УДК 621.396

МЕТОД ВИБОРУ ОПОРНОГО РЕТРАНСЛЯТОРА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ГРУПУВАННЯ В БАГАТОПРОЛЬОТНІЙ МЕРЕЖІ WIMAX

КРАВЧУК С.О.

Інститут телекомунікаційних систем НТУУ "КПІ"

METHOD OF REFERENCE RELAY SELECTION FOR EFFECTIVE GROUPING IN WIMAX MULTIHOP NETWORK

KRAVCHUK SERGII

Анотація. *Розроблено метод вибору опорної ретрансляційної станції (РС) для покращеного групування РС. Представлено процедуру і алгоритм вибору опорної РС. Ефективність запропонованого методу підтверджено результатами чисельного моделювання.*

Abstract. *Method of reference relay station (RS) selection is developed for improved clustering RS. Procedure and algorithm of reference RS selection is presented. Efficiency of the offered method is confirmed by results of numerical modelling.*

ВСТУП

Група стандартів IEEE 802.16, відома як WiMAX, спрямована на забезпечення широкосмугового безпроводового доступу в мережах міського рівня. WiMAX здійснює зв‘язок в умовах прямої і непрямої видимостей для діапазонів частот 10…66 ГГц і нижче 11 ГГц, відповідно. Також WiMAX підтримує QoS, жорсткий і м‘який хендовер для досягнення повної мобільності. З самого початку стандарт призначався під традиційну архітектуру "точка-багатоточка" з однопрольотними з‘єднаннями, та на даний час із-за значного зростання уваги до багатопрольотної архітектури була створена спеціальна група по розробці нової специфікації IEEE 802.16j, яка розвиває концепцію ретрансляційних станцій (РС) для забезпечення покращення користувацької пропускної здатності (ПЗ) і розширення площі покриття радіосистеми [1].

Функціями РС є ретрансляція користувацьких даних і інформації керування між різними станціями, та реалізація багатопрольотної ретрансляції обхідними шляхами. В специфікації IEEE 802.16j мають місце два режими РС: прозорий (transparent) і непрозорий (non-transparent). Прозорий режим використовується для збільшення ПЗ базової станції (БС), тобто покращення ПЗ в межах зони покриття БС. При цьому до мобільної станції (МС) не передаються власні преамбули, керуючий заголовок кадру FCH (Frame Control Header), карти визначення доступу DL-MAP (Downlink MAP) і UP-MAP (Uplink MAP), канальні дескриптори DCD (Downlink Channel Descriptor) і UCD (Uplink Channel Descriptor). Таким чином ресурс керується тільки з БС. В непрозорому режимі передаються преамбули, FCH, DL-MAP, UP-MAP і DCD/UCD. Такий режим призначений для розширення покриття БС і при ньому МС, яка розташована поза стільником БС, може приймати обслуговування від БС через непрозору РС.

Якщо РС-ї конфігуруються для сигналів широкомовного керування (преамбула, FCH і MAP в кадрі), то при цьому витрачається значна частина радіоресурсу БС з підтримкою багатопрольотної ретрансляції (БР-БС). Ця проблема стає ще більшою при зростанні кількості ретрансляцій в стільнику БР-БС.

Коли РС розташовуються поблизу одна від одної, то вони можуть бути об‘єднанні в групу РС. Кожен член такої групи діє як РС. Така група використовує широкомовний ідентифікатор РС RSID (Relay Station Identifier) як ідентифікатор ID (Identifier) групи РС. Широкомовний RSID є однаковим для всіх членів групи і всі РС в групі передають ті ж самі преамбулу, FCH і MAP як одна віртуальна станція. Якщо група не включає в себе БС, то одна із РС в групі працює в непрозорому режимі, а всі інші – в прозорому. Непрозора РС

передає керувальні повідомлення для членів групи і тому вона називається опорною (або батьківською) станцією групи. Кожен член групи співвідноситься з опорною РС, тому знання положення останньої для БС має важливе значення.

Виходячи з того, що відомі на даний час специфікації IEEE 802.16j не описують процедуру вибору опорної РС в групі, то *метою* даної роботи є представлення методу вибору опорної РС для покращеного групування РС.

