

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЛИСЕЧКО Володимир Петрович



УДК 621.396.

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ СКЛАДНИХ
СИГНАЛЬНО-КОДОВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі»

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ-2023

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана на кафедрі засобів захисту інформації
Національного авіаційного університету
Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Віноградов Микола Анатолійович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри комп'ютерних
інформаційних технологій

доктор технічних наук, доцент
Федорова Наталія Володимирівна,
Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського,
професор кафедри інженерії програмного забезпечення в
енергетиці Навчально-наукового інституту атомної та теплової
енергетики

доктор технічних наук, професор
Сайко Володимир Григорович,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
професор кафедри прикладних інформаційних систем

Захист відбудеться «12» грудня 2023 року о 13⁰⁰ годині, ауд. 111/11 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 у Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий «10» листопада 2023 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19
доктор технічних наук, професор

Ольга ЩЕРБИНА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. З метою забезпечення національної обороноздатності, незалежності та державного суверенітету, першочерговим завданням України на сьогодні є підвищення рівня свого воєнно-економічного, військово-технічного і загального промислового потенціалу в обмежені терміни і з високим рівнем ефективності. Тому, найважливішим напрямком діяльності є розвиток і оновлення інфраструктури країни за допомогою швидкісних та надійних систем зв'язку, у тому числі, за рахунок інтелектуальних телекомунікаційних систем.

Безпроводові інтелектуальні системи радіозв'язку потребують оптимізації внутрішніх процесів, адаптації під нові умови ефективного функціонування, що безпосередньо залежать від потенціальних можливостей з підвищення їх пропускну здатності та зменшення рівня завад при багатокористувацькому доступі до них.

Інтелектуальні телекомунікаційні системи (ІТС) функціонують завдяки кільком складовим - це підсистема моніторингу радіочастотного спектру, яка відстежує радіохвилі та забезпечує ефективне використання доступних частот; підсистема обробки інформації, отриманої під час моніторингу, яка аналізує інформацію та робить необхідні висновки для оптимізації мережі; підсистема керування інтелектуальною телекомунікаційною мережею, яка відповідає за управління та координацію всіх компонентів системи; апаратна складова, яка забезпечує доступ абонентів інтелектуальної телекомунікаційної системи до ресурсів мережі.

Кожен з компонентів ІТС інтегрований в єдину систему за допомогою інтелектуальних алгоритмів, які базуються на сучасних нейронних мережах. Для забезпечення оптимальної ефективності цієї системи, важливо забезпечити високу швидкість прийняття рішень для управління цими компонентами і оптимізувати пропускну здатність системи. Ця інтеграція інтелектуальних алгоритмів та нейронних мереж у ІТС дозволяє системі навчатися та адаптуватися до змінних умов і вимог, що призводить до покращення її продуктивності та ефективності. Цей підхід дозволяє системі швидко та ефективно приймати рішення щодо управління та забезпечувати високу ефективність та стійкість до завад.

Завдання, пов'язані з формуванням наукових моделей і методів систем управління на базі нейронних мереж, моніторингу радіочастотного спектру з комплексним підходом та розробкою ансамблів сигнально-кодових структур для інтелектуальних телекомунікаційних систем, які базуються на сигналах з покращеними властивостями взаємної кореляції, залишаються невирішеними в нашій країні в сучасних умовах. Це породжує нову наукову проблему, пов'язану з підвищенням стійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем до завад. Для розв'язання цієї проблеми необхідно створювати та впроваджувати ансамблі складних сигнально-кодових структур з оптимізованими характеристиками та компонентами.

Оцінка надійності функціонування ІТС полягає в оцінці стійкості системи шляхом визначення рівня існуючих перешкод – завад множинного доступу (ЗМД) та швидкодії системи під час моніторингу спектру та розподілу доступного радіочастотного ресурсу. Впровадження комплексних рішень для моніторингу спектру в ІТС призводить до підвищення складності роботи системи керування. Тому, важливо одночасно враховувати як питання зниження рівня ЗМД, так і вимогу скорочення часу на прийняття рішень щодо розподілу частотного ресурсу.

Ці аспекти є важливими для забезпечення високої надійності та заданої пропускну здатності ІТС. Треба також зазначити, що вирішення кожної з цих задач тісно пов'язане між собою, що потребує нових підходів до вирішення завдань забезпечення високого рівня в цілому як пропускну здатності так і надійності ІТС. Складність вирішення поставлених завдань зростає через наявність різноманітних видів завад і перешкод, вплив яких порушує оптимальність балансу роботи інтелектуальної мережі.

У своїй дисертаційній роботі автор спирався на дослідження, проведені вітчизняними та іноземними вченими, які здійснили значний внесок у розвиток теорії побудови безпроводових інтелектуальних і когнітивних телекомунікаційних систем. А саме: G.Q. Maguire Jr., S. Naikin,

P. Setoodeh, H. Arslan, J. Mitola III. Суттєвим аспектом є те, що роботи зазначених авторів не вичерпно аналізують архітектуру когнітивних мереж та безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем. У той же час, управління середовищем в безпроводовій інтелектуальній телекомунікаційній системі потребує детального вивчення функцій управління часовими та частотними ресурсами. Згідно з протоколом IEEE 802.22 реалізація функції РНУ (Physical layer) проходить на фізичному рівні WRANs і є важливою складовою. Вказаний стандарт в своїх роботах опрацьовують: Vaschus R., Bogucka H., Mahmoud Q., Zou Y., Wang X., Shen W. Однак, значущим недоліком є те, що питання конфліктування двох або більше вторинних користувачів за один канал практично не було досліджено. І більше того, залишилися недослідженими взаємодія та ймовірність виникнення помилок між вторинними та первинними користувачами у режимі багатьох вторинних користувачів. Суттєвий вплив на розвиток теорії керування складними сигналами мали роботи М. Бернфельда, Р. Бенджаміна, Ч. Кука, Р. Хартлі. А над питаннями створення і обробки складних сигналів працювали: В. П. Іпатов, Л.Є. Варакін, Т.О. Оганов, І.М. Пишкін, В.М. Харченко, О.О. Харкевич. Вищезазначені автори акцентують увагу в своїх роботах на подолання ЗМД, що обов'язково є в наявності у загальній смузі частот при роботі радіосистем, а також на вплив ЗМД на якість зв'язку між користувачами. Проте, дослідження дієвих моделей і методів розробки ансамблів складних сигналів не було здійснено належним чином і залишається актуальною науковою і практичною проблемою.

Проведений аналіз наукових досліджень різноманітних авторів показує, що поза фокусом їх уваги залишилось вирішення завдань щодо підвищення ефективності функціонування ІТС: розробка систем керування середовищем, створення нових конструкцій сигналів і розробка алгоритмів їх реалізації, які б враховували всі особливості функціонування ІТС. Так формується нова наукова проблема розв'язання завдань комплексного характеру, які пов'язані зі створенням моделей та методів оптимізації ефективності роботи інтелектуальної мережі, що включає моніторинг спектру, управління ресурсами і використання продуктивних методів модуляції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота містить наукові результати безпосередньо пов'язані з положеннями наведеними нижче.

