

ЙМОВІРНІСТЬ ПЕРЕРИВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ У БЕЗПРОВОДОВІЙ СИСТЕМІ З БАГАТОАНТЕННОЮ КООПЕРАТИВНОЮ РЕТРАНСЛЯЦІЄЮ

Запропоновано модель каналу кооперативної віртуальної багатоантенної системи МІМО в безпроводових мережах розподіленої інфраструктури з ретрансляцією та досліджено характеристики ймовірності переривання зв'язку такої інфраструктури. Визначено групову мережну топологію із близько розташованих вузлів мережі, які об'єднані у спільні групи. Усі вузли, що належать до будь-якої певної групи, можуть спільно передавати і отримувати дані від інших груп, використовуючи переваги рознесення між групами віртуальних МІМО-каналів. Для організації кооперативної передачі з ретрансляцією кожен інтервал передачі реалізується за два послідовних інтервалів часу: внутрішньогруповий, який враховує обмін даних в межах групи, і міжгруповий - для передачі даних між групами. Визначено оптимальні розподіли тривалості та потужності для обох часових інтервалів, приймаючи за метрику ймовірність переривання зв'язку між групами. Результати моделювання показали, що характеристика віртуальної МІМО погіршується при збільшенні радіуса групи вузлів, а для малих значень відношення сигнал/шум характеристики віртуальних МІМО-каналів наближаються до характеристик реальних МІМО-каналів.

Ключові слова: безпроводові мережі, МІМО-канали, модель міжгрупової передачі.

Вступ. Подальший розвиток систем передачі інформації широкосмугового радіодоступу пред'являє все більш високі вимоги до їх пропускної здатності і якості надаваних послуг. Сьогодні у вирішенні таких проблем найважливіше місце займають технології, засновані на використанні просторової багатоканальності, створюваної за допомогою багатоелементних передавальних і/або приймальних антен [1]. Радіолінії з просторовою багатоканальністю дозволяють отримати суттєвий вииграш у завадостійкості та/або пропускної здатності від об'єднання (мультиплексування) та/або рознесення (диверсифікації) сигналів, які передаються по різних просторовим каналам [2]. Структура таких радіоканалів відома як багатоантенна система МІМО (multiple input – multiple output). На жаль, реалізація багатоелементних антен в більшості сучасних мобільних пристроїв і комплексів може виявитися дуже складною і вартісною процедурою.

Як альтернативне рішення для розподілених безпроводових систем передачі інформації була запропонована концепція кооперативної ретрансляції, згідно з якою просторова багатоканальність (диверсифікація) створюється за допомогою мережі ретрансляторів, кожен з яких має одну антену [3]. Кооперативна передача інформації між вихідним і кінцевим пунктами (вузлами мережі) виконується за допомогою проміжних ретрансляторів, які утворюють кілька рознесених шляхів передачі інформації. При цьому джерело і ретранслятори передають інформацію на кінцевий пункт узгоджено. Інтуїтивно зрозуміло, що для забезпечення ефективної передачі або навіть можливості передачі, вихідний вузол повинен за певним критерієм вибрати один або кілька «найбільш придатних» для цього ретрансляторів і спочатку відправити інформацію саме на ці ретранслятори. Потім, джерело і ретранслятори можуть координувати передачу таким чином, щоб отримати максимальний вииграш від об'єднання/рознесення в кінцевому пункті. Методи кооперативної ретрансляції дозволяють декільком користувачам передавати сигнали один одному таким чином, щоб отримати вииграш від диверсифікації. Фактично, теоретико-інформаційна пропускна здатність мережі з такою конфігурацією, що отримала назву розподіленої радіоретрансляційної лінії, була досліджена в [4]. Широке дослідження в минулому десятиріччі систем з просторовою багатоканальністю, відомих також як багатоантенні

системи МІМО (multiple-input-multiple-output), стимулювало великий інтерес до дослідження різних методів реалізації кооперативної диверсифікації [5-8].

