

Інфокомунікаційні системи

УДК 004.7

Л.О. Афанасьєва, С.О. Кравчук, Д.А. Міночкін

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ

МЕТОДИ ТА АРХІТЕКТУРИ МІЖМЕРЕЖНОЇ КООПЕРАЦІЇ

Системи безпроводового зв'язку наступних поколінь є гетерогенними за своєю природою з можливістю виконання безшовної інтеграції різних технологій радіодоступу. В останні роки найбільша увага приділяється концепції кооперації в безпроводових мережах. Для реалізації узгодженості різних технологій розділено користувацьку площину (userplane) і площину управління (controlplane). В статті представлено основні механізми міжмережної взаємодії: узагальнюючий каналний рівень GLL та рівень управління радіо ресурсом MRRM. Проаналізовано схеми на основі методів рознесення сигналу MRTD (Multi-RadioTransmission Diversity) та багатопролітної передачі MRMH (Multi-Radio Multi-Hop). Розглядаються основні механізми MRRM в безпроводових мережах на основі різних технологій радіодоступу – алгоритм вибору мережі та балансування навантаження. Також, в статті представлено архітектури міжмережної кооперації із використанням серверу радіоуправління RCS та із суміщеною точкою доступу RAT-AP.

Ключові слова: безпроводний зв'язок, міжмережева кооперація, системи безпроводового зв'язку.

Вступ

Забезпечення підтримки високих швидкостей передачі інформації для користувачів в мережах безпроводового широкопasmового доступу може бути здійснене шляхом залучення додаткової смуги частот або значного збільшення щільності розташування точок доступу (базових станцій) із формуванням мікросітільникових територіально розподілених архітектур. Проте, на даний час можливості щодо відведення додаткових смуг частот (особливо в насичених радіозасобами діапазонах) дуже обмежені, а збільшення кількості точок доступу може бути економічно невигідним. Системи безпроводового зв'язку наступних поколінь є гетерогенними за своєю природою з можливістю виконання безшовної інтеграції різних технологій радіодоступу. Такі системи повинні реалізувати комплексні гнучкі мобільні послуги для своїх користувачів. Крім цього, впровадження нових методів підвищення ефективності радіоканалів в системах доступу (наприклад, багатоантенна технологія просторово-часової обробки МІМО) вимагає їх значного ускладнення. Тому, в останні роки збільшується інтерес до методів та підходів, що дозволяють за рахунок інтеграційного структурування радіоліній в системній архітектурі територіально розподілених безпроводових систем абонентського доступу покращити енергетику радіоканалів системи та підвищити, відповідно, системну пропускну здатність [1 – 3]. На даний час у якості альтернативного рішення найбільша увага приділяється концепції кооперації в безпроводових мережах [4 – 6].

Сутність кооперації полягає в поєднанні різних компонентів/вузлів безпроводових мереж або технологій їх функціонування, при спільній взаємодії яких можливо досягти синергетичного ефекту. Основним позитивом застосування кооперації в безпроводових системах широкопasmового радіодоступу є можливість збільшення їх площі покриття і пропускну здатності, а також зниження витрат як енергетики для забезпечення підтримки функціонування радіоканалу, такі розгортання самої безпроводової мережі [7].

Кооперація може реалізовуватись в межах однієї або більше технологій радіодоступу в залежності від того, чи має місце кооперація між мережними інтерфейсами одного типу або різного. Відомі наступні види кооперації: багатосітільникова (Multi Cell), багатокористувацька (Multi User) та багатоантенна на базі віртуальної антенної решітки VAA (Virtual Antenna Arrays). Остання кооперація включає до себе, як окремий випадок, метод кооперативної ретрансляції.

Для поліпшення характеристик ретрансляційної системи з інфраструктурою (кооперативна ретрансляція) використовується багатоантенна чи міжантенна кооперація, яка може бути реалізована за допомогою спільної дії (кооперації) окремих антен групи вузлів-ретрансляторів у віртуальну антенну решітку VAA [13]. Така система з VAA може розглядатися як МІМО-система [14, 15], незважаючи на те, що у кожного з вузлів такої групи може бути тільки одна антена.

Багатосітільникова кооперація реалізується шляхом об'єднання для спільної роботи (кооперу-

вання) у певні групи сусідніх стільників як на одному так і на різних системних рівнях. В останньому випадку створюється багаторівнева мережна архітектура. Одним із прикладів такої мережі є так звані макро-фемтостільникової мережі (Macrocell/Femto-cell Network), в яких фемтостільники можуть формуватись в межах одного макростільника, створюючи дворівневу мережу [8 – 10]. Крім цього, в окремих зонах покриття можуть створюватись групові стільники, що представляють собою тимчасове об'єднання ряду сусідніх стільників для забезпечення певних спільних дій щодо обслуговування користувачів мережі [11].

Багатокористувацька кооперація відноситься до стратегії формування безпроводової передачі даних, де окремі користувачі повинні виділяти частину своїх ресурсів для досягнення взаємної вигоди усіх користувачів. Базується на використанні просторового рознесення сигналу, коли спільно використовується декілька копій сигналу, які різняться по певному параметру, що також дозволяє збільшити пропускну здатність каналу [12].

Хоча концепція кооперації концептуально нескладна, та існує ряд технічних проблем, які необхідно вирішити для її практичної реалізації. Однією з головних задач є розробка ефективних методів та архітектур міжмережної взаємодії, що дозволять надавати комплексні гнучкі мобільні послуги для своїх користувачів. Розвиток даного напрямку також приведе до революції майже у всіх областях безпроводового зв'язку, таких як модель протоколу, управління використанням радіочастотного ресурсу і користувацького терміналу.

