

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.19 Національного
авіаційного університету
Козловському В.В.
03058, м. Київ,
проспект Любомира Гузара, 1

ВІДГУК

Офіційного опонента – доктора технічних наук, доцента,
професора кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці
Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики
Національного технічного університету України
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського,
Федорової Наталії Володимирівни, на дисертаційну роботу
Лисечка Володимира Петровича на тему:
**«МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ
БЕЗПРОВОДОВИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ
СИСТЕМ НА БАЗІ СКЛАДНИХ СИГНАЛЬНО-КОДОВИХ
КОНСТРУКЦІЙ»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації

Оновлення інфраструктури зв'язку і впровадження безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем в Україні в умовах військового стану, загрози блекаутів та інших надзвичайних ситуацій має кілька важливих обґрунтувань. Ці процеси забезпечують національну безпеку країни, сприяють підвищенню швидкості та мобільності передачі даних і зв'язку, дозволяють автоматизувати процеси управління телекомунікаціями, забезпечують резервність та стійкість телекомунікаційних мереж.

Впровадження безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних мереж пов'язане з рядом проблем, однією з яких є завадостійкість. Ця проблема виникає через кілька факторів, включаючи електромагнітні завади, спотворення сигналу, конфлікти з іншими пристроями та зростання кількості користувачів. Забезпечення завадостійкості є важливим завданням в проектуванні та експлуатації безпроводових телекомунікаційних мереж, особливо в областях, де важлива надійність і безпека зв'язку, такі як військові застосування та критичні інфраструктури.

Формування складних сигнально-кодових конструкцій значно покращує завадостійкість безпроводових телекомунікаційних систем. Це досягається завдяки розподілу завад, виправленню помилок у передачі даних, забезпеченню конфіденційності, адаптацією до різних умов зв'язку.

Окреслене коло питань обґрунтовує подання дисертаційної роботи Лисечка В.П. до розгляду, оскільки вирішує актуальну наукову проблему зі створення сучасних методів і моделей підвищення рівня завадостійкості безпроводових інтелектуальних систем на базі ансамблів складних сигнально-кодових структур.

Розв'язання зазначеної проблеми реалізується в умовах з невідомими структурами і алгоритмами, що вимагають розробки збалансованих науково-технічних рішень з врахуванням цілісності структур та функціональності інтелектуальних телекомунікаційних систем із забезпеченням їх завадостійкості та ефективності.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертаційну роботу подану до розгляду можна характеризувати як достатньо обґрунтовану наукову базу, що має чіткий структурований вигляд. Усі наукові результати, які отримані автором В.П. Лисечком, підкріплені вітчизняними та закордонними дослідженнями у галузі підвищення ефективності безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем.

В дисертаційній роботі для досягнення мети вирішено наступні задачі: проаналізовано методи та розроблено математичні моделі для ведення спектрального моніторингу в безпроводових ІТС; проведено оцінку ефективності та дієвості існуючих методів управління доступом до інтелектуального середовища з метою їх подальшого вдосконалення і для досягнення оптимальної працездатності та оптимізації використання ресурсів; розроблено модель адаптивного характеру та метод множинного розпізнавання мобільних користувачів з використанням комплексного підходу та інтеграції різноманітних аспектів; розроблено адаптивні алгоритми керування інтелектуальним середовищем; створено моделі і розроблено програмні рішення, а також вдосконалено методи синтезу складних сигнальних ансамблів з урахуванням послідовностей, які мають покращені взаємно кореляційні властивості як у часовому, так і у частотному діапазонах; проведено дослідження ансамблевих та кореляційних характеристик складних структур адаптивних сигналів для визначення їх ефективності та здатності до працездатності в змінних реальних умовах.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується обґрунтованим використанням методів математичного та статистичного аналізу, імітаційного моделювання і методів симуляції, а також розробки складних технічних систем. Достовірність отриманих наукових результатів в дисертації підтверджена через: чітку постановку

завдання дослідження, що відповідає реальним умовам; об'ємні експериментальні дані, отримані за допомогою комп'ютерного моделювання та порівняння їх з результатами реальних досліджень.