Хоча кооперативна диверсифікація є концептуально простою, але існує ряд технічних проблем, які необхідно вирішувати при її практичній реалізації. Однією з головних проблем є розробка ефективних методів кооперативної ретрансляції. Адаптивні методи, що припускають взаємодію ретрансляторів тільки при необхідності та/або з використанням методів передачі з частковою зворотним зв'язком (диференціальних методів) зазвичай мають істотно кращі характеристики, ніж методи «прямої» передачі. Крім того, для розробки ще більш досконалих методів взаємодії можуть використовуватися нові технології, такі як мережне кодування. Нарешті, при практичній реалізації необхідно розглядати й інші не менш важливі проблеми, такі як вибір відповідних для передачі ретрансляторів і синхронізація передач між ретрансляторами.

Метою даної роботи є розроблення моделі каналу кооперативної віртуальної багатоантенної системи МІМО для безпроводових мереж розподіленої інфраструктури з ретрансляцією та дослідження на її основі характеристик ймовірності переривання зв'язку такої інфраструктури.

Модель міжгрупової передачі. Пропонується формування МІМО-каналу між двома скооперованими групами одноантенних вузлів шляхом створення двох віртуальних антенних решіток: передавальної та приймальної. Групи вузлів складаються із множини розташованих поблизу один від одного терміналів або точок доступу, які можуть обмінюватися між собою даними та формувати просторову віртуальну антенну решітку [9]. При цьому виникають дві важливі задачі: як вузли передавальної групи можуть оптимально обмінюватися даними для подальшої спільної їх передачі і як вузли приймальної групи можуть реалізувати протокол прийому цих даних (рис. 1).

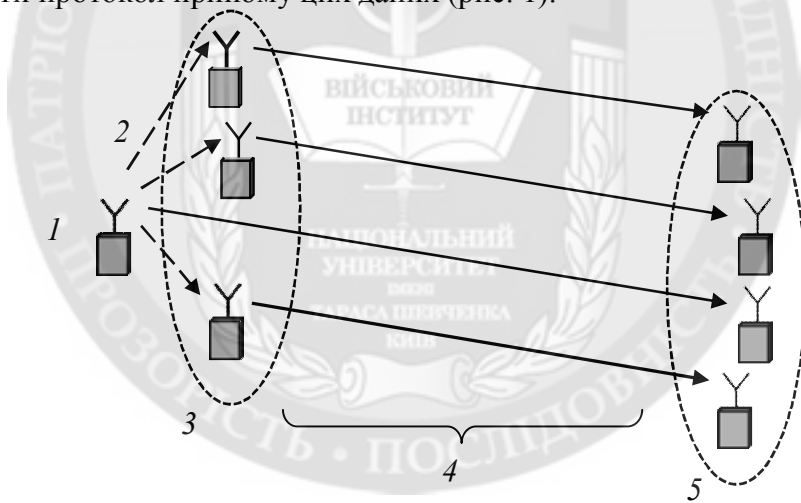


Рис. 1. Схема віртуальної МІМО-передачі між групами вузлів: 1- вузол джерела інформації; 2 – широкополосне мовлення; 3 – передавальна група; 4 – віртуальний МІМО-канал; 5 – приймальна група

Передавальна сторона. Нехай кількість скооперованих вузлів в передавальній (ПРДк) групі складає $N_{прд}$, а в приймальній (ПРМк) – $N_{прм}$. Для того, щоб передавати дані до приймальної групи ПРДк повинна володіти двома функціями:

- широкополосна трансляція даних в межах групи так, щоб усі активні вузли могли декодувати дані для послідувочої їх ретрансляції через утворений віртуальний МІМО-канал (загалом, множина активних вузлів ξ є підмножиною загальної кількості вузлів в групі $N_{прд}$);

- передача даних через МІМО-канал розмірністю $\xi \times N_{прм}$.

Внаслідок обмежень напівдуплексного режиму передачі обидві функції реалізуються у двох ортогональних каналах з часовим рознесенням (ЧР), які можуть бути двох видів: внутрішньо груповими (ВГ) і між груповими (МГ). Такі канали відповідно використовуються для широкосмугового поширення і для МІМО-передачі. Тому кожен ретрансляційний відрізок між групами вузлів реалізує передачу даних в двох часових інтервалах ВГ і МГ, які відповідають передачі даних в каналах ВГ і МГ, відповідно.

