

## НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ З НАПРАВЛЕНИМИ АНТЕНАМИ

*Впровадження направлених антен (адаптивних антенних решіток або антен з комутацією променя) у мобільні радіомережі потенційно може значно підвищити їх ефективність за основними показниками. Проте, відомі протоколи множинного доступу, які розроблені для мобільних радіомереж з ненаправленими антенами, виявляються малопридатними для використання у мережах з адаптивним діаграмоутворенням. Вплив відомих для мобільних радіомереж проблем прихованого та засвіченого терміналу посилюється, крім цього, з'являються нові – глухота, блокування черги пакетів, неефективне використання максимальної дальності зв'язку, захоплення MAC-рівня.*

*В статті проведено аналіз завдань, що виникають при реалізації множинного доступу в мобільних радіомережах класу MANET з керуванням направленістю випромінювання антен радіостанцій та визначено напрямки їх вирішення.*

*Гурський Т.Г., Сова О.Я., Боголій С.М., Гриценко К.М. Направления усовершенствования множественного доступа в мобильных радиосетях с направленными антеннами. Внедрение направленных антенн (адаптивных антенных решеток или антенн с коммутацией луча) в мобильные радиосети потенциально может значительно повысить их эффективность по основным показателям. Однако, известные протоколы множественного доступа, разработанные для мобильных радиосетей с ненаправленными антеннами, оказываются малопригодными для использования в сетях с адаптивным диаграммообразованием. Влияние известных для мобильных радиосетей проблем скрытого и засвеченного терминала усиливается, кроме этого, появляются новые – глухота, блокировка очереди пакетов, неэффективное использование максимальной дальности связи, захват MAC-уровня.*

*В статье проведен анализ заданий, возникающих при реализации множественного доступа в мобильных радиосетях класса MANET с управлением направленностью излучения антенн радиостанций и определены направления их решения.*

*T. Hurskyi, O. Sova, S. Boholiy, K. Grytsenok Directions for improvement of multiple access in mobile radio networks with directional antennas. The introduction of directional antennas (adaptive antenna arrays or beam switching antennas) into mobile radio networks can potentially significantly increase their performance by main indicators. However, known multiple access protocols, which are designed for mobile radio networks with non-directional antennas, are not suitable for use in networks with adaptive beamforming. The influence of well-known mobile radio networks on the problems of the hidden and exposed terminal is intensifying, in addition, there are new ones – deafness, blocking of packet queues, inefficient use of maximum communication range, capture of MAC-level.*

*The article analyzes the tasks arising from the implementation of multiple access in the MANETs with beamforming and determines the directions of their solution.*

**Ключові слова:** *множинний радіодоступ, направлена передача, ненаправлена передача, прихований термінал, засвічений термінал, глухота.*

### Постановка завдання в загальному вигляді

Радіомережі класу MANET за останні десятиліття стрімко перейшли з області теоретичних досліджень у область використання на практиці [1]. Це пояснюється тим, що вони мають багато переваг, порівняно з традиційними напівдуплексними радіомережами, зокрема відсутність необхідності планування (можливість самоорганізації), швидке розгортання, децентралізоване управління, висока живучість, робота у русі усіх елементів мережі [2].

Одним із основних завдань, які необхідно вирішувати при розробці та експлуатації радіозасобів та радіомереж класу MANET (далі – мобільних радіомереж (MP)), є забезпечення ефективного множинного доступу багатьох користувачів до спільного радіоканалу. Цей підрівень каналного рівня OSI називається MAC-рівнем (Medium Access Control). Нераціональна організація колективного доступу до радіоканалу може суттєво

знизити швидкість транспортування пакетів по мережі, або і взагалі заблокувати її роботу незалежно від якості функціонування системи на інших рівнях моделі OSI [2].

Значно підвищити ефективність функціонування МР можна за рахунок використання складних антенних систем – адаптивних антенних решіток або антенних решіток з комутацією основного пелюстка діаграми направленості у необхідному напрямку [3].