Практичне застосування результатів досліджень підкріплене актами впровадження, які додаються до дисертаційної роботи

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- отримав подальший розвиток метод удосконалення керування безпроводовим середовищем в інтелектуальних телекомунікаційних системах, шляхом розширення радіомережі та впровадження інтелектуального функціоналу у систему керування доступом регіональної мережі (WRAN) за допомогою нейронних мереж;

- отримав подальший розвиток метод множинного визначення користувачів мобільних пристроїв у безпроводових ІТС, який можна описати як науково-практичний підхід, що базується на координації та структуруванні оптимального руху групи частинок.

- розроблено метод вибору каналів у безпроводових ІТС для багатокористувацького доступу, який відрізняється від існуючих методів завдяки використанню технології нейронних мереж для оптимізації роботи вторинних користувачів та збільшення їх продуктивності за рахунок накопичення енергії;

- розроблено метод синтезу ансамблів складних сигнально-кодових структур, що базується на організованих перестановках часових складових сигналів, розширює можливості ансамблів складних сигналів шляхом розгляду всіх можливих комбінацій у часовій та частотній областях, а потім створення на їх базі сталих сигнальних структур;

- удосконалено метод створення ансамблів складних сигнально-кодових структур у безпроводових ІТС, призначений для збільшеного обсягу ансамблів. Це досягається шляхом створення вибірки елементів та оцінки середнього значення максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції після перемішування часових вибірок вихідних послідовностей;

- набув подальшого розвитку метод синтезу сигнально-кодових ансамблів з вдосконаленими властивостями взаємної кореляції, що базується на послідовностях, отриманих за допомогою смугової фільтрації та міксування, втілений за допомогою виділення частотних смуг зі спектра послідовностей та подальшого багатократного перенесення та міксування;

- розроблено метод розшифрування часово-частотних координат сигнальних співпадінь, який використовується для вдосконалення стеганографічної прихованості взаємодії між часовими та частотними перетвореннями в ансамблевих структурах сигнального кодування.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях. Основні наукові положення та здобутки дисертаційного

дослідження викладено в 33 наукових працях. У томи числі: в 2 наукових статтях у періодичних наукових які індексуються наукометричною базою Scopus; в 2 наукових статтях у періодичних наукових які індексуються наукометричною базою Web of Science; в 20 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до “Переліку наукових фахових видань України”, в 9 тезах доповідей та матеріалах конференцій.

Практичне значення результатів дослідження полягає у наступному:

1. Створено метод аналізу та вимірювання спектральних характеристик сигналів та оптимізації функціонування безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем на основі алгоритму моніторингу спектра, що базується на методі швидкого перетворення Фур'є.

2. Розроблено алгоритм оптимізації безпроводового доступу в регіональній мережі, який використовує нейронну мережу для покращення функціональності безпроводових ІТС, що призвело до збільшення пропускної здатності системи в 1,8 рази, при виконанні умови, що навчання нейронної мережі відбувається на відповідних даних за встановленими вимогам, що було підтверджено під час валідації.

3. Розроблено інтегровані програмні рішення для виявлення мобільних користувачів на основі організації рою частинок у безпроводових ІТС, що підвищило ефективність виявлення абонентів та розширення пропускної здатності системи в межах 10-40%, в залежності від доступу до локації.

4. Розроблено алгоритм вибору каналів для безпроводових ІТС, який оперує у фоновому режимі, і використовує інтегровану систему управління ресурсами та технологію енергонакопичення, що призводить до суттєвого збільшення продуктивності вторинних користувачів.

5. Створено програмні рішення для реалізації методу синтезу ансамблів сигнально-кодівих структур у безпроводових ІТС, що базуються на послідовностях зі слабкою взаємною кореляцією, які структуровано шляхом перестановок часових компонентів сигналів. Цей підхід сприяє підвищенню стійкості системи, зменшуючи рівень максимальних викидів бічних пелюсток взаємодіючих елементів сигналів на 6-14%.