У межах робіт з науково-дослідною спрямованістю проведено дослідження за темою: «Розробка широкопasmової пеленгаційної системи для визначення місцезнаходження безпілотних летальних апаратів (БПЛА) військового та невійськового призначення» (ДР № 0122U001211, Хмельницький національний університет), запропоновано інтеграційну систему з комплексних методик, а саме: вдосконалено метод та розроблений алгоритм керування середовищем безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем за рахунок розширення мережі, який відрізняється від існуючих введенням функцій інтелектуальності до системи керування середовищем безпроводового доступу в регіональній мережі, реалізованого на основі керування нейронної мережі, що дозволяє підвищити ефективність функціонування інтелектуальних безпроводових телекомунікаційних систем та збільшити пропускну спроможність системи в 1,8 рази.

У рамках дослідницької роботи для Національної академії Національної Гвардії України, розроблено проект «Поляна 3» (ДР№ 0116U004048). Ключовим аспектом якого є побудова алгоритму методу моніторингу радіочастотного спектру за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Запропонована програмна реалізація цього методу стала інструментом для ефективного моніторингу радіочастотного спектру в інтелектуальних безпроводових телекомунікаційних мережах. Важливо відзначити, що ця програма дозволила значно прискорити процедуру моніторингу на 10-15%, що в свою чергу підвищило ефективність використання частотного спектру в мережах.

Мета роботи і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення рівня завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем. Для досягнення визначеної мети і вирішення актуальних проблем потребують послідовного розв'язання наукові задачі:

1. Дослідження комплексних методів та розробка моделей моніторингу спектру в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах з метою забезпечення ефективного управління радіочастотним спектром, виявлення завад та оптимізації використання доступних ресурсів.

2. Дослідження і моніторинг рівня ефективності керування доступом до безпроводового інтелектуального середовища та методів керування в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах з метою оптимізації використання ресурсів, покращення якості обслуговування, зменшення рівня завад.

3. Удосконалення методів та розробка моделей керування середовищем в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах з метою забезпечення їх оптимальної працездатності, ресурсоемності та ефективності, оптимального керування середовищем у різних умовах роботи.

4. Розробка адаптивної моделі та методу множинного виявлення користувачів мобільних пристроїв в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах на основі комплексного підходу та інтеграції багатьох аспектів, включаючи обробку сигналів, аналіз даних, моделювання та програмування.

5. Розробка алгоритмів керування середовищем в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах з метою оптимізації їх роботи, забезпечення ефективності та надійності, зниження рівня завад, спотворень, перехресних впливів.

6. Аналіз потенційних можливостей зі збільшення об'єму ансамблів складних кодових конструкцій сигналів для безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем, що можуть покращити їх продуктивність і завадостійкість, а також ефективніше використовувати обмежені радіочастотні ресурси.

7. Розробка моделей та удосконалення методів синтезу ансамблів складних конструкцій кодових сигналів на основі проведених досліджень, моделювання та симуляції, тестування, експериментів та валідації, а також налагодження та оптимізації запропонованих нових методів у реальних умовах використання безпроводової інтелектуальної телекомунікаційної системи.

8. Розробка інструментів і технологій для програмної реалізації методів синтезу ансамблів складних конструкцій кодових сигналів з врахуванням визначених послідовностей для синтезу ансамблів складних конструкцій кодових сигналів з покращеними властивостями взаємної кореляції в часовій та частотній областях

9. Дослідження властивостей кореляції та ансамблевих властивостей отриманих складних кодових конструкцій адаптивних сигналів з метою визначення ефективності інтелектуальних телекомунікаційних систем та їх здатність до роботи в змінних умовах.

Об'єктом дослідження є процес розробки складних ансамблів сигнально-кодових конструкцій для безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем.

Предметом дослідження є методи та моделі з підвищення рівня завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем.

Методи досліджень. Для оптимального вирішення частинних науково-практичних задач в дисертації застосовувались: теорія імовірностей для аналізу випадкових процесів в інтелектуальних мережах, теорія інформації для оцінки ступеню впливу завад множинного доступу каналів передачі даних та розробки складних сигнально-кодових конструкцій для передачі інформації з максимальною швидкістю та мінімальною помилковістю, теорія черг для аналізу і моделювання роботи інтелектуальних мереж з великою кількістю користувачів, теорія графів для аналізу топології мереж і зв'язків між їхніми складовими, що допомагає в оптимізації маршрутизації та виявленні недоліків в інтелектуальних мережах, методи оптимізації для знаходження оптимальних параметрів та ресурсів в мережах, теорія керування і автоматичного регулювання для розробки алгоритмів управління та регулювання в інтелектуальних телекомунікаційних системах.

Для підтвердження рівня достовірності отриманих в дисертаційному дослідженні теоретичних і практичних результатів застосовувалось імітаційне моделювання і методи

симуляції, у тому числі для прогнозування подальшої продуктивності і ефективності отриманих наукових результатів. Аналіз і оцінка результатів проведених наукових експериментів проводилась з використанням статистичних математичних методів: вибіркової статистики для розрахунку основних статистичних параметрів, метод інтервального оцінювання для побудови довірчих інтервалів для параметрів системи на основі вибірових даних, метод гіпотези та тестування гіпотез, регресійний аналіз для моделювання залежностей між різними змінними в інтелектуальних телекомунікаційних системах, кореляційний аналіз для визначення взаємозв'язку між різними змінними в інтелектуальних телекомунікаційних системах.

Наукова новизна одержаних результатів. У процесі теоретичних досліджень і моделювання у дисертаційній роботі одержані наступні нові наукові результати, а саме:

1. Отримав подальший розвиток метод керування середовищем безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем за рахунок розширення радіомережі, який відрізняється від існуючих аналогів введенням функцій інтелектуальності до системи керування середовищем безпроводового доступу в регіональній мережі (WRAN), керування якою реалізовано на основі нейромережі, що створює можливості підвищення рівня ефективності функціонування безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем.

2. Отримав подальший розвиток метод множинного виявлення користувачів мобільних пристроїв на основі структурування рою частинок в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах, який дозволяє, на відміну від існуючих, забезпечити підвищення рівня ефективності виявлення користувачів мобільних пристроїв безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем.

3. Вперше розроблено метод конкурентного вибору каналів безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем при множинному доступі первинних та вторинних користувачів мобільних пристроїв, який дозволяє, на відміну від аналогічних існуючих методів, підвищити рівень ефективності роботи вторинних користувачів за рахунок впровадження технології накопичення енергії під одночасним керуванням нейронної мережі.

4. Вперше розроблено метод синтезу ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій, заснований на впорядкованих перестановках часових елементів сигналів, який створює можливості зі збільшення об'ємів ансамблів складних сигналів за рахунок врахування всіх імовірних комбінацій у часовій та частотній областях з наступним формуванням фіксованих сигналів, що дає змогу підвищити рівень завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем і сприяє кращому використанню спектральних ресурсів.