ДЕЯКІ ПОЛОЖЕННЯ СПЕЦИФІКАЦІЇ IEEE 802.16J

РС загалом є спрощеним видом БС з невеликою площею покриття. Значна кількість РС в стільнику БС може викликати збільшення частоти запуску хендоверу (передачі обслуговування) і зростання інтерференції при передачі широкомовних повідомлень FCH/MAP. Тому при наявності близько розташованих РС БС може прийняти рішення про створення групи. Група РС дозволяє знизити інтерференцію [2] і діє як одна віртуальна РС з одним груповим ID. Група має більшу площу покриття ніж одна окрема РС, то вона знижує можливість частого запуску хендоверу.

Для прямого каналу члени групи РС можуть конфігуруватись під дані прямого трафіку для окремих залежних термінальних вузлів (в тому числі МС). Так дві РС в одній групі можуть передавати двом різним МС одночасно. Передачі можуть плануватись так, щоб декілька РС в групі одночасно проводили передачу до однієї МС, дозволяючи їй реалізувати переваги рознесення. Коли РС виявляє посилену інтерференцію від іншої РС або іншої групи РС, вона може вимагати свого вилучення із групи.

Коли група РС включає в себе БС, то РС в групі можуть передавати ті ж преамбули, FCH і MAP як і БС. У групі, де відсутня БС, одна РС є непрозорою а інші РС в групі передають ті ж преамбули, FCH і MAP як і ця непрозора РС.

Для роботи такої ретрансляційної системи використовуються наступні види повідомлень:

- RS_Config-RCM/REQ: для конфігурації РС, яка вимагає свого виходу із групи або конфігурацію преамбули;
- RS_Member_List_Update: опорна РС може передавати це повідомлення в широкомовному каналі членам групи для оновлення їх параметрів;
- RS_NBR-MEAS-REP: передає РС до БР-БС або до залежних РС. Повідомлення включає в себе значення відношення несуча/інтерференція CINR чи напруженості електричного поля прийнятого сигналу RSSI (Received Signal Strength Indication);
- MR_LOC-REQ/RSP: використовується для передачі інформації про положення РС. Причому MR_LOC-RSP буде передано після прийому MR_LOC-REQ. Повідомлення включає довготу, широту і висоту положення РС.

ПРОПОНОВАНИЙ МЕТОД ВИБОРУ ОПОРНОЇ РС

Для того щоб створити групу з декількох РС необхідно мати критерій вибору опорної РС. Група формується шляхом вибору опорної РС, яка керує всіма РС, які належать цій групі. Загалом, якість сигналу між опорною РС і БР-БС вища ніж між опорною РС та іншими РС групи. У якості міри вимірювань якості сигналу може бути застосовано RSSI.

При потраплянні самостійної РС в зону дії групи РС, виникає інтерференція з РС цієї групи. Всі РС, включаючи нову РС, можуть безпосередньо приймати преамбулу від наявної опорної РС. Тому БР-БС призначає групі ID для нової РС. Це означає, що нова РС стає залежною станцією від наявної опорної РС.

Коли нова РС виходить за межі зони дії опорної РС і створює інтерференцію з РС в групі, то нова РС не може безпосередньо з‘єднуватись з опорною РС. Тоді якщо БР-БС знаходить РС, яка може мати з‘єднання з новою РС і усіма РС в групі, то цією РС заміняється наявна опорна РС. Важливим фактором при процедурі зміни опорної РС є положення усіх РС в групі і нової РС, що створює інтерференцію.

Вибір нової опорної РС представлено на рис. 1. $РС_1$, $РС_2$, $РС_3$ і $РС_4$ складають групу. Опорною РС в групі є $РС_2$, яка працює в непрозорому режимі. Коли $РС_5$, яка є новою РС, з'являється і визиває інтерференцію, то до БР-БС за допомогою повідомлення RS_NBR-MEAS-REP висилається звіт про значення інтерференції.