За часовий інтервал ВГ тривалістю χ ширококомовно передаються дані в межах групи із потужністю P_1 . Множина вузлів (декодуючи множина), що входять до області широкосмугового мовлення, декодують дані і кооперуються для подальшого формування віртуальної антенної решітки.

За часовий інтервал ВМІ тривалістю $\beta = 1 - \chi$ підмножина ξ вузлів (об'єднує джерела широкосмугової передачі та декодуючу множину) спільно передає дані до ПРМк з потужністю P_2 за допомогою віртуального каналу МІМО розмірністю $\xi \times N_{прм}$. За умови відсутності інформації про стан міжгрупового каналу і синхронізації символів між вузлами груп запропонована схема передачі може бути заснована на розподілених просторово-часових кодах DSTC (distributed space-time codes) з переданою потужністю на кожен активний вузол, рівною P_2/ξ .

Приймальна сторона. За проміжок часу МГІ тривалістю β ПРМк отримує дані через МІМО-канал розмірністю $\xi \times N_{прм}$ і з метою отримання рознесення по прийому застосовується алгоритм декодування для множини антени. Враховуючи розподілений характер множини приймальних антен, пропонується спрощений алгоритм прийому на основі вибіркового рознесення (ВР) по множині із $N_{прм}$ МІСО каналів, які спрямовані до ПРМк. При цьому вузол ПРМк, який має найвищий рівень відношення/сигнал шум SNR (signal-to-noise ratio) діє як координатор групи і декодує дані. Згідно [10] така схема досягає рознесення по прийому порядку $N_{прм}$.

Введемо умову обмеженості по потужності при одній ретрансляції між групами у вигляді: $P_{lim} = \chi P_1 + \beta P_2$. Таким чином, оптимізація характеристики передачі може бути проведена по трьом параметрам P_1 , P_2 , χ .

Сигнальна модель і ймовірність переривання зв'язку. Нехай багатопрольотна ретрансляційна лінія зв'язку складається з прольотів, тоді з'єднання групи 1 (група джерела даних) з групою M (група кінцевого призначення) буде проходити через групи 2, ..., $M - 1$ (проміжні групи ретрансляції). Розглянемо кожен проліт, який в часі розділений на два інтервали ВГ і МГ, кожен з яких відповідно має тривалість χ і β та розподіл потужності P_1 і P_2 . Припускаємо, що у кожній групі m загальна кількість доступних вузлів N_m дорівнює загальній кількості діючих вузлів в групах ПРДк ($N_{прд}$) і ПРМк ($N_{прм}$), тобто $N_m = N_{прд} = N_{прм}$. Радіоканал між групами розглядається як канал зв'язку із релеєвським розподілом завмирань із відстанями між центрами множини послідовних груп d_k . Тоді сигнал, що приймається на вузлі ω групи $m + 1$, протягом інтервалу МГІ на прольоті m буде відповідати каналу МІСО (Multiple Input - Single Output) у наступному вигляді:

$$y_{\omega, m+1}(t) = \alpha h_{\omega, m}^T \chi_m(t) + n_{\omega, m+1}(t),$$

де $\alpha = d_k^{-\delta/2}$ - міжгрупові втрати на поширення радіохвиль; δ - експонента втрат на поширення радіохвиль;

$$h_{\omega, m} = \left\| a_{1, \omega}^m \dots a_{\xi, \omega}^m \right\|^T - \text{каналний вектор};$$

$\chi_m(t) = \left\| \chi_{1,m}(t), \dots, \chi_{\xi,m}(t) \right\|^T$ - вектор сигналів, що передаються на момент часу $t \in (\chi, 1]$;

$a_{i,\omega}^m$ - одинична (унітарна) потужність, що пропорційна коефіцієнту релеєвських завмирань між вузлом i групи m та вузлом ω групи $m+1$. При цьому припускається, що інваріантні канали під час всієї тривалості кадру є незалежні і однаково розподілені i.i.d. (independent, identically distributed) по всіх елементах каналної матриці $h_{\omega,m} \approx CN(0, I_\xi)$ маємо циркулярно-симетричний комплексний нормальний розподіл з нульовим середнім; $n_{\omega,m+1}(t) \approx CN(0, \sigma_0^2)$ - адитивний білий гауссівський шум (АБГШ) на вході приймача вузла ω . Крім того, враховуючи, що передається просторово-часове кодове слово довільної довжини $s = \beta / \Delta$, то прийнятий вектор сигналів $\|s \times 1\|$ на вузлі ω буде мати вигляд:

$$y_{\omega,m+1}^T = \alpha h_{\omega,m}^T \chi_m + n_{\omega,m+1}^T, \quad (1)$$