5. Удосконалено метод синтезу ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних мереж, отриманих шляхом міксування часових виборок вихідних послідовностей, який відрізняється від відомих аналогічних методів формуванням вибірки елементів на основі розрахунку середнього значення максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції, застосування якого створює можливості з підвищення рівня завадостійкості інтелектуальної мережі при суттєвому збільшенні об'єму ансамбля сигналів.

6. Набув подальшого розвитку метод синтезу ансамблів сигнально-кодових конструкцій 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, що дозволяє збільшити об'єм ансамблів складних сигналів при заданій завадостійкості безпроводової інтелектуальної мережі.

7. Вперше розроблено метод визначення частотно-часових координат співпадінь сигнальних елементів, який дозволяє оптимізувати процедуру міксування часових та частотних перестановок в сигнально-кодових конструкціях і дає змогу підвищити завадостійкість, оптимізувати процедури покращення ефективності передачі даних, зменшити інтерференцію і вплив завад у безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах.

Практичне значення результатів наукових досліджень полягає в тому, що методи та моделі, розроблені у дисертаційній роботі, можуть служити основою для створення конкретних технологічних рішень та реалізації їх у безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах, а саме:

1) у розробленні алгоритму моніторингу спектра на основі швидкого перетворення Фур'є для аналізу і вимірювання спектральних характеристик сигналів і оптимізації роботи у безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах;

2) у розробленні алгоритму керування середовищем безпроводового доступу в регіональній мережі з застосуванням роботи нейронної мережі для покращення рівня ефективності функціонування безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем, збільшення пропускної спроможності системи в 1,8 рази, якщо навчання нейромережі відбувається на відповідних даних, з виконанням заданих вимог, а валідація доводить ефективність системи;

3) у розробці комплексних програмних рішень для множинного виявлення користувачів мобільних пристроїв на основі структурування рою частинок в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах, що підвищує рівень ефективності виявлення користувачів мобільних пристроїв і рівень пропускної спроможності системи безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем від 10 до 40 % в залежності від кількості локаційних позицій;

4) у розробці алгоритму конкурентного вибору каналів безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем при створенні системи множинного доступу для первинних та вторинних мобільних користувачів, що дозволяє підвищити рівень ефективності роботи вторинних користувачів за рахунок впровадження технології накопичення енергії;

5) у розробленні програмних рішень для реалізації методу синтезу ансамблів сигнально-кодових структур для безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем, які отримані шляхом використання методу впорядкованих перестановок часових елементів сигналів, що дозволяє збільшити об'єм синтезованих ансамблів складних сигнальних структур у порівнянні з аналогічними відомими сигналами з використанням послідовностей, які слабо взаємно корелюють, а також програмами, що дозволяють підвищити рівень завадостійкості інтелектуальної мережі за рахунок зменшення рівня максимальних викидів бічних пелюсток ФВК взаємодіючих елементів сигналів на 6-14 %;

6) у розробленні програмних рішень для реалізації методу перестановок частотних елементів сигналів шляхом застосування методу повного перебору, вибору оптимальної перестановки, тестування і валідації, що у підсумку дозволяє розширити потенціал для збільшення об'єму ансамблів складних сигнально-кодових структур в m раз, де m – значення кількості перестановок частотних елементів, і покращити характеристики безпроводової інтелектуальної системи;

7) у розробленні програмних рішень для реалізації методу синтезу ансамблів складних сигнально-кодових структур на основі застосування методу перебору послідовностей з покращеними властивостями взаємної кореляції, отриманими шляхом смугової фільтрації з міксуванням, що, у свою чергу, дозволяє збільшити об'єм ансамблів складних сигналів порівняно з аналогічними відомими ансамблями на 18-28 % при заданому рівні завадостійкості безпроводової інтелектуальної мережі.

Науково-практичні результати, отримані в дисертаційній роботі практично впроваджено та використано у наступних організаціях і структурах:

– військовою частиною А7223 (акт реалізації результатів наукових досліджень дисертаційної роботи №38/12/9 від 08.01.2023 р.);

– Хмельницький національний університет, НДР № 0122U001211 (акт впровадження результатів дисертаційного дослідження №1/1 від 18.01.2023р.);

– Національна академія Національної Гвардії України, НДР № 0116U004048, шифр «Поляна 3» (акт реалізації результатів наукових досліджень дисертаційної роботи №1/1 від 01.02.2023 р.);

– Інститут цивільної авіації Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес №1/1 від 15.02.2023 р.);

– Український державний університет залізничного транспорту (акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес №1/1 від 26.01.2023 р.).

Особистий внесок здобувача. Наукові позиції, положення та висновки дисертаційного дослідження розроблені самостійно. Автор особисто визначив загальну концепцію дисертації, сформулював об'єкт, мету та завдання дослідження, обрав та обґрунтував застосування методів дисертаційного дослідження. В дисертаційній роботі здійснено синтез та узагальнення результатів наукових досліджень, які автор виконав самостійно. Окрім того, автор опублікував ці результати у співавторстві з іншими науковцями в роботах [1-33].

У наукових публікаціях у співавторстві автор займав провідну роль у визначенні та обґрунтуванні напрямку наукових досліджень, відповідав за постановку завдань на різних етапах виконання робіт, аналізував, інтерпретував та апробував отримані наукові результати.

У дисертації не були використані ідеї та розробки, які належать співавторам і опубліковані в спільних наукових працях. Всі наукові результати, представлені у дисертації для захисту, були отримані особисто автором. Наукові статті, що були опубліковані у фахових виданнях, відповідають вимогам як за назвою, так і за змістом.