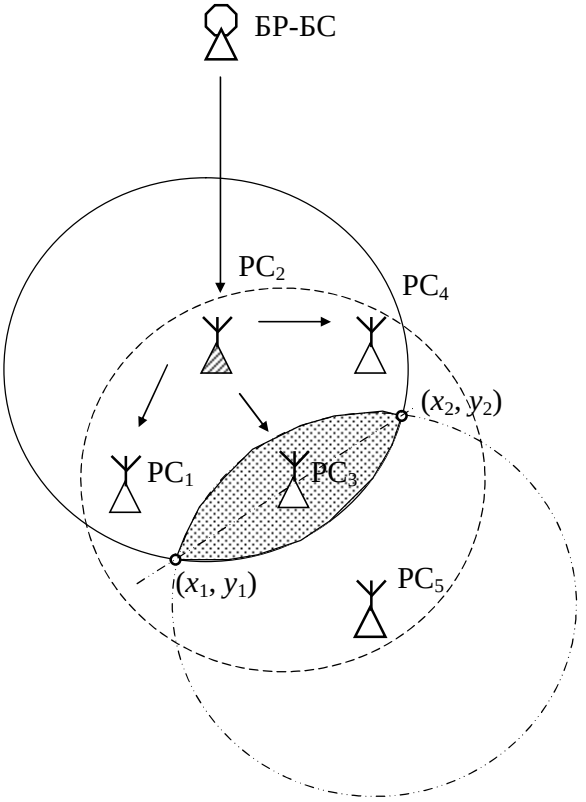

Рисунок 1 – Приклад групування РС

Прийнявши повідомлення RS_NBR-MEAS-REP, БР-БС розглядає включення $РС_5$ до наявної групи. Однак $РС_5$ не може ввійти до групи тому що вона знаходиться поза зоною дії $РС_2$. Тільки призначення у якості опорної $РС_3$ дозволить $РС_5$ увійти до групи. Якщо не знайдеться РС, яка б охоплювала всі РС, то $РС_5$ не буде приєднана до групи і продовжить своє незалежне функціонування.

Розглянемо саму процедуру пропонованого метода (рис. 2). Коли частота сигналу нової сусідньої РС відноситься до діапазону групи РС, то група оцінює такий сигнал і повідомляє про це БС. Тоді БР-БС вимагає інформацію про положення як групи, так і нової РС, яка визиває інтерференцію. БР-БС приймає цю інформацію в повідомленнях MR_LOC-RSP і оцінює її. Повідомлення MR_LOC-RSP включає в себе поле LLA_IE, яке містить координати станцій (довготу і широту) і висоту над рівнем океану. При цьому БР-БС розглядає зони покриття кожної з РС в групі і вибирає кандидата на опорну РС. Якщо знайдеться така РС, що зможе охопити нову РС, тоді група може приєднати до себе нову РС. Якщо має місце ще інша РС, яка може охопити як нову РС, так і усі РС групи, то її також вибирають у якості кандидата на опорну РС. Серед кандидатів БР-БС обирає тільки одну опорну РС, керуючись додатковим критерієм – якістю прийнятого сигналу на РС. Для цього використовуються вимірювані значення CINR і RSSI.