6. Створено програмне забезпечення, яке застосовує метод перестановки частотних елементів сигналів. Цей метод включає повний перебір, відбір оптимальних перестановок, проведення тестів та валідацію. Результатом є значне збільшення обсягу ансамблів складних сигнально-кодівих структур у m разів, де m - це кількість можливих перестановок частотних елементів

7. Розроблено програмні рішення для методу створення ансамблів складних сигнально-кодівих структур з покращеними взаємними кореляційними властивостями. Ці рішення включають в себе смугову фільтрацію та міксування, що призвело до збільшення обсягу складних сигнальних структур на 18-28%, при збереженні достатнього рівня стійкості до завад у безпроводовій ІТС.

Наведені наукові результати з дисертаційної роботи застосовані та успішно впроваджені в діяльність наступних організацій.

1. Науково-дослідна робота Хмельницького національного університету «Розробка широкопasmової пеленгаційної системи для визначення місцезнаходження безпілотних летальних апаратів (БПЛА) військового та невійськового призначення» Номер державної реєстрації 0122U001211.

2. Науково-дослідна робота Національної академії Національної Гвардії України, шифр «Поляна 3» (ДР№ 0116U004048).

3. В службовій діяльності військової частині А7223.

До дисертаційної роботи додаються документи (в додатку), які свідчать про практичне застосування та перевірку науково-практичних результатів, отриманих у дослідженні. Усі інтеграції результатів дослідження підтверджуються відповідними актами про впровадження.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та відповідності встановленим вимогам. Дисертаційне дослідження автора є індивідуальним, оригінальним та вичерпним науковим дослідженням, в межах якого успішно розв'язане актуальне наукове завдання.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків і має 244 сторінки основного тексту, 85 рисунків та 15 таблиць, 38 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 214 найменування і займає 22 сторінки. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 350 сторінок.

У вступі чітко обґрунтовано актуальність і своєчасність проведеного дослідження, сформульовано мету, предмет і об'єкт дослідження, сформовано перелік задач, які необхідно розв'язати для досягнення поставленої мети, висвітлено наукові і практичні результати дослідження. Важливість і практична цінність дослідження виражається зв'язком роботи з існуючими науковими планами та програмами, підтверджено достовірність отриманих результатів та особистий авторський внесок. Подана інформація про публікації автора по темі дослідження, показана загальна структура роботи.

У першому розділі наведені важливі аспекти впровадження інтелектуальних безпроводових телекомунікаційних систем. Наведено основні характеристики стандарту IEEE 802.22 WRAN, що передбачає використання динамічної області доступу до спектру радіочастот, показано перспективні можливості розширення можливостей таких систем, зокрема збільшення кількості абонентів з дотриманням вимог завадостійкості каналів зв'язку. Проаналізовано існуючі методи моніторингу спектру у каналах із завмираннями та спотвореннями частоти, зокрема з використанням методу швидкого перетворення Фур'є. Запропоновано удосконалення алгоритму

методу використання FFT для аналізу спектру з використанням критерію Акайке.

У другому розділі на основі аналізу наукових джерел проведено дослідження принципів керування доступом до клієнтського середовища, принципи співіснування первинних і вторинних користувачів в системі, дослідження рівня ініціалізації, можливостей і проблем мережевих з'єднань, оцінку методів і моделей навчання та управління інтелектуальною системою. Проведено дослідження принципів керування доступом до середовища потенційного користувача, а також аналіз методів і моделей навчання та управління безпроводовими інтелектуальними системами. Було доведено, що найкращі характеристики в часі і швидкості навчання для вирішення відповідних завдань досягаються за допомогою ймовірностей та згорткових нейронних мереж.