Всі отримані науково-практичні результати, які представлені у дисертаційній роботі, є власними самостійними розробками автора. У випадку робіт, які були виконані спільно з іншими авторами, особистий внесок автора полягає у підвищенні рівня завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем шляхом використання ансамблів складних сигнально-кодових структур, що вимагає розробки нових моделей та методів, спрямованих на забезпечення надійної передачі даних при наявності завад і перешкод, що сприяє забезпеченню високої ефективності інтелектуальної системи. В наукових роботах, які було опубліковано у співавторстві, автору належить такий особистий вклад: [1] впровадження концепції безпеки з використанням криптокодових конструкцій McEliece і Niederreiter, які відрізняються високою конфіденційністю, надійністю на основі кодів LDPC та ефективною інтеграцією з протоколами мережі IEEE 802.15.4 і IEEE 802.16, що все разом забезпечує добру сумісність розробленої концепції безпеки з різними пристроями в інтелектуальних телекомунікаційних мережах; [2] проведення порівняльного аналізу відомих методів і аспектів, оцінка взаємних кореляційних властивостей сигналів, вибір найбільш ефективних і безпечних сигнальних конструкцій для конкретних вимог і застосувань, створення ансамблів сигнально-кодових конструкцій; обґрунтування застосування різних методик порівняння кореляційних властивостей нелінійних послідовностей для різних характеристик і процесів в інтелектуальній мережі, у тому числі, для моделювання і симуляції; [3] участь у проекті з розробки програмної моделі для генерації складних сигнально-кодових ансамблів за допомогою обробки частотною фільтрацією псевдовипадкових послідовностей з обмеженою взаємодією в часовому домені у середовищі MATLAB; [4, 16, 32] участь у розробці методів і алгоритмів інтеграції методики кіл Маркова у навчання нейронних мереж; [5] розробка методики генерації псевдовипадкових послідовностей з низькою взаємодією у часовій області і з вбудуванням, передачею та демодуляцією відеоімпульсів в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах з кодовим розділенням каналів; [6, 7, 8] апробація методики послідовностей з мінімальним рівнем енергетичної взаємодії з обчислення функції взаємної кореляції (cross-correlation function) з знаходженням точок максимальних викидів пелюсток ФБК; [9] створення хмарної архітектури для радіомережі (RAN), яка є особливо ефективною в сучасних інтелектуальних радіомережах, де важлива гнучкість авторизації та аутентифікації, безпека, ефективне керування системою внутрішніх процесів; [10] розробка програмної реалізації математичної моделі безпроводової інтелектуальної телекомунікаційної системи, оцінка ефективності адаптивного методу декодування алгебраїчного згорткового коду у порівнянні з іншими підходами; [11, 29, 30] розробка алгоритму конкуренції за канали на основі конкуруючого набору, що допомагає

вторинним користувачам мобільних пристроїв ефективно обирати канали в умовах обмеженого ресурсу та конкуренції за доступ до них; [12, 33] апробація методики з метою структурування робочого каналу і побудова алгоритму імітаційного моделювання самоорганізаційної карти Кохонена в середовищі MATLAB з опрацюванням в нейромережі; [13] створення математичних алгоритмів та методів обробки сигналів для досягнення цілей узгодженої фільтрації: підсилення або приглушення конкретних компонентів сигналу в часовій області; [14] оцінка частотної характеристики смуг спектру псевдовипадкових послідовностей з обмеженою енергетичною взаємодією; [15] вдосконалення процедури визначення присутності цільового сигналу за допомогою методу спектрального моніторингу на основі цифрової узгодженої фільтрації шляхом оптимізації статистичної оцінки з метою покращення процесу визначення наявності сигналу; [17] дослідження ефективності застосування теоретичного інформаційного критерію і вагових коефіцієнтів Акайке, для автоматичного визначення частотних піддіапазонів каналу для передачі даних в радіомережі, з урахуванням використання ресурсів та мінімізації втрат сигналу; [18] аналіз і моніторинг спектральних характеристик сигналів у реальному часі у безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах на основі швидкого перетворення Фур'є; [19] аналіз процесів функціонування в умовах перешкод і завад висхідного каналу технології LTE (Long-Term Evolution) і дослідження його характеристики; [20] участь в розробці методу нарощування обсягу складних ансамблів послідовностей, що дозволяє створювати ансамблі відеоімпульсів з низьким рівнем взаємної кореляції, з забезпеченням більшої безпеки і меншої сприйнятливості до інтерференції в безпроводових системах передачі відеоданих; [21] розробка алгоритму створення послідовності сигналів з малою енергетичною взаємодією в умовах обмежених ресурсів та низької інтерференції між сигналами в системах інтелектуального радіо; [22, 23] дослідження впливу на рівень завадостійкості MIMO (Multiple Input, Multiple Output) систем кількості використаних антенних систем, що є важливим аспектом в розробці та оптимізації безпроводових комунікаційних систем; [24] участь у розробці спеціального підходу для ефективного виявлення і компенсації аномалій в каналах із завмираннями і частотними зсувами, запровадження алгоритму низької складності для спектрального моніторингу; [25] дослідження характеристик ансамблів складних кодових конструкцій сигналів, створених шляхом перестановок ранжованих інтервалів часу; [26] участь у програмних рішеннях щодо програмній реалізації методичного підходу з створення ансамблів складних сигнально-кодових структур, які утворюються через переміщення часових інтервалів послідовностей з використанням центрованого ряду як основи; [27] моделювання з аналізом взаємних кореляційних характеристик сигналів, що ґрунтуються на послідовностях з покращеною кореляційною структурою; [28] участь у наукових дослідженнях кореляційного взаємозв'язку між сигнальними ансамблями складних – кодових структур, які було створені за допомогою перестановок частотних компонентів псевдовипадкових послідовностей; [31] вдосконалення методу множинного виявлення з використанням інтеграції методу рою частинок і архітектури згорткової нейронної мережі.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації, які одержані в ході роботи, апробовані та оприлюднені в ході: 33-я Міжнародна науково-практична конференція (Харків, 30 жовтня 2020 р.); X Міжнародна науково-практична конференція (Запоріжжя, 07 – 09 жовтня 2020 р.); Всеукраїнська науково-практична конференція (Львів, 20 листопада 2020 р.); VI Всеукраїнська науково-практична конференція (Полтава, 06 листопада 2020 р.); Науково-практична конференція «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку» (Харків, 18-19 березня 2015 р.); VI міжнародна науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Харків, 2016), 29-та міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Черноморськ, 2016), LXXX Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків 2018), науково-практична

конференція «Службово-бойова діяльність Національної гвардії України: сучасний стан, проблеми та перспективи» (Харків, 2018).

Крім того, основні положення і результати дисертації, практичні висновки і рекомендації також апробовано на міжкафедральному семінарі Факультету кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії Національного авіаційного університету.

Публікації. Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано в 33 наукових працях. У томи числі: в 2 наукових статтях у періодичних наукових виданнях, які індексуються наукометричною базою Scopus та 2 наукових статтях у періодичних наукових виданнях, які індексуються наукометричною базою Web Of Science; в 20 наукових статтях у періодичних виданнях України включених до «Переліку наукових фахових видань України», 9 тезах доповідей та матеріалах конференцій.

Структура дисертації та її обсяг. Структура дисертації та її обсяг. 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальний огляд роботи і її характеристику, визначено наукову проблему, яку було досліджено, детально обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено основну мету, наукові і практичні завдання дослідження, вказано зв'язок між роботою та існуючими науковими планами та програмами, обґрунтовано наукову оригінальність та практичну важливість отриманих результатів, відзначено особистий авторський внесок, описано процес практичної апробації та можливості впровадження, наведено інформацію про публікації і структуру роботи.

У першому розділі на основі опрацювання науково-практичних робіт з обраної тематики з метою виявлення підходів з підвищення рівня завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем, проведено аналіз принципів функціонування безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем, визначено сильні сторони інтелектуальної мережі та можливі загрози і проблеми, досліджено принципи моніторингу спектру, проаналізовано сучасні методи: сканування і моніторингу з застосуванням методики швидкого перетворення Фур'є, метод моніторингу у каналах з замиранням і спотворенням частоти, метод радіомоніторингу з використанням інформаційного критерія Акайке.

