

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Гаркуші Сергія Володимировича на дисертацію Москальця Миколи Вадимовича «Методи просторово-часового доступу у перспективних системах мобільного зв'язку», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

Актуальність теми.

В останні роки спостерігається істотний розвиток безпроводових технологій абонентського доступу, спрямованих на поліпшення якості послуг безпроводового інтернету і систем мобільного зв'язку. В недалекому майбутньому, при впровадженні технологій мобільного зв'язку 5-го покоління до 2020 р. передбачається суттєве зростання навантаження на лінії мобільного зв'язку, що обумовлено як збільшенням кількості користувачів, так і появою нових послуг високошвидкісної передачі даних.

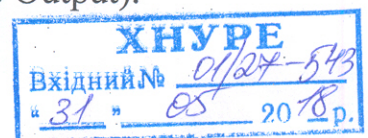
Зростання обсягу переданої інформації вимагає як від виробників обладнання, так і від операторів надання послуг забезпечення досить високої пропускної здатності мереж. Так як межа пропускної здатності обумовлена низкою обмежуючих факторів середовища поширення радіохвиль, рішення даної проблеми стає критично важливим для операторів мобільних послуг.

Головними причинами зниження продуктивності системи мобільного зв'язку та її пропускної здатності є наявність міжканальних завад, обумовлених зростанням числа користувачів, інтерференційними замираннями сигналів, затримкою сигналів при поширенні радіохвиль, що обумовлено багатопроменевістю, а також мобільністю користувачів.

В даний час в усьому світі ведуться дослідження, спрямовані на поліпшення продуктивності безпроводових систем. Оператори мобільного зв'язку шукають нові способи максимального збільшення ефективності використання виділених їм частотних ресурсів для своїх мереж і збільшення їх рентабельності.

Впровадження сучасних технологій адаптивних антенних решіток в системи мобільного зв'язку обіцяє великий приріст системної продуктивності з точки зору пропускної здатності, розширення зони покриття і збільшення якісних показників, що в цілому, в кінцевому підсумку, призведе до підвищення ефективності використання виділеного частотного ресурсу.

Такі заходи для впровадження адаптивних антенних решіток зосереджені на просторово-часовій обробці цифрового сигналу, яка розглядається в якості еволюції вже втілених традиційних методів обробки сигналу за допомогою технологій багатоантенних решіток МІМО (Multiple Input Multiple Output).



Варто відзначити, що впровадження антенних решіток з адаптивною просторовою обробкою сигналів в системи мобільного зв'язку здійснюється в комплексі з реалізацією просторово-часового доступу (SDMA, Space-division multiple access) і являє собою не тривіальну, складну науково-прикладну проблему, яка полягає у збільшенні продуктивності доступу в системах мобільного зв'язку на основі використання методів адаптивної просторово-часової обробки сигналів при забезпеченні заданої якості послуг і незмінності основних алгоритмів функціонування мобільної мережі.

Тому наукові дослідження в дисертаційній роботі автор присвячує розв'язанню науково-прикладної проблеми з розробки методології системних науково-технічних рішень щодо підвищення продуктивності доступу в системах мобільного зв'язку на основі використання антенних решіток і методів адаптивної просторово-часової обробки сигналів при забезпеченні заданої якості послуг і незмінності основних алгоритмів функціонування мобільної мережі, яка є актуальною і затребуваною у теперішній час.

Ступінь обґрунтування та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи.

Основні наукові результати дисертаційної роботи:

1. Вперше запропоновано сукупність науково-технічних рішень з впровадження просторово-часових методів множинного доступу у системах мобільного зв'язку з адаптивною обробкою сигналів виклику абонентських станцій при забезпеченні незмінності відповідних процедур якісного надання послуг мобільною системою.