Метою даної статті є аналіз можливої реалізації концепції міжмережної кооперації, що відіграє ключову роль для підвищення ефективної взаємодії між системами з різними технологіями радіозв'язку. Зокрема, надаються підходи до побудови архітектури мереж на основі різних технологій доступу, їх можливий розвиток і вдосконалення.

Міжмережна кооперація

Основною задачею безпроводових мереж на основі різних технологій радіодоступу є підтримка більш ніж однієї технології, узгодженості при забезпеченні безшовного надання послуг. Для реалізації узгодженості різних технологій в [16 – 18] було запропоновано метод, при якому розділено користувацьку площину (userplane) і площину управління (control plane). При цьому до цих площин відповідно введено так звані узагальнюючий каналний рівень GLL (Generic Link Layer) та рівень управління радіоресурсом MRRM Layer (Multiradioresource Management).

Узагальнюючий каналний рівень GLL – це додатковий каналний рівень для користувацької

площини, на якому забезпечується універсальна обробка різних форматів даних наявної множини технологій доступу. Даний рівень повинен надавати ефективне рішення для міжсистемної передачі обслуговування без відчутних втрат.

Рівень управління радіоресурсом MRRM призначений для управління всіма доступними технологіями радіодоступу на узгоджувальній основі, такий як баланс навантаження, вибір методу радіодоступу та управління мобільністю. Даний рівень використовується для забезпечення оптимального управління множиною технологій в телекомунікаційних безпроводових мережах. MRRM відображає запити більш високого рівня на послуги, що надаються в GLL.

Розглянемо основні механізми та процедури нових додаткових рівнів GLL та MRRM, а також деякі практичні методи їх використання.

Основні механізми GLL

Рівень GLL являє собою загальний інструментарій функцій каналного рівня, який забезпечує уніфікований інтерфейс доступу до вищих рівнів і полегшує організацію ефективної взаємодії між різними технологіями радіодоступу. Застосування GLL дозволяє реалізувати методи рознесення сигналу MRTD (Multi-RadioTransmissionDiversity) та багатопролітної передачі MRMH (Multi-RadioMulti-Hop).

Однією з основних проблем в системах безпроводового зв'язку є контроль помилки передачі, що виникає внаслідок завмирання каналу, наявності інтерференції та шумів. Збільшення кількості пакетів з помилками приведе до необхідності додаткових ретрансляцій або значного ускладнення коду виправлення помилок за рахунок часу затримки пакетів та швидкості передачі. Тому, щоб підвищити надійність передачі даних використовують схеми прийому/передачі з рознесенням сигналу. Таким чином досягається підвищення якості обслуговування за рахунок збільшення пропускну здатності та/або надійності мережі.

Суть методу MRTD полягає у чітко визначеному розподілі потоків даних між двома взаємодіючими радіоканалами в мережі безпроводового широко-смугового доступу. Залежно від рівня інтеграції між різними технологіями і місця застосування рівня GLL рознесення сигналу реалізується на IP- або MAC- рівнях [19].

Реалізація методу MRTD дає можливість передачі копій одних і тих же даних по декільком радіоканалам в рамках схеми рознесення (паралельне рознесення), а також можливість вибору одного або декількох каналів в будь-який момент часу для передачі даних користувача (послідовне рознесення). При паралельному рознесенні отримані пакети даних об'єднуються на основі різних стратегій для досягнення необхідного коефіцієнту рознесення та

підвищення надійності мережі [20]. До недоліків даного методу можна віднести те, що при одночасній передачі пакетів-копій зменшується ефективність передачі даних.

При послідовному рознесенні данні користувача, що еквівалентні по розміру корисному навантаженню MAC PDU, передаються лише на одному фізичному рівні в будь-який момент часу. Послідовні MAC PDU можуть передаватись через різні фізичні рівні. Обмеженням є те, що кожний обраний радіоканал має забезпечувати достатню пропускну здатність та швидкість передачі даних користувачу.

Також, можливі різні варіанти об'єднання схем MRTD. В [21] запропоновано схеми інкрементного IPMRTD (incrementalparallel MRTD) та комплементарного паралельного рознесення CPMRTD (complementary parallel MRTD).

Для схеми IPMRTD (рис. 1) одна технологія використовується для передачі основного потоку даних, так звана "основна послідовність", яка кодується і має певну здатність самовиправлення. Інша технологія буде використовуватися для відправки додаткових бітів парності, відомих як біти надмірності, так звана "інкрементна послідовність". Якщо основна послідовність прийшла без помилок, то на прийомі вона безпосередньо спрямовується в приймач даних.

В іншому випадку, основна та інкрементна послідовності об'єднуються для декодування, що дасть вираш від рознесення.