У третьому розділі проведено аналіз методів керування безпроводовою інтелектуальною системою з використанням нейронної мережі. Проведено моделювання архітектури керування середовищем WRAN з застосуванням нейромережі, апробовано метод керування інтелектуальною системою на основі кіл Маркова, оцінено ефективність методів і моделей керування інтелектуальною системою з нейромережею. Запропоновано методи побудови ефективної архітектури управління середовищем WRAN, за рахунок застосування нейромережі. Вона має свою унікальну особливість, бо кожна базова станція включає нейромережу і взаємодіє з іншими WRAN відповідно до стандарту IEEE 802.22. Зовнішнє оточення мережі може складатися з інших WRANs, і вони можуть взаємодіяти, обмінюючись даними та координуючи розподіл ресурсів. Це забезпечує адаптивні зміни навколишнього середовища і покращує швидкодію. Результат пояснюється тим, що ця архітектура більш відповідає вимогам протоколу IEEE 802.22, порівняно з іншими наявними методами. Розроблено методичний підхід до керування середовищем з нейромережею з гібридною системою управління. Розроблено методику керування середовищем з нейромережею на основі окремого випадку радіальних базисних мереж - ймовірнісної нейромережі.

Четвертий розділ присвячено розробці моделей та методів множинного виявлення мобільних користувачів та вибору режиму передачі для вторинних користувачів в інтелектуальних телекомунікаційних мережах. Вирішено задачу розробки адаптивної моделі та методу множинного виявлення користувачів. Запропонований метод включає розроблений алгоритм з оптимізацією рою частинок, керований згортковою нейронною мережею, і це дозволяє робити більш точний аналіз характеристик спектру користувачів мобільних пристроїв. Також доведено, що завдяки застосуванню мікрочасткової архітектури і згорткових нейронних шарів, ефективність виявлення частинок та їх глобальна локація визначаються значно точніше. Вибір режиму передачі вторинних користувачів здійснюється з використанням технології накопичення енергії, яка перевершує існуючі аналоги за критерієм енергозбереження. Розроблена модель оцінки якості

обслуговування керування доступом користувачів мобільних пристроїв до середовища показує ефективність запропонованих рішень.

У п'ятому розділі вирішується завдання аналізу потенційних можливостей зі збільшення об'єму ансамблів складних кодових конструкцій сигналів для безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем. Для цього досліджено вплив взаємокореляційних властивостей сигналів на величину завад множинного доступу та перспективи збільшення об'ємів ансамблів таких сигналів. В результаті доведено, що найкращі властивості взаємної кореляції і повна відповідність умовам мінімальної подібності спостерігається у складних кодових конструкцій сигналів отриманих з перестановкою частотних інтервалів послідовностей у часі. Розроблено алгоритм та модель формування ансамблів конструкцій складних кодових сигналів з перестановкою послідовностей в різні інтервали часу.

У шостому розділі на основі проведених досліджень розроблено та удосконалено методи синтезу ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних мереж шляхом міксування часових виборок вихідних послідовностей на основі розрахунку середнього значення максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції та методу на основі послідовностей з покращеними властивостями взаємної кореляції, отриманими шляхом смугової фільтрації з міксуванням, реалізований на основі виділення зі спектра послідовностей частотних смуг з наступним багатократним перенесенням і подальшим багатократним міксуванням. Для запропонованих методів розроблені алгоритми та моделі реалізації, наведено програмний код процедур в Matlab. Проведено дослідження властивостей кореляції та ансамблевих властивостей отриманих складних кодових конструкцій адаптивних сигналів, що підтверджує практичну цінність проведеного дослідження.

Висновки адекватно відображають стан і рівень виконання поставлених завдань, об'єктивно відображають новизну і практичну цінність отриманих результатів, є логічно зв'язаними і обґрунтованими.

Результати моделювання та симуляції підтверджуються відповідним якісно оформленим графічним та ілюстративним матеріалом. До розроблених алгоритмів подані відповідні схеми для полегшення сприйняття та реалізації.

Подача матеріалу, наукових концепцій і висновків відзначається доступним і зрозумілим стилем.

Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації. Автореферат достатньою мірою висвітлює основні наукові і практичні положення дисертаційної роботи.

Дисертація є завершеною науковою працею.

Зауваження та недоліки щодо змісту дисертації.

1. Параграф 1.2. роботи присвячений аналізу методів моніторингу спектру у каналах із завмираннями та спотвореннями частоти, оскільки

використання частотного ресурсу є одним з ключових оцінок ефективності системи зв'язку. Проте запропонований алгоритм моніторингу спектру на основі швидкого перетворення Фур'є (рис.1.2. стор.66) розглянуто лише для каналів з адитивним білим шумом. Не вказано, чи досліджувалася окремо поведінка запропонованих методів для моделі каналу з відмовами, що характеризується наявністю пошкодження сигналу через вплив значних факторів, такими як сильні електромагнітні або фізичні перешкоди.