Дане наукове положення обґрунтовується необхідністю системного опрацювання методів просторово-часового доступу за правилами системної політики застосування різних алгоритмів, технологій, реалізації самих процедур адаптивної просторово-часової обробки в антенних решітках, реалізаційних обмежень та ін. Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених просторово-часовим методам доступу, багато конкретних питань, таких, як вибір структур сигналів, узгодження різних алгоритмів, забезпечення прозорості методів просторово-часового доступу, які не вимагали б змін у вже існуючих технологіях, в зразках сучасних стільникових систем не опрацьовані. Питання формування адаптивної діаграми спрямованості антени, що динамічно змінює параметри залежно від змін сигнально-завадової обстановки на основі оптимальної оцінки вектора вагових коефіцієнтів повинні вирішуватись за максимально короткий інтервал часу до настання фази надання послуги і якість цього вирішення залежить від низки інших методів, які автор систематизує у вигляді методології.

2. Вперше для підвищення продуктивності просторово-часового доступу в системах мобільного зв'язку автором запропоновано використання методів на базі теорії адаптивних антенних решіток з просторово-часовою та поляризаційною селекцією обробки кожного із обслуговуваних сигналів та подавлення інших випромінювань з урахуванням існуючих основних алгоритмів роботи мобільної мережі.

Очевидно історичні пріоритети щодо впровадження просторово-часового доступу належать супутниковим системам зв'язку (Intelsat, DSCS-2, DSCS-3, Inmarsat и др.). У даних системах просторово-часовий доступ продемонстрував високу ефективність, разом з тим, реалізація повторного використання частот здійснювалася на основі багатопромених антен з комутацією променя.

Безпосередня трансформація ідей застосування просторово-часового доступу у супутниковому зв'язку на стільникові системи не вдається за рядом причин, а саме: у стільникових системах канал близький до релеєвського, коли регулярна складова близька до нуля, абоненти можуть мати значну кутову швидкість переміщення; має місце багатопроменивість, що вимагає врахування даних змін, регулювання потужності, перерозподілу ресурсів методів компенсації та ін., динамічний діапазон змін рівнів сигналу може перевищувати 30...40 дБ, що ускладнює ведення стійкого зв'язку. Тому автор, на базі науково-технічного обґрунтування пропонує впровадження алгоритмів просторово-часового доступу з урахуванням апріорної невизначеності про кількість і напрямки приходу сигналів виклику абонентських станцій на базі адаптивних антенних решіток, а також оцінку якості такої реалізації в складних сигнально-завадових умовах.

3. Вперше для перспективних систем мобільного зв'язку запропоновано метод скорочення процедури виявлення сигналів запиту виклику абонентських станцій з використанням моделі оптимального прийому k сигналів з m передаєних, що дозволяє заощадити відрізок часу для досягнення сталого режиму для адаптивного алгоритму просторово-часового доступу.

Оскільки процедура виявлення сигналу виклику (СВ) передуює наданню самої послуги зв'язку абоненту, задача виявлення сигналів є складовою частиною у вирішенні більш загальносистемних задач, що виникають в мобільних системах зв'язку при аналізі їх продуктивності. Особливого значення процедура виявлення набуває при використанні просторово-часового доступу, оскільки потрібно максимально скоротити відрізок часу від початку виклику до надання самої послуги.

В роботі автором запропоновано застосування методу параметричного енергетичного виявлення, заснованого на використанні Q -функцій Маркума, який є достатньо універсальним і оптимальним для умов завад типу Гаусового білого шуму (ГБШ). Складність задачі виявлення у мобільній системі полягає в

тому, що виявляти сигнал виклику доводиться на тлі станційних завад групи сигналів виклику всіх інших абонентських станцій і ГБШ. Дана завадова обстановка носить назву шуму Ліхтера. Методом статистичного моделювання отримані характеристики енергетичного виявляча, а саме значення ймовірності правильного виявлення при фіксованій ймовірності помилкової тривоги.