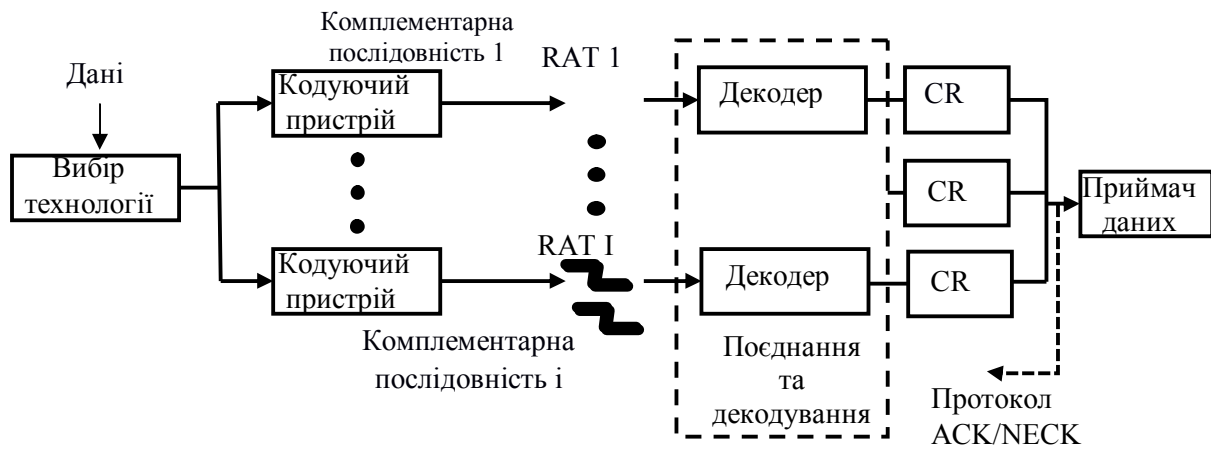


Рис. 1. Обробка потоку

Основною концепцією CPMRTD є передача одного і того ж повідомлення з різними FEC (Forward Error Correction) кодами (рис. 1). Кожен пакет даних, в якому виявилась помилка, декодується окремо. Крім того, пакети, в яких виявлені помилки, не відкидаються, а поєднуються з комплементарною (додатковою) передачею в іншій технології, щоб відновити передане повідомлення.

Хоча методи IPMRTD та CPMRTD і дозволяють отримати значне збільшення продуктивності передачі даних, однак у разі неможливості коректного декодування необхідно використовувати схему гібридного автоматичного запиту на повторення HARQ для повторної ретрансляції додаткових надлишкових бітів або іншої послідовності кодування CRC.

В [22] запропонована схема MRTD-PFEC, що базується на використанні прямої корекції помилок FEC на пакетному рівні (рис. 2). Схема MRTD-PFEC обмежує максимальну швидкість передачі на кожному каналі та інтегрується з пакетним рівнем FEC для досягнення більш ефективної передачі, ніж при паралельному рознесенні. Вихідні пакети кодуються на рівні GLL для збільшення здатності корекції помилки. Після чого, розподіляються по різним

каналам (піднесучим) за вказаним алгоритмом для мінімізації вірогідності безповоротної втрати на стороні приймача. В свою чергу, вихідні пакети на стороні приймача можуть бути відновлені комбінованою процедурою декодування на рівні GLL.

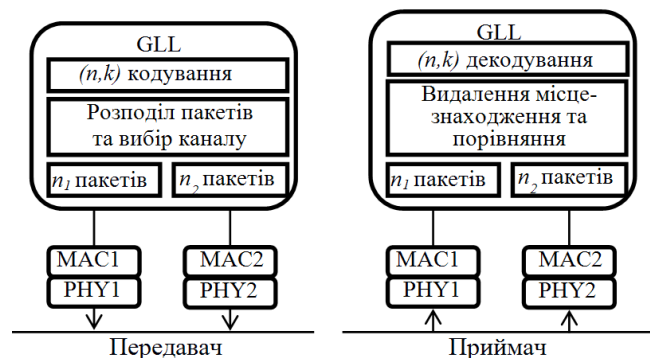


Рис. 2. Схема MRTD-PFEC

Слід зазначити, що при низькому середньому відношенні сигнал/шум використання схеми MRTD-PFEC дозволяє зменшити коефіцієнт втрат пакетів, а також збільшити корисну пропускну здатність каналу.

Для побудови багатопролітних мереж, крім прикінцевих терміналів, використовують проміжні термінали, які виконують функції ретрансляторів-

маршрутизаторів, що дозволяє швидко та ефективно збільшити площу покриття та пропускну здатність.

У мережах безпроводового зв'язку реалізація методу MRMH дозволяє користувачу підключатися до базових станцій з різними технологіями за допомогою узагальнюючого ретрансляційного вузла

(heterogeneous relay node) з вбудованим додатковим каналним рівнем GLL (рис. 3).

Схема MRMH на основі узагальнюючого RN забезпечує вигоду від рознесення, де новий логічний рівень GLL виступає в якості домена функцій схеми.

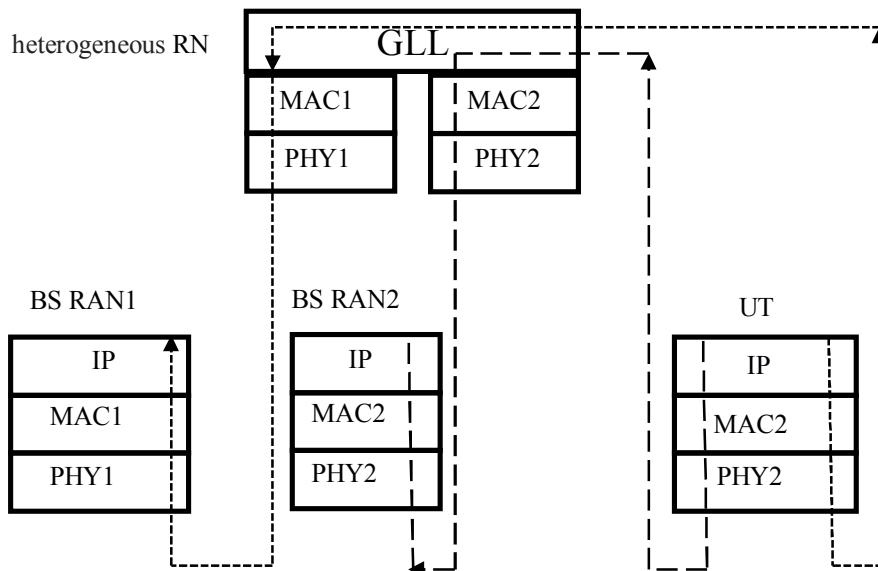


Рис. 3. Схема підключення користувача через узагальнюючий ретрансляційний вузол RN до BS з RAN1 та RAN2 відповідно

