

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ FRONTHAUL НА ОСНОВІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ АРХІТЕКТУРИ

Токар Л.О., Сучков О.В., Циліурік В.Є.

Кафедра «Інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського»,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

E-mail: liubov.tokar@nure.ua,
oleksandr.suchkov@nure.ua,
vadym.tsyliuryk@nure.ua

Abstract

Considered and investigated one of the approaches to reduce the requirements for the Fronthaul network by organizing a centralized network architecture. The advantages of functional separation and processing of physical layer signals in the Base Station of a mobile network are proved using the example of the Long Term Evolution system. The analysis of data transfer rates for the selected parameters of mobile networks was carried out using the maximum possible and approximate parameters using more realistic values. The analysis showed the dependence of the selected parameters on a variety of factors, starting with the circuit design of antenna systems and ending with the sampling rate.

Архітектура мобільних мереж LTE (Long Term Evolution) організована децентралізовано. Повна обробка основної смуги частот, включаючи фізичний рівень PHY (Physical Layer), рівень доступу до середовища MAC (Medium Access Control) і частини обробки мережевого рівня виконуються на базових станціях BS (Base Station).

Альтернативою децентралізованої концепції є централізація функцій мережі радіодоступу RAN (Radio Access Network). Такий варіант побудови мережі передбачає використання архітектури централізованої RAN або хмарної – C-RAN (Cloud Radio Access Network). При цьому забезпечується скорочення функціональності BS до так званих віддалених радіоголовок RRH (Remote Radio Head), які виконують лише аналогову обробку та пересилають цифрові дані вибірки між RRH та централізованими модулями основної смуги частот BBU (Battery Backup Unit).

Централізована архітектура вже використовується в деяких мережах 4G й активно розглядається для майбутніх мобільних мереж з безліччю переваг. Переваги централізованої архітектури очевидні: зниження експлуатаційних та капітальних витрат; централізація BBU значно полегшує реалізацію методів спільної обробки [1]; досягнення в галузі процесорних технологій та віртуалізації дозволили реалізувати обробку основної смуги частот на процесорах загального призначення GPP (Green Power Processor) [1]. Однак такий підхід тягне за собою організацію більш вимогливої та дорогої транспортної мережі FH (fronthaul).

У повністю централізованій архітектурі мобільної мережі вся обробка основної смуги частот лише на рівні PHY і MAC і конвергенції пакетних даних PDCP (Packet Data Convergence Protocol) виконується не на BS, а у хмарному центрі обробки, який підключено до ядра через BH (backhaul).

Центр хмарної обробки обмінюється цифровими зразками з BS FH, зазвичай використовуючи стандарт CPRI (Common Public Radio Interface). FH можна розділити на мережу агрегації, яка збирає та розподіляє дані по багатьох BS, і так звану «останню милю», яка є кінцевим каналом зв'язку з BS.

Переваги C-RAN досягаються ціною вимогливої транспортної мережі. В архітектурі C-RAN транспортна мережа пересилає зразки між BBU та RRH і відома як мережа FH (fronthaul), що характеризується великими вимогами до пропускної спроможності, низькою загальною затримкою та джитером. Відомо кілька підходів зниження цих вимог до FH, наприклад, шляхом стиснення даних FH [2] або зниження витрат за допомогою спільної оптимізації мережі RAN і BH/FH [2]. На рис. 1 показано архітектуру та стек протоколів централізованої мобільної мережі.