Відомо, що використання направлених антен у МР має цілий ряд переваг в порівнянні з використанням ненаправлених антен [3, 4]. Адаптивне формування діаграми направленості в напрямку адресата дозволяє істотно підвищити просторове ущільнення одночасних передач і збільшити дальність і якість радіозв'язку за рахунок додаткового підсилення радіосигналу на передавальній і приймальній сторонах. Це, в свою чергу, дозволяє підвищити пропускну спроможність радіостанцій, які працюють в спільному радіоканалі, і скоротити число ретрансляцій на шляху від відправника до адресата. Важливим є і суттєве підвищення заводо захищеності у разі інтенсивної радіопротидії.

Проте, традиційні методи МД, які були розроблені для МР з ненаправленими антенами, виявляються неефективними у МР з направленими [5]. Тому удосконалення існуючих методів МД та розробка більш ефективних нових є об'єктом інтенсивних теоретичних досліджень протягом останніх двох десятиліть [1, 2].

#### **Аналіз публікацій за темою дослідження**

Проблемі множинного доступу присвячена велика кількість робіт як вітчизняних, так і закордонних вчених, систематизація яких наведена у роботах [2, 6, 7], де розглянуто протоколи для МР з ненаправленими антенами. У роботі [5] проведено аналіз протоколів МД, розроблених для застосування у МР з направленими антенами, здійснено їх класифікацію, визначено переваги та недоліки. Очевидно, що не існує єдиного універсального протоколу, однаково ефективного для різних умов функціонування мережі [5, 7].

Найбільшого поширення при побудові мобільних радіомереж отримали методи конкурентного доступу до середовища передачі стандарту IEEE 802.11, що працюють за принципом контролю несучої з запобіганням колізій CSMA/CA [2, 6, 7]. Радіостанції працюють з ненаправленими антенами в загальному діапазоні частот на базі технології TDM і ведуть передачу в режимі розподіленого управління доступом до середовища DCF (Distributed Coordination Function). Процес передачі в режимі DCF складається з обміну чотирма кадрами: запит на передачу (RTS), дозвіл на передачу (CTS), передача пакета інформації (DATA) і підтвердження успішної передачі (ACK).

Факторами, які зменшують ефективність функціонування мережі (зменшують пропускну спроможність, збільшують затримку при передачі повідомлень) є відомі явища так званих „прихованих” і „засвічених” терміналів (рис. 1). Їх походження випливає з того, що створення повнозв'язної територіально-розподіленої мережі радіозв'язку, як правило, неможливе через високий рівень ослаблення радіосигналу при розповсюдженні радіохвиль. Припустимо, що всі станції мають однакову зону радіопокриття; ліве і праве коло представляють відповідно зони радіопокриття станцій  $S$  і  $R$ . Станції  $E$  і  $R$  перебувають у зоні досяжності станції  $S$ , а станції  $S$  і  $H$  – у зоні досяжності станції  $R$ . При організації доступу до середовища передачі використовується традиційний метод, заснований на прослуховуванні несучої.

*Проблема прихованого терміналу.* Проблема прихованого терміналу в МР виникає тоді, коли дві станції не прослуховують несучу один одного через її значне ослаблення, і обидва намагаються з'єднатися з одним і тим же кореспондентом, що викликає колізію. Нехай станція  $S$  зайнята обміном зі станцією  $R$  (рис. 1). В такому випадку вважається, що радіоканал між  $S$  і  $R$  в зоні досяжності станції  $S$  зайнятий. Станція  $H$  знаходиться поза зоною досяжності  $S$  ( $H$  – прихована від  $S$ ) і вважає середовище вільним для передачі у напрямку  $R$ . Якщо  $H$  почне передачу для  $R$ , то в приймачі останньої відбудеться колізія і сигнал від  $S$  буде спотворений.

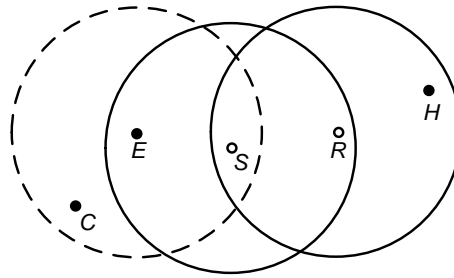


Рис. 1. Ілюстрація проблем прихованого і засвіченого терміналів

Механізм обміну RTS/CTS перед передачею даних дозволяє зменшити ймовірність колізій, оскільки сусідні станції (як відправника, так і отримувача) інформуються про майбутній сеанс передачі даних. Тому станція  $H$  створить колізію для  $R$  тільки у тому випадку, коли пропустить відповідь станції  $R$  (CTS) на запит станції  $S$ .