Проте, на даний час ще існує ряд задач щодо реалізації узагальнюючого ретрансляційного вузла, які необхідно досліджувати. Серед них можна виділити багатопролітний ARQ протокол, відсутність загальної схеми послідовності сегментів даних, об'єднання методів MRMH та MRTD. Так як у RN завершується перетворення розмірів сегмента в різних технологіях, необхідно розробити загальну схему послідовності сегментів даних вздовж багатопролітної лінії передач. Багатопролітний ARQ протокол представляє собою уніфікований протокол виправлення помилок, що охоплює весь багатопролітний маршрут. Він може бути описаний двоступеневим процесом відновлення помилки по відношенню до різних технологій радіодоступу. Об'єднання методів MRMH та MRTD дозволить отримати більший коефіцієнт багатопролітної лінії передачі.

Основні процедури MRRM

Рівень управління радіоресурсом MRRM відповідає за координацію між різними адміністративними доменами, тобто за управління ресурсами радіозв'язку в мережах на основі різних технологій. На системному рівні MRRM здійснює розподіл радіочастотного спектра, управління передачею обслуговування, регулювання навантаження та відстеження перевантажень. На рівні сеансу MRRM координує взаємодіючі потоки даних. Концепцію роботи MRRM розділено на дві логічні частини на

основі вже існуючих вбудованих функцій RRM: координаційні функції радіодоступу та мережні додаткові функції RRM.

Координаційні функції радіодоступу охоплюють доступну технологію і, як правило, включають в себе такі функції, як динамічне виділення/видалення радіоканалу, вибір методу радіодоступу, передача обслуговування, контроль перевантаження, розподіл навантаження, і так далі.

Мережні додаткові функції RRM спеціально розроблені для однієї або більше технологій радіодоступу та доповнюють існуючі функції RRM, наприклад, керування доступом, передача обслуговування між технологіями. Отже, вони відповідним чином перетворюють формат або команди для підтримки ефективної взаємодії.

До одних із основних механізмів MRRM в безпроводових мережах на основі різних технологій радіодоступу відносяться алгоритм вибору мережі та балансування навантаження. Метою алгоритму вибору мережі є оптимізація визначеної функції витрат (рис. 4). А також, за рахунок зменшення кількості ресурсів, що споживаються та/або мінімізуючи ціну сесії забезпечити необхідну якість QoS та збільшити загальну спектральну ефективність. Можливість регулювання вагових коефіцієнтів робить алгоритм вибору мережі гнучким для багатьох сценаріїв. Його реалізацію можна розділити на три етапи: збір інформації, обробка інформації та прийняття рішення.

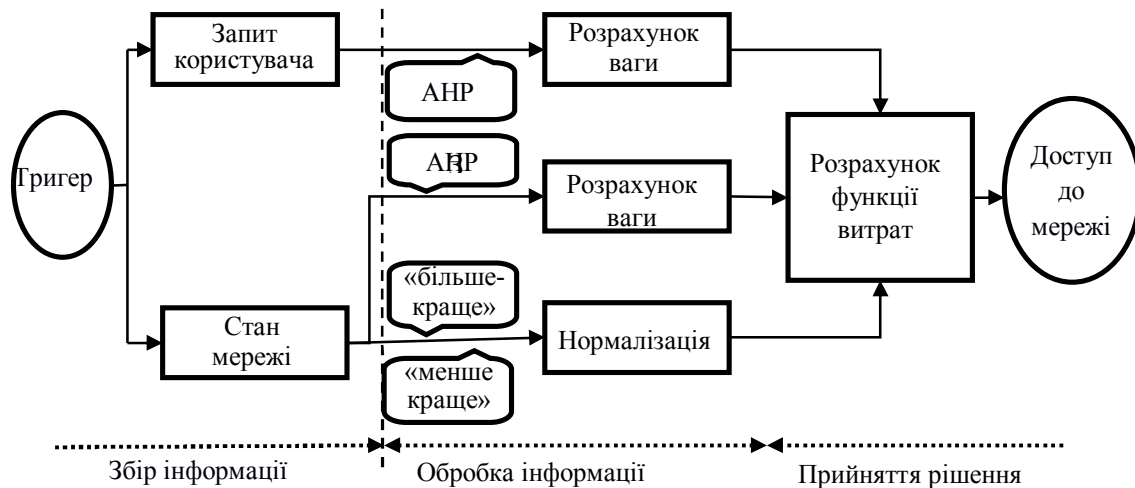


Рис. 4. Схема вибору мережі на основі функції витрат

Якщо створюється новий сервіс, змінилися профілі користувачів або ж знайдено нову точку доступу викликається процес відбору (тригер) та збираються необхідні параметри шляхом відповідної процедури. Після чого, проводиться розрахунок ваги кожного параметра у попередньо визначеній функції затрат та розрахунок функції ціни для кожної пари користувачів мережі. Метод аналізу ієрархій АНР – це математичний інструмент системного підходу до складних проблем прийняття рішень, що містить процедуру синтезу оптимального рішення для отримання ваги параметрів QoS. Для того, щоб привести параметри до одного виду, їх необхідно нормалізувати за допомогою методів «більше – краще», «менше – краще». На останньому етапі, на основі отриманих параметрів та інформації розраховується функція витрат для кожної пари користувачів мережі. Для доступу обирається мережа, що матиме максимальне значенням функції витрат.

