

РОЗРОБКА АЛГОРИТМА ОБ'ЄДНАННЯ UE ДЛЯ UA В СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖАХ B5G

Сусловець Р.І., Токар Л.О.

Харківський національний університет
радіоелектроніки (ХНУРЕ), Україна.

E-mail: ruslan.suslovets@nure.ua
liubov.tokar@nure.ua

Abstract

It is proven that traditionally, user-cell UA aggregation schemes for cellular networks are based on the quality and level of the received signal, which in B5G networks can lead to load shifting. Taking into account the diversity of users and IoT devices, a user-cell aggregation algorithm scheme in B5G networks has been developed. It is shown that balancing the number of users served by small cells contained in one macrocell is performed by deciding on the signal threshold value for UA based on the UE, taking into account the load. The result of the algorithm is to ensure effective load balancing between BSs and stable quality of service in complex or heterogeneous network conditions by moving users from highly loaded cells to lightly loaded cells, which will allow smoothing the load on the network.

Традиційно схеми об'єднання користувач-сота User-cell Association (UA) для стільникових мереж базуються виключно на якості та рівні отриманого сигналу. Цей механізм не завжди може бути адекватним для складної побудови мереж п'ятого покоління та вище Fifth Generation and Beyond (B5G) і може призвести до зміщення навантаження. Важливим питанням в цьому контексті також слід зазначити урахування додаткових параметрів, таких, як навантаження на сусідні соти, потреби користувацького обладнання User Equipment (UE) та його мобільність. Тому урахування навантаження при роботі UE для UA у мережах B5G визначає актуальність роботи.

Для мереж B5G значно зросте різноманітність користувачів. Це можна описати величезною кількістю пристроїв, що працюють в мережі: автономні автомобілі та дрони, смарт-годинники та інші пристрої концепції Інтернету речей Internet of Things (IoT).

На відміну від перших поколінь стільникових мереж, мережі 5G є гетерогенними мережами Heterogeneous Networks (HetNets). Враховуючи складну структуру мережі, яку представлено кількома рівнями, високомобільні користувачі можуть віддавати перевагу зв'язку з великою макросотою, а не з малою сотою з меншим діапазоном обслуговування, навіть якщо навантаження на цю малу соту менше, ніж на її конкурентну макросоту. Такий підхід спрямовано на уникнення частоті передачі зв'язку.

Тому питання UA для балансування навантаження в HetNets потребує рішення. Річ в тому, що загалом механізми перетворення трафіку не розрізняють користувачів, що відмічається в [1]. Навантаження вимірюється кількістю користувачів, що існують у кожній соті. Користувачі, які споживають багато пропускну здатності, вважаються та обробляються так само, як і користувачі з низькою швидкістю передачі даних, а високомобільні користувачі обробляються так само, як і майже статичні користувачі. Таким чином, цей механізм не є оптимальним для мереж B5G [2].

В роботі пропонується проведення балансування кількості користувачів за рахунок рішення про порогове значення сигналу для UA на основі UE. Умовою дослідження є твердження, що отримане значення сигнал/перешкода плюс шум Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio (SINR) має бути вищим за попередньо визначений поріг UE. Тобто найкращий UA не обов'язково є найкраще прийнятим сигналом. Для щільних мереж, в яких UE може бути потенційно пов'язаний з кількома сотами, найкращим кандидатом на можливий UA є найменш завантажена сота, яка може задовольнити потреби UE (з точки зору мобільності, чутливості до затримки та споживання пропускну здатності), за умови, що якість та рівень сигналу, отриманого від цієї соти, перевищують попередньо визначений поріг UE.

Проблема ефективного UA залежить від обмежень, що накладаються на UE [3]. Перше обмеження стосується якості та рівня прийнятого сигналу, які повинні бути вищими за заздалегідь визначений поріг UE, що може залежати від застосунка в UE, що відображено нерівністю:

$$\text{SNIR}(i, u) \geq \text{ST}^{\text{app}}(u), \quad (1)$$

де $\text{SNIR}(i, u)$ – це SINR, отриманий UE від соти, кандидата на потенційне об'єднання; $\text{ST}^{\text{app}}(u)$ – це поріг рівня сигналу, попередньо визначений UE та застосунком, який наразі виконується.