*Проблема засвіченого терміналу.* Нехай станція  $S$  зайнята обміном зі станцією  $R$  (рис. 1). В такому випадку в зоні досяжності станції  $S$  вважається, що радіоканал зайнятий під обмін між  $S$  і  $R$ . Станція  $E$  знаходиться в зоні досяжності  $S$  ( $E$  – засвічена з боку  $S$ ) і вважає, що середовище передачі зайняте. Тому станція  $E$  вимушена відкласти передачу у напрямку  $C$ , хоча її робота на передачу не призведе до колізії у приймачі станції  $R$ .

Використання направлених антен призводить до загострення проблем прихованої та засвіченої станцій. Крім цього, у мережі виникають інші небажані явища, які необхідно враховувати при розробці (удосконаленні) MAC-протоколів.

*Метою статті є проведення детального аналізу недоліків, що виникають при реалізації множинного доступу до спільного середовища передачі у мобільних радіомережах з направленими антенами, та визначення заходів, спрямованих на їх усунення.*

#### **Виклад основного матеріалу**

Основними недоліками, які виникають у МР з направленими антенами є глухота, направлено-приховані та направлено-засвічені термінали, блокування черги пакетів, неефективне використання дальності зв'язку, захоплення MAC-рівня. Розглянемо їх детальніше.

*Глухота.* Глухота вперше була ідентифікована при розробці протоколу DMAC (Directional MAC) – одного з перших протоколів, запропонованих для використання у МР з направленими антенами [8]. Вона є найбільш критичною проблемою, що обмежує можливість просторового ущільнення одночасних передач та ефективність застосування направлених антен у МР в цілому [9, 10]. Якщо передавач намагається з'єднатися з приймачем, але не отримує відповіді, оскільки основний пелюсток діаграми направленості антени (ДНА) кореспондента (далі – промінь) орієнтований у іншому напрямку, то кажуть, що такий приймач є глухим по відношенню до передавача.

На рис. 2 зображено приклад, де станції  $A$  і  $B$  задіяні в направленій передачі/прийомі даних, в той час як станція  $C$  знаходиться в режимі очікування („Backoff”). Якщо станція  $C$  не чує поточне направлене з'єднання  $A - B$ , вона намагається з'єднатися з  $A$  по завершенню періоду очікування. Оскільки ДНА станції  $A$  зорієнтована у іншому напрямку, вона є „глухою” по відношенню до  $C$ , і не відповідає. Через відсутність відповіді (CTS), станція  $C$  вважає, що у приймачі  $A$  відбулася колізія і збільшує величину періоду очікування „Backoff” перед спробами повторних передач. Спроби повторної передачі можуть тривати до тих пір, поки станція  $A$  не закінчить з'єднання з  $B$  і не повернеться до ненаправленого режиму. Ці непотрібні повторні передачі зменшують продуктивність мережі, оскільки можуть створювати колізії для станцій, розташованих у секторі випромінювання, а також можуть призвести до того, що станція  $C$  пропустить виклик від іншого кореспондента. Крім того, експоненціальне зростання розміру конкурентного вікна CW (contention window) призводить до неефективного використання каналу, як показано на рис. 2.