де $\chi_m = \left\| \chi_m(1), \dots, \chi_m(s) \right\|$ і при цьому просторово-часове кодове слово, що передається, можна задати як $R_{\chi_m} = 1/s \chi_m \chi_m^T = P_2 I_{\xi \times n_t} / \xi$.

В ПРМк проводиться декодування по N_{m+1} MISO-каналів на основі селекції по прийому, як наводилось раніше. Тоді, беручи до уваги модель (1), вихідний SNR групи $m+1$ можна представити наступним чином $SNR_{m+1} = \mu_2 \max_{\omega} |h_{\omega,m}|^2 / \xi$, де $\mu_2 = P_2 d_k^{-\delta} / \sigma_0^2$.

Таким чином, ймовірність переривання зв'язку для прольоту m можна представити у вигляді

$$p_{out}^m = p[\mu_2 \max_{\omega} |h_{\omega,m}|^2 / \xi < 2^{c_{out}/\beta} - 1] = \prod_{\omega=1}^{N_{m+1}} p[\mu_2 |h_{\omega,m}|^2 / \xi < 2^{c_{out}/\beta} - 1], \quad (2)$$

де c_{out} - пропускна здатність з урахуванням можливості переривання зв'язку, біт/с/Гц. Друга частина рівності (2) впливає із урахування властивостей кумулятивної функції щільності максимуму каналів i.i.d. Ймовірність переривання зв'язку (2) може бути оптимізована у відповідності до розподілених рівнів потужностей часових інтервалів ВГІ і МГІ, і тривалості часу, коли діє обмеження на загальну потужність передачі при одній ретрансляції між групами:

$$p_{out}^m = \min_{(\mu_1, \mu_2, \chi)} \prod_{\omega=1}^{N_{m+1}} p[\mu_2 |h_{\omega,m}|^2 / 2^{c_{out}/\beta} - 1]. \quad (3)$$

При цьому буде справедливе твердження $\chi \mu_1 + \beta \mu_2 \approx SNR$. Із обмеження по потужності отримуємо вираз для відношення сигнал/шум $SNR = P_{lim} / \sigma_0^2 d_k^{-\delta}$ і $\mu_i = P_i / \sigma_0^2 d_k^{-\delta}$ для $i \in \{1, 2\}$. Загальна ймовірність переривання зв'язку $M-1$ прольотів оцінюється як $p_{out} = 1 - \prod_{m=1}^{M-1} (1 - p_{out}^m)$.

Приймаючи, що кожна радіолінія між групами є незалежною, то можна оптимізувати розподіл потужності протягом ВГІ і МГІ, розглядаючи як критерій оптимізації ймовірність переривання зв'язку p_{out} . Розглянемо перший проліт між групами 1 і 2.

Прийmemo, що вузол 1 групи 1 є джерелом інформації. Тоді ВГІ використовується для широкосмугового каналу передачі даних до вузлів 2, ..., N_1 групи 1. Протягом ВГІ кожен вузол (крім 1-го) групи декодує дані широкосмугового каналу і надалі використовує їх для кооперації протягом МГІ. Приймемо, що швидкість передачі даних широкосмугового каналу $R_{ШМ}$ є меншою ніж канална пропускна здатність між вузлами 1 і i , тоді

$R_{ШМ} \leq \chi \log_2(1 + \mu_1 \theta_i)$, де $\theta_i = |a_{1,i}|^2 (d_k/d_{1,i})^\delta$ - коефіцієнт передачі на шляху між джерелом і ретранслятором; $d_{1,i}$ - відстань між джерелом і i -м вузлом; $a_{1,i}$ - коефіцієнт релеєвських завмирань. Тим не менш, швидкість передачі даних джерело-ретранслятор не може бути меншою ніж швидкість передачі даних ретранслятор-приймальний вузол (цільовий приймач) [3, 5]. Тому пропускна здатність з урахування переривання зв'язку c_{out} між вузлами 1 та i буде обмежена $c_{out} \leq R_{ШМ}$.

