали з максимальною потужністю). Для UE, розташованих поблизу eNB (в затемнених зонах на рис. 1.9), можна використовувати весь каналний ресурс.

Алгоритм використання ресурсу в порядку черги працює наступним чином: ресурс виділяють в порядку черговості. Першого користувача обслуговують у всьому доступному частотному діапазоні в певному часовому інтервалі. Після завершення обслуговування першого користувача ресурс вивільняють і призначають наступного користувачеві. Перший користувач стає в кінець черги і отримує ресурс тільки після обслуговування всіх заявлених абонентів.

Даний алгоритм планування має високу справедливість по відношенню до всіх абонентів, але практичного застосування в технології LTE не знайшов, так як дасть найгірший результат за пропускнуою спроможністю мережі в цілому.

Алгоритм виділення ресурсу на основі максимального показника рівня перешкод передбачає поділ користувачів за показником якості CQI. Користувач з найкращим показником якості каналу CQI стає в початок черги і отримує ресурс першим, потім обслуговують наступних абонентів з більш низьким CQI і т. д. Якщо звернутися до формули (1.1), то в ній слід покласти $T_m(n) = 1$. Цей алгоритм дозволяє досягти максимальної пропускнуої здатності в мережі, але при великому трафіку станції, що знаходяться на кордоні стільника або в умовах низького

відношення сигнал/перешкода, не отримують ресурсні блоки. Тому, як було сказано, в планувальниках в якості основного використовують пропорційно-справедливий алгоритм.

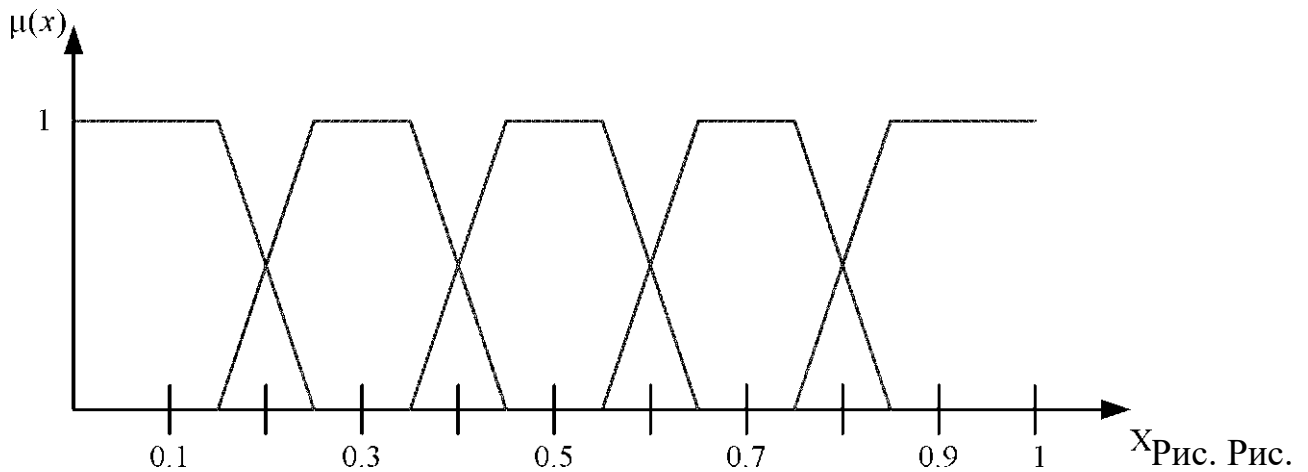
Алгоритм, заснований на динамічному виділенні каналів, передбачає, що каналний ресурс призначають, враховуючи класи графіка, переданого в мережі. Фактично мова йде про певне резервування ресурсу для потокового (і, в майбутньому, телефонного) трафіку. Цей алгоритм може бути зведений до пропорційно-справедливого, якщо в (1.1) динамічно змінювати значення t_c .

2 ОПИС ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ LTE З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ КЛАСИФІКАТОРІВ

Введемо в розгляд лінгвістичну змінну (ЛП) $L^{(4)}$ з ім'ям «Рівень показника» і терм-множиною значень «Незадовільно» (НЗ), «Задовільно» (З), «Добре» (Д), «Відмінно» (В), які визначено на відрізку $[0,1]$. Кожен терм ЛП $L^{(4)}$ опишемо трапеційдальною функцією приналежності. Подібно до того, як це зроблено в [26], розглянемо набір вузлових точок $\alpha = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7\}$, які є абсциссами максимумів функцій приналежності термів ЛП $L^{(4)}$ і в той же час рівномірно стоять один від одного на відрізку $[0,1]$ і симетрично щодо абсциси 0.5. Тоді сукупність ЛП $L^{(4)}$ і множини вузлових точок α будемо називати стандартним нечітким чотирьохрівневим класифікатором [26].

Функції приналежності термів ЛП $L^{(4)}$ в силу своєї трапецеподібної форми можуть бути описані кортежем з чотирьох значень, визначаючих початкову та кінцеву абсцису нульового і одиничного α - рівнів. Враховуючи це, терм-множина стандартного нечіткого чотирьохрівневого класифікатора можна визначити наступним чином:

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{НЗ}} &= (0, 0, 0.15, 0.25); \\
 \mu_{\text{З}} &= (0.15, 0.25, 0.35, 0.45); \\
 \mu_{\text{Д}} &= (0.35, 0.45, 0.55, 0.65); \\
 \mu_{\text{В}} &= (0.55, 0.65, 0.75, 0.85);
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$



2.1 Графік функцій приналежності терм-множини стандартного нечіткого п'ятирівневого класифікатора

Графік функцій приналежності, описаних співвідношеннями (2.2), наведено на рис. 2.1.

Значення побудованого нечіткого класифікатора полягає в можливості опису чинників з максимальною точністю, про які нічого не відомо, крім їх області значень, і для яких необхідно провести асоціацію між якісною і кількісною оцінками. При цьому область значень заданого фактора за допомогою лінійних перетворень можна привести до носія нечіткого класифікатора, а терми, що описують нечіткі значення, відповідно до твердження будуть утворювати ПОСП.

Якщо при побудові класифікатора є деяка додаткова інформація про поведінку фактора, то в загальному випадку класифікатор не буде стандартним, так як вузлові точки не будуть симетричні щодо середини носія відповідного фактора.

Все вищесказане можна застосувати і для більш загального випадку - побудови n - рівневого нечіткого класифікатора, за умови, що $n > 1$ і $n \in Z$, де Z - безліч цілих чисел. Кількість рівнів n вибирається залежно від вимог, що висуваються до моделі.

Дворівневий класифікатор не представляє інтересу, тому що не містить серединного нечіткого значення, навколо якого найчастіше

групуються стани реальних об'єктів. Тому доцільно розглянути класифікатор при $n = 3$.

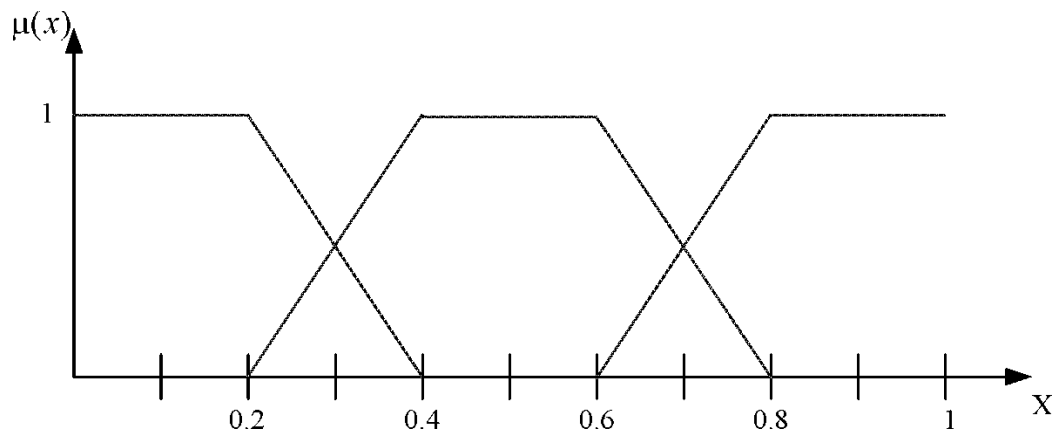


Рис. 2.2 Графік функцій приналежності терм-множини стандартного нечіткого трирівневого класифікатора.

Стандартний трирівневий нечіткий класифікатор введемо через лінгвістичну змінну $L^{(3)}$ з терм-множиною значень «Низький (Н), Середній (С), Високий (В)».

Функції приналежності відповідних термів описуються наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \mu_H(0, 0, 0.2, 0.4); \\ \mu_C(0.2, 0.4, 0.6, 0.8); \\ \mu_B(0.6, 0.8, 1.1). \end{aligned} \quad (2.3)$$

Графік функцій приналежності, описаних співвідношеннями (2.3), наведено на рис. 2.2.

Множина вузлових точок прийме значення $a = \{0.1, 0.5, 0.9\}$.

2.1 Розробка нечіткої темпоральної моделі для опису впливу параметрів зовнішнього середовища

Для вивчення завдань, що розглядаються велике значення має вплив навколишнього середовища на параметри системи мобільного зв'язку стандарту LTE. У більшості випадків описати цей вплив кількісно і чітко не надається

можливим. Викликає інтерес навіть не точний облік зовнішнього впливу, нехай навіть цей вплив буде достатньо не визначено.