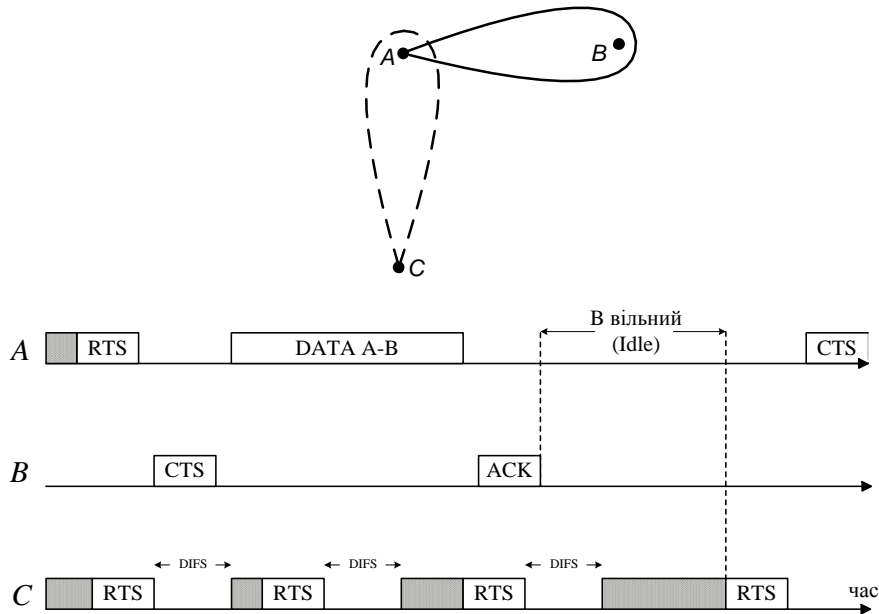


Рис. 2. Явище „глухоти” та її наслідки

Наслідки глухоти можуть бути ще більш серйозними. Припустимо, що станція  $A$  має декілька пакетів для передачі до  $B$ . Після того, як  $A$  закінчить передачу першого пакета, вона одразу готується до передачі наступного. При цьому величина інтервалу затримки вибирається з мінімального конкурентного вікна  $CW$ . Цілком імовірно, що для станції  $C$  розмір вікна буде значно більшим, тому коли  $A$  вже готова до передачі другого пакета,  $C$  буде перебувати у стані очікування закінчення інтервалу затримки. Тому станція  $A$  отримує доступ до каналу і знову зв'язується з  $B$ . Цей процес може повторюватися тривалий час, доки станція  $C$  зрештою отримає підтвердження на доступ до каналу для передачі у напрямку  $A$ . Отже, очевидно, що глухота може призвести до короткострокового несправедливого обслуговування інформаційних потоків. Більше того, ефект глухоти також можливий через те, що кожна станція, яка намагається з'єднатися з глухим кореспондентом, стає глухою по відношенню до інших [11].

Для зменшення випадків прояву глухоти у мережі необхідно зменшити ймовірність пропусків обміну сигналами RTS/CTS станціями, які перебувають у режимі чергового прийому. Тому доцільно, щоб станції у черговому прийомі, а також при обміні RTS/CTS працювали у ненаправленому режимі, а передача RTS/CTS здійснювалась з максимальною потужністю.

*Направлено-приховані термінали.* Для радіостанцій з направленими антенами проблема прихованого терміналу виникає тоді, коли станція не чує обміну RTS/CTS між іншими кореспондентами через орієнтацію власної антени, а потім ініціює передачу у напрямку поточної станції-отримувача, що викликає колізію. Можна виділити два нових класи проблеми направлено-прихованого терміналу [12].

1) *Прихований термінал через різницю у величинах коефіцієнтах підсилення у направленому та ненаправленому режимах.* Це явище пояснюється тим, що коефіцієнт підсилення ненаправленої антени ( $G_o$ ) менший, ніж коефіцієнт підсилення направленої ( $G_d$ ). Якщо станція у режимі чергового прийому прослуховує середовище передачі ненаправлено, вона може не знати про деякі встановлені поточні направлені з'єднання, які можуть вплинути на її власну направлену передачу.

Припустимо, що станції  $A$  і  $F$  знаходяться поза межами радіовидимості (рис. 3). Станція  $F$  знаходиться у стані направленного прийому від  $B$  (з коефіцієнтом підсилення  $G_d$ ), а станція  $A$  – у стані ненаправленного прийому (з коефіцієнтом підсилення  $G_o$ ). Нехай станції  $A$  і  $F$  можуть з'єднатися одна з одною лише тоді, коли передача і прийом виконуються направлено

(з коефіцієнтами підсилення  $G_d$ ), а ДНА їх обох достатньо точно орієнтовані один на одного. Спочатку станція  $B$  передає RTS направлено для  $F$ , яка, в свою чергу, відповідає направленим CTS. Оскільки  $A$  знаходиться у ненаправленому режимі, вона не чує ні RTS, ні CTS.