Запропонована оптимізована процедура виявлення СВ за правилом "k" з "m" з врахуванням динаміки процесу виклику, де має принципове значення урахування початкової стадії. Автор наголошує, що у нескладних умовах можна отримати більш високу ймовірність, якщо використовувати критерій 3 з 4-х з обов'язковою другою відміткою. Разом з тим в умовах дії складних завад необхідно використовувати критерій виявлення траєкторій «4 з 4-х», який має певні переваги перед іншими критеріями.

4. Вперше в задачах просторово-часового доступу у мобільних системах зв'язку для оцінки вектора вагових коефіцієнтів антенної решітки запропоновано використання рекурсивних методів обробки в просторі змінних стану.

В роботі автором показано, для вирішення задач оптимального управління ваговими коефіцієнтами антенної решітки доцільно використовувати математичні рекурентні процедури, що мають представлення в просторі змінних стану, і це забезпечує отримання оптимальної оцінки вектора вагових коефіцієнтів.

Використання рекурентних процедур обґрунтовано наявністю дестабілізуючих факторів, таких як: нестационарність електромагнітної обстановки, високодинамічний стан каналів мобільного зв'язку, в наслідок просторового переміщення абонентських станцій, багатопроменевість поширення сигналів та ін.

Оскільки перед наданням послуги проводяться процедури з прийому і виявлення СВ кожної активованої абонентської станції, організація для кожної з цих абонентських станцій відповідної адаптивної просторово-часової обробки сигналів, визначення напрямків приходу сигналів, визначення числа активних сигналів станцій та ін. процедури, які вимагають мінімального часу, що складає 8-10 кроків ітерацій, то для досягнення сталого стану рекурсивної процедури за такий час запропоновано виростання методів нелінійної, або лінійної фільтрації Калмана – Б'юсі. Показано ефективність даної процедури на відміну від іншої рекурсивної процедури Уїдроу та традиційних асимптотичних процедур, для яких цей час на 2-3 порядки більший.

5. Отримали подальший розвиток методи аналізу та урахування реалізаційних обмежень при синтезі процедури доступу, які викликані невизначеністю початкових даних щодо сигнально-завадової обстановки, наявністю взаємного впливу між антенними елементами, багатопроменевістю, втратами просторової когерентності сигналів.

Зазначені дестабілізуючі фактори, що впливають на реалізацію і ефективність функціонування методів просторово-часового доступу, значно ускладнюють ідею такого доступу, однак їх можна врахувати при проектуванні мобільної системи з просторово-часовим доступом. Автором продемонстровано, що отримання оцінки якісного і кількісного впливу суми дестабілізуючих факторів, що беруть участь у технології просторово-часового доступу зводиться до самої залежності показника відношення сигнал/завада+шум від рівня взаємодії направляючого вектора корисного сигналу і направляючих векторів завадових сигналів.

У реальних умовах оцінки впливу дестабілізуючих факторів ортогональність вектору корисного сигналу до простору завадових сигналів порушується і кількісно це порушення виражається в зниженні коефіцієнта просторової когерентності сигналів і завад. Запропоновано методику для якісної і кількісної оцінки впливу суми дестабілізуючих факторів у вигляді обмежень, що впливають на показник відношення сигнал/завада+шум на основі розрахунку коефіцієнта просторової когерентності сигналів і завад.

Проведено аналіз реалізаційних обмежень в результаті якого встановлено, що для мінімізації зазначених втрат ефективності просторово-часового доступу, який деякою мірою знижує очікувану продуктивність доступу, і для збільшення швидкості збіжності процесу адаптації алгоритмів управління адаптивної антенної решітки необхідно застосовувати дані про напрями приходу сигналів на початковій стадії, що забезпечує необхідну якість алгоритма просторово-часового доступу, незважаючи на наявність втрат, викликаних дестабілізуючими факторами.

6. Отримав подальший розвиток метод оцінки напрямів приходу сигналів абонентських станцій на базі алгоритмів роздільної та понадроздільної здатності.

