

УДК 621.396.946

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ 5G ПРИ УЩІЛЬНЕННІ ТА РОЗВАНТАЖЕННІ

Токарев В.С., Токар Л.О.

e-mail: vitalii.tokariiev@nure.ua, liubov.tokar@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., доц. Токар Л.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
каф. ІКІ ім. В.В.Поповського
м. Харків, Україна

The advantages of 5G technology are shown and it is proven that its key feature is the deployment of multi-level HetNet networks. The advantages of 5G technology are presented in the context of increasing the performance of solutions in terms of radio access. It is shown that extreme densification and network offloading are used to increase performance. An analysis of determining the gain from BS densification as an effective way to increase data transfer speed is carried out. A quantitative assessment of the gain from densification is determined for different network deployment scenarios.

Технологія мобільного зв'язку п'ятого покоління 5G має високу пропускну здатність, широку зону покриття й кращу якість обслуговування QoS користувачів в порівнянні з попередніми поколіннями мобільного зв'язку. Тому великі промислові компанії, у тому числі постачальники інфраструктури, виробники пристроїв та мережні оператори поступово переходять до технології 5G [1].

Зважаючи на те, що архітектура мобільних мереж розвивається в напрямку мереж з високою продуктивністю, що обумовлено наявністю безлічі базових станцій БС, побудова мережі формується на основі багаторівневих HetNet, що є ключовою особливістю технології 5G. Мережа HetNet забезпечує більш ефективне використання спектра та високу гнучкість в управлінні ресурсами. В такій мережі працюють як звичайні потужні макро-БС, так і малопотужні піко- та фемто-БС. Таким чином, відхід від традиційної архітектури мобільної мережі до HetNet ставить багато нових завдань при проєктуванні та розгортанні мереж, особливо в частині ефективності використання системних ресурсів в HetNet. Питання підвищення продуктивності та розподілу ресурсів у HetNet є складним завданням через необхідність координації різних технологій радіодоступу RAN та забезпечення їх спільної роботи, що й визначає актуальність роботи.

Основною перевагою технології 5G є поєднання цілої низки удосконалень та нових функцій для підвищення продуктивності безпроводових рішень в частині радіодоступу. Для підвищення продуктивності мережі використовується екстремальне ущільнення та розвантаження. Це пов'язане з необхідністю формування щільних мереж HetNet, тобто поєднання більшої кількості БС на одиницю площі з високою

спектральною ефективністю, що призведе до значного збільшення пропускної здатності мережі.

Аналіз літератури показав, що одним з простих, але ефективних способів збільшення пропускної здатності мережі є зменшення розмірів сот [2]. Особливо слід зазначити, що швидкий розвиток мереж потребує впровадження вкладених в макросоту невеликих сот, таких як пікосоти та фемтосоти [3]. Крім того, використання розподілених антенних систем дозволяє розробити мережу, яка функціонально аналогічна мережі з пікосотами з точки зору ємності та зони покриття, хоча вся обробка основної смуги в цьому випадку здійснюється на центральному вузлі з використанням певних умов.

Зменшення розміру сот має безліч переваг, найбільш важливими з яких є повторне використання спектра в межах географічної області й подальше скорочення числа користувачів, що конкурують за ресурси на кожній БС. Таким чином, соти можуть скорочуватися майже до малих розмірів без шкоди для співвідношення сигнал/завада аж до того, поки майже кожна БС не буде обслуговувати одного користувача. Це дозволяє кожній БС виділяти свої ресурси або забезпечувати транзитне з'єднання меншій кількості користувачів.

Слід зазначити проблеми, які потребують вирішення, що пов'язані з надмірним ущільненням [4]: збереження очікуваного виграшу від поділу сот на частини, оскільки кожна БС стає менш завантаженою, особливо вузли з низьким енергоспоживанням; визначення відповідних об'єднань між користувачами та БС за допомогою декількох RAT, що має вирішальне значення для оптимізації периферійної швидкості; підтримка мобільності між різними RAT; покриття зростаючих витрат на встановлення, технічне обслуговування та транспортування.

У роботі проведено аналіз визначення приросту ρ від ущільнення БС як ефективного способу збільшення швидкості передачі даних при надмірному ущільненні мережі. Для розрахунку приросту від ущільнення використано формулу [5]:

$$\rho(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{(R_1 - R_2)/R_1}{(\lambda_1 - \lambda_2)/\lambda_1} \quad (1)$$

Отримані результати зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати підрахунку ущільнення

λ_1/λ_2 , щільність БС, БС/ км ²	R ₁ / R ₂ , швидкості завантаження файлів, Мбіт/с	
	168/1000	1000/20000
30,60	5	19
60,90	10	38

Визначено, якщо при звичайній швидкості передачі даних R₁ щільність БС на квадратний кілометр дорівнює λ_1 , а більша щільність БС - λ_2 з

відповідною швидкістю R_2 . Використано пікову швидкість завантаження файлів з мережі Інтернет для технологій 5G, 4G LTE-A, HSPA+ (3G), а це: 20 000 Мбіт/с, 1000 Мбіт/с та 168 Мбіт/с відповідно. Щільність БС для прикладу взято 30, 60 і 90 БС.

Відмічається, якщо щільність мережі збільшується вдвічі, а швидкість завантаження даних по периферії збільшується на 50 % (наприклад, через те, що деякі додані БС були малозавантаженими), то виграш від ущільнення буде складати $\rho=0,5$.

Загалом збільшення пропускної здатності можна досягти за рахунок роботи в інших ділянках спектру, наприклад, в діапазоні міліметрових хвиль чи в діапазоні 5 ГГц, де працює технологія Wi-Fi. Це, в свою чергу дозволить ефективніше використати радіочастотний ресурс. При цьому можна спрогнозувати, що можливий коефіцієнт ущільнення підвищиться майже до $\rho \gg 1$, що обумовлено твердженням, що зв'язок на даних запропонованих частотах обмежений шумом. Таким чином, при збільшенні щільності може спостерігатися зниження навантаження на соту, що надає можливість до раціонального поділу ресурсів, і, що особливо важливо – збільшення SINR.

В цілому, SINR зазвичай збільшується зі щільністю: в мережах з обмеженим шумом це обумовлене збільшенням потужності прийнятого сигналу, а в мережах з обмеженими завадами обумовлено тим, що малозавантажені мікросоти генерують менше завад.

Таким чином, ρ покращується і може наближатися до одиниці при приглушенні мікро-БС порівняно з макросотами, які постійно працюють в режимі передачі, таким чином, весь час заважають мікросотам. В цілому, кількісна оцінка та оптимізація виграшу від ущільнення у широкому діапазоні сценаріїв розгортання та мережних моделей є цікавим рішенням для дослідження мікросот.

Список використаних джерел:

1. Andreev S., Gerasimenko M., Galinina O. Intelligent Access Network Selection in Converged Multi-Radio Heterogeneous Networks. *IEEE Wireless Communications Magazine*. 2014. Vol. 21, № 6. P. 86 – 96.
2. Chandrasekhar V., Andrews J., Gatherer A. Femtocell networks: A survey. *IEEE Communications Magazine*. 2008. Vol. 46, № 9. P. 59– 67.
3. Andrews J., Claussen H., Dohler M., Rangan S., Reed M. Femtocells: Past, present, future. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2012. Vol. 30, № 3. P. 497 – 508.
4. Dhillon H., Ganti R., Andrews J. Load-aware modeling and analysis of heterogeneous cellular networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2013. Vol. 12, № 4. P. 1666 – 1677.