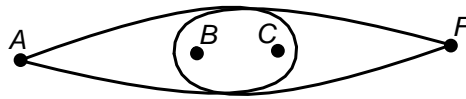


Рис. 3. Прихований термінал через різницю в коефіцієнтах підсилення

Далі починається передача даних у напрямку  $B - F$ , при цьому обидві станції орієнтують ДНА один на одного. Припустимо, що під час цієї передачі  $A$  отримує пакет для передачі у напрямку  $E$ . Станція  $A$  орієнтує ДНА у напрямку  $E$ , при цьому  $F$  знаходиться у цьому ж напрямку (рис. 3) і виконує прослуховування несучої. Оскільки канал оцінюється як вільний,  $A$  направлено посилає RTS для  $E$  і викликає колізію на прийомі станції  $F$ .

Для уникнення таких ситуацій необхідно забезпечити однакову дальність зв'язку у направленому та ненаправленому режимах. Для цього ненаправлена антена повинна мати такий самий коефіцієнт підсилення, як і направлена. Тому у якості ненаправленої антени доцільно використовувати достатньо ефективну ненаправлену антену, наприклад, колінеарну. Інший спосіб – передача службового обміну RTS/CTS з меншою символною швидкістю (збільшення тривалості сигналу), що призведе до збільшення відношення сигнал/шум на прийомі, але збільшить час, необхідний на передачу службової інформації.

2) *Прихований термінал через неотримання RTS/CTS.* Цей різновид прихованого терміналу виникає в результаті втрати інформації про стан каналу через режим направленої передачі, тому це явище ще називають *втратою середовища передачі*. Під час направленої обміну даними станція не буде прослуховувати інші напрямки зв'язку (буде глухою по відношенню до них), і пакети RTS/CTS від станцій, що встановлюють зв'язок, можуть бути пропущені. Якщо через деякий час ця станція буде ініціювати передачу у напрямку однієї з тих, які щойно встановили зв'язок, це може викликати колізію.

Розглянемо приклад (рис. 4). Припустимо, що станція  $A$  направлено передає дані для  $B$ . В цей час станція  $C$  встановлює з'єднання з  $D$  і починає передачу даних. При цьому станція  $A$  не чує обміну RTS/CTS між  $C$  і  $D$ . Поки обмін даними  $C - D$  триває,  $A$  завершує зв'язок з  $B$  і приймає рішення на передачу у напрямку  $E$ . При передачі RTS у приймачі  $D$  виникає колізія. Те ж саме буде і при спробі станції  $A$  викликати станції  $C$  або  $D$ .

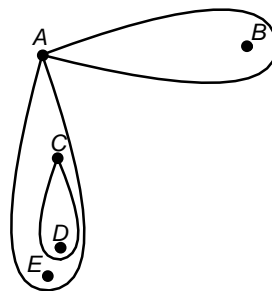


Рис. 4. Прихований термінал через неприйняте повідомлення CTS

Для уникнення явища прихованого терміналу через втрату середовища передачі доцільно фізично розмежовувати канали обміну службовою інформацією (RTS/CTS) та обміну даними (DATA) за часом або частотою. Перше рішення потребує строгої синхронізації та знижує швидкість передачі інформації через виділення фіксованої частини каналного ресурсу для передачі службових повідомлень, друге – зменшує ефективність використання частотного ресурсу.

При частотному розділенні службового та інформаційного каналів виникнення колізії через втрату середовища передачі у деяких випадках усувається (наприклад, якщо  $A$  викликає  $E$  (рис. 4)), або веде за собою у явище глухоти (якщо  $A$  викликає  $C$  або  $D$ ). При часовому розділенні, за умови переходу усіх станцій на прийом у ненаправлений режим, усунення явища прихованого терміналу не призводить до подальшої глухоти.

*Явище направлено-засвіченого терміналу* (рис. 5). Припустимо, що станція  $A$  починає обмін з  $B$ , а станція  $C$  – з  $D$ . Станція  $A$  першою посилає кадр RTS для  $B$ . При цьому, як видно з рис. 5, станція  $C$  потрапляє у зону дії головного пелюстка ДНА станції  $A$  (тобто станція  $C$  є засвіченою з боку  $A$ ) і, прийнявши адресований для  $B$  кадр RTS, вважає, що середовище передачі зайняте, та змушена відкласти передачу в напрямку  $D$ , хоча така передача не перешкоджає обміну  $A - B$ .