Введемо параметри, пов'язані з описом навколишнього середовища, які впливають на функціонування телекомунікаційної системи.

Визначення параметрів зовнішнього середовища часто є тяжким завданням. Це пов'язано з великою кількістю чинників, що прямо або побічно впливають на параметри системи, і їх гетерогенність. Опис всієї безлічі таких факторів представляється важким здійсненням завдання, тому обмежимося лише найбільш явними і впливовими з них.

З огляду на високий ступінь гетерогенності параметрів навколишнього середовища, логічно буде розділити всі параметри на групи, виходячи з їх ставлення до тієї чи іншої області зовнішнього впливу. Це означає, що буде доцільним ввести агреговані показники для різних типів впливу зовнішнього середовища, значення яких будуть залежати від вихідного набору параметрів.

Введемо в розгляд три агрегованих показника, які характеризують вплив зовнішнього середовища. Позначимо ці показники γ_1, γ_2, E . Значення кожного залежить від відповідного йому безлічі параметрів.

$$\begin{aligned}\gamma_1 &= H_1(\gamma_1^1, \dots, \gamma_{n_1}^1); \\ \gamma_2 &= H_2(\gamma_1^2, \dots, \gamma_{n_2}^2); \\ E &= H_E(e_1, \dots, e_{n_E}),\end{aligned}\tag{2.4}$$

де n_1, n_2, n_E - потужності множин параметрів агрегованих показників γ_1, γ_2 і E відповідно, $H_1(\gamma_1^1, \dots, \gamma_{n_1}^1)$, $H_2(\gamma_1^2, \dots, \gamma_{n_2}^2)$, $H_E(e_1, \dots, e_{n_E})$ - деякі нечіткі функції. Під нечіткою функцією будемо розуміти відображення з простору нечітких значень параметрів зовнішнього середовища в простір нечітких значень агрегованого показника.

Загальна структура ієрархії параметрів зовнішнього середовища показана на рис. 2.3.

Перший показник, що позначається γ_1 , відображає демографічні параметри, які характеризують населення, що обслуговується деякою підсистемою. Даний показник є ЛП з терм-множиною значень {«Сильно

Зменшує» (СЗм), «Зменшує» (Зм), «Не впливає» (НВ), «Збільшує» (Зб), «Сильно збільшує» (СЗб)} і може бути представлений стандартним нечітким п'ятирівневим класифікатором. Кожен терм відображає рівень впливу демографічних параметрів навколишнього середовища на значення параметрів даної підсистеми.

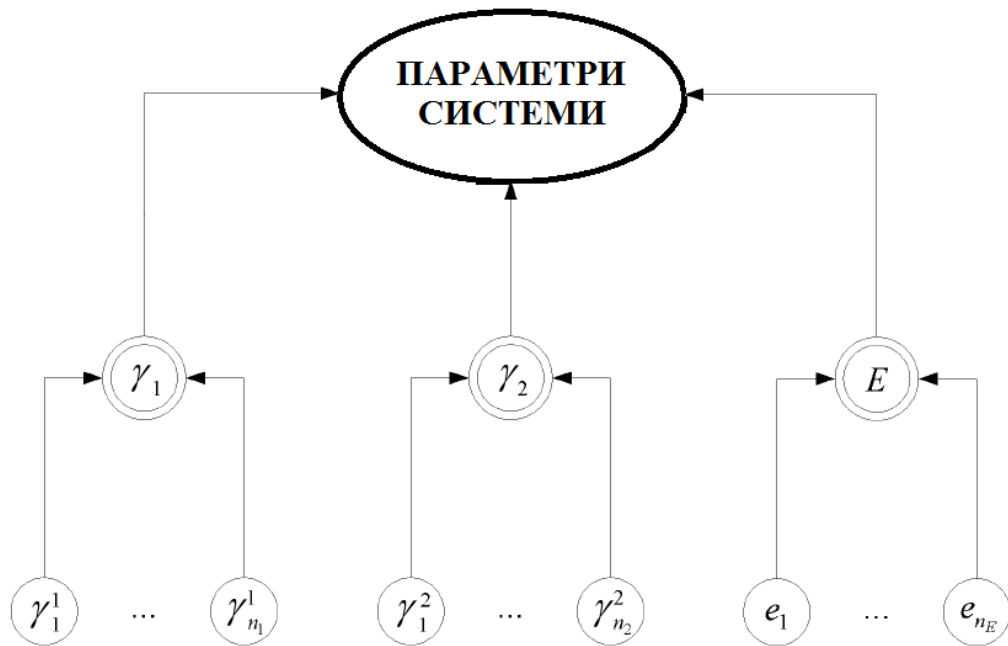


Рис. 2.3 Узагальнене дерево параметрів зовнішнього середовища

Агрегований показник може характеризувати спільний вплив таких чинників, як чисельність населення, зміна кількості населення, зростання доходу на душу населення, телефонна щільність (кількість телефонних апаратів на 100 чоловік), потреба в послугах зв'язку, структурний склад абонентів і ін. Кожен із описаних факторів $\gamma_i^1, i=1..n_1$, як і агрегований показник, можуть бути описані нечіткими п'ятирівневими класифікаторами.

Другий показник, що позначається γ_2 , відображає територіальні параметри, що характеризують місцевість, яка обслуговується певною підсистемою. Даний показник, як і перший, є ЛП з терм-множиною значень {СЗм, Зм, НВ, Зб, СЗб} і може бути представлений стандартним нечітким п'ятирівневим класифікатором. Терми показника γ_2 характеризують рівень впливу територіальних особливостей місцевості, яку обслуговує розглянута підмережа, і можуть об'єднувати такі фактори, як адміністративне значення розглянутої території, рівень розвитку

промисловості в даній місцевості і взаємозв'язок всіх адміністративних, господарських, промислових, ділових, культурних, туристичних та інших організацій місця проектування. Описані фактори $\gamma_i^2, i=1..n_2$, також можуть бути описані стандартними нечіткими п'ятирівневими класифікаторами.

Для побудови функцій H_1 та H_2 можна використовувати різні методи. Так, наприклад, залежність агрегованого показника γ_1 від множини параметрів $\{\gamma_j^i\}_{j=1}^{n_i}$ можна побудувати на основі бази продукційних правил, як це описано в [4]. Тоді непарна функція буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \text{якщо } \gamma_1^i = T_{1,k,1}^{i,C3m} \quad i \dots i \quad \gamma_{n_i}^i = T_{n_i,k,1}^{i,C3m} \quad \text{або} \dots \text{або} \\ \gamma_1^i = T_{i,k,h_1}^{i,C3m} \quad i \dots i \quad \gamma_1^i = T_{n_i,k,h_1}^{i,C3m} \quad \text{то } \gamma_i = C3m; \\ \dots \\ \text{якщо } \gamma_1^i = T_{1,k,1}^{i,C3b} \quad i \dots i \quad \gamma_1^i = T_{n_i,k,h_1}^{i,C3b} \quad \text{або} \dots \text{або} \\ \gamma_1^i = T_{1,k,h_5}^{i,C3b} \quad i \dots i \quad \gamma_1^i = T_{n_i,k,h_5}^{i,C3b} \quad \text{то } \gamma_i = C3b, \end{aligned}$$

де $k=1..5$ - номер терма в п'ятирівневому класифікаторі;

h_k - номер правила для визначення k -го терма показника γ_i ; $T_{j,k,h}^{i,L}$ - k -й терм j -го параметру в правилі h для L -го терма показника γ_i , причому $L \in \{C3m, 3m, HB, 3b, C3b\}$. Подібна побудова розглянутих нечітких функцій можлива при наявності експертних оцінок або на основі аналізу статистичних даних. Якщо для забезпечення достатньою мірою точності побудованої бази знань таких немає, то функції H_i можна описати за допомогою згортки значень параметрів з урахуванням сили впливу кожного з параметрів зовнішнього впливу на параметри підмережі [1].

$$\begin{aligned} \gamma_i = T_i^Z \Leftrightarrow \mu_i^Z = \max_{k=1..5}(\mu_i^k); \\ \mu_i^k = \sum_{j=1}^{n_i} r_j^i \mu_j^k, \quad \sum_{j=1}^{n_i} r_j^i = 1. \end{aligned} \quad (2.5)$$

де r_j^i - ранг j -го параметра i -го показника, значення якого тим більше, чим більше сила впливу;

μ_j^k - функція приналежності j -го параметра до k -го терму п'ятирівневого класифікатора;

μ_i^k - функція приналежності i -го агрегованого показника зовнішнього впливу до k -му терму п'ятирівневого класифікатора;

T_i^z - z -ий терм, який визначає нечітке значення i -го агрегованого показника;

μ_i^z - функція приналежності до z -го терму i -го агрегованого показника.

Сила впливу кожного з параметрів γ_j^i у в (2.6) задається рангом r_j^i . Якщо вплив параметрів зовнішнього середовища неоднаковий, але при цьому параметри по силі впливу більш ніж у нормі, то для визначення рангів параметрів має сенс застосувати правило Фішберна [1], яке дає можливість приймати оптимальне рішення в найгіршій інформаційної обстановці. Для застосування правила Фішберна необхідно впорядкувати параметри по спадаючій їх силі впливу, тобто щоб виконувалося наступне співвідношення:

$$r_1^i > r_2^i > \dots > r_{n_i}^i, \quad (2.6)$$

при виконанні умови (2.6) значення рангів параметрів зовнішнього середовища можна отримати, використовуючи вираз (2.7).

$$r_j^i = \frac{2(n_i - j + 1)}{n_i(n_i + 1)}, \quad (2.7)$$

де n_i - кількість параметрів, від яких залежить значення i -го показника.