Таким чином, вузол i буде гарантовано декодовано протягом інтервалу широкосмугового мовлення і він зможе кооперуватись для формування процесу передачі МІМО при умові виконання наступної нерівності

$$\eta_1 \geq h(c_{out}, \chi) / \theta_i,$$

де $h(R, \chi) = 2^{R/\chi} - 1$; миттєвий коефіцієнт передачі для всіх приймачів $\theta_2 \geq \dots \geq \theta_i \geq \dots \geq \theta_{N_1}$.

Визначаємо відношення між кількістю активних вузлів ξ протягом МГІ і парою (μ_1, χ) як:

$$\begin{aligned} \text{при } \xi = 1 \quad \mu_1 &< h(c_{out}, \chi) / \theta_2; \\ \text{при } \xi = n \quad h(c_{out}, \chi) / \theta_n &\leq \mu_1 < h(c_{out}, \chi) / \theta_{n+1}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $2 \leq n \leq N_1$. Відмітимо, що при $\xi = 1$ тільки джерело передає в інтервалі МГІ, в той час як для $\xi = n > 1$ мають місце $n - 1$ ретрансляторів, які кооперуються, щоб вести передачу протягом інтервалу МГІ. Для сповільнення процесу передачі прийmemo $\mu_{N_1+1} = 0$.

Протягом інтервалу МГІ ξ вузлів спільно передають дані до групи 2 з максимальною швидкістю передачі c_{out} , біт/с/Гц. Ймовірність переривання зв'язку багатоантенної радіолінії, що розглядається, наведено в (3), де кількість скооперованих передавачів ξ може бути визначена з (4), а $\|h_{\omega,1}\|^2 \sim \chi_{2\xi}^2$ - випадкова величина з хі-квадрат розподілом (окремих випадок гамма-розподілу) з двома ступенями свободи. Так як функція розподілу $\chi_{2\xi}^2$ є неповною гамма-функцією $\gamma(\xi, c) = 1/(\xi - 1)! \int_0^c \chi^{\xi-1} / \exp(-\chi) d\chi$, то вираз (3) можна записати у наступному вигляді:

$$P_{out}^1 = \min_{(\mu_1, \mu_2, \chi)} \{ \gamma(\xi, h(c_{out}, \beta) \xi / \mu_2) \}^{N_2}. \quad (5)$$

Крім того, оскільки ξ в (4) є постійною величиною по N_1 регіонам (μ_1, μ_2, χ) , то мінімізація в (5) може бути здійснена шляхом первісної мінімізації цільової функції на кожному регіон з наступним вибором мінімумів. Кожен регіон інтерпретується як підмножина в (μ_1, μ_2, χ) , що робить кількість активних вузлів протягом МГІ постійною і рівною n . Тоді при виконанні обмеження $\mu_1 \geq h(c_{out}, \chi) / \theta_n$ можна переписати:

$$P_{out}^1 = \min_{1 \leq n \leq N_1} \{ \min_{(\mu_1, \mu_2, \chi)} \{ \gamma(\xi, h(c_{out}, \beta) n / \mu_2) \}^{N_2} \}.$$

Вказане обмеження в даному виразі впливає з (4), з якого слідує, що радіоканал має n активних передавальних вузлів тільки при виконанні нерівності $\mu_1 \geq h(c_{out}, \chi) / \theta_n$ (для спрощення встановлено $\theta_1 = \infty$) Ймовірність переривання зв'язку першої міжгрупової ланки може бути отримана у вигляді:

$$p_{out}^1 = \min_{1 \leq n \leq N_1} \{\gamma(n, nh(c_{out}, 1 - \chi_n) / \mu_{2n})\}^{N_2} = \{\gamma(\tau, \tau h(c_{out}, 1 - \chi_\tau) / \mu_{2\tau})\}^{N_2}, \quad (6)$$

де τ – оптимальна кількість скооперованих (активних) вузлів в межах інтервалу МПІ;
 $\chi_n = \arg[\max_{\chi_{0n} \leq \chi \leq 1} \{SNR \vartheta_n - \chi h(c_{out}, \chi)\} / \beta / h(c_{out}, \beta)]; \mu_{1n} \geq h(c_{out}, \chi_n) / \vartheta_n;$

$$\mu_{2n} = SNR / (1 - \chi_n) - \chi_n \mu_{1n} / (1 - \chi_n).$$

Таким чином, оптимальний розподіл потужності і часу для одного прольоту радіолінії буде: $\mu_1 = \mu_{1\tau_2}, \mu_2 = \mu_{2\tau}, \chi = \chi_\tau$.