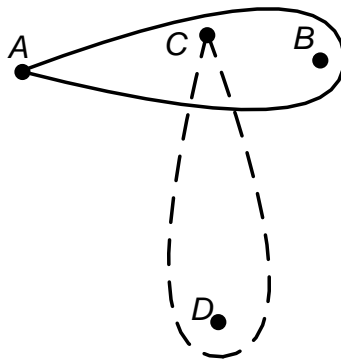


Рис. 5. Направлено-засвічений термінал

Для уникнення таких ситуацій кожна станція у мережі повинна знати напрямки на кореспондентів, якість зв'язку з ними та характеристики антен як у ненаправленому, так і у направленому режимах.

Тоді відправник може оцінити рівень завад, які буде створювати для активних кореспондентів, а також орієнтовний рівень їхніх завад на вході власного приймача після переходу у направлений режим.

*Блокування черги пакетів.* Явище блокування черги для МР з направленими антенами було вперше визначено в [13]. Ця проблема виникає у результаті застосування підходу до обслуговування черги „перший прийшов – перший обслуговується” (FIFO (First-In-First-Out)). Цей підхід добре працює у МР з ненаправленими антенами, оскільки всі вихідні пакети використовують одне і те ж середовище передачі.

Якщо канал зайнятий, пакет не може передаватися.

Однак, у випадку направлених антен, середовище передачі у деяких напрямках може бути доступним, у той час як у інших – ні. Якщо пакет у верхній частині черги призначений для зайнятої станції, він блокує інші пакети, навіть якщо деякі з них можна було б передавати у даний момент часу.

На рис. 6 зображено ситуацію, коли станція  $A$  має пакети, які можуть передаватися у напрямку  $D$ , але вони заблоковані пакетом, призначеним для станції  $C$ , яка у даний час зайнята. Ефект блокування черги посилюється тоді, коли станція  $A$  безуспішно повторно намагається встановити з'єднання з  $C$  [14].

Для зменшення впливу явища блокування черги необхідно передбачити процедуру ранжування пакетів для передачі в залежності від очікуваного часу зайнятості кореспондентів, яким вони призначені.

Очевидно, що дане явище пов'язане також із глухотою, оскільки у разі відсутності інформації про занятість кореспондента, після невдалої спроби встановлення з'єднання з ним, відправник буде намагатися зробити це повторно.

Оповідення про зайнятість кореспондента у такому разі можуть виконати сусідні станції, які успішно прийняли попередній обмін RTS/CTS та володіють інформацією про період зайнятості станції, яку намагаються викликати.

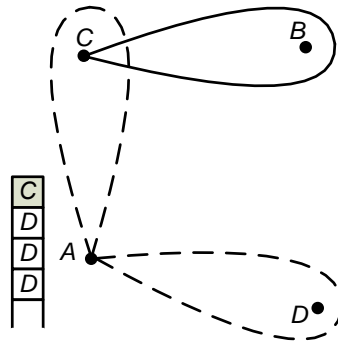


Рис. 6. Блокування черги

*Неефективне використання можливостей щодо дальності зв'язку.* У МР може бути 3 типи з'єднань [8]:

- 1) Omnidirectional – Omnidirectional (OO): ненаправлена передача – ненаправлений прийом;
- 2) Omnidirectional – Directional (OD): ненаправлена передача – направлений прийом, або навпаки (DO);
- 3) Directional – Directional (DD): направлена передача – направлений прийом.

Якщо протокол вимагає, щоб передача та прийом пакетів RTS/CTS здійснювалась ненаправлено, то дальність зв'язку при передачі даних буде меншою, ніж максимально можлива, коли і передавач і приймач працюють у наведеному режимі один на одного. На рис. 7 показані дальності зв'язку в залежності від типу з'єднання, при цьому радіопокриття станції зображене з урахуванням сумарного коефіцієнта підсилення передавача та приймача:  $AB_1$  відповідає з'єднанню OO,  $AB_1$  – OD (DO),  $AB_2$  – DD.