2. Передбачається, що недоліком методу конкурентного вибору каналів у безпроводових ІТС з одночасним доступом первинних та вторинних користувачів, який базується на технології енергонакопичення може бути обмеження щодо масштабованості через потенційно низьку ефективність роботи великих мереж з багатьма користувачами. Варто було б провести дослідження з визначення можливих граничних значень розмірів мережі для яких корисний ефект застосування методу перевищує необхідні затрати часу і обчислювального ресурсу.

3. З метою зменшення міжканальних завад в прямому каналі зв'язку, пропонується використовувати ансамблі ортогональних кодових конструкцій сигналів, проте в реальності відбуваються часові зсуви сигналів внаслідок впливу перешкод, крім того, спостерігається збільшення часу обробки сигналів внаслідок ускладнення алгоритмів керування. Таким чином, скалярний добуток між будь-якою парою різних елементів сигнального ансамблю буде вже не рівний нулю і ортогональність сигналів втрачається. В роботі відсутній аналіз та шляхи рішення цієї проблеми.

4. Для запропонованого методу множинного виявлення мобільних користувачів, який базується на поведінці рою частинок, які рухаються в просторі, доцільно було б виділити особливості і проблеми організації зв'язку з рухомими об'єктами, що рухаються з великою швидкістю.

5. В роботі присутній загальний аналіз можливостей і технологій використання методів віртуалізації і масштабування в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах за допомогою хмарних технологій пп.4.1.2. В такому випадку варто було б конкретизувати особливості реалізації отриманих в роботі алгоритмів з використанням хмарної інфраструктури, а також окреслити вимоги до апаратного забезпечення.

6. В роботі для покращення логіки викладу і розуміння варто було б опис методу і алгоритму вибору параметрів синтезованих сигнально-кодових конструкцій (пункт 6.5.) розмістити перед пунктами: 6.3. «Апробація методів аналізу властивостей ансамблів складних кодових конструкцій сигналів» та 6.4. «Оцінювання обсягу ансамблів сигналів на базі послідовностей з покращеними властивостями кореляції і фільтруванням смуги», де наводиться оцінка цих параметрів.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку отриманих автором наукових результатів.

Висновок

Дисертаційна робота Лисечка Володимира Петровича на тему «Методи та моделі підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем на базі складних сигнально-кодових конструкцій» включає самостійні, авторські висновки і результати, які мають наукове підґрунтя і були успішно адаптовані для практичного застосування в галузі телекомунікацій.

Отримані результати дослідження, які представив автор, вирішують актуальну науково-практичну задачу підвищення завадостійкості інтелектуальної радіомережі. Це досягається шляхом створення ансамблів складних сигнально-кодових структур, які відповідають визначеним характеристикам та критеріям, і отримані шляхом моделювання, симуляції, тестування та практичної реалізації.

Подальша адаптація та оптимізація запропонованих методів і моделей здійснюється в реальних умовах функціонування безпроводової ІТС.

Дисертаційне дослідження є закінченою науковою роботою на актуальну тему, що містить нові, науково підтверджені теоретичні та практичні висновки і рекомендації, що відзначаються особистим внеском автора в галузь науки.

Дисертаційна робота Лисечка В.П. на тему «Методи та моделі підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем на базі складних сигнально-кодових конструкцій» відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі, вимогам пункту 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, зі змінами, внесеними згідно Постанови КМ № 656 від 19.08.2015р., які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Лисечко Володимир Петрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за науковою спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

професор кафедри інженерії програмного забезпечення
в енергетиці Навчально-наукового інституту атомної
та теплової енергетики

Національного технічного університету України

Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського

доктор технічних наук, доцент

Наталія ФЕДОРОВА

«21» листопада, 2023 року
Підпис Федорової Н.В. засвідчую:

Вгешній секретар

М.П. КМІ ім. Ігоря Сікорського



Валерія Халебко