Балансування навантаження дозволяє більш ефективно використовувати ресурс радіозв'язку та підвищити пропускну здатність. На основі стратегії балансування навантаження користувач або послуги перевантаженої мережі або соги можуть бути передані менш навантаженим.

Із рис. 5 видно, що при використанні стратегії балансування навантаження в мережі i ймовірність блокування викликів (P_{b_i}) зі збільшенням інтенсивності трафіку значно нижча, ніж в мережі s (крива P_{b_s}) [17]. Отже, балансування навантаження полегшує міжмережну організацію, а вигравш стає все більш очевидним при збільшенні трафіку.

Архітектури міжмережної кооперації

На рис. 6, а представлено архітектуру мережі на основі різних технологій доступу із використанням серверу радіоуправління RCS, яка складається з наступних основних вузлів: користувацький термінал UT (User Terminal), ретрансляційний вузол RN

(Relay Node), базова станція BS (Base Station), шлюз передачі даних між різними інтерфейсами BG (Bearer Gateway), сервер радіоуправління RCS (Radio Control Server), сервер мультирадіоуправління MRCS (Multiradio Control Server).

Користувацький термінал UT – це вузол, що має необхідний функціонал для реалізації доступу до різних технологій доступу. Він може підключатися до одного шлюзу BG, одного або декількох вузлів ретрансляції RN, однієї або декількох базових станцій BS.

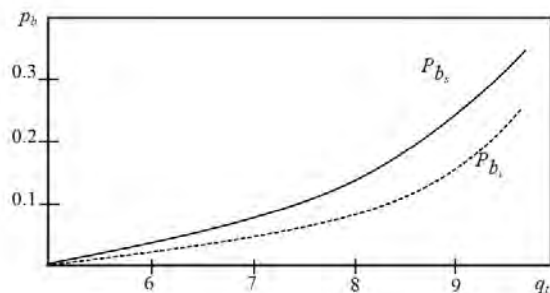


Рис. 5. Залежність ймовірності блокування виклику p_b від інтенсивності трафіку q_t для P_{b_s} і P_{b_i}

Термінал має зв'язок з сервером базової мережі CN (Core Network) і серверами послуг. Крім того, для доступу до системи користувацький термінал використовує функціонал GLL. При застосуванні методів макрорознесення UT може контролюватися одночасно кількома серверами радіоуправління.

Ретрансляційний вузол RN подовжує зону покриття мережі та спрощує мережне планування. Може бути двох типів: з підтримкою однієї (homogeneous RN) і декількох технологій (heterogeneous RN). Базова станція BS має характеристики відповідно до технології, яку підтримує. BS управляється тільки обслуговуючим сервером радіоуправління RCS. Крім прийому команд управління BS надає інформацію про статичний та динамічний стан в RCS для поліпшення управління мережею.

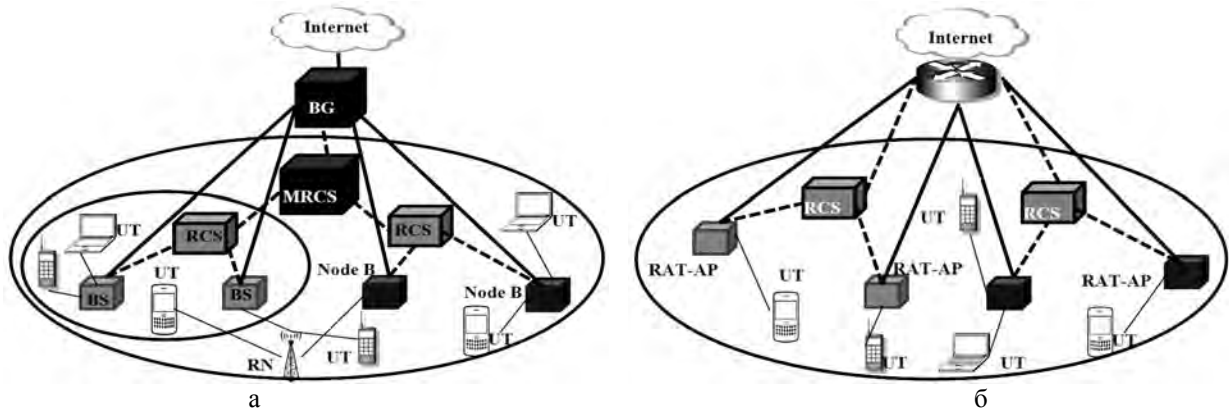


Рис. 6. Архітектура мережі на основі різних технологій доступу:
 а – із використанням серверу радіоуправління RCS; б – із суміщеною точкою доступу RAT-AP

Сервер радіоуправління RCS управляє BS з відповідними UT. Він виконує функції управління в залежності від особливостей мережі, яку обслуговує, а саме передачу обслуговування, баланс навантаження і т.д. Сервер мультирадіоуправління MRCs управляє і координує роботу RCS для міжмережної взаємодії, застосовується для завершення функціональності в площині управління. MRCs управляє

оптимальним розподілом трафіку між різними технологіями, ресурсами радіозв'язку.