Розрахувавши ранги кожного з параметрів γ_j^i за формулою (2.7), і застосовуючи співвідношення (2.4) можна знайти нечітке значення агрегованих показників, що відображають зовнішній вплив навколишнього середовища на параметри даної підсистеми.

Для опису впливу подій, які можуть відбуватися в зовнішньому середовищі, був введений показник E . Для опису показника E введемо наступні визначення:

1. Числовим тимчасовим рядом (ТР) називається множина впорядкованих часових відліків разом з відповідними їм числовими значеннями:

$$Y = \{(y_i, t_i) / i \in N, y_i \in R, t_i \in \mathfrak{T}\}, \quad (2.8)$$

де \mathfrak{T} - дискретна часова шкала; R — множина дійсних чисел, що характеризують числові значення ТР в дискретні моменти часу t_i .

За допомогою тимчасового ряду можна відображати статистику значень деяких параметрів досліджуваних об'єктів. Аналіз ТР різних параметрів системи LTE і навколишнього середовища і їх зіставлення дають можливість з'ясувати характер залежності значень необхідного параметра системи від деяких факторів, які на нього впливають.

2. Часовим інтервалом або темпорою називається пара $[t_s, t_e] \in T^2$, в якій $s \leq e (s, e \in N)$.

Позначимо через $Q = \{q_i\}$, $i = 1..N_Q$, множину ознак, що характеризують узагальнені властивості ТР Y , притаманні на його окремих фрагментах. Такі ознаки дозволяють описувати деякі події, які відбуваються в навколишньому середовищі і вплив яких відображається на значеннях ТР. В якості таких подій можуть виступати введення в експлуатацію нового підприємства, початок курортного сезону, наступ святкових днів і т.д. Очевидно, що більшість подій досить складно описати за допомогою чітких тимчасових рамок, в зв'язку з чим вводиться поняття нечіткої темпоральної ознаки.

3. Нечіткою темпоральною ознакою будемо називати трійку

$$q_i = h_i, \mu_{q_i}, T_{q_i}, \quad (2.9)$$

де h_i - текстовий опис ознаки, а μ_{q_i} - нечітка характеристична функція, що відображає ступінь вираженості ознаки q_i на заданому часовому інтервалі T_{q_i} .

Нечітка темпоральна ознака дозволяє більш адекватно здійснювати опис досліджуваних подій, «розмиваючи» їх межі початку і кінця.

Всі нечіткі темпоральні ознаки, описувані на тимчасовій осі, знаходяться в певному відношенні один з одним. Нечіткі темпоральні відношення можна описати відношеннями Аллена [10], узагальнюючи їх на випадок нечітких темпоральних ознак. Особливість нечітких темпоральних відношень полягають в тому, що одні й ті ж події можуть перебувати в кількох темпоральних відношеннях одночасно, маючи при цьому різну ступінь приналежності. Тому даний тип темпорального образу допускає діз'юнктивну форму представлення (ДФ-образ):

$$\varphi_{ij} = (q_i r_{ij}^* q_j), \mu_{\varphi_{ij}}, T_{\varphi_{ij}}, \quad (2.10)$$

де $\varphi_{ij} = q_i r_{ij}^* q_j$ - текстовий опис нечіткого відношення між i -м та j -м темпорами, $\mu_{\varphi_{ij}}$ - нечітка характеристична функція, $T_{\varphi_{ij}}$ - область визначення функції μ_{φ} . При цьому:

$$\begin{aligned} r_{ij}^* &= \{r_{ij}^k\}, \mu_{\varphi_{ij}} = \bigvee_k \mu_{r_{ij}^k}, \\ r_{ij}^k &= q_i, q_j, \mu_{r_{ij}^k}, r_{ij}^k \in RT, \\ T_{\varphi_{ij}} &= T_{q_i} \cup T_{q_j}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

де RT - сімейство співвідношень Аллена.

Більш високий рівень опису подій представлений нечіткою темпоральною структурою, що характеризує наявність декількох нечітко-темпоральних відношень між декількома різними нечіткими темпоральними ознаками на заданому часовому інтервалі.

4. Нечітко-темпоральним образом структури будемо називати трійку такого вигляду:

$$W = w, \mu_w, T_w, \quad (2.12)$$

де W - назва структури, μ_w - нечітка характеристична функція, що визначається на області T_w . Область визначення і значення функції μ_w , розраховуються на основі наступних виразів:

$$\begin{aligned} \mu_w &= \bigwedge_i \bigwedge_j \mu_{\varphi_{ij}}, \\ T_w &= \bigcup_i \bigcup_j T_{\varphi_{ij}} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Таким чином, за допомогою нечітких темпоральних структур можна описувати окремі факти, які стосуються набору знань щодо поведінки даного часового ряду Y . Кожен факт описує деяку подієву обстановку в навколишньому середовищі на даному проміжку часу з можливістю обліку попередніх і наступних подій. Так, наприклад, маючи три нечіткі темпоральні ознаки, описані відповідно до виразу (2.12), можна описати факт, який в лінгвістичній формі записується приблизно наступним чином: «подія q_1 відбувається одночасно з подією q_2 , по завершенню якого розпочнеться подія q_3 ». Отримана на основі співвідношень (2.4-2.13) структура W з деяким ступенем приналежності μ_w буде описувати істинність існування описаного факту в розглянутий проміжок часу.

Як одна подія, так і деяка сукупність подій, які перебувають між собою в деяких залежностях, впливають на ті чи інші параметри даної підмережі. Розпізнати і оцінити такий вплив можливо застосувавши експертні оцінки. Це означає, що необхідно задіяти експертів, котрі зможуть визначити рівень впливу деякої темпоральної структури w на параметри системи. Крім того, на оцінку результуючого впливу зі сторони подієвих параметрів буде впливати і міра істинності нечіткої темпоральної структури μ_w . Оскільки вплив подій, що відбуваються описується ЛП E , то на основі наявного набору факторів і оцінок, необхідно визначити функції приналежності показника E до кожного з його термів.

Припустимо, що на основі експертної оцінки відомо, що рівень впливу даного факту w на параметри підмережі, що нас цікавлять, будуть приймати значення деякого j -го терма ЛП E T_j^E , причому показник E описується п'ятирівневим класифікатором, $j=1..5$. Тоді, враховуючи міру істинності μ_w , значення функцій приналежності до кожного терму показника E можна вирахувати по наступним відношенням:

$$\mu_k^E = \begin{cases} 0, & k \neq (j-1)..(j+1); \\ \mu_w, & k = j \\ 0,5(1-\mu_w), & k = j-1, j \neq 1; k = j+1, j \neq 5; \\ 1-\mu_w, & k = j+1, j = 1; k = j-1, j = 5. \end{cases} \quad k = 1..5 \quad (2.14)$$

При обчислення впливу факту w з допомогою експертних оцінок і відношення (2.14) необхідно, щоб експертній оцінці піддавалися усі можливі темпоральні структури, котрі можливо отримати на основі деякого заданого набору темпоральних ознак. На основі відношень (2.4 - 2.13) можна вирахувати, що при l заданих темпоральних ознак, кількість структур дорівнюватиме $2^{l(l-1)}$. Звідси видно, що при $l > 3$ кількість темпоральних структур, які необхідно оцінити, різко зростає. З цього можна зробити висновок, що описаний підхід розрахунку впливу подій у внутрішньому середовищі на параметри системи застосовується тільки при малій кількості темпоральних ознак, або при деякій заданій множині досліджуваних фактів.

Щоб уникнути необхідності побудови експертної оцінки великого числа можливих подієвих фактів, можна розпізнати і оцінити вплив на систему, проводячи аналогії з вже наявними статистичними даними для даної або деякої іншої схожої підсистеми.

Розглянемо побудову оцінки впливу на параметри підсистеми деякого факту w , який відбувається в даний момент часу з деякою мірою істинності μ_w . Оцінити міру схожості між поточною нечіткою ситуацією $\tilde{s}(t_\xi)$ і тими, що спостерігалися раніше $\tilde{s}(t_k), k = 1..(\xi-1)$, можна за допомогою міри нечіткої рівності або міри нечіткої спільності, що описані в [2]. Розрахунок міри нечіткої рівності може бути застосований в тому випадку, коли в обох порівнюваних нечітких ситуаціях $\tilde{s}(t_\xi)$ і $\tilde{s}(t_k)$ усі темпоральні ознаки, що спостерігаються, збігаються. Якщо в ситуації $\tilde{s}(t_\xi)$ відбулися деякі події, котрі в ситуації $\tilde{s}(t_k)$ не відбувалися, або в ситуації $\tilde{s}(t_\xi)$ не враховуються або не проходять ті події, які спостерігалися в ситуації $\tilde{s}(t_k)$, то слід розраховувати міру нечіткої спільності, яка є більш загальним показником, ніж міра нечіткої рівності ситуації.

Позначимо через $k_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k))$ міру схожості даних розглядаємих ситуацій $\tilde{s}(t_\xi)$ і $\tilde{s}(t_k)$, яка буде рівною нечіткій мірі рівності або нечіткій мірі спільності цих ситуацій, в залежності від того, співпадають темпоральні ознаки ситуацій або не співпадають відповідно. Коефіцієнт $k_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k))$ отримує значення від відрізка $[0,1]$, причому, чим більше значення коефіцієнту, тим ситуації більш схожі.