Проведено дослідження переваг протоколу IEEE 802.22 WRAN, який в сучасних умовах ускладненого пошуку нових сервісів відкриває нові можливості для ефективного і оптимального використання радіочастотного спектру. Результатом проведеного аналізу стало виявлення, що потужною перевагою протоколу IEEE 802.22 є безперечно ефективний підхід завдяки використанню великого діапазону радіочастоти, з одночасною можливістю застосування його в будь-якій службі інтелектуального радіозв'язку, при умові і в ситуації термінової необхідності збільшення кількості користувачів, які потребують одночасного обслуговування. За стандартом IEEE 802.22 проведено аналіз чутливості приймача для трьох типів ліцензованих сигналів (табл. 1). За результатами доведено, що деякі ліцензовані сигнали (цифрове телебачення), необхідно виявляти при низькому значенні в системі співвідношення сигнал-шум (SNR). І ця проблема є основною при моніторингу спектру в безпроводових ІТС, тому для її розв'язання запропоновано алгоритм практичної реалізації (рис. 1).

Таблиця 1

Вимоги, які пред'являються для моніторингу спектра

	Аналогове ТБ	Цифрове телебачення	Стільникові телефони
Чутливість, DBM	-94	-116	-107

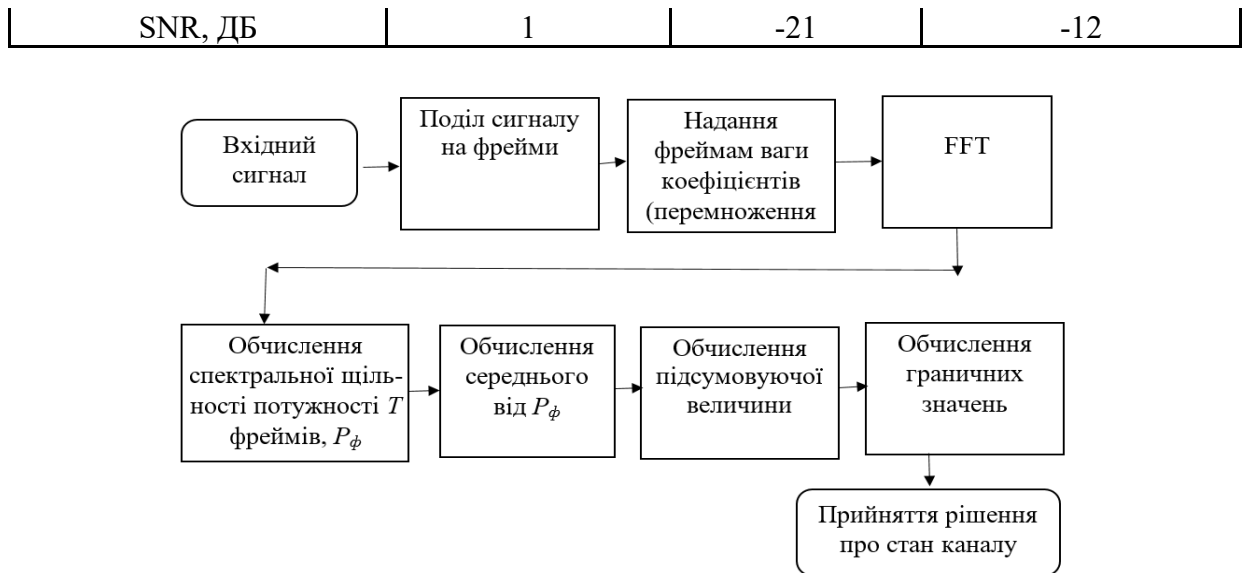


Рис. 1. Адаптивний алгоритм реалізації методики моніторингу спектру

Для перевірки запропонованого алгоритму в розділі було використано комп'ютерне моделювання на каналі з адитивним білим шумом (AWGN) зі значеннями співвідношення «сигнал-шум» (SNR) (табл. 1), та наступними вихідними даними: кількість первинних користувачів - 20, ймовірність хибного виявлення ліцензованих сигналів (PFA) = 0,001, розмірність широкопasmового фільтра (ШСФ) $N = 256$, кількість фреймів $T = 200$ (рис. 1 та 2, горизонтальна лінія – граничні значення).

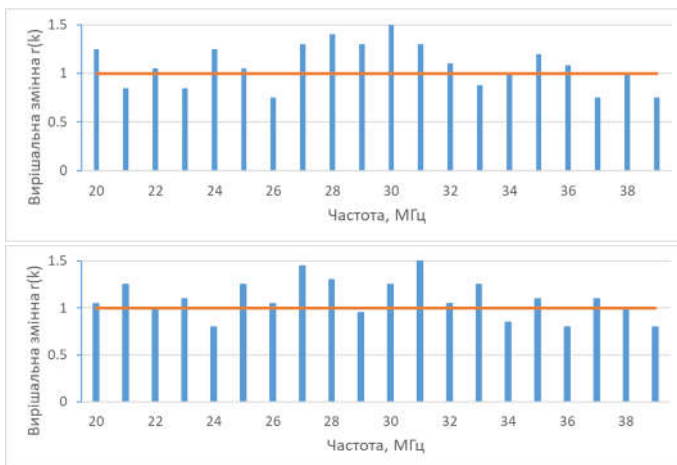


Рис. 2. Визначення ліцензованих сигналів в каналі з AWGN при SNR = -20 дБ

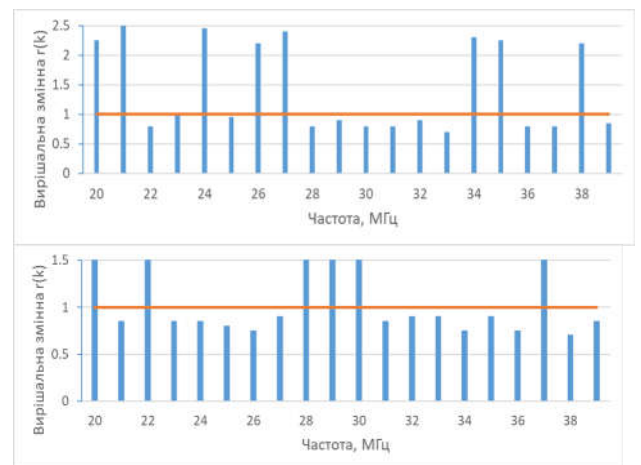


Рис. 3. Визначення ліцензованих сигналів в каналі з AWGN каналу з SNR = -1 дБ

За результатами моделювання обґрунтовано, що при розробці системи складних сигналів необхідно враховувати обмеження: кількості відкликів $(N) \cdot T$, оскільки це впливає на затримку вихідного рішення і роздільної здатності за частотою $(f)/N$. А для вибору значень N , T та α (порогу) потрібно знати роздільну здатність за частотою і значення «сигнал-шум» у робочих умовах, а також умови досягнення мінімального значення $P(D)$ і максимального значення PFA (ймовірність помилкового виявлення). Поріг α визначається як ймовірність PFA.