Результати чисельного моделювання. При моделюванні ймовірності переривання зв'язку розподіленої мережі з кооперативною ретрансляцією було задано: група вузлів визначається як площа круга радіусом $R_{ВГІ}$; відстань між центрами двох сусідніх груп $d_k = 1$; вузли групи розміщені випадковим чином (нормальний розподіл) в межах площі групи; експонента втрат на поширення радіохвиль $\delta = 2$.

Результати моделювання для однієї ретрансляції (один проліт) представлені на рис. 2 для різних значень відношення $R_{ВГІ} / d_k$. При цьому прийнято, що передавальна і приймальна групи мають по 3 скооперованих вузлів ($N_1 = N_2 = 3$). Крім того, для порівняння показано ймовірність переривання зв'язку для звичайної системи МІМО розмірністю $2 \times 2, 3 \times 3, 4 \times 4$.

Ймовірність переривання зв'язку розраховувалась за допомогою виразу (6), рандомізовано коефіцієнт передачі каналу джерело-ретранслятор ϑ_i (випадкова відстань, релеївські завмирання) і враховано для SNR енергетичне обмеження (3).

Результати моделювання підтверджують, що запропонована модель кооперативної МІМО забезпечує повне просторове рознесення системи $N_1 \cdot N_2$; існує втрата певного значення SNR у віртуальній структурі МІМО по відношенню до реальної, що обумовлено використанням частки потужності для широкосмугової передачі даних в інтервалі ВПІ; характеристика віртуальної МІМО погіршується при збільшенні радіуса групи $R_{ВГІ}$.

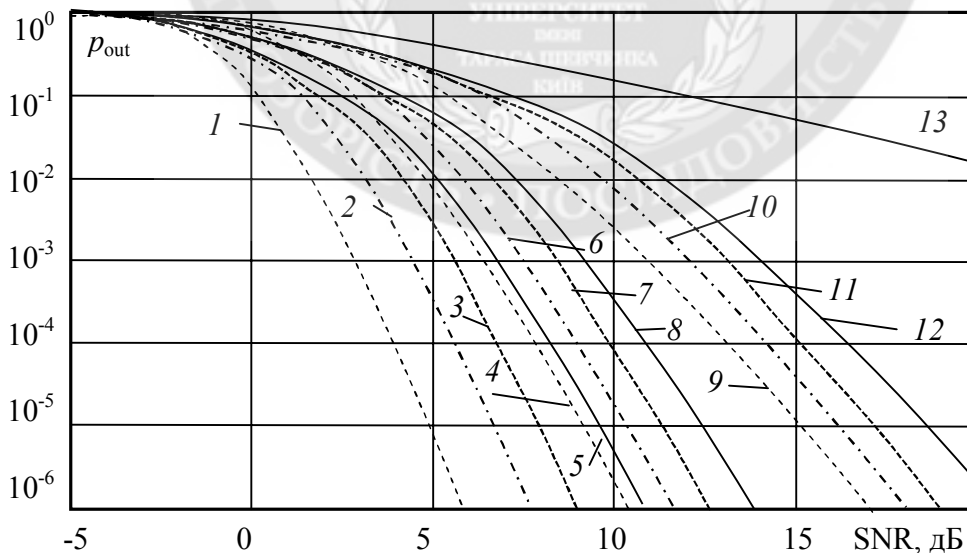


Рис. 2. Ймовірність переривання зв'язку одного прольоту радіолінії від відношення сигнал/шум для випадку класичної МІМО-передачі 2×2 (1), 3×3 (4), 4×4 (9) та віртуальної МІМО-передачі (2, 3, 5-8, 10-12) між групами вузлів для різного відношення $R_{ВГІ} / d_k$: 0,1 (2, 6, 10), 0,25 (3, 7, 11), 0,5 (5, 8, 12) (13 - система без кооперації)