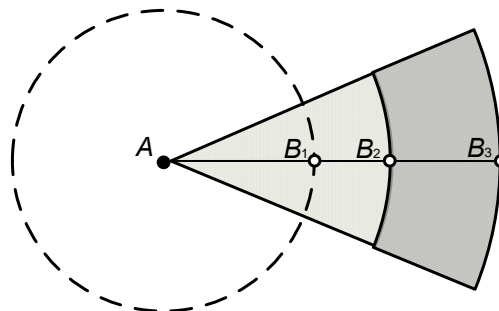


Рис. 7. Різниця у дальності зв'язку в залежності від типу з'єднання

Напрямки усунення даного явища такі ж самі, як і для прихованого терміналу через різницю в коефіцієнтах підсилення. Іншим способом може бути встановлення з'єднання у режимі DD, що складно реалізувати на практиці. Для цього необхідно, щоб ДНА усі станції в режимі чергового прийому синхронно здійснювали кругове сканування. Відправник, знаючи момент часу, коли антена потрібного кореспондента буде орієнтована на нього, направлено відправляє йому RTS. Проте більшість інших станцій про встановлення цього з'єднання не будуть оповіщені, що потягне за собою низку додаткових проблем.

*Захоплення MAC-рівня.* Оскільки запит на передачу (RTS) може поступити з будь-якого просторового напрямку, антени усіх станцій мережі у режимі чергового прийому повинні працювати ненаправлено. Якщо пакет, отриманий станцією, не призначений для неї, після обробки на MAC-рівні його буде видалено. Очевидно, існує ймовірність, що у час обробки чужого пакета станція може не отримати пакет з іншого напрямку, адресований саме їй. Це явище визначене в [15] під назвою „захоплення MAC-рівня”. Варто зазначити, що воно

присутнє і у МР з ненаправленими антенами. Однак, у цьому випадку ймовірність пропустити RTS від інших станцій менша, оскільки багато з них (більше, порівняно з випадком направлених антен) також будуть прослуховувати поточну передачу в каналі. У той же час у МР з направленими антенами середовище передачі ділиться у просторі і передача в одному напрямку не впливає на інші напрямки.

Розглянемо приклад (рис. 8). Припустимо, що станція *A* має пакет для передачі у напрямку *B*, а станція *C* – у напрямку *D*. Використання направлених антен дозволяє провести обидва обміни даними одночасно. Однак, якщо першою передачею розпочинає станція *A*, то під час обробки її RTS станція *D* може пропустити RTS від *C*. Явище захоплення MAC-рівня не тільки зменшує просторове повторне ущільнення каналу, а й призводить до негативних наслідків глухоти, як зазначено в [16].

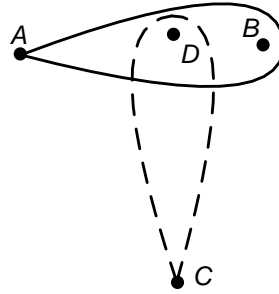


Рис. 8. Захоплення MAC-рівня

Напрямок усунення явища захоплення MAC-рівня є передача RTS/CTS у ненаправленому режимі з максимальною потужністю. Тоді про встановлення поточного з'єднання буде поінформовано більшу кількість станцій. Наприклад, якщо станція *C* також отримає RTS від *A* (рис. 8), вона не буде у цей же час відправляти RTS у напрямку *D*.

#### Висновки

Таким чином, у роботі розглянуто недоліки, які виникають при реалізації множинного доступу до радіоканалу в мобільних радіомережах з направленими антенами, а саме: глухота, направлено-прихований термінал (через різницю у коефіцієнтах підсилення антен у направленому та ненаправленому режимах або через неотримання сигналів RTS/CTS), направлено-засвічений термінал, блокування черги пакетів, неефективне використання можливостей щодо дальності зв'язку, захоплення MAC-рівня.

Основними напрямками усунення (зменшення впливу) зазначених недоліків є наступні:

передача RTS/CTS у ненаправленому режимі з максимальною потужністю, робота у черговому прийомі у ненаправленому режимі;

забезпечення однакової дальності зв'язку у направленому та ненаправленому режимах (використання ненаправлених антен з високим коефіцієнтом підсилення, наприклад, колінарних антен, або передача службового обміну RTS/CTS з меншою символною швидкістю);

розмежування каналів обміну службовою інформацією (RTS/CTS) та обміну даними;

оповіщення про зайнятість кореспондента з боку сусідніх станцій, які прийняли попередній обмін RTS/CTS та володіють інформацією про період зайнятості станції, яку намагаються викликати;

ранжування пакетів для передачі, в залежності від очікуваного часу зайнятості кореспондентів, яким вони призначені;

кожна станція у мережі повинна знати напрямки на кореспондентів та якість зв'язку з ними. Тоді станція-відправник зможе оцінити орієнтовний рівень завад, які вона буде створювати для активних кореспондентів на прийомі, а також орієнтовний рівень їх завад на вході власного приймача після переходу у направлений режим.