Під час дослідження методу спектрального моніторингу з застосуванням методу швидкого перетворення Фур'є у режимі реального часу з врахуванням низького рівня співвідношення «сигнал-шум» доведено, що величина, на основі якої приймається рішення щодо зайнятості каналу, є нечутливою до рівня шуму. Запропоновано адаптивний алгоритм моніторингу спектру з орієнтацією на частотну область, що значно спрощує його реалізацію.

Для побудови спрощеного алгоритму моніторингу спектру був застосований інформаційний критерій Акайке, який дозволяє виявити вільну смугу частот у спектральному діапазоні, враховуючи моделювання шуму за допомогою розподілу Гауса.

$$W_j = \frac{e^{\frac{1}{2}\Phi_j}}{\sum_{i=1}^N e^{\frac{1}{2}\Phi_j}} \quad (1)$$

де Φ_j - це різниця між різними інформаційними критеріями Акайке: $\Phi_j = AIC_j - \min_j AIC_i$. Тут $\min_j AIC_i$ - означає мінімальне значення критерію Акайке.

Розроблено алгоритм моніторингу спектру за допомогою інформаційного критерію Акайке.

1. Оцінка параметра розподілу. Обирається «ширина вікна» в аналізованому спектрі радіочастот. Наприклад, для сигналів GSM вікно встановлюється у 200 кГц, що узгоджується з трафіком GSM.

2. Розділення спектру на смуги. Визначаються вільні піддіапазони до спектру. Позицію вільного піддіапазону визначає максимальна величина вагового коефіцієнту.

3. Розрахунок інформаційного критерію і вагових коефіцієнтів Акайке. Обчислюється значення інформаційного критерію і потім вагового коефіцієнту Акайке за допомогою (1). Після того, як «вікно» переміщується у підрахунку до кінця діапазону.

4. Порівняння порогів. Встановлюються порогові значення вагових коефіцієнтів. Визначається наявність сигналу первинного користувача. Проводиться порівняння вагових коефіцієнтів з порогом, в результаті визначається вільний (чи зайнятий) піддіапазон, який у разі успішного результату займає вторинний користувач.

Проведення моніторингу спектру за різними методами дозволило виявити частотно - часовий ресурс (він обмежений і розв'язанню проблем підвищення завадостійкості присвячені 5 і 6 розділи), який для функціонування сучасної інтелектуальної телекомунікаційної системи потребує застосування нових методів і моделей керування доступом до середовища безпроводових систем.

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. За допомогою практичної апробації методів і моделей, доведено, що найкращі характеристики досягаються за допомогою ймовірностей та згорткових нейронних мереж.

Проаналізовано методи навчання і керування безпроводовими інтелектуальними телекомунікаційними системами, які спрямовані на ефективне використання радіочастотного спектру та покращення продуктивності та якості зв'язку. Для виявлення переваг і недоліків в застосуванні методів керування безпроводовими інтелектуальними телекомунікаційними системами проведемо дослідження найбільш значущих та дієвих з них, а саме: цикл Бойда, метод керування інтелектуальними системами на основі нечітко-нейронних підходів, метод керування інтелектуальними системами на основі MANET – мереж і технологій

Досліджено, що за ідеями Дж. Бойда, будь-яка гіпотетична послідовність подій може бути відображена у вигляді системи кібернетичного керування OODA (аббревіатура англійських слів): Спостереження, Орієнтація, Прийняття рішення, Дія (Observe, Orient, Decide, Act). Модель містить багатократне повторення петлі дій і включає послідовні взаємодіючі процеси, а саме: спостереження, орієнтація, прийняття рішення та виконання дій. На практиці, ця модель є описом розвитку ситуації, проходження через повторювані ітерації, причому на кожному етапі процесу є як взаємодія з зовнішнім середовищем, так і вплив на нього. Прийняття рішення (decision) є третім етапом у циклі OODA. Якщо до цього етапу в наявності існує тільки один реальний план, то варіативність прийняття рішення описується опціями – виконувати план чи ні. Але якщо є декілька альтернатив, то на даному етапі обирається найкраща для потенційної подальшої

реалізації. Звісно, вибір найкращого альтернативного плану може відбуватись за допомогою застосування критерію ефективності. Дія (action) - це завершальний етап циклу, який передбачає практичне втілення обраного курсу дій або плану. Етап циклу «Дія» може включати видачу наказу або інструкцій управління датчиками з метою поліпшення якості спостереження в наступному циклі Бойла.

Алгоритм реалізації методу керування системами, що базується на технології MANET (Mobile Ad-Hoc Networks), ґрунтується на аналізі та розумінні, що такі системи є мобільними та здійснюють обмін даними між собою або через ретрансляцію переданих пакетів.

Під терміном «вузол мережі» розуміється пристрій, такий як переносний комп'ютер, персональний секретар, сенсорний пристрій або робот, обладнаний приймачем та передавачем, який виконує функції маршрутизатора. Вузли MANET швидко адаптуються до частих змін топології і ефективно використовують обмежені мережеві ресурси (рис. 4).