Шлюз BG діє як маршрутизатор доступу, присвоює IP-адреси і має GLL із спеціальними функціями користувацької площини, що дозволяє передавати різні формати даних множини технологій до базової IP-мережі і навпаки. Виконує такі важливі функції як буферизація та шифрування даних.

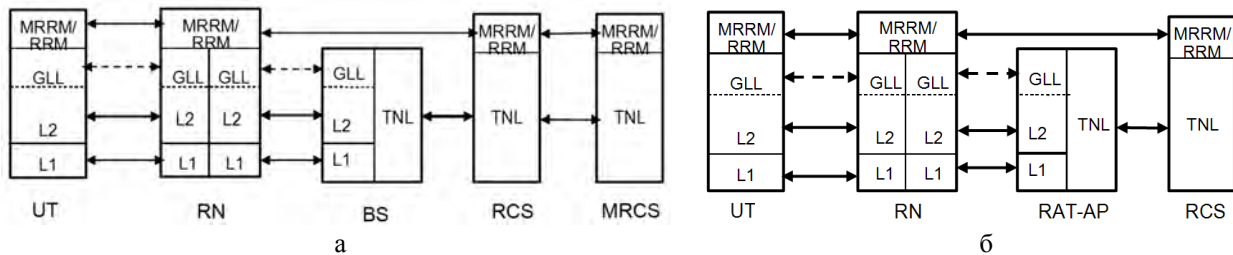


Рис. 7. Стек протоколів радіоінтерфейсу в площині управління для архітектури:
 а – із використанням серверу радіоуправління RCS; б – із суміщеною точкою доступу RAT-AP

На рис. 7, а представлено стек протоколів радіоінтерфейсу в площині управління. Із рисунку видно, що UT може безпосередньо зв'язуватись із BS, або через RN. Рівень GLL розташовується вище, або безпосередньо на рівні L2. В базовій станції GLL також є обов'язковим для реалізації кооперації. Рівень MRRM вбудовується в MRCs, RCS, RN і UT для управління радіозв'язком між різними технологіями. Транспортний рівень TNL (TransportNetworkLayer) передає протоколи інтерфейсів між вузлами інфраструктури. Стек протоколів радіоінтерфейсу в кори-

стувачкій площині (рис.8, а) не містить MRCs та RCS. Шлюз BG дозволяє передавати різні формати даних технологій до базової IP-мережі і навпаки. IP-пакети передаються між BG та BS за допомогою протоколу тунелювання другого рівня (L2Ts protocol). На рис.6, б представлено архітектуру мережі із суміщеною точкою доступу RAT-AP, яка складається з наступних основних вузлів: UT, RN, RCS, точка доступу технологій радіодоступу RAT-AP (Radio Access Technology Access Point), маршрутизатор доступу AR (Access Router).

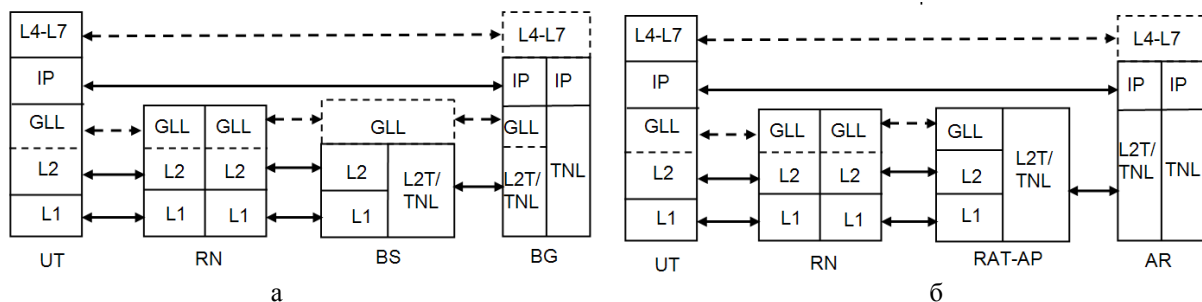


Рис. 8. Стек протоколів радіоінтерфейсу в користувацькій площині для архітектури:
 а – із використанням серверу радіоуправління RCS; б – із суміщеною точкою доступу RAT-AP

Користувальницький термінал UT працює аналогічно зазначеного в попередній архітектурі із використанням RCS. Він може мати доступ до системи та управлятися декількома RCS одночасно через рівень GLL. У RN функціональність аналогічна, як і в попередній архітектурі.

Функціональність базових станцій різних технологій суміщені в одній точці доступу RAT-AP за допомогою додаткового каналного рівня GLL. RAT-AP забезпечує статичний або динамічний канал та мережну інформацію для обслуговуючої її RCS.

Сервер радіоуправління RCS має рівень управління радіодоступом MRRM. Один RCS може управляти декількома RAT-AP. На підставі отриманої інформації від RAT-AP і AR, RCS може виконувати такі функції, як горизонтальний або вертикальний хендовер, баланс навантаження і т.п.

Маршрутизатор доступу AR присвоює IP-адреси та виконує функції маршрутизації, які залежать від параметрів маршрута і т.п. Може не мати рівня GLL, так як всі RAT-AP забезпечують однаковий формат даних. Різні технології взаємодіють в щільному режимі на базі RCS та маршрутизатора доступу AR.