Напрямок подальших досліджень є розробка удосконаленого методу множинного доступу для мобільних радіомереж з направленими антенами.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Аналіз режимів роботи та перспектив бойового застосування військових УКХ радіостанцій іноземного виробництва / [Кувшинов О.В., Гурський Т.Г., Гриценко К.М., Шишацький А.В.] // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2018. – № 1. – С. 43 – 50.
2. Самоорганізуючіся радіосети со сверхширокополосными сигналами / [С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк]. – К.: НПП „Издательство „Наукова думка” НАН України”, 2012. – 444 с.: ил.
3. Гурський Т.Г. Напрямки підвищення завадозахищеності військових радіомереж класу MANET / Т.Г. Гурський // Збірник тез доповідей XI науково-практичної конференції ВІТІ „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил”. – 2018. – С. 13 – 19.
4. Підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку за рахунок використання адаптивних антенних решіток / [Борисов І.В., Гурський Т.Г., Ільїнов М.Д., Гриценко К.М.] // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2015. – Вип. № 1. – С. 16 – 24.
5. Sunil Kumar. Medium Access Control protocols for ad hoc wireless networks: A survey / Sunil Kumar, Vineet S. Raghavan, Jing Deng // Ad Hoc Networks. – 2006. – № 4. – Pp. 326 – 358.
6. Загребельний О.Ю. Методи управління множинним доступом в мобільних радіомережах / О.Ю. Загребельний // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – Вип. № 2. – С. 36 – 48.
7. Osama Bazan. A Survey On MAC Protocols for Wireless Ad hoc Networks with Beamforming Antennas / Osama Bazan, Muhammad Jaseemuddin // IEEE Communications Surveys and Tutorials. – 2012. – № 14(2). – Pp. 216 – 239.
8. Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Network / [R. Choudhury, X. Yang, R. Ramanathan, N. Vaidya] // In ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), Atlanta, Georgia, September 2002. – Pp. 59 – 70.
9. The Deafness Problems and Solutions in Wireless Ad Hoc Networks using Directional Antennas / [H. Gossain, C. Cordeiro, D. Cavalcanti, D. P. Agrawal] / In IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) Workshops, November 2004. – Pp. 108 – 114.
10. M. Takata. A MAC Protocol with Directional Antennas for Deafness Avoidance in Ad Hoc Networks / M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe / In IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Washington, USA, November 2007. – Pp. 620 – 625.
11. R. Choudhury. Deafness: A MAC Problem in Ad Hoc Networks when Using Directional Antennas / R. Choudhury, N. Vaidya / In IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), Berlin, Germany, October 2004. – Pp. 283 – 292.
12. On Designing MAC Protocols for Wireless Networks Using Directional Antennas / [R. R. Choudhury, X. Yang, R. Ramanathan, N. H. Vaidya] // IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 5, no. 5. – Pp. 477 – 491.
13. V. Kolar. Avoiding Head of Line Blocking in Directional Antenna / V. Kolar, S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh / In IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN), Zurich, Switzerland, November 2004. – Pp. 385 – 392.
14. O. Bazan. An Opportunistic Directional MAC Protocol for Multihop Wireless Networks with Switched Beam Directional Antennas / O. Bazan, M. Jaseemuddin // In IEEE International Conference on Communications (ICC), Beijing, China, 2008. – Pp. 2775 – 2779.
15. R. Choudhury. MAC-Layer Capture: A Problem in Wireless Mesh Networks using Beamforming Antennas / R. Choudhury, N. Vaidya // In IEEE Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), San Diego, California, June 2007. – Pp. 401 – 410.
16. Directional Medium Access Control for Ad Hoc Networks / [J. Wang, H. Zhai, P. Li and oth.] // Springer Wireless Networks, 2009. – Vol. 15, no. 8. – Pp. 1059 – 1073.