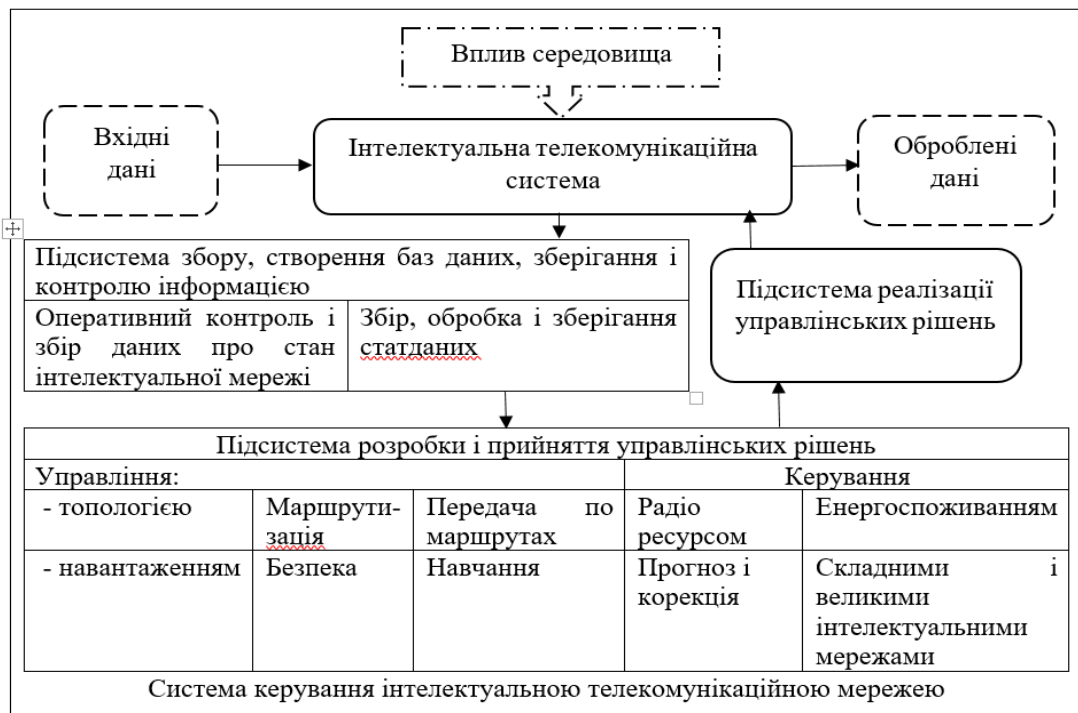


Рис.4. Схема функціональної моделі керування ІТС

Управління мережами на базі нечітких нейронних мереж отримало свою назву завдяки апроксимації залежності вхідного вектора X та вихідного сигналу u часі, що можна записати у вигляді виразу, запозиченого з нечіткої системи, зокрема системи Мамдані-Заді і Такагі-Сугено-Канга .

$$X=[x_1, x_2, \dots, x_n,]^T \quad (2)$$

Обґрунтовано, що цей підхід може служити наближеним методом апроксимації для будь-якої нелінійної функції багатьох змінних, з використанням суми функцій, названих нечіткими, для однієї змінної, що допоможе при побудові ефективної системи керування інтелектуальним радіо. Логічна структура алгоритму на базі нечітких нейронних мереж складається з наступних етапів.

Перший рівень. Цей рівень складається з $N \cdot M$ вузлів, кожен з яких реалізує обчислення функції Гауса. З погляду нечітких систем, цей рівень представляє фазу вхідних змінних. Цей рівень також називають параметричним, оскільки параметри цього рівня підлягають налаштуванню в процесі управління нейронною мережею.

Другий рівень. На цьому рівні немає параметрів. З погляду нечітких систем, цей рівень відповідає за агрегацію лівих частин продукції.

Третій рівень. Цей рівень складається з генераторів (поліноміальних) функцій TSK $y_i(X)$ та їх вагових коефіцієнтів w_i . Цей рівень також є параметричним і піддається налаштуванню в процесі управління мережею. Важливим аспектом є адаптація коефіцієнтів p_{ij} , де $i=1,2,\dots, M$, $j=0,1,\dots, N$, в процесі керування мережею. Загальна кількість коефіцієнтів p_{ij} дорівнює $M*(N+1)$.

Четвертий рівень. На цьому рівні розташовані два нейрони-суматори. Перший розраховує зважену суму сигналів $y_i(X)$, а другий - суму ваг w_i , де $i=1,2,\dots, M$. Цей рівень є непараметричним.

П'ятий рівень. Останній рівень виконує нормалізацію ваг. Він також є непараметричним.

З опису мережі TSK видно, що вона складається з двох параметричних шарів (перший і третій), при цьому параметри першого шару вважаються нелінійними, оскільки вони відносяться до нелінійних функцій, однак з лінійними параметрами третього шару. Перший шар містить MN нелінійних параметрів функції Гауса, а третій містить M лінійних параметрів. Нечіткі нейронні мережі застосовуються для багатьох вихідних змінних. Керування ними може проводитися як з учителем, так і без нього. Гібридний алгоритм навчання нечітких мереж можна розглядати як варіант гібридного алгоритму керування радіальних мереж.

За результатами досліджень доведено, що система керування на основі нейронних мереж є ефективною моделлю і базується на сповіщенні мережі, що саме в принципі від неї очікується. Подаючи певні дані на вхід, мережа очікує певну реакція на виході – і це максимальний рівень відповіді. Якщо відповідь на виході не відповідає очікуванням користувача, користувач передає мережі бажані задані вхідні умови. Оскільки мережа зберігає інформацію про вхідні та вихідні дані, це істотно впливає на внутрішній стан мережі. Цей цикл повторюється до того часу, поки вся вхідна інформація не викликає бажану відповідь на виході. Такий процес отримав назву «навчанням з учителем» (рис. 5).

За допомогою проведених досліджень доведено необхідність побудови ефективної системи керування мережею з використанням нейромережі для забезпечення якісного інформаційного обміну.

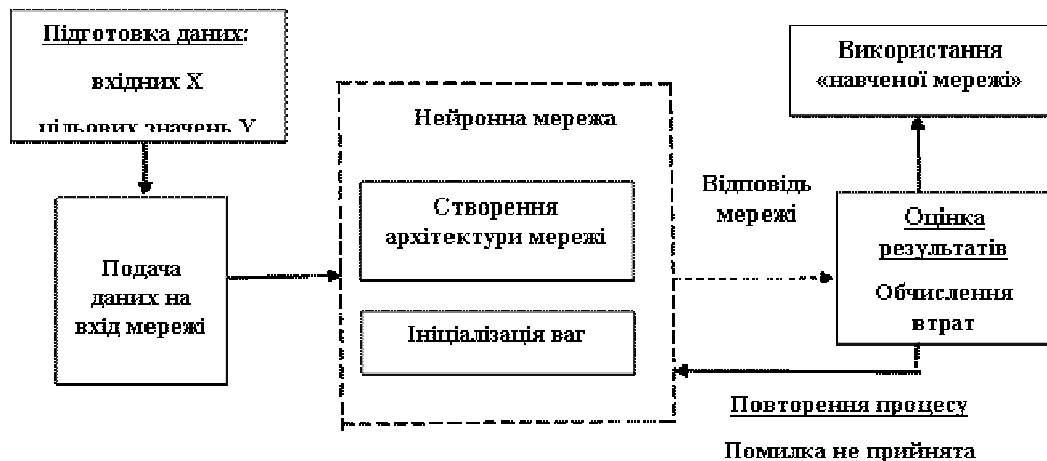


Рис. 5. Процес організації навчання нейронної мережі за допомогою «вчителя»

У третьому розділі проведено аналіз методів керування безпроводовою інтелектуальною системою з використанням нейронної мережі. Здійснено 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.

Моделювання архітектури керування інтелектуальною системою з застосуванням нейромережі в середовищі WRAN показує суттєві переваги за рахунок комплексного підходу до

системи керування. Кожна складова системи розглядається як базова станція, що працює за протоколом IEEE 802.22 з системою навчання нейромережі. Така станція успішно взаємодіє з іншими аналогічними у середовищі інтелектуального радіозв'язку. Крім комплексної взаємодії між ними формується ефективна система контролю і координації розподілу ресурсів і безперервного обміну даними. Окрема мережа може виступати координатором середовища і співпрацювати з численними іншими WRANs для забезпечення виконання заявлених характеристик безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем.

Використовуючи внутрішню структуру мережі, провайдер може реалізувати систему білінгу всередині WRAN або налаштувати послугу роумінгу з іншим WRAN, якщо це потрібно. Функції, пов'язані з користувальницькою автентифікацією, тарифікацією, безпекою, конфіденційністю та управлінням мобільністю надають можливість інтеграції цих параметрів в чітко визначену нейронну мережу. Використання нетипової додаткової нейронної мережі дозволяє прогнозувати навантаження та взаємний вплив різних параметрів, включаючи пропускну здатність як AP, так і всієї мережі в різні періоди часу.