Друге обмеження UE полягає в тому, що ефективна швидкість передачі даних $\text{EfD}(u, \text{app}, i)$, яку отримує UE під час об'єднання із сотою, повинна бути більшою або дорівнювати мінімальній швидкості передачі даних, що вимагається застосунком, $\text{DR}(u, \text{app})$:

$$\text{EfD}(u, \text{app}, i) \geq \text{DR}(u, \text{app}). \quad (2)$$

Третє обмеження UE полягає в гарантуванні затримки мережі не більше:

$$\text{NetworkLatency} \leq \text{MaxDelay}(u, \text{app}). \quad (3)$$

В результаті об'єднання UE з неправильною сотою може виникне зменшення частоти обов'язкової передачі, яку очікується виконувати UE. UE здійснює пошук з найвищим пріоритетом у списку сот, які він часто відвідував, і в яких, як очікується, перебуватиме протягом відносно тривалого часу. Механізм UA з найвищим пріоритетом надає перевагу малим сотам над макросотами, хоча макросоту можна визначити як пріоритетну соту. В іншому випадку, коли UE не може знайти свої пріоритетні розташування або після запуску програми, що споживає пропускну здатність, її поточне розташування не може забезпечити необхідну швидкість передачі даних, і UE шукає найбільш підходящу соту в своєму районі. Цей пошук проводиться серед усіх сот, для яких SINR, отриманий від цих сот, перевищує заздалегідь визначений поріг.

Поріг залежить як від UE, так і від застосунка. Для уникнення ефекту пінг-понгу використовуються два порогові рівні. Високий поріг SINR $\text{ST}_H^0(u)$ визначається як мінімальне значення SINR, для якого UE повинен враховувати можливе об'єднання, враховуючи, що UE не ініціює жодного запиту застосунку чи пропускну здатності.

Низький поріг SINR $\text{ST}_L^0(u)$ визначається як мінімальне значення SINR, для якого UE не повинен розглядати можливість передачі сигналу іншій соті. Щоразу, коли рівень сигналу падає нижче $\text{ST}_L^0(u)$, UE повинен розглядати можливість об'єднання з іншою сотою.

Оскільки ефективна швидкість передачі даних, яку отримує UE у соті, залежить від SINR, отриманого від цієї соти, то після запуску застосунка, що споживає пропускну здатність, UE обчислює доступну швидкість передачі даних, що пропонується кожною сотою, для якої отриманий SINR вищий за бажаний поріг $\text{ST}_H^{\text{app}}(u)$.

Таким чином, ефективна швидкість передачі даних, що фіксується UE при об'єднанні з сотою, визначається за формулою [4]:

$$\text{EfD}(u, \text{app}, i) = B(u, \text{app}) \log_2(1 + \text{SNIR}(i, u)). \quad (4)$$

Дана формула відтворює процес, змодельований як гаусовий шум згідно із законом Шеннона, та враховує, що сота виділяє UE смугу пропускання $B(u, \text{app})$.

В роботі розроблено схему алгоритму для визначення порогового значення UA на основі UE з наступними вихідними даними: списку місць розташування UE, початковий поріг прийнятної якості, кількість виявлених БС, значення SINR для кожної з БС.

На початку роботи алгоритма відбувається отримання вихідних параметрів. Далі відбувається ініціалізація змінних, зокрема мінімального коефіцієнта завантаження соти $\rho_{\min}$, який спочатку дорівнює одиниці (тобто найгірше можливе значення), і починає перебір усіх доступних сот. Для кожної соти перевіряється рівень сигналу. Якщо $\text{SINR}(i, u)$ перевищує порогове значення $\text{ST}_H^0(u)$, то ця сота вважається потенційним кандидатом. Якщо така сота входить до списку місцеперебування UE, то вона одразу вибирається для підключення і процес завершується. Якщо ж ні, то обчислюється поточне навантаження соти. Якщо навантаження менше, ніж у будь-якої попередньої соти, то алгоритм оновлює значення $\rho_{\min}$ і запам'ятовує індекс поточної соти як

найкращої на даний момент. Схему алгоритму для об'єднання UA на основі UE показано на рисунку 1.