Опишемо величину $k_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k))$ через нечіткий стандартний п'ятирівневий класифікатор. Тоді коефіцієнт $k_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k))$ буде описуватися як ЛП $k_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k))$ з термами {«Різні» (P), «Майже різні» (MP), «Приблизно однакові» (PrO), «Майже однакові» (MO), «Однакові» (O)}, що характеризують рівень схожості ситуації та відповідними функціями приналежності. В цьому випадку, знаючи рівень впливу подій, що відбуваються, в ситуації $\tilde{s}(t_k)$, можна описати базу знань, яка буде визначати рівень впливу подій, що відбуваються, в ситуації $\tilde{s}(t_\xi)$.

$$\begin{aligned}
 & \text{якщо } E(t_k) = T_{j,1}^{E,CY\mathcal{M}} \quad \text{та} \quad \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k)) = T_{j,1}^{k_a,O} \quad \text{або...або} \\
 & E(t_k) = T_{j,h_1}^{E,CY\mathcal{M}} \quad \text{та} \quad \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k)) = T_{j,h_1}^{k_a,O} \quad \text{то} \quad E(t_\xi) = CY\mathcal{M}; \\
 & \dots \\
 & \text{якщо } E(t_k) = T_{j,1}^{E,CY\mathcal{B}} \quad \text{та} \quad \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k)) = T_{j,1}^{k_a,O} \quad \text{або...або} \\
 & E(t_k) = T_{j,h_1}^{E,CY\mathcal{B}} \quad \text{та} \quad \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k)) = T_{j,h_1}^{k_a,O} \quad \text{то} \quad E(t_\xi) = CY\mathcal{B};
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

де $j=1..5$ - номер терма в п'ятирівневому класифікаторі;

h_j – номер правила для визначення j -го терма показника E в момент часу t_ξ

;

$T_{j,h}^{E,L}$ – j -й терм показника E в момент часу t_k в h -м правилі для L -го терма

показника E в момент часу t_ξ , $L \in \{C3\mathcal{M}, 3\mathcal{M}, H\mathcal{B}, 3\mathcal{B}, C3\mathcal{B}\}$. та $h=1..h_j$;

$T_{j,h}^{k_a,L}$ – j -й терм величини $\tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}(t_k))$ в h -м правилі для L -го терма

показника E в момент часу t_ξ , $L \in \{P, MP, PrO, MO, O\}$ та $h=1..h_j$;

База продукційних правил (2.15) застосовна для порівняння даної ситуації і однієї з відомих, яка більше всього підходить на розглядаєму. В тому випадку, коли явно не можна визначити одну найбільш схожу з розглядаємою ситуацію, можливе проведення аналізу на основі набору ситуацій з приблизно однаковими степенями схожості відносно поточної. Позначимо множину ситуацій, котрі спостерігалися раніше і приблизно з однаковою мірою схожі на поточну ситуацію, через $\tilde{S} = \{\tilde{S}_k\}_{k=1}^K$. Тоді, узагальнюючі базу знань (2.15) на випадок порівняння впливу подій на параметри системи в ситуаціях \tilde{S} та $\tilde{s}(t_\xi)$, можна записати наступні відношення:

$$\begin{aligned}
 & \text{якщо } E(\tilde{s}_1) = T_{1,j,1}^{E,CY_M} \text{ та } \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}_1) = T_{1,j,1}^{k_a,O} \text{ або...або} \\
 & E(\tilde{s}_1) = T_{1,j,h_1(\tilde{s}_1)}^{E,CY_M} \text{ та } \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}_1) = T_{1,j,h_1(\tilde{s}_1)}^{k_a,O} \text{ або...або} \\
 & E(\tilde{s}_1) = T_{K,j,h_1(\tilde{s}_{K-1})+1}^{E,CY_M} \text{ та } \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}_K) = T_{K,j,h_1(\tilde{s}_{K-1})+1}^{k_a,O} \text{ або...або} \\
 & E(\tilde{s}_1) = T_{K,j,h_1}^{E,CY_M} \text{ та } \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}_K) = T_{K,j,h_1}^{k_a,O} \text{ то } E(t_\xi) = CY_M; \\
 & \dots \\
 & \text{якщо } E(\tilde{s}_1) = T_{1,j,1}^{E,CY_6} \text{ та } \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}_1) = T_{1,j,1}^{k_a,O} \text{ або...або} \\
 & E(\tilde{s}_1) = T_{1,j,h_5(\tilde{s}_1)}^{E,CY_6} \text{ та } \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}_1) = T_{1,j,h_5(\tilde{s}_1)}^{k_a,O} \text{ або...або} \\
 & E(\tilde{s}_K) = T_{K,j,h_5(\tilde{s}_{K-1})+1}^{E,CY_6} \text{ та } \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}_K) = T_{K,j,h_5(\tilde{s}_{K-1})+1}^{k_a,O} \text{ або...або} \\
 & E(\tilde{s}_K) = T_{K,j,h_5}^{E,CY_6} \text{ та } \tilde{k}_a(\tilde{s}(t_\xi), \tilde{s}_K) = T_{K,j,h_5}^{k_a,O} \text{ то } E(t_\xi) = CY_6,
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

де $h_j(\tilde{s}_k)$ - номер правила для j -го терма показника E в момент часу t_ξ та k -й порівнювальній ситуації, $k=1..K$.

Бази продукційних правил (2.41) та (2.42) дозволяють оцінити рівень впливу деякої сукупності подій, що відбуваються в навколишньому середовищі, на параметри розглядаємої підсистеми на основі аналізу статистичних даних. Причому статистичні дані можуть відноситися як до розглядаємої системи, так і до системи, яка близька за своїми параметрами до досліджуваного об'єкту.

Розглянемо зараз верхній рівень ієрархії впливу зовнішніх параметрів на систему, а саме, вплив агрегованих показників Ψ_1 , Ψ_2 та E . Для цього розглянемо нечіткий процес виду

$$p_i(t) = p_i(t_0)(1+r_1(t)), \quad (2.17)$$

де t – поточний час; t_0 - початковий відлік часу;

$p_i(t)$ - значення i -го параметру в момент часу t , яке характеризується трапецивидним нечітким числом, заданим в ПОСП \prod_{p_i} ;

$r_i(t) \in [-r_{1i}, r_{2i}]$ - розрахунковий коридор зміни $p_i(t)$.

Якщо вплив навколишнього середовища невеликий або відсутній, то значення $r_i(t)$ близько до нуля. Значення величин r_{1i} і r_{2i} будуть залежати від області значень i -го параметру.

Припустимо, що існує набір із m окремих факторів $m=1, \dots, M$, поточні значення яких для i -го параметру рівні $x_{m,i}(t)$, і для кожного фактору $x_m(t)$ побудований свій п'ятирівневий класифікатор, який не залежить від виду параметру. Тоді для опису $r_i(t)$ можна скористатися формулою

$$r_i(t) = \sum_{m=1}^M z_{m,i} \nu_{m,i} \sum_{k=1}^5 \alpha_k \mu_{km}(x_{m,i}(t)), \quad (2.18)$$

$$\sum_{m=1}^M \nu_{m,i} = 1.$$

де α_k - вузлові точки стандартного класифікатора; $\nu_{m,i}$ - вага m -ого фактору i -го параметру; $\mu_{km}(x_{m,i}(t))$ - значення функції приналежності k -го терма m -го фактору;

$z_{m,i} \in \{1, -1\}$ - коефіцієнт, який визначає додатній чи від'ємний напрям впливу m -ого фактору на i -й параметру.

Введемо до розгляду наступні фактори:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= \gamma_1, \\ x_2(t) &= \gamma_2, \\ x_3(t) &= E. \end{aligned} \quad (2.19)$$

З урахуванням відношень (2.20), вираз (2.19) можна переписати в наступному вигляді:

$$r_i(t) = z_{\Psi_{1,i}} \nu_{\Psi_{1,i}} \sum_{k=1}^5 \alpha_k \mu_{k,\Psi_1}(\Psi_1(t)) + z_{\Psi_{2,i}} \nu_{\Psi_{2,i}} \sum_{k=1}^5 \alpha_k \mu_{k,\Psi_2}(\Psi_2(t)) + z_{E,i} \nu_{E,i} \sum_{k=1}^5 \alpha_k \mu_{k,E}(E(t)), \quad (2.20)$$

$$\nu_{\Psi_{1,i}} + \nu_{\Psi_{2,i}} + \nu_{E,i} = 1.$$

Для оцінки залежності (2.20) необхідно в свою чергу побудувати нечітку базу знань, яка дозволить оцінити значення функції належності k -го терма m -го фактору параметру p_i .

Параметри навколишнього середовища і стану системи можуть описувати деяку нечітку ситуацію, або не цікавити з точки зору опису нечітких ситуацій. Тому по набору факторів, зібраних на деякому інтервалі спостереження за одним або декількома часовими рядами, можна визначити ситуації що зустрічаються найбільш часто і ввести набір еталонних ситуацій. Крім того, при розгляді питань, які характеризують демографічний і територіальний стан регіону, необхідний облік планованих темпоральних подій, які можуть статися на прогнозованому часовому інтервалі, що розглядається.