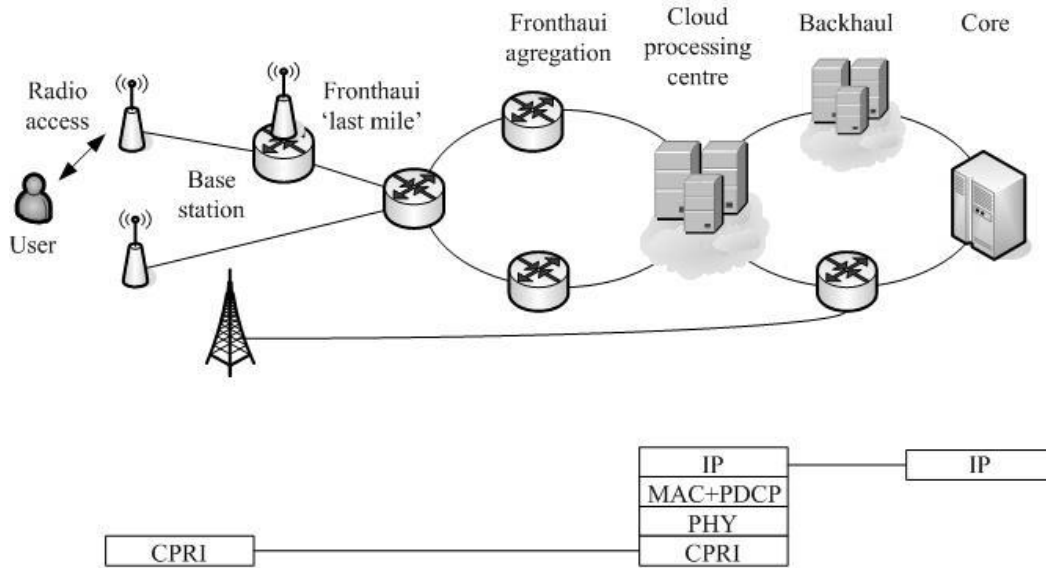


Рис. 1. Архітектура та стек протоколів централізованої мобільної мережі

У роботі описано варіант вирішення проблеми FH з урахуванням гнучкої централізації функцій RAN. Така структура мережі припускає, що частина обробки основної смуги частот буде розташована в BS, а інша - централізованому блоці обробки. Дослідження проведено на прикладі мобільної мережі LTE з використанням структури C-RAN.

Інтерфейс FH стандартизовано у CPRI. На рис. 2 показано варіант гнучкого функціонального розподілу та обробки сигналів фізичного рівня в BS мобільної мережі на прикладі системи LTE [3].

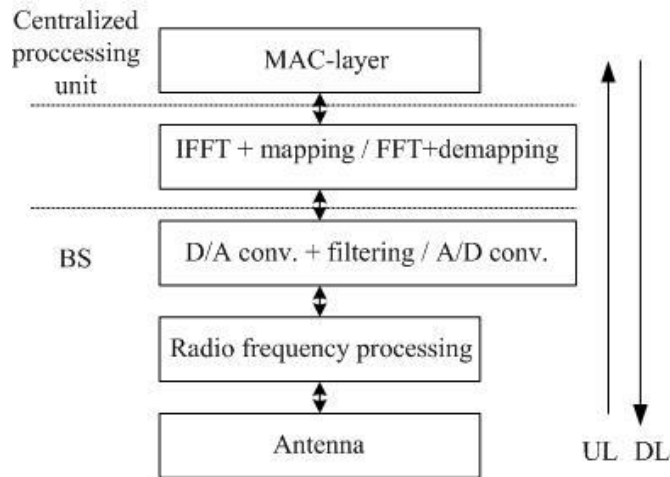


Рис. 2. Варіант функціонального розподілу та обробки сигналів фізичного рівня у BS мобільної мережі на прикладі системи LTE

У DL вся обробка основної лінії частот виконується централізовано, а цифрові вибірки пересилаються на базові станції. В UL отримані сигнали лише оцифровуються, фільтруються й потім пересилаються. Оскільки вся обробка основної лінії частот централізована, то немає жодних недоліків у тому, які типи спільної обробки можуть бути виконані.

Фактично запропонований варіант розподілу відзначає кордон між аналоговими та цифровими сигналами. Таким чином, дані, якими обмінюються через FH, відповідають оцифрованому набору вибірок комплексного сигналу I/Q. Швидкість передачі даних, що необхідна для запропонованого варіанту розподілу, можна розрахувати за формулою [біт/с]:

$$R = 2 \cdot N_A \cdot N_Q \cdot f_s \cdot \gamma \tag{1}$$

де N_A - кількість антен, f_s - частота дискретизації, N_Q - роздільна здатність квантувача в бітах. Коефіцієнт 2 враховує I і Q фази сигналу, а γ являє собою службові дані, що вносяться FH, тобто службові дані лінійного кодування або FEC (Forward Error Correction), або додаткові керуючі сигнали. Число антен N_A вказує на те, що для кожної антени необхідно передати окремий потік даних, а частота дискретизації враховує пропускну здатність системи. Дозвіл квантувача N_Q та коефіцієнт 2 враховують довжину слова на цифрову вибірку.

У роботі проаналізовано швидкість передачі даних для запропонованого варіанту розподілу з використанням максимальних та реальних параметрів мобільних мереж [4]. Таблиця 1 характеризує показники швидкості передачі з урахуванням вибраних параметрів.

Таблиця 1. Показники швидкості передачі даних

Показник швидкості	Мережа 5Gmax	Мережа 5Greal	Мережа 4Gmax	Мережа 4Greal
R, біт/с	$7182 \cdot 10^9$	$7182 \cdot 10^9$	$4902 \cdot 10^6$	$2451 \cdot 10^6$

Рис. 3 дозволяє провести аналіз розкиду швидкостей передачі даних з урахуванням вибраних параметрів для дослідження.