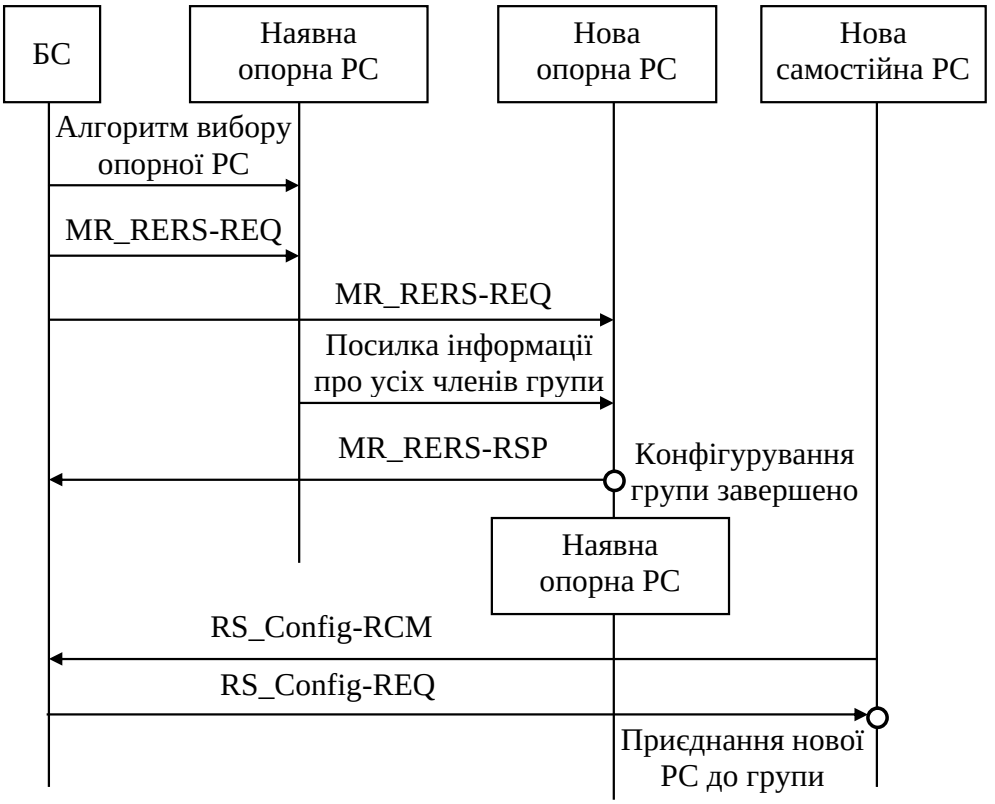

Рисунок 2. Процедура сигналізації зміни опорної РС в групі та її реконфігурації

Після вибору опорної РС БР-БС проводить процедуру заміни старої опорної РС на нову. БР-БС посилає повідомлення RS_RERS-REQ, яке містить MAC-адресу нової опорної РС (RERS – Reference Relay Station). Після чого нова відібрана РС починає діяти в групі як опорна. Вона може створити нову групу.

Після заміни опорної РС БР-БС посилає повідомлення про об‘єднання РС даної групи з новою РС. Таке повідомлення містить новий широкомовний ID групи.

Для виконання вище представленої процедури до MAC-рівня необхідне введення двох нових повідомлень RS_RERS-REQ і RS_RERS-RSP, формат яких пропонується наступний:

```
MR_RERS_REQ_MESSAGE_FOR_MAT()
{
  Management_Massage_type = ⟨8 bits⟩;
  Request_type = ⟨2 bits⟩;        //  00 = відсутня заміна опорної РС
                                  //  01 = реконфігурація групи без заміни опорної РС
                                  //  10 = для наявної опорної РС
                                  //  11 = для нової опорної РС
  if (Request_type = 00) {    }
  if (Request_type = 01) {    }
  if (Request_type = 10)
     {
       Reference_RS_ID = ⟨48 bits⟩  // MAC-адреса вибраної опорної РС
     }
  if (Request_type = 11) {    }
}

MR_RERS_RSP_MESSAGE_FOR_MAT()
{
```

Management_Massage_type = ⟨8 bits⟩;
}

Представлені керуючі повідомлення призначені для визначення опорної РС в групі. Якщо наявна опорна РС прийме повідомлення RS_RERS-REQ, то відішле інформацію керування своїх РС у групі до нової опорної РС. Повідомлення містить MAC-адресу нової опорної РС. Коли в повідомленні RS_RERS-REQ поле Request_type = 00, то це означає, що БР-БС прийняла рішення не змінювати опорну РС в групі. Значення Request_type = 01 і 11 призначені наявній опорній РС. Після прийому Request_type = 01 опорна РС розсилає інформацію про усіх членів групи і завершує свою роботу як опорна РС. При Request_type = 11 опорна РС повинна зробити реконфігурацію групи з оновленням даних про членів групи. Для нової опорної РС призначається повідомлення із Request_type = 10, після прийому якого РС виконує реконфігурацію групи.

Повідомлення RS_RERS-RSP передається РС для підтвердження прийому повідомлення RS_RERS-REQ.

Алгоритм вибору нової опорної РС можна описати наступним чином. Після прийому повідомлення MR_LOC-RSP БС має змогу оцінити середнє значення положень РС. Нова опорна РС повинна розміщуватись між наявною опорною РС і новою інтерферуючою РС. Повідомлення MR_LOC-RSP містить координати наявної опорної РС PC_2 (Lat_RERS, Long_RERS) і нової РС PC_5 (Lat_NRS, Long_NRS), де скорочення Lat_ і Long_ позначають відповідно географічні широту і довготу.