Висновок. Запропоновано модель каналу кооперативної віртуальної МІМО для багатоінтервальної передачі в безпроводових мережах розподіленої інфраструктури з ретрансляцією та досліджено характеристики ймовірності переривання зв'язку такої інфраструктури. Визначено групову мережну топологію із близько розташованих вузлів мережі, які об'єднані у спільні групи. Усі вузли, що належать до будь-якої певної групи, можуть спільно передавати і отримувати дані від інших груп, використовуючи переваги рознесення між групами віртуальних МІМО-каналів. Для організації кооперативної передачі з ретрансляцією кожен інтервал передачі реалізується за два послідовних інтервалів часу: внутрішньо груповий, який враховує обмін даних в межах групи, і міжгруповий - для передачі даних між групами. Визначено оптимальні розподіли тривалості та потужності для обох часових інтервалів, приймаючи за метрику ймовірність переривання зв'язку між групами. Отримані результати моделювання для одноінтервальної мережі демонструють, що характеристика віртуальної МІМО погіршується при збільшенні радіуса групи, а для малих значень відношення сигнал/шум характеристики віртуальних МІМО-каналів наближаються до реальних МІМО-каналів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Pchenko M.Yu., Kravchuk S.O. Telecommunication broadband access systems. – Kiyiv: Naukova Dumka, 2009. – 312 p.
2. Hampton J.R. Introduction to MIMO Communications. – Cambridge: Cambridge University Press, 2013. – 290 p.
3. Fitzek F.H.P., Katz M.D. Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications. – Berlin: Springer, 2006. – 641 p.
4. Cover T.M., El Gamal A.A. Capacity theorems for the relay channel // IEEE Trans. Inform. Theory. – 1979. – Vol. 25, nr 5. – P. 572–584.
5. Кравчук С.О. Модель імовірності помилки в багатоантенній кооперативній ретрансляційній системі // Зб. наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – К.: ВПІ НТУУ "КПІ", 2009. – Випуск № 2. – С. 47–62.
6. Кравчук С.А. Влияние выбора топологии ретрансляции на пропускную способность беспроводной mesh сети на основе кооперативного МІМО // Збірник матеріалів 2-ї міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій», 20–23 травня 2008 р., м. Київ, Україна. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2008. – С. 71–74.
7. Кравчук С.А. Влияние выбора топологии ретрансляции на пропускную способность беспроводной mesh сети на основе кооперативного МІМО // Збірник матеріалів 2-ї міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій», 20–23 травня 2008 р., м. Київ, Україна. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2008. – С. 71–74.
8. Кравчук С.О. Метод вибору опорного ретранслятора для ефективного групування в багатопробльотній мережі WiMAX // Цифрові технології: збірник. – 2009. – Вип. 5. – С. 91–99.
9. Кравчук С.А. Сравнение эргодической пропускной способности традиционных однопролетных, многопролетных и кооперативных сетей широкополосного радиодоступа с ретрансляцией // Збірник тез науково-технічної конференції ПТ-07 «Проблеми телекомунікацій», 25–27 квітня, 2007 р., м. Київ. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – С. 55.
10. Larsson E.G., Cao Y. Collaborative transmit diversity with adaptive radio resource and power allocation // IEEE Communications Letters. – 2005. – Vol. 9, nr 6. – P. 511–513.

REFERENCES:

1. Pchenko M.Yu., Kravchuk S.O. Telecommunication broadband access systems. – Kiyiv: Naukova Dumka, 2009. – 312 p.
2. Hampton J.R. Introduction to MIMO Communications. – Cambridge: Cambridge University Press, 2013. – 290 p.
3. Fitzek F.H.P., Katz M.D. Cooperation in Wireless Networks: Principles and Applications. – Berlin: Springer, 2006. – 641 p.
4. Cover T.M., El Gamal A.A. Capacity theorems for the relay channel // IEEE Trans. Inform. Theory. – 1979. – Vol. 25, nr 5. – P. 572–584.