3 ВЗАЄМОДІЯ МЕРЕЖІ LTE З МЕРЕЖАМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ РІЗНИХ СТАНДАРТІВ

3.1 Взаємодія мережі LTE з іншими мережами стандартів 3GPP

Важливим завданням, що виникає при взаємодії мережі LTE з мережами мобільного зв'язку стандартів 3GPP (далі мережі 3GPP), є підтримка мобільності терміналу при його переміщенні із зони обслуговування однієї соти в зону обслуговування іншої.

Алгоритми взаємодії мережі LTE з мережами 3GPP можна класифікувати наступним чином:

- алгоритми забезпечення дискретної мобільності (роумінгу);
- алгоритми забезпечення безперервної мобільності (хендовера).

Спрощена схема мережі LTE при її взаємодії з доменом пакетної комутації (PS-доменом) інших мереж 3GPP згідно технічної специфікацій 3GPP TS 23.401 показана на рис. 3.1. В якості мережі радіодоступу на рисунку використовуються мережі GERAN, UTRAN і E-UTRAN. Відзначимо, що на практиці мережеві елементи (сервісний вузол SGSN, обслуговуючий шлюз S-GW і шлюз пакетної комутації P-GW) конструктивно можуть бути суміщені.

На рис. 3.1 під PSS (PSTN/ISDN Simulation Services) розуміється імітація (симуляція) програмно-апаратними засобами IP-мереж послуг телефонного зв'язку, аналогічних послуг на базі технології комутації каналів.

Згідно зі схемою рис. 3.1 основними інтерфейсами взаємодії мережі LTE з мережами 3GPP (GERAN/UMTS) є інтерфейси S3, S4 і S12. Інтерфейси S3 і S4 забезпечують взаємодію логічного елемента управління мобільністю MME і шлюзу S-GW мережі LTE з сервісним вузлом SGSN мереж 3G за допомогою тунельного протоколу GTP (GPRS Tunnelling Protocol). Друга версія протоколу GTP (GTPv2) розроблена з урахуванням особливостей побудови базової мережі SAE (EPC). Інтерфейс S12 за своїм призначенням аналогічний інтерфейсу Gn між сервісним вузлом SGSN і шлюзом GGSN мережі GPRS.

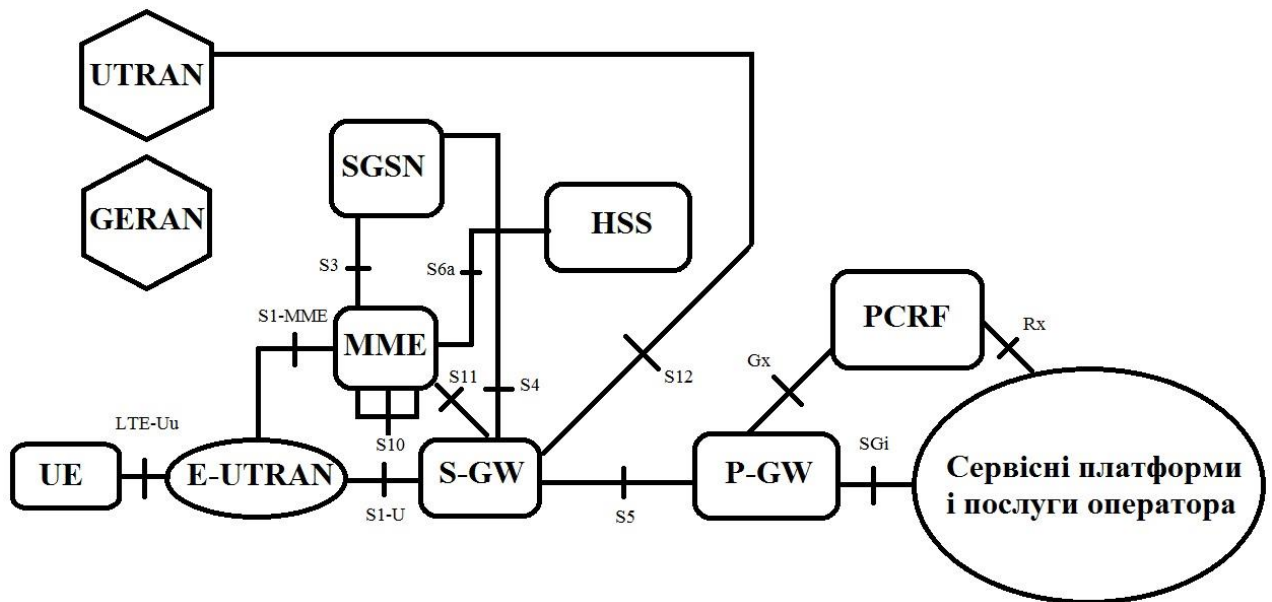


Рис. 3.1 Схема взаємодії мережі LTE з PS-доменом інших мереж 3GPP

Протокол GTP підрозділяється на два види: протокол передачі даних площини управління (GTP-C) і протокол передачі даних площини користувача (GTP-U). Протокол GTPv2-C (технічна специфікація 3GPP TS 29.274) використовується на інтерфейсах S3 і S4 для підтримки мобільності терміналу в мережах GERAN/LTE/UMTS. Протокол GTPv1-U (технічна специфікація 3GPP TS 29.281) використовується на інтерфейсах S4 і S12 для передачі даних користувача за допомогою тунелів.

Сервісний вузол SGSN мережі GERAN/UMTS при взаємодії з мережею LTE виконує наступні основні функції:

- вибір логічного елемента MME і взаємодія з ним для підтримки мобільності терміналу (наприклад, реєстрації мобільності терміналу в мережі GERAN/UMTS; поновлення зон розташування мобільного терміналу (Routing Area Update - RAU); хендовера в мережі GERAN/UMTS зі зміною вузла SGSN і шлюзу S-GW; хендовера зі зміною технології мережі доступу (Inter-RAT Handover));

- вибір і взаємодія зі шлюзами S-GW і P-GW для підтримки мобільності терміналу і передачі даних користувачів (реалізація функцій елемента MME).

Шлюз S-GW мережі LTE при взаємодії з мережею GERAN/UMTS забезпечує виконання наступних основних функцій:

- взаємодія з сервісним вузлом SGSN для підтримки мобільності терміналу;
- маршрутизація і передача трафіку користувача між вузлом SGSN і шлюзом P-GW;
- управління якістю передачі даних по методу DiffServ і маркування пакетів даних відповідно до індикатора якості QCI.

Елемент MME мережі LTE при взаємодії з мережею GERAN/UMTS забезпечує виконання наступних основних функцій:

- вибір вузла SGSN і взаємодія з ним для підтримки мобільності терміналу;
- аутентифікація і авторизація користувачів.

Спрощена схема взаємодії мережі LTE з доменом пакетної комутації (PS-доменом) інших мереж 3GPP в умовах роумінгу показана на рис. 3.2. Як видно з рисунку, в умовах роумінгу шлюзи S-GW і P-GW взаємодіють один з одним по інтерфейсу S8, а не S5, як показано на рис. 3.1.

На рис. 3.2 наведено приклад схеми взаємодії з термінацією трафіку користувачів в домашній мережі за допомогою інтерфейсу SGi. Інші варіанти схеми передбачають термінацію трафіку користувачів в візитній мережі (рис. 4.3), а також можливість надання послуг з використанням ресурсів (наприклад, підсистеми IMS) візитної мережі оператора (рис. 3.4).

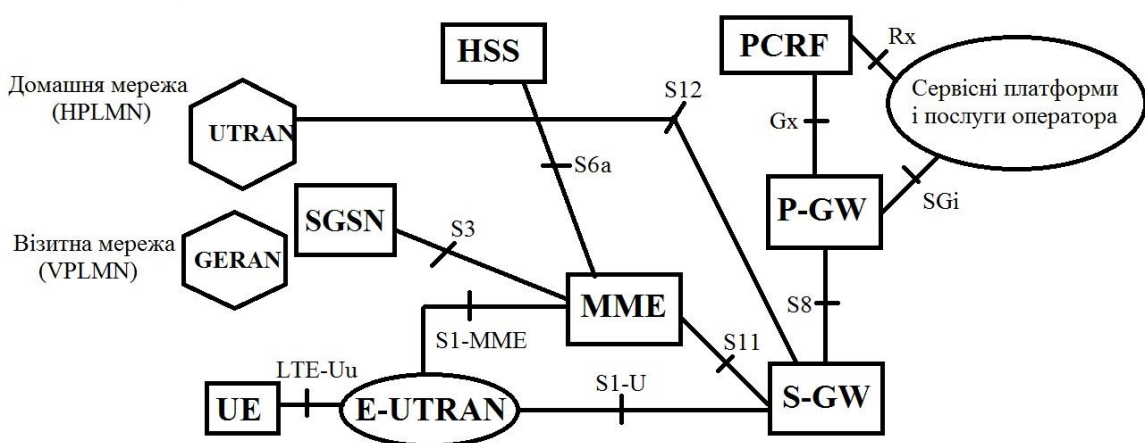


Рис. 3.2 Схема взаємодії мережі LTE з PS-доменом інших мереж 3GPP в умовах роумінгу

У схемі, показаній на рис. 3.3, використовується шлюз P-GW візитної мережі. При цьому управління доступом до послуг і тарифікація здійснюються згідно «політикам» модуля V-PCRF візитної мережі, взаємодіє з модулем H-PCRF домашньої мережі по інтерфейсу S9.