На рис. 7, б представлено стек протоколів радіоінтерфейсу в площині управління. Зауважимо, що UT може зв'язуватися не тільки безпосередньо з обслуговуючою BS/Node B, а також може взаємодіяти через RN. Рівень GLL розташовується вище рівня L2. Рівень MRRM застосовується для управління радіозв'язком і балансуванням навантаження між різними технологіями. Із рис. 8, б видно, що взаємодія між вузлами в користувацькій площині аналогічна зазначеній площині управління.

В архітектурі із використанням RCS, MRRM може розташовуватись у MRCS. У той час, як для архітектури із використанням RAT-AP, MRRM буде головним включенням в RCS і деякі адаптивні алгоритми планування можуть бути передані до RAT-AP.

Висновки

Представлені архітектури міжмережної кооперації, головним чином, відрізняються своїми вузловими точками доступу, а саме сервер радіоуправління RCS і суміщена точка доступу RAT-AP.

Для реалізації архітектури із RAT-AP необхідно модернізувати лише BS, шляхом суміщення функціональності базових станцій різних технологій в одній точці доступу для підтримки форматів даних різних технологій. Така конфігурація архітектури забезпечує високу швидкість передачі даних і низький рівень затримки мережі. До недоліків можна віднести необхідність перероблення та стандартизації відповідних протоколів і інтерфейсів, а

також забезпечення безперебійної роботи BS вже розгорнутих мереж.

Архітектура із використанням RCS може бути застосована у стандартній архітектурі стільникових систем, де вузли контролю базової станції або радіомережею були розроблені для завершення функції RRM. Для реалізації запропонованої архітектури необхідно встановити нові логічні вузли MRCS і BG, що виконують функції управління та перетворення формату трафіку та розробити інтерфейси для підключення RCS і BS відповідно. Всі інші вузли будуть збережені без змін. В свою чергу, збільшення кількості комутаційного і серверного обладнання збільшить час затримки даних, тому така архітектура матиме невисоку продуктивність мережі через неефективне планування взаємозв'язаних технологій.

До переваг можна віднести простоту реалізації, так як перетворення виконуються лише в RCS та немає необхідності призупиняти функціонування вже розгорнутих мереж.

Представлено основні механізми міжмережної взаємодії GLL та MRRM, а також можливі архітектури міжмережної кооперації.

Постійне оновлення механізмів міжмережної кооперації робить необхідним продовжувати подальші дослідження, серед яких - вертикальна схема передачі управління обслуговуванням, вдосконалення методів рознесення сигналу та багатопролітної передачі з ретрансляцією.

Список літератури

1. Krikidis I. *RF Energy Transfer for Cooperative Networks: Data Relaying or Energy Harvesting?* / I. Krikidis, S. Timotheou, S. Sasaki // *IEEE Communications Letters*. – 2012. – Vol. 16, № 11. – P. 772-775.
2. Ernest S. Lo. *Cooperative Concatenated Coding for Improved Distance Spectrum and Diversity in Wireless Systems* / S. Lo Ernest, K.B. Letaief // *IEEE Transactions on Communications*. – 2011. – Vol. 59, №. 2. – P. 382-387.
3. Zhou Zh., Vucetic B. *A Cooperative Beam forming Scheme in MIMO Relay Broadcast Channels* / Zh. Zhou, B. Vucetic // *IEEE Wireless Communications*. – 2011. – Vol. 10, № 3. – P. 940-947.
4. Футахи А. *Кооперативные сети* / А. Футахи // *Сб. статей 67-й науч.-тех. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов СПбГУТ, 28-29 мая 2013г., Санкт-Петербург, Россия*. – СПб.: СПбГУТ, 2013. – Т. 1. – С. 33-36.
5. Shen H.-Y. *A Distributed System for Cooperative MIMO Transmissions* / H.-Y. Shen, H. Yang, B. Sikdar, S. Kalyanaraman // *In Proc. Global Telecommunications Conference (IEEE GLOBECOM 2008), Nov. 30 – Dec. 4, New Orleans, USA, 2008*. – P. 1-5.
6. ShahenShah A.F.M. *A Survey on Cooperative Communication in Wireless Networks* / ShahenShah A.F.M. ShahenShah, Md. SharifulIslam // *International Journal of Intelligent Systems and Applications*. – 2014. – Vol.6 (7). – P. 66-78.
7. Dohler M. *Cooperation in 4G – hype or ripe?* / M. Dohler, D.-E. Meddour, S.-M. Senouci, A. Saadani // *IEEE*

Technology and Society Magazine. – 2008. – Vol. 27, № 1. – P. 13-17.

8. Ernest S. Lo. Cooperative Concatenated Coding for Improved Distance Spectrum and Diversity in Wireless Systems / S. Lo Ernest, K.B. Letaief // IEEE Transactions On Communications. – 2011. – Vol. 59, № 2. – P. 382-387.

9. Yusof A.L. Performance Analysis of Handover Strategy in Femtocell Network / A.L. Yusof, S.S. Salihin, N. Ya'acob, M.T. Ali // Journal of Communications. – 2013. – Vol. 8, № 11. – P. 724-729.

10. Ritesh Kumar K. A novel interface gateway architecture for seamless interoperability between 802.11e and 802.16e / K. Ritesh Kumar, S. Vidya, S. Kumar, A.M. Lele, D. Das et al // In Proc. Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE 2008), Jan.6-8, Bangalore, India, 2008. – P. 480-487.