За допомогою накопичення інформаційних даних, нейронна мережа реалізує балансування ресурсів у широко доступному мережевому середовищі (WRAN), спрямовуючи зусилля на забезпечення обслуговування максимальної кількості абонентів та одночасно мінімізуючи випадки непродуктивних перерв у обслуговуванні.

Архітектура управління середовищем WRAN з використанням нейромережі складається з наступних функціональних блоків: блок прийому-передачі (ПРМ-ПРД) – призначений для отримання і передачі інформації, блок визначення координат, спектрального спостереження і моніторингу, блок бази даних – зберігання та обробки інформаційних даних, вимірювання рівня сигналів, шина обміну даними, що об'єднує всі рівні керування середовищем системи інтелектуального радіо, блок системи управління, підсистеми керування, підсистеми прийняття рішень (рис. 6).

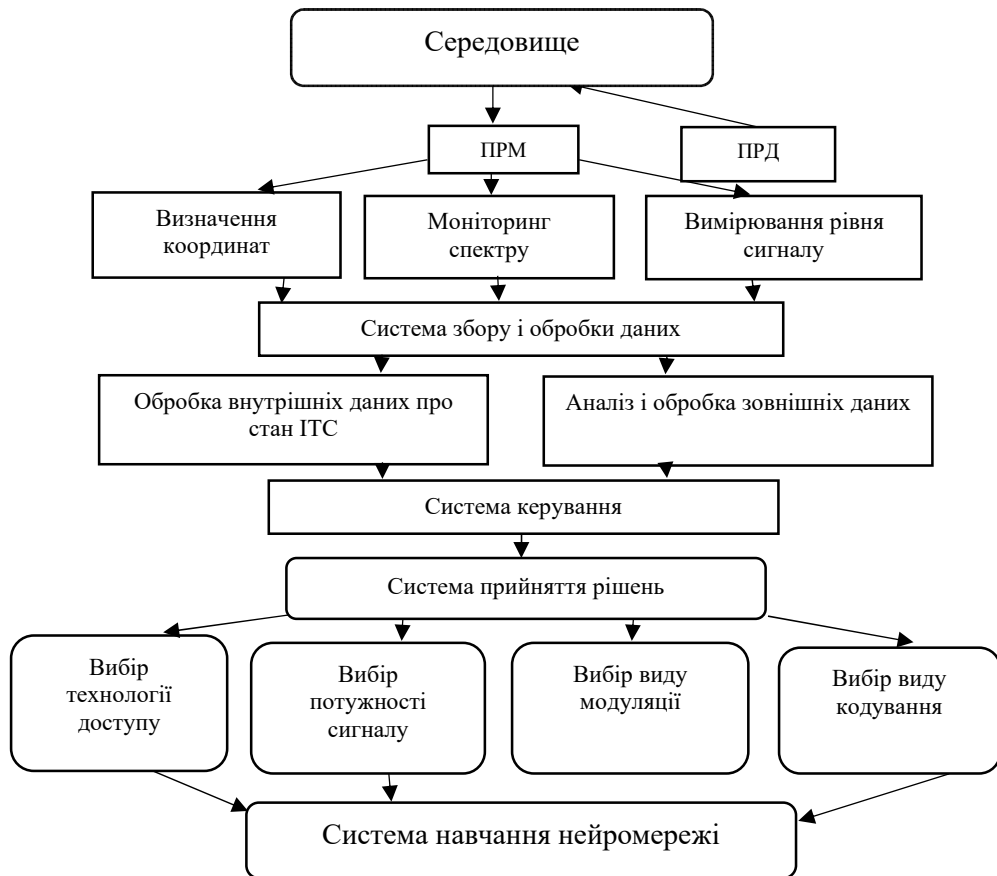


Рис. 6. Схема керування ІТС з застосуванням нейромережі

Доведено, що розробка технології інтелектуального радіо має потенціал для покращення використання радіоспектру та розв’язання проблеми обмеженості потенційно вільних частотних ресурсів. Активно досліджуються різні механізми регулювання безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем, такі як:

1. Пошук вільних частот у ліцензійному спектрі.
2. Автоматичний вибір типу модуляції в залежності від якості сигналу.
3. Визначення пропускнуої здатності та мультиплексування.

Проте розвиток цих механізмів створює нову проблему – інтелектуальну взаємодію між ними та накопичення інформації для створення бази даних їх взаємозв’язків. Вирішення цієї проблеми може значно покращити ефективність та продуктивність протоколу IEEE 802.22.

Обґрунтовано, що архітектура безпроводової ІТС базується на правилах та компонентах пізнавального рівня інформаційних служб (рис. 7).

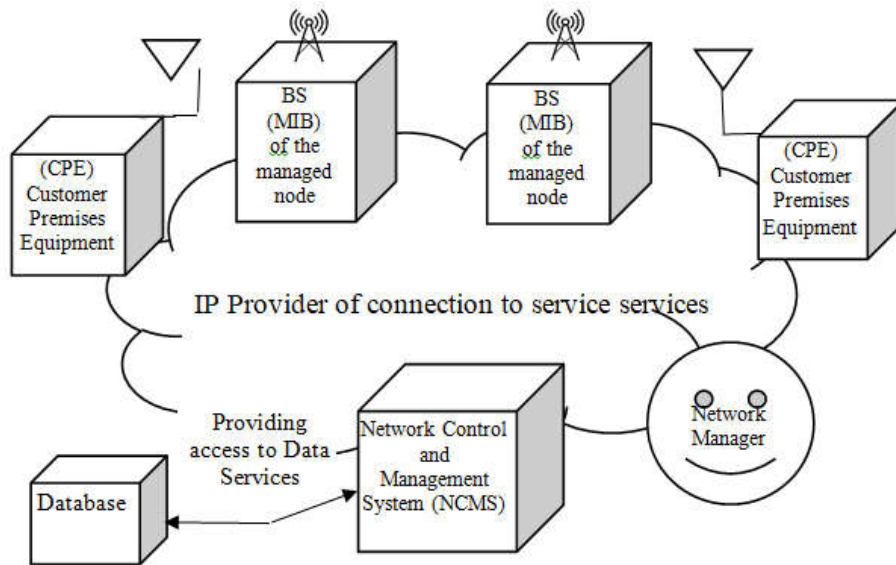


Рис. 7 Керування моделлю мережі інтелектуального радіо

Модель керування ІТС базується на ідеї багаторазового циклічного виконання послідовних взаємодіючих процесів: спостереження, орієнтації та розв’язання завдань. По суті, ця модель передбачає постійний розвиток ситуації за формою спіралі, на кожному етапі якої відбувається взаємодія з середовищем і безперервний контроль рівня безпеки системи (рис. 8).