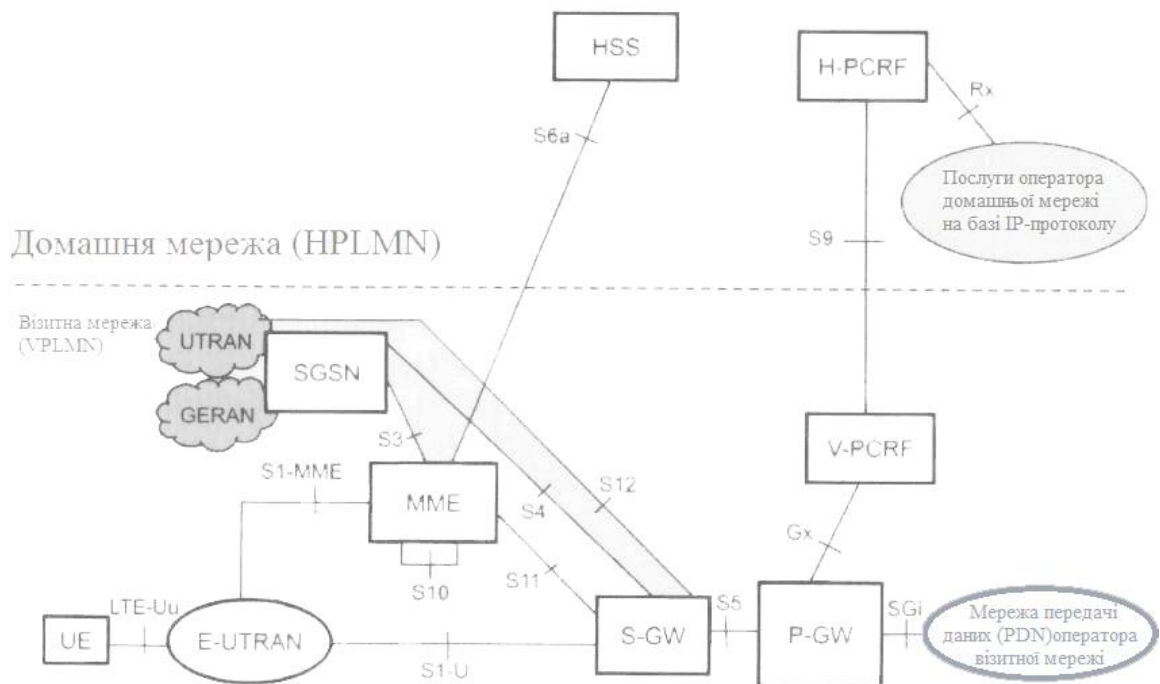


Рис. 3.3 Схема взаємодії мережі LTE з PS-доменом других мереж 3GPP в умовах роумінгу і термінації трафіку у візитній мережі

На рис. 3.4 взаємодія з сервісними платформами оператора візитної мережі (наприклад, підсистемою IMS) реалізується модулем V-PCRF по інтерфейсу Rx.

Взаємодія мережі LTE з іншими мережами 3GPP для надання традиційних послуг телефонії виконується відповідно до схеми організації голосових викликів SRVCC, представленої в технічній специфікації 3GPP TS 23.216 (рис. 3.5). Відповідно даній схемі голосові виклики в мережах 3GPP можуть здійснюватися за допомогою як традиційної технологією комутації каналів (TDM), так і технології комутації пакетів на базі сервісної підсистеми IMS.

Взаємодія логічного елемента MME з сервером MSC при здійсненні хендвера голосових викликів з мережі LTE в традиційний домен комутації каналів (CS-домен) іншої мережі 3GPP відбувається за допомогою інтерфейсу Sv, представленого в технічній специфікації 3GPP TS 29.280.

Взаємодія логічного елемента MME з вузлом SGSN при здійсненні хендовера голосових викликів з мережі LTE в PS-домен іншої мережі 3GPP виконується за допомогою інтерфейсу S3.

3.2 Сценарії взаємодії мережі LTE з мережами стандартів не-3GPP

Сценарії взаємодії мережі LTE з мережами не-3GPP багато в чому визначають архітектуру мережі LTE. Можна виділити наступні сценарії:

- взаємодія з надійними мережами доступу не-3GPP (наприклад, мережами 3GPP2), які належать оператору мережі LTE;
- взаємодія з надійними мережами доступу не-3GPP, приєднаними до мережі LTE;
- взаємодія з надійними мережами доступу не-3GPP, які належать оператору візитної мережі стільникового зв'язку (VPLMN);
- взаємодія з надійними мережами доступу не-3GPP, приєднаними до мережі VPLMN;
- взаємодія з ненадійними мережами доступу не-3GPP (наприклад, мережами WLAN), приєднаними до мережі LTE;
- взаємодія з мережами доступу WLAN, які належать до оператора мобільного зв'язку LTE;
- взаємодія з мережами доступу WLAN, які належать оператору візитної мережі VPLMN;
- взаємодія з ненадійними мережами доступу не-3GPP, приєднаними до мережі VPLMN.

Взаємодія мережі LTE з мережами доступу не-3GPP згідно розглянутим сценаріям і протоколам MIPv4. DSMIPv6 і PMIPv6 здійснюється за допомогою ряду мережевих шлюзів (S-GW, PDN-GW, ePDG) і функціонального модуля PCRF. Розглянемо функції цих мережевих елементів, що забезпечують підтримку мобільності терміналів.

Базові функції шлюзу S-GW описані в технічній специфікації TS 23.401. Додатково шлюз S-GW для підтримки мобільності терміналів при взаємодії з мережами не-3GPP виконує наступні функції:

- функції локального вузла прив'язки («якоря») мережі не-3GPP в разі, коли мобільний термінал знаходиться в роумінгу і приєднаний до візитної мережі VPLMN за допомогою мережі доступу не-3GPP:

- інформування модуля PCRF про зміну мобільним терміналом мережі доступу одночасно з переходом на нову радіотехнологію;

- функції агента протоколу DHCPv4 або протоколу DHCPv6;

- функції шлюзу MAG згідно з протоколом PMIPv6;

- генерацію і розподіл ключів GRE, використовуваних шлюзом P-GW для інкапсуляції пакетів даних в PMIP-тунель;

- функції вузла LMA, що взаємодіють зі шлюзом MAG, розміщеному в надійній мережі доступу не-3GPP, або зі шлюзом MAG, реалізованих в шлюзі ePDG в разі реєстрації мобільного терміналу в ненадійною мережею доступу не-3GPP.

Базові функції шлюзу P-GW також представлені в технічній специфікації TS 23.401. Додатково шлюз P-GW для підтримки мобільності терміналів при взаємодії з мережами не-3GPP виконує наступні функції:

- функції вузла LMA:

- функції агента НА згідно специфікації RFC 5555 при використанні протоколу DSMIPv6;

- функції агента НА при використанні протоколу MIPv4 і адреси типу FCoA;

- генерацію і розподіл ключів GRE, що застосовуються для інкапсуляції в PMIP-тунель пакетів даних, переданих в лінії «вгору» мережі доступу в напрямку до шлюзу P-GW.

Шлюз ePDG при взаємодії з ненадійними мережами доступу (наприклад, мережею WLAN) виконує наступні функції:

- функції пакетного шлюзу PDG (технічна специфікація TS 23.234) за призначенням локальних IP-адрес CoA:

- маршрутизацію пакетів даних від/до P-GW, а також маршрутизацію пакетів від/до S-GW (якщо S-GW виконує функції локального вузла прив'язки («якоря») в візитній мережі не-3GPP VPLMN);

- функції шлюзу MAG згідно специфікації RFC 5213;

- інкапсуляцію і деінкапсуляцію пакетів даних в тунелі протоколів PMIPv6, IPSec;

- формування безпечних тунелів відповідно до Інтернет-протоколів обміну ключами IKEv2 (Internet Key Exchange Protocol) для передачі даних аутентифікації і авторизації;

- генерацію і розподіл ключів GRE, використовуваних для інкапсуляції в PMIPv6-тунель пакетів даних, переданих базовою мережею EPC у напрямку до шлюзу ePDG і далі до інтерфейса S2b.

Згідно специфікаціям 3GPP протокол PMIPv6 не тільки використовується для підтримки мобільності терміналу при взаємодії базової мережі EPC з мережею доступу не-3GPP, але і є на інтерфейсі S5 альтернативою базовому протоколу GTP при взаємодії базової мережі EPC з мережею доступу 3GPP (технічна специфікація TS 23.401). Схема мережі LTE, що використовує в якості мережі доступу мережу 3GPP і протокол PMIPv6 на інтерфейсі S5, наведена на рис. 3.6.

На рис. 3.6 шлюз S-GW виконує функції шлюзу MAG, а шлюз P-GW - функції вузла LMA. Відповідно між шлюзом S-GW (MAG) і шлюзом P-GW (LMA) формується PMIPv6-тунель. При роумінгу, як показано на рис. 3.7, PMIPv6-тунель формується не на інтерфейсі S5, а на інтерфейсі S8.