Пошук кандидатів для нової опорної РС проводиться на площі, що утворюється шляхом накладення (перетину) двох зон покриття радіусом ρ станцій PC_2 і PC_5 (рис. 1). Використовуючи координати PC_2 і PC_5, БР-БС може розрахувати середнє значення положення цих РС (лінія центру симетрії зони перетину кругових периметрів зон покриття з координатами (x_1, y_1) і (x_2, y_2)). Отже відбір кандидатів проводиться у відповідності до їх координат (x_i, y_i) наступним умовам

$$\{ (x_i - \text{Lat\_NRS})^2 + (y_i - \text{Long\_NRS})^2 = \rho^2 \} \cap$$
$$\cap \{ (x_i - \text{Lat\_RERS})^2 + (y_i - \text{Long\_RERS})^2 = \rho^2 \};$$
$$x_2 \le x_i \le x_1 \text{ і } y_2 \le y_i \le y_1.$$

Вирішувана задача відбору кандидатів дуже схожа на задачу відшукання координат методом лінійної геодезичної зарубки, яка використовується в навігаційній системі GPS [3].

Остаточний вибір нової опорної РС буде зроблено БС на підставі кращих показників по вимірам CINR і RSSI на РС.

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Робота запропонованого методу вибору опорної РС має схожість з методами передачі обслуговування (хендоверу) [4]. В обох випадках шлях трафіку сигналізації до МС змінюється, і тому система керування повинна оновлювати інформацію в гостьовому і домашньому реєстрах про положення МС і про супроводжуючу її точку доступу (РС чи БС). Для підтвердження ефективності запропонованого методу вибору опорної РС в групі було проведено моделювання даного методу в складі MAC-рівня СШР стандарту IEEE 802.16-2004 пакету Network Simulator NS-2 [5].

Ефективність методу оцінюється на прикладі порівняння його функціонування при появі інтерферуючої РС з найпростішими можливими схемами формування групи РС: незмінної групи без залучення нової РС і без протидії їй, та загальної одночасної переконфігурації групи із залученням нової РС.

В останній схемі використано наступний простий алгоритм. При появі інтерферуючої РС, вона залучається до групи без зміни опорної РС. Якщо після цього не буде погіршення загального перерозподілу ПЗ в групі між МС, то така переконфігурація залишається. Однак,

коли буде погіршення по ПЗ (вона є наслідком погіршення CINR або відсутності керуючої інформації на вузлі), то група знову повертається до свого попереднього складу, а нова РС продовжує самостійне функціонування.

Сценарії моделювання для кожної із наведених схем можуть бути наступні: усі РС самостійні; наявна група РС і самостійні РС, які не інтерферують; наявна група РС і самостійна РС, яка інтерферує з РС із групи.

Для моделювання зазначених схем і сценаріїв в NS-2 було сформовано мережу WiMAX, яка складається з БС *3*, самостійних (рухомих) ретрансляторів *1* і *7*, та фіксованих ретрансляторів, зведених до групи, *2*, *4*, *5* і *6* (рис. 3). Наявною опорною РС в даній групі є РС *4*. Для простоти сприйняття дана структура розташування вузлів мережі вказує на очевидні наслідки руху самостійних РС і без чисельного моделювання. Так РС *1* при зближенні до РС *2* переведе останню РС до статусу опорної, а РС *7* при своєму зближенні з РС *6* зробить опорною останню. На рис. 3 зображені зв‘язки між РС у вигляді неперервних і штрихових ліній, які відносяться до випадку опорної РС *4* і РС *6*, відповідно. Крім цього, вказано два крайніх положення РС *7* (без інтерференції на РС 6 та з інтерференцією).

Дані для моделювання в NS-2 наступні. Радіуси зон покриття окремих РС однакові і становлять 200 м, радіус зони покриття БС становить 3,5 км.

Параметри фізичного рівня: режим дуплексу з часовим рознесенням TDD, діапазон роботи 3,5 ГГц, ширина смуги пропускання 10 МГц, модуляція КАМ16, швидкість кодування ¾, кількість піднесучих OFDM 1024 (із них 864 користувацьких), модель затухання при поширенні радіохвиль SUI (Stanford University Interium), еквівалентна ізотропно випромінювана потужність на БС становить 57 дБм, а на РС – 47 дБм.