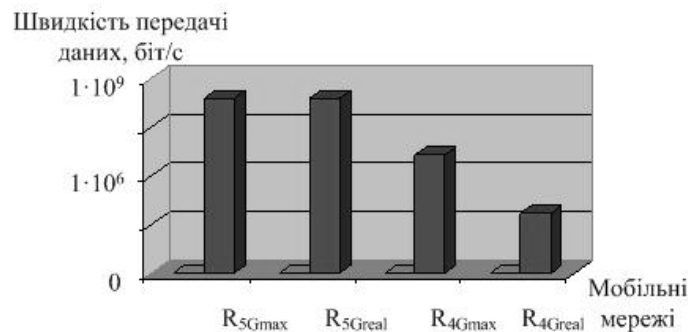


Рис. 3. Аналіз швидкостей передачі даних для вибраних параметрів мобільних мереж

У дослідженні враховувалося, що базовим рівнем є система 4G, тобто система LTE, яка додатково відрізняється максимальною швидкістю передачі даних, використанням максимально можливих параметрів та зразковим набором параметрів, що використовує більш реальні значення. Наприклад, максимальне завантаження BS становить 100 відсотків, тоді як у реальних умовах BS має бути завантажена менш ніж на 100 відсотки. Або, максимальна кодова швидкість дорівнює 1,0 (тобто некодова на передача), тоді як реальні системи повинні використовувати нижчу кодову швидкість в залежності від якості каналу.

З рис. 3 видно, що є важлива різниця між максимально можливою швидкістю передачі і реальною швидкістю. Залежність від кількості антен N_A цього розподілу може стати критичною в майбутніх мережах мобільного зв'язку, коли можуть бути введені масивні методи множинного введення/множинного виведення MIMO (Multiple Input Multiple Output) зі 100 або більше антенними елементами, оскільки це лінійно збільшує швидкість передачі даних FH.

Так само f_s залежить від загальної пропускну спроможності, яка також повинна збільшитися в майбутніх мережах. Дозвіл квантувача має бути досить високим, зазвичай близько 15 біт на вимір, через високу динаміку сигналу в часовій області LTE.

З аналізу видно, що потенційна система 5G ще більше підвищить і так високі вимоги до FH. Зокрема, масштабування з кількістю антен ясно показує, що повна централізація з транзитним з'єднанням кожної антени неможлива. Фактично швидкість передачі даних збільшується більш, як на три порядки. Хоча можна вважати, що технології транспортних мереж також будуть розвиватися в майбутньому, такого зростання не можна очікувати в розглянуті часові інтервали для мобільних мереж 5G.

Таким чином, очікується, що вимоги до майбутніх мереж зростуть в основному за рахунок трьох покращень: впровадження масивної технології МІМО, використання більш високих носійних частот та пропускної спроможності.

У роботі проведено аналіз концепції повністю централізованої обробки основної смуги частот у сучасній мобільній мережі, внаслідок чого спрощується обслуговування та модернізація. Однак така концепція вимагає дорогої мережі ФН.

В роботі описано варіант рішення за допомогою гнучкого функціонального розподілу та обробки сигналів фізичного рівня в BS мобільної мережі, але з меншими вимогами до мережі ФН.

Для запропонованого варіанта розподілу розраховано швидкість передачі даних на прикладі системи LTE з урахуванням основних параметрів та характеристик. Проаналізовано зміну швидкостей передачі даних з використанням максимальних та реальних параметрів мобільних мереж.

Доведено, що проєктування мережі ФН може стати серйозною проблемою для майбутніх мереж з точки зору як продуктивності, так і економічної ефективності. Тому, першим питанням стає розробка методів зниження вимог до мережі ФН.

Література

1. Aldhaibani Omar, Hamid AL-Jumaili Mustafa, Raschella Alessandro, Kolivand Hoshang, Peace Preethi Angelin A centralized architecture for autonomic quality of experience oriented handover in dense networks // Computers & Electrical Engineering. 2021. Vol. 94, P. 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107352>.
2. Molner N., Oliva A. Stavrakakis I., Azcorra A. Optimization of an integrated fronthaul/backhaul network under path and delay constraints. Ad Hoc Networks, 2018. 46 p. doi:10.1016/j.adhoc.2018.08.025.
3. Bartelt J., Rost P., Wbber D., Lessmann J., Melis B., Fettweis G. // Fronthaul and Backhaul Requirements of Flexibly Centralized Radio Access Networks. IEEE Wireless Communications. 2015. 22(5), P. 105–111.
4. Kazi Mohammed Saidul Huq, Rodriguez Jonathan Backhauling/Fronthauling For Future Wireless systems. John Wiley & Sons, Ltd, 2017. 218 p.