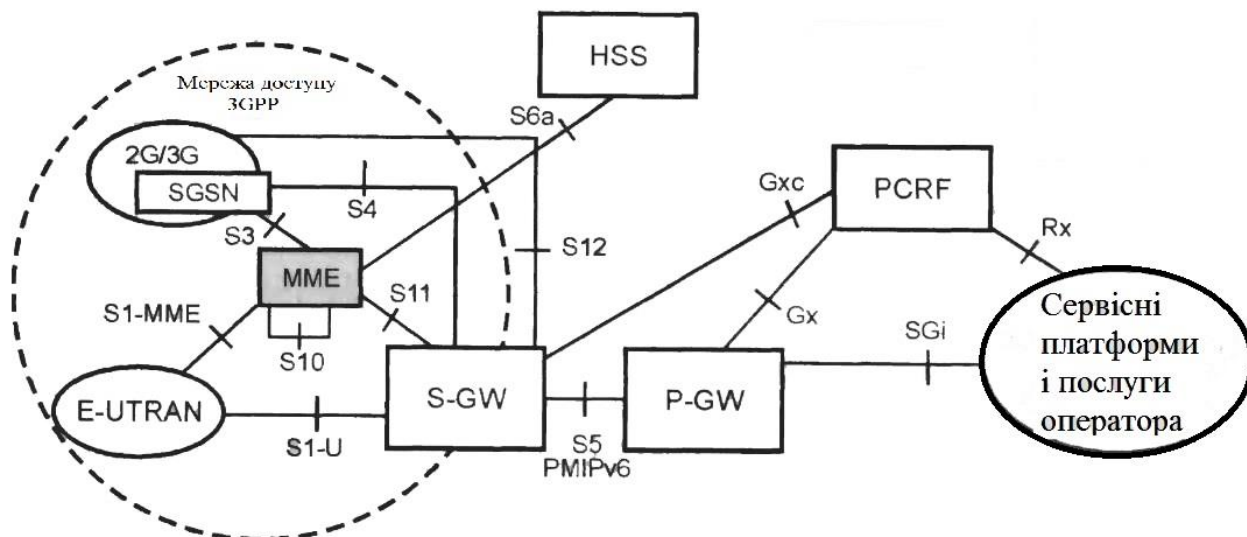


Рис. 3.6 Схема мережі LTE, що використовує мережу доступу 3GPP і протокол PMIPv6 на інтерфейсі S5

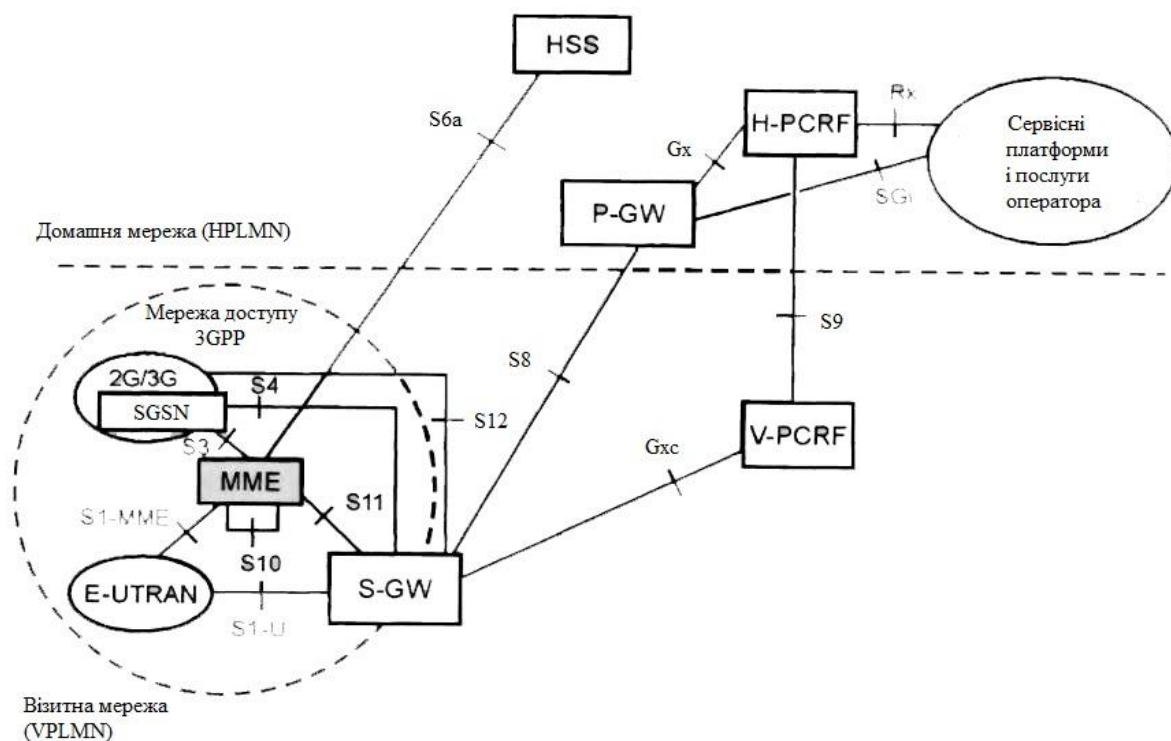


Рис. 3.7 Схема мережі LTE в умовах роумінгу, що використовує мережу доступу 3GPP і протокол PMIPv6 на інтерфейсі S8

Схеми взаємодії мережі LTE з мережами доступу не-3GPP наведені на рис. 3.8 і 3.9. Основна відмінність цих схем полягає у використовуваних протоколах і,

відповідно, інтерфейсах підтримки мобільності терміналу. На рис. 3.8 мобільність забезпечується протоколами управління мобільністю, реалізованими на інтерфейсах S5, S2a, S2b. Зокрема, на інтерфейсах S5-S2a і S5-S2b мобільність може бути реалізована протоколом PMIPv6. Протокол MIPv4 може бути використаний тільки на інтерфейсі S5-S2a і при адресі типу FCoA.

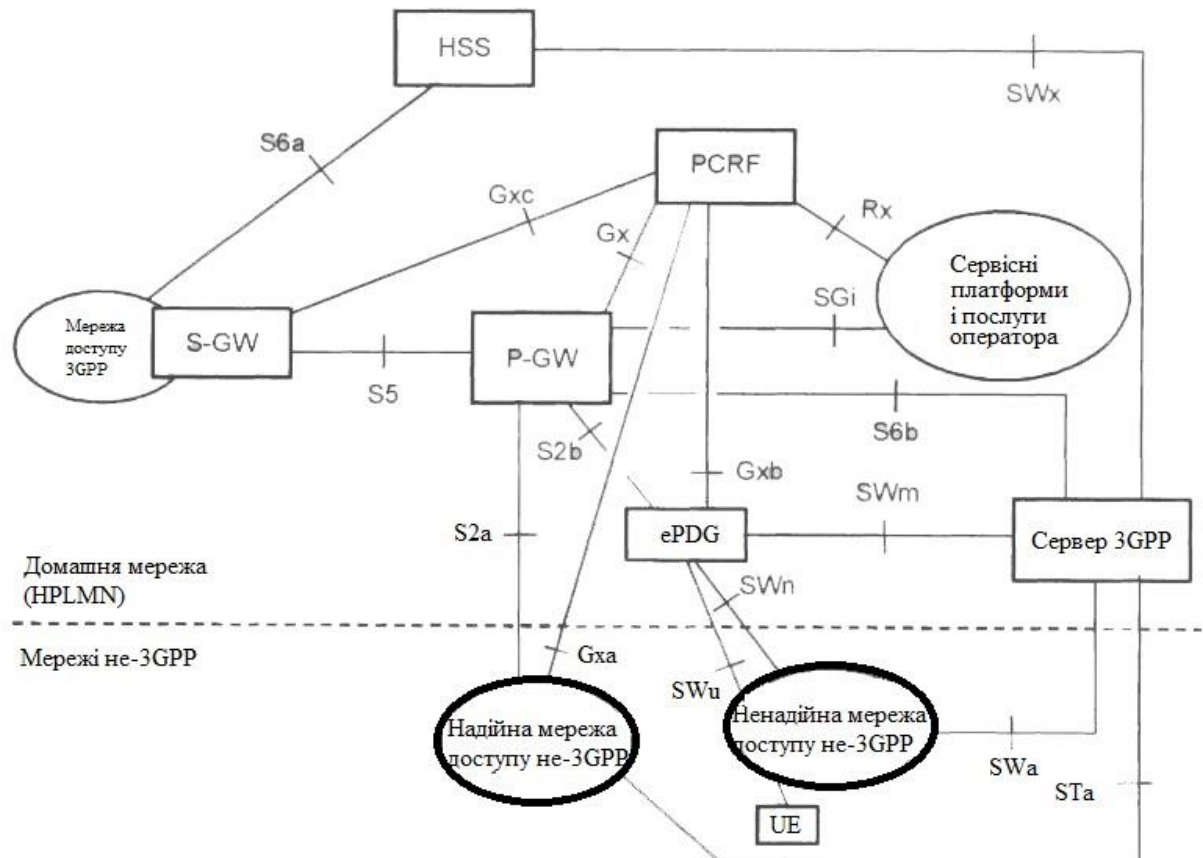


Рис. 3.8 Схема взаємодії мережі LTE з мережею доступу не-3GPP при використанні протоколів управління мобільністю на інтерфейсах S5, S2a, S2b

У схемі, зображеній на рис. 3.9, мобільність терміналів забезпечується протоколом DSMIPv6, реалізованим на інтерфейсах S5, S2c.