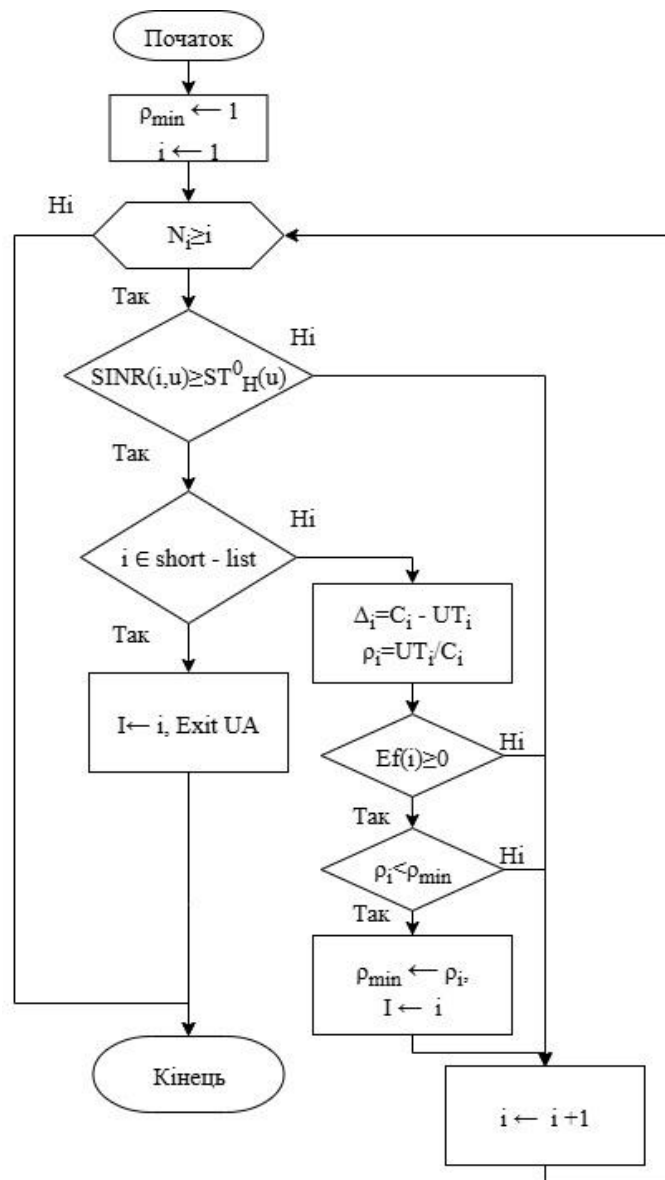


Рис. 1. Схема алгоритму для об'єднання UA на основі UE

Після перевірки всіх доступних БС UE під'єднується до тієї БС, що має прийнятний рівень сигналу й мінімальне навантаження. У разі запуску UE певного застосунку до вихідних параметрів додається поріг SINR, специфічний саме для цього застосунку, а також вимоги застосунку до пропускної здатності.

Таким чином, можна відзначити, що механізм об'єднання UE динамічно обирає найкращу соту з урахуванням сигналу, завантаженості, місця перебування користувача та вимог поточного застосунку. У результаті забезпечується ефективне балансування навантаження між БС і стабільна якість обслуговування у складних або неоднорідних мережних умовах шляхом переміщення користувачів з високо завантажених сот до слабо завантажених сот, що дозволить згладити навантаження в мережі.

Література

1. Ye Q., Rong B., Chen Y. User association for load balancing in heterogeneous cellular networks // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2012. Vol. 12(6). P. 2706-2716.

2. Диль Є. А. Технології та архітектура наземних мереж 5G // Науково-технічна конференція. Збірник тез. К.ДУТ, 2020. С. 71.
3. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі // Підр. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.
4. Коваленко А.Є. Теорія інформації і кодування: курс лекцій // Навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 124 Системний аналіз. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 248 с.