11. Льченко М.Ю. Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу / М.Ю. Льченко, С.О. Кравчук. – К.: Наукова думка, 2009. – 312 с.

12. Rath A. Fast Handover in Cellular Networks with Femtocells / A. Rath, S. Panwar // In Proc. IEEE International Conference Communications (ICC), June 10-15, Ottawa, Canada, 2012. – P. 2752-2757.

13. Fang W. An Adaptive Transmission Scheme for Wireless Sensor Networks / W. Fang, Qu. Zhou, Z. Wang, Qi. Liu // Int. Journal of Future Generation Communication and Networking. – 2013. – Vol. 6, No. 1. – P. 35-44.

14. Fehske A. Small Cell Self-Organizing Wireless Networks // I. Viering, J. Voigt, C. Sartori, S.Redana, G. Fettweis // Proceedings of the IEEE. – 2014. – Vol. 102, № 3. – P.334-350.

15. Гудименко І.А. Технологія кооперативного МІМО в мультимедійних безпроводових сенсорних мережах / І.А. Гудименко, С.О. Кравчук // Зб. тез 4-ї міжн. науково-технічної конф. «Проблеми телекомунікацій», 20–23 квітня 2010 р., Київ. – К.: ВД «ЕКМО», 2010. – С. 101.

16. Zhuang W. Cooperation in Wireless Communication Networks / W. Zhuang, M. Ismail // IEEE Wireless Communications. – 2012. – Vol. 19(2). – P. 10-20.

17. Kravchuk S. A seamless infrastructure for millimeter wave band network employing hybrid fiber radio and dynamic group cell conception / S. Kravchuk // Зб. тез 3-ї Міжн. наук.-техн. конф. «Проблеми телекомунікацій», 21–24 квітня 2009 р., Київ, Україна. – К.: Політехніка, 2009. – С. 70.

18. Dohler M. Link capacity analysis for virtual antenna arrays / M. Dohler, J. Dominguez, H. Aghvami // In Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2002), Sept., New York, USA, 2002, Vol. 1. – 2002. – P. 440-443.

19. Dimou K. Generic link layer: A solution for multi-radiotransmission diversity in communication networks beyond // K. Dimou, R. Agero et al // In Proc. IEEE 62nd Vehicular Technology Conference (VTC-2005-FALL), Sept. 25-28, 2005, Vol.3. – 2005. – P. 1672-1676.

20. Koudouridis G.P. Switched multi-radiotransmission diversity in future access networks / G.P. Koudouridis, H.R. Karimi, K. Dimou // In Proc. IEEE 62nd Vehicular Technology Conference (VTC-2005-FALL), Sept. 25-28, 2005, Vol.1. – 2005. – P. 235-239.

21. Peng M. A Unified Architecture and Key Techniques for Interworking between WiMAX and Beyond 3G/4G / M. Peng, W. Wang // Systems Wireless Personal Communications. – 2008. – Vol.45, No 1. – P. 67-90.

22. Sun Z. Investigation of Cooperation Technologies in Heterogeneous Wireless Networks / Z. Sun, W. Wang // Journal of Computer Systems, Networks, and Communications – Special issue on WiMAX, LTE, and WiFi interworking. – 2010. – Vol. 10. – P. 1-11.

Надійшла до редколегії 11.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Ленков, Військовий інститут Київського національного університету імені Т. Шевченка, Київ.

МЕТОДЫ И АРХИТЕКТУРЫ МЕЖСЕТЕВОЙ КООПЕРАЦИИ

Л.А. Афанасьева, С.А. Кравчук, Д.А. Миночкин

Системы беспроводной связи последующих поколений являются гетерогенными по своей природе с возможностью выполнения бесшовной интеграции различных технологий радиодоступа. В последние годы наибольшее внимание уделяется концепции кооперации в беспроводных сетях. Для реализации согласованности различных технологий разделена пользовательская плоскость (user plane) и плоскость управления (control plane). В статье представлены основные механизмы межсетевой взаимодействия: обобщающий канальный уровень GLL и уровень управления радиоресурсами MRRM. Проанализированы схемы на основе методов разнесения сигнала MRTD (Multi-Radio Transmission Diversity) и многопролетной передачи MRMH (Multi-Radio Multi-Hop). Рассматриваются основные механизмы MRRM в беспроводных сетях на основе различных технологий радиодоступа – алгоритм выбора сети и балансировка нагрузки. Также рассматриваются архитектуры межсетевой кооперации с использованием сервера радиоуправления RCS и с совмещенной точкой доступа RAT-AP.

Ключевые слова: беспроводная связь, межсетевая кооперация, системы беспроводной связи.

INTERWORKING COOPERATION METHODS AND ARCHITECTURES

L.O. Afanasieva, S.O. Kravchuk, D.A. Minochkin

Next generation wireless communication systems are heterogeneous with the ability to perform seamless integration of different radio access technologies. The concept of cooperation in wireless networks has received most attention in recent years. The separation of control and user plane were realized for the coordination of different technologies. Schemes based on methods of Multi-Radio Transmission Diversity and Multi-Radio Multi-Hop were analyzed. Basic mechanisms of MRRM in wireless networks based on different radiotechnologies – selection algorithm and network load balancing – were considered. This paper considers the basic mechanisms supporting the interworking as a generic link layer GLL and multiradio resource management MRRM. Radio Control Server (RCS) and Access Point (AP) based centralized architectures supporting the functionalities of interworking between different networks are viewed.

Keywords: wireless communication, internetwork co-operation, wireless communication systems.