Параметри МАС-рівня: Довжина кадру TDD 5 мс, 42 символи OFDM на кадр, жорсткий режим передачі обслуговування (для спрощення даної процедури попередня фаза сканування і вибору кандидатів в якості цільових точок доступу відключена), підтримка класу обслуговування реального часу rtPS (Real-Time Polling Services), генерація трафіку потокового відео.

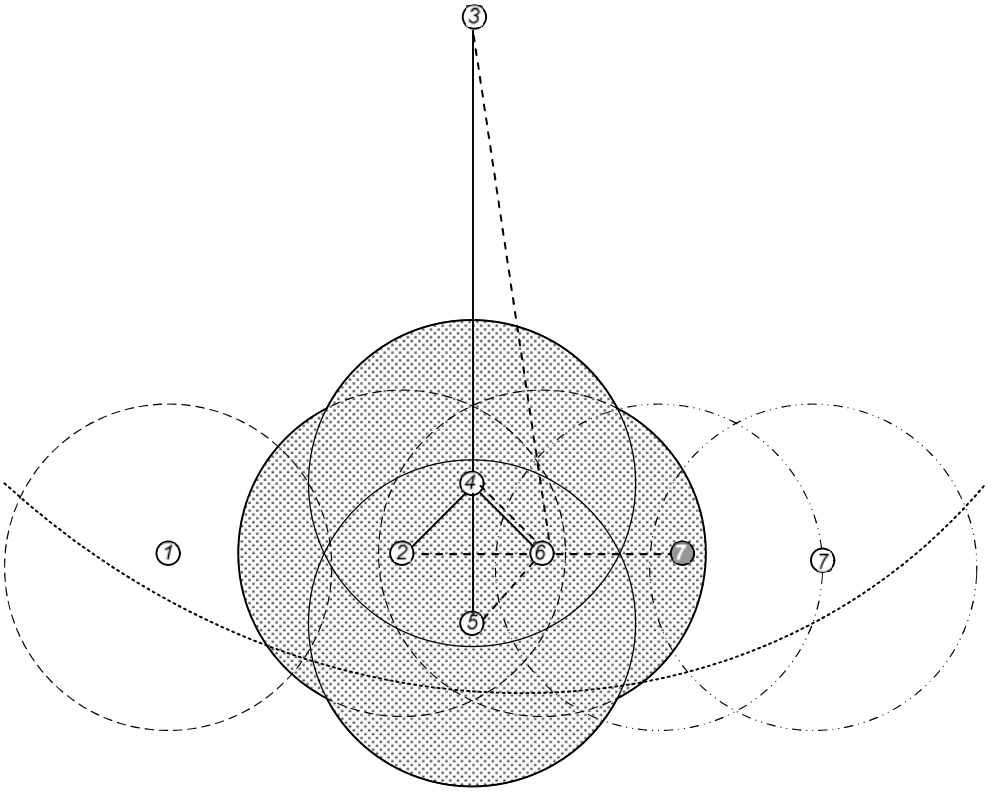

Рисунок 3. Схема моделювання фрагменту мережі WiMAX з ретрансляцією в NAM NS-2 (точкова крива відповідає межі зони обслуговування БС)

Результати моделювання представлені на рис. 4 і 5. На рис. 4 наведено часові характеристики CINR, затримки на передачу обслуговування $\tau_{ПО}$ і ПЗ МС, яка рухається прямолінійно зі швидкістю 20 км/г у напрямку від РС *1* до РС *7*, для сценаріїв моделювання: усі РС самостійні; сформована група з РС (*2*, *4*, *5* і *6*), а інші РС самостійні і не інтерферують. Із аналізу CINR видно який виграш дає об‘єднання окремих РС до групи. Тут крім зниження інтерференції спрацьовує механізм макрорознесення (усі РС у групі працюють на одній частоті), що суттєво підвищує значення CINR МС, кола та досягає середини зони покриття групи. Аналіз $\tau_{ПО}$ вказує на наступне. Коли РС були самостійними, МС була змушена ініціалізувати на своєму шляху чотири хендовери і, якщо хендовери з РС *1* і РС *7* дали затримки на більше 20 мс, то перехід між РС 2 і РС 6 в умовах значної інтерференції визвав хендовер з $\tau_{ПО} \geq 50$ мс. Більш того, в цьому проміжку часу значне зниження CINR привело до перерву зв‘язку (провал на кривій ПЗ). Після групування РС залишились тільки два переходи між зоною покриття групи і зонами покриття двох самостійних РС із $\tau_{ПО} \leq 20$ мс, що цілком достатньо для безшовної передачі обслуговування високошвидкісних застосувань реального часу. Таким чином, об‘єднання окремих РС до групи дозволяє зменшити інтерференцію, кількість передач обслуговування та збільшити відношення/сигнал шум за рахунок макрорознесення.