5. Kravchuk S.O. Model' imovirnosti pomylyky v bagatoantennij kooperativnij retransljacijnij systemi // Zb. naukovykh prac' Vijs'kovogo instytutu telekomunikacij ta informatyzacii' Nacional'nogo tehničnogo universytetu Ukraïny "Kyï'vs'kyj politehničnyj instytut". – K.: VITI NTUU "KPI", 2009. – Vypusk № 2. – 47–62 s.

6. Kravchuk S.A. Vlyjanye vybora topologyy retransljacyy na propusknuju sposobnost' besprovodnoj mesh sety na osnove kooperativnogo MIMO // Zbirnyk materialiv 2-i' mizhnarodnoi' naukovy-tehničnoi' konferencii' «Problemy telekomunikacij», 20–23 travnja 2008 r., m. Kyï'v, Ukraïna. – K.: VPI VPK «Politehnika», 2008. –71–74.7 s.

8. Kravchuk S.O. Metod vyboru opornogo retransljatora dlja efektyvnogo grupuvannja v bagatoprol'otnij merezhi WiMAX // Cyfrovi tehnologii': zbirnyk. – 2009. – Vyp. 5. –91–99 s.

9. Kravchuk S.A. Sravnenie jergodicheskoj propusknoj sposobnosti tradicionnykh odnoproletnyh, mnogoproletnyh i kooperativnyh setej širokopolosnogo radiodostupa s retransljaciej // Zbirnyk tez naukovy-tehničnoi' konferencii' PT-07 «Problemi telekomunikacij», 25-27 kvitnja, 2007 r., m. Kiïv. – K.: NTUU «KPI», 2007. –55 s.

10. Larsson E.G., Cao Y. Collaborative transmit diversity with adaptive radio resource and power allocation // IEEE Communications Letters. – 2005. – Vol. 9, nr 6. – P. 511–513.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Афанасьева Л.А., д.т.н., доц. Кравчук С.А., к.т.н. Миночкин Д.А.
**ВЕРОЯТНОСТЬ ПРЕРЫВАНИЯ СВЯЗИ В БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЕ С
МНОГОАНТЕННОЙ КООПЕРАТИВНОЙ РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ**

Предложена модель канала корпоративной виртуальной многоантенной системы MIMO для беспроводных сетей распределенной инфраструктуры с ретрансляцией и исследованы характеристики вероятности прерывания связи такой инфраструктуры. Определена групповая сетевая топология из близлежащих узлов сети, которые объединены в общие группы. Все узлы, относящиеся к какой-либо определенной группе, могут совместно передавать и получать данные от других групп, используя преимущества разнесения между группами виртуальных MIMO-каналов. Для организации кооперативной передачи с ретрансляцией каждый интервал передачи реализуется за два последовательных интервала времени: внутригрупповой, учитывающий обмен данными в пределах группы, и межгрупповой - для передачи данных между группами. Определены оптимальные распределения продолжительности и мощности для обоих временных интервалов, принимая за метрику вероятность прерывания связи между группами. Результаты моделирования показали, что характеристика виртуальной MIMO ухудшается при увеличении радиуса группы узлов, а для малых значений отношения сигнал / шум характеристики виртуальных MIMO-каналов приближаются к характеристикам реальным MIMO-каналам.

Afanasyeva L.A., Ph.D. Kravchuk S.O., Ph.D. Minochkin D.A.
**OUTAGE PROBABILITY IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM WITH
MULTIPLE ANTENNA COOPERATIVE RETRANSMISSION**

A model of corporate virtual channel multi-antenna MIMO system for distributed wireless infrastructure with retransmission and investigated the Outage probability characteristics for such infrastructure. Network topology defined group of neighboring network nodes, which are combined into common groups. All the nodes that belong to a particular group can transmit and receive data from the other groups by taking advantage of diversity between the virtual MIMO-channel groups. Each sending interval is realized in two successive time intervals for organizing cooperative relay transmission: intragroup that takes into account exchange of data within the group and intergroup - for data transmission between the groups. Optimal distribution of duration and power for both time intervals are defined, taking probability interrupt communication between the groups as a metric. It was determined that the characteristic of the virtual MIMO deteriorates with increasing radius of the group of nodes, and for small values of the signal to noise characteristics virtual MIMO-channel approach to real-MIMO channels.