Для формування опорних сигналів в адаптивних алгоритмах просторово-часового доступу необхідна установка початкових значень вектора вагових коефіцієнтів, що обумовлює подальшу просторово-часову обробку і адаптацію СВ до умов діючої сигнально-завадової обстановки. Тому вибір алгоритму визначення напрямів приходу сигналів на основі отримання оцінок якості при різних сигнально-завадових умовах і конфігурації антенної решітки є обґрунтованим заходом в отриманні апріорних даних про напрями приходу сигналів. Врахування цих даних на початковій стадії забезпечує скорочення інтервалу збіжності процесу адаптації алгоритмів управління адаптивної антенної решітки та необхідну якість алгоритму просторово-часового доступу.

7. Вперше запропоновано метод планування просторового розміщення фемто- та мікро-стільників мобільної мережі, що базується на теорії оптимізації упаковки 2-х та 3-х мірних об'єктів.

Вдається отримати при використанні мікро і фемтостільників значне розширення можливостей існуючої інфраструктури, розташованих в місцях інтенсивного трафіку, а також в області підвищеного загасання сигналу.

Автором розглянуто варіанти структурних перетворень, що дозволяють збільшувати продуктивність мережі мобільного зв'язку за рахунок використання фемто і мікро-стільникових осередків, які ефективно застосовуються в місцях щільних кластерних груп абонентів. Показано, що використання фемто- і мікро-стільникових структур дозволяє в 1,5-2 рази збільшити продуктивність мобільної мережі. Разом з тим підвищення показників продуктивності мережі залежить від ефективності моделей оптимального просторового розміщення фемто-стільників у межах макро-стільника. Автором запропоновано метод просторового розміщення об'єктів в вигляді фемто-стільників мобільної мережі на основі теорії методів упаковки 2-х та 3-х мірних об'єктів шляхом логічного вибору одиночного приєднання об'єкту.

8. Вперше запропоновано метод комплексного використання просторово-часового і ймовірнісного конкурентного доступу, що забезпечує можливість збільшення продуктивності системи доступу в N -разів, де N добуток потенціальної наявності доступних часових і просторових каналів.

Під час адаптивної просторово-часової обробки в умовах коли антенною решіткою не вирішується задача кутового розділу СВ абонентських станцій, які потрапляють у одну пелюстку діаграми спрямованості, автором пропонується додаткове використання методів ймовірнісного конкурентного доступу, завдяки яким вдається забезпечити вирішення колізій СВ абонентських станцій і підвищити ймовірнісно-часові показники доступу.

Достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, всебічно проаналізовані та обґрунтовані, підтверджені теоретичними матеріалами, результатами математичного і комп'ютерного моделювання.

Судячи з дисертації та автореферату, достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій підтверджується коректним застосуванням відомих і перевірених методів: оптимізації, ймовірності та математичної статистики, аналізу та синтезу антен, адаптивних антенних решіток, адаптивної просторово-часової і просторово-поляризаційної обробки сигналів, визначення напрямів приходу сигналів, випадкових процесів, оцінки та управління, виявлення сигналів, імітаційного моделювання.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Проведений аналіз наукових праць здобувача показав, що основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 49-ти роботах, у тому числі 15-ти статтях у виданнях, які входять до відповідного переліку видань, рекомендованих МОН, 12-ти статей у зарубіжних виданнях, в тому числі 1 стаття у базі Scopus. Аналіз змісту статей і тез доповідей дозволяє зробити висновок про те, що всі публікації мають безпосереднє відношення до теми і змісту дисертаційної роботи і, що вони в сукупності розкривають основні наукові результати, що захищаються автором. Апробація теоретичних результатів достатня та представлена доповідями на 22 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях та форумах, 7 проходили під егідою IEEE, 5 викладено у базі Scopus. Слід вважати викладення здобувачем основних результатів повним.

Назва дисертації відповідає її змісту та відображає суть поставленої та вирішеної наукової проблеми. Дисертант логічно та аргументовано викладає зміст роботи, що дозволяє скласти однозначне враження про основні результати досліджень. Автореферат досить повно та правильно розкриває зміст і результати дисертації.