На рис. 5 наведено часові характеристики CINR і ПЗ МС для трьох випадків схем формування групи РС: незмінної групи без залучення нової РС і без протидії їй; загальної одночасної переконфігурації групи із залученням нової РС; пропонованого методу вибору опорної РС. Із аналізу рис. 5 слідує, що при незмінній групі введення до неї нової інтерферуючої РС знижує CINR і викликає зменшення ПЗ (крива *1*). Застосування схеми загальної одночасної переконфігурації групи із залученням нової РС зменшує інтерференцію і поліпшує значення CINR. Але при цьому, як видно із рис. 3, приєднана до групи РС *7* не входить до зони покриття наявної опорної РС *4* і тому, працюючи в прозорому режимі, не отримує керувальної інформації ні від БС, ні від РС *4*. Це, по-перше, призводить до того, що РС *7* в групі не може працювати разом з іншими РС для відпрацювання різних видів рознесення, по-друге, із-за недостачі інформації керування вона може викликати зрив передачі обслуговування, що і стало наслідком короткочасної перерви зв‘язку (крива *2* характеристики ПЗ на рис. 5). Крім цього, так як приєднання нової РС не дало покращення характеристики групи, то вона була вилучена із групи і, таким чином, сталося декілька ре конфігурацій групи, що дало вітчутну затримку передачі даних (до 40 мс).

Найбільшу стабільність характеристик було продемонстровано при застосуванні схеми запропонованого методу вибору опорної РС (криві *3*). При його застосування тільки виграш по CINR склав 10 дБ (часовий проміжок 120…150 с) в порівняні зі схемою загальної одночасної переконфігурації. Отже отримані дані підтвердили ефективність запропонованого методу вибору опорної РС.