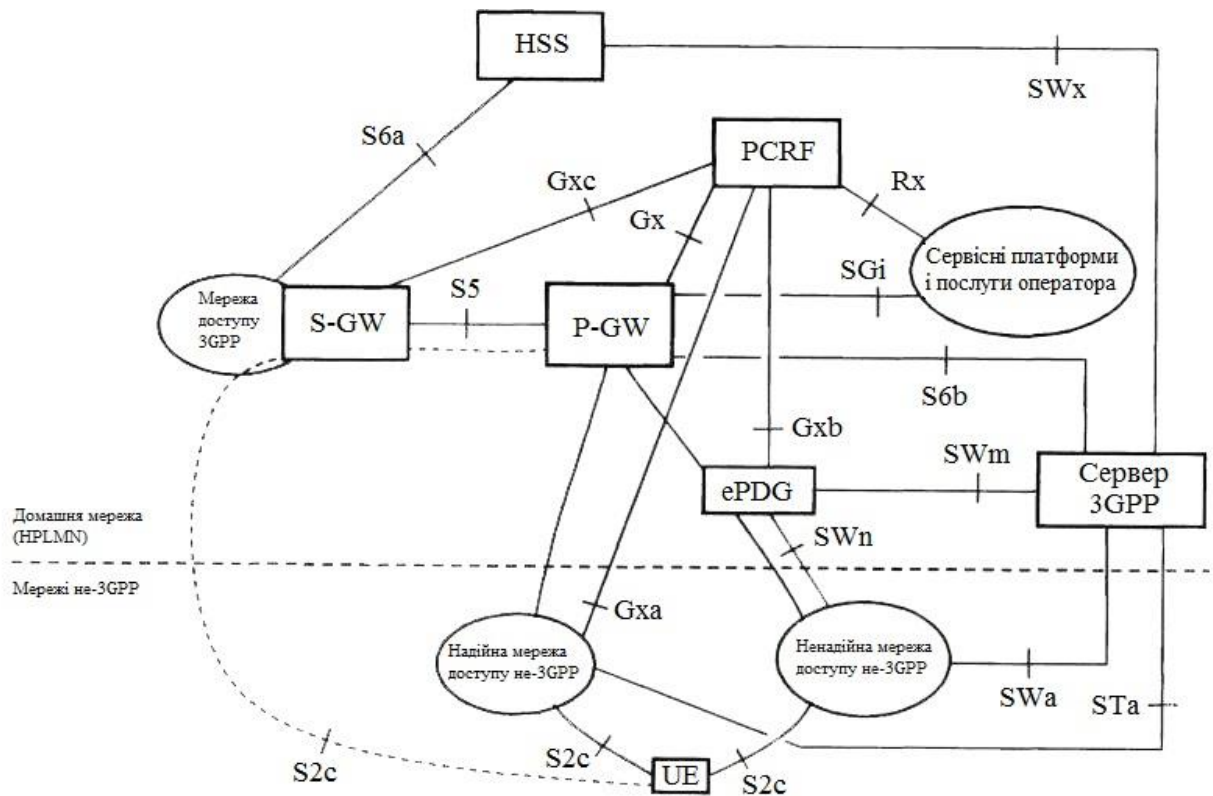


Рис. 3.9. Схема взаємодії мережі LTE з мережею доступу не-3GPP при використанні протоколів управління мобільністю на інтерфейсах S5, S2C

Основні особливості схем, представлених на рис. 3.8 і 3.9, полягають в наступному:

- на інтерфейсі S5 можуть використовуватися протоколи GTP або PMIPv6;
- інтерфейс Gxa задіюється тільки при використанні протоколу PMIPv6 на інтерфейсі S5 або S8;
- інтерфейс Gxa застосовується тільки при взаємодії з надійними мережами доступу не-3GPP, що належать до оператора мобільного зв'язку LTE;
- на інтерфейсі S2c при взаємодії з мережами доступу не-3GPP як протокол управління мобільністю використовується протокол DSMIPv6; протокол DSMIPv6 використовується також при взаємодії з мережами доступу 3GPP (штрихпунктирна лінія на рис. 3.9).

В якості схеми взаємодії мережі LTE з мережами доступу не-3GPP в умовах роумінгу і використання протоколу управління мобільністю PMIPv6 на інтерфейсах S8, S2a, S2b можна привести схему, показану на рис. 3.10. Як видно з

рисунку, в роумінгу використовується додатковий інтерфейс S9, що забезпечує взаємодію функціональних модулів V-PCRF і H-PCRF.

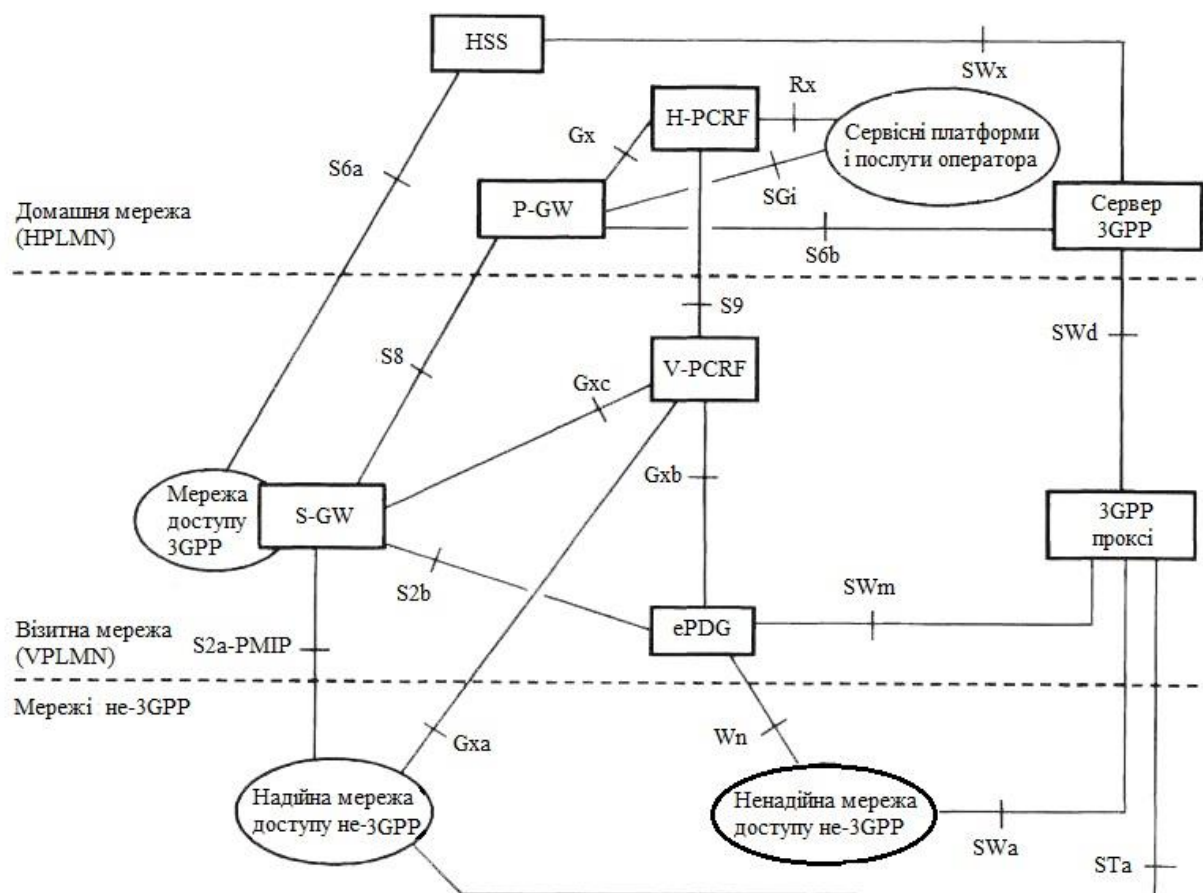


Рис. 3.10. Схема взаємодії мережі LTE з мережами доступу не-3GPP в умовах роумінгу і використання протоколу управління мобільністю PMIPv6 на інтерфейсах S8, S2a, S2b

Важливою особливістю різних схем мережі LTE в умовах роумінгу є застосування двох варіантів термінації призначеного для користувача трафіку в мережу Інтернет: термінацією трафіку в домашній мережі (home routed), як показано на рис. 3.10, і локальну термінацію трафіку в візитній мережі (local breakout).

ВИСНОВКИ

Процес аналізу і моніторингу якісних характеристик телекомунікаційної мережі – комплекс процедур, спрямованих на підтримку ефективної роботи систем зв'язку та надання інформаційних послуг абоненту. Дані функції реалізує представлених послуг (оператор), а отже, для ефективної роботи необхідні не лише сучасне обладнання, а і підхід до швидкого виявлення несправності в багатоланковій структурі комплексу.

В роботі проведено аналіз характеристик системи зв'язку стандарту LTE у розрізі використання нечітких класифікаторів дії зовнішніх дестабілізуючих факторів, що у свою чергу може сприяти виявленню, а в подальшому і ліквідації, негативного впливу на якісні показники системи.

Перший розділ роботи присвячено аналізу самоорганізації радіомережі. Розглянуто основні напрямки самоорганізації мережі LTE, функціональну архітектуру балансування навантаження та алгоритм самоконфігурації мережі.

У другому розділі роботи на основі нечіткої темпоральної логіки запропоновано модель опису впливу зовнішнього середовища на параметри системи. Побудована модель підвищує точність загальної моделі опису характеристик системи і може бути використана при моделюванні систем на різних рівнях ієрархії.

Третій розділ роботи розкриває питання взаємодія мережі LTE з мережами мобільного зв'язку різних стандартів. Розглянуті взаємодія мережі LTE з мережами стандартів 3GPP та не-3GPP. Проведено аналіз схема даної взаємодії.