Наукове значення. Дисертація має важливе наукове значення, яке полягає в тому, що процес надійного і якісного доступу в мобільних систем зв'язку в умовах високого навантаження і складної сигнально-завадової обстановки забезпечується за рахунок розробки методології системних науково-технічних рішень, щодо впровадження методів адаптивного просторово-часового доступу на основі активного використання просторово-часових фізичних ресурсів.

Практична значимість дисертаційного дослідження полягає в тому, що при впровадженні такого масштабного нововведення як просторово-часовий доступ у системи мобільного зв'язку, є забезпечення "прозорості" запропонованих методів, незмінності режиму ведення зв'язку, що дозволяє забезпечувати універсальність даного впровадження і його конструктивність. Впровадження просторово-часового доступу є системно стійким, не вимагає зміни технології, за яким може слідувати заміна парку станцій або їх частини. Поряд з цим, система мобільного зв'язку з просторово-часовим доступом набуває такі переваги:

- пропорційно числу променів антенної решітки при роботі по висхідному каналу здійснюється економія радіочастотного спектру, що дозволяє зменшувати витрати на оренду ділянок спектру;

- поліпшується енергетика в найбільш критичному напрямку від абонентської до базової станції, оскільки за рахунок вузького променя діаграми спрямованості вдається максимізувати відношення сигнал/шум на вході базової станції;

– пропорційно кількості променів зменшується ймовірність виникнення конфліктної ситуації оскільки конфлікт можливий лише при потраплянні сигналів заявки 2-х або більше абонентських станцій одночасно в один і той просторовий промінь;

– додатково до вичерпного частотно-часового ресурсу фізичного рівня, додається і активно використовується практично раніше не задіяний просторовий ресурс, тобто має місце обмін і заміненість одних ресурсів іншими.

Зауваження та недоліки по роботі:

– доцільно в 1-му розділі було б привести інформацію про наявність методів просторово-часової обробки в мобільних терміналах системи мобільного зв'язку 4G, 5G і який вираш від цього передбачається;

– чітко не встановлено порівняння запропонованого методу оптимізації просторового розміщення фемто-стільників (розділ 3, п.3.1.3) з іншими методами повного перебору;

– в дисертації не досить повно наведено обмеження та спрощення, які застосовуються при визначенні оцінки напряму приходу сигналів абонентських станцій;

– автор дисертації не приводить порівняльної характеристики сучасних технологічних параметрів антенної техніки за швидкістю обробки інформації на теперішній час з огляду на впровадження просторово-часового доступу в системи мобільного зв'язку;

– достатньо детально розглянуті властивості децентралізованих пірінгових мереж, разом з тим не достатньо обґрунтовано їх використання у задачах просторово-часового доступу.

Зазначені недоліки не зменшують наукової цінності дисертаційної роботи в цілому. Робота має логічно завершену форму, відповідає вимогам МОН України до докторських дисертацій.

Загальний висновок.

1. В цілому дисертаційна робота Москальця Миколи Вадимовича «Методи просторово-часового доступу у перспективних системах мобільного зв'язку» є закінченою науковою працею в якій поставлена і вирішена актуальна для науки і практики науково-прикладна проблема, яка полягає у розробці методології системних науково-технічних рішень щодо підвищення продуктивності доступу в системах мобільного зв'язку на основі використання методів адаптивної

просторово-часової обробки сигналів при забезпеченні заданої якості послуг і незмінності основних алгоритмів функціонування мобільної мережі і відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

2. За змістом, обсягом, апробаціями, публікаціями та іншими показниками дисертація відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України згідно «Порядку присудження наукових ступенів», які пред'являються до докторських дисертацій.

3. Автор дисертації Москалець М.В. заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент,
проректор з наукової роботи
(Вищий навчальний заклад Укоопспілки
«Полтавський університет економіки і торгівлі»,
Центральна спілка споживчих товариств
України «Укоопспілка»),
д.т.н., професор

С.В. Гаркуша