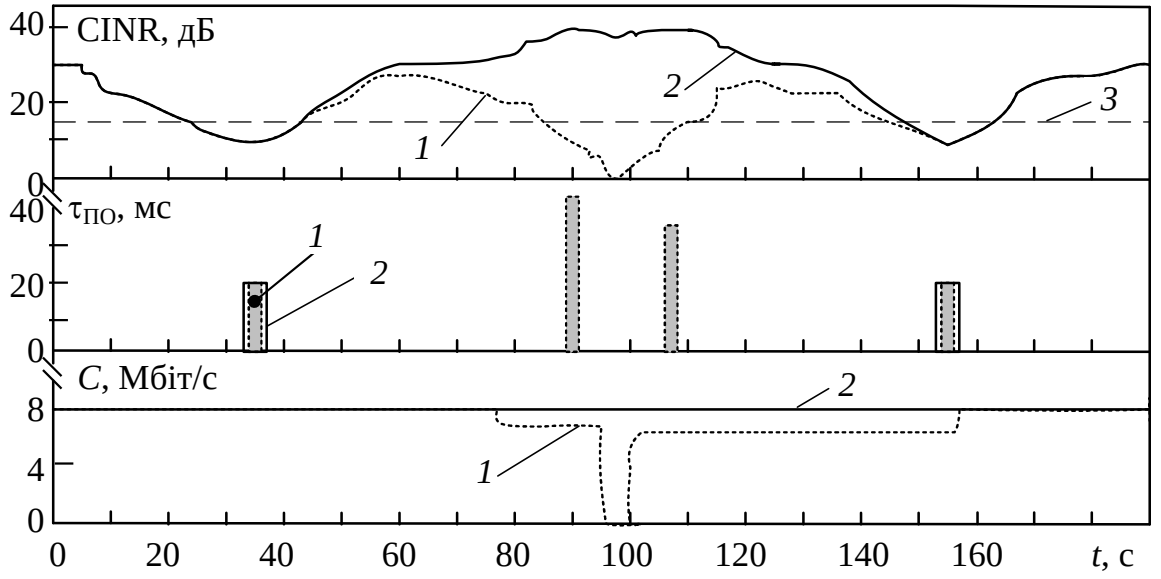

Рисунок 4. Часові характеристики CINR, $\tau_{ПО}$ і ПЗ МС для сценаріїв моделювання: *1* – усі РС самостійні; *2* – сформована група з РС (*2*, *4*, *5* і *6*), а інші РС самостійні і не інтерферують (*3* – поріг CINR, коли необхідно проведення ініціалізації передачі обслуговування)

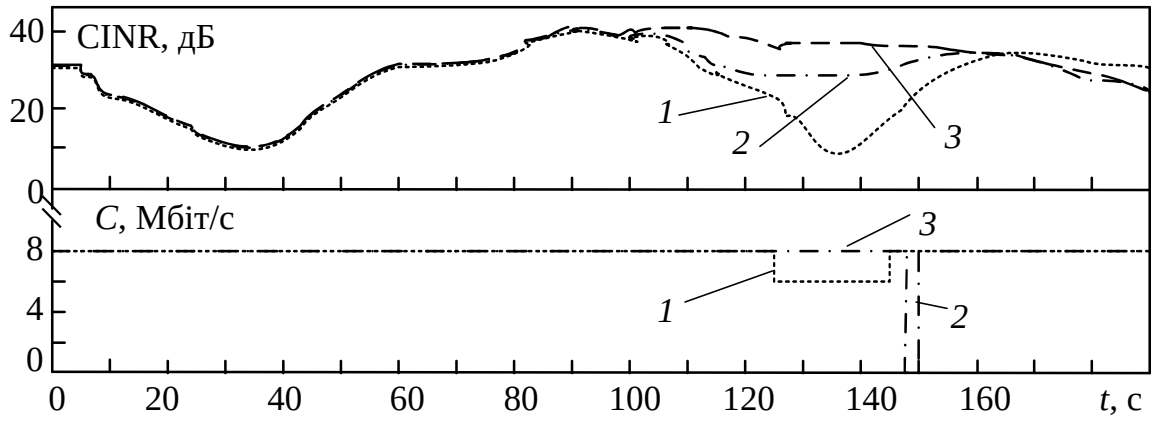

Рисунок 5. Часові характеристики CINR і ПЗ МС для схем формування групи РС: *1* – незмінної групи без залучення нової РС і без протидії їй; *2* – загальної одночасної переконфігурації групи із залученням нової РС; *3* – пропонованого методу вибору опорної РС

ВИСНОВКИ

Розроблено метод вибору опорної РС для покращеного групування РС в багатопрольотній мережі WiMAX. Представлено процедуру і алгоритм вибору опорної РС, запропоновано для реалізації методу нові повідомлення RS_RERS-REQ і RS_RERS-RSP MAC-рівня WiMAX. Ефективність запропонованого методу підтверджено результатами чисельного моделювання.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2008. – 328 с.

2. IEEE 802.16j-07/144. Virtual relay grouping concept to support RSs sharing the same preamble // IEEE 802.16j WG.2007. – http://ieee802.org/16.

3. Одуан К., Гино Б. Измерение времени. Основы GPS. – М.: Техносфера, 2002. – 400 с.

4. Витовцев А. А., Кравчук С.А. Процедура хэндовера в сетях WiMAX // Зб. тез 3-ї міжнародної наук.-техн. конф. "Проблеми телекомунікацій", 21–24 квітня 2009 р., м. Київ, Україна. – К.: НТУУ "КПІ", 2009. – С. 72.

5. Тарасенко О.И., Кравчук С.А. Моделирование систем беспроводного широкополосного доступа в среде Network Simulator // Зб. тез науково-технічної конференції ПТ-07 «Проблеми телекомунікацій», 25–27 квітня, 2007 р., м. Київ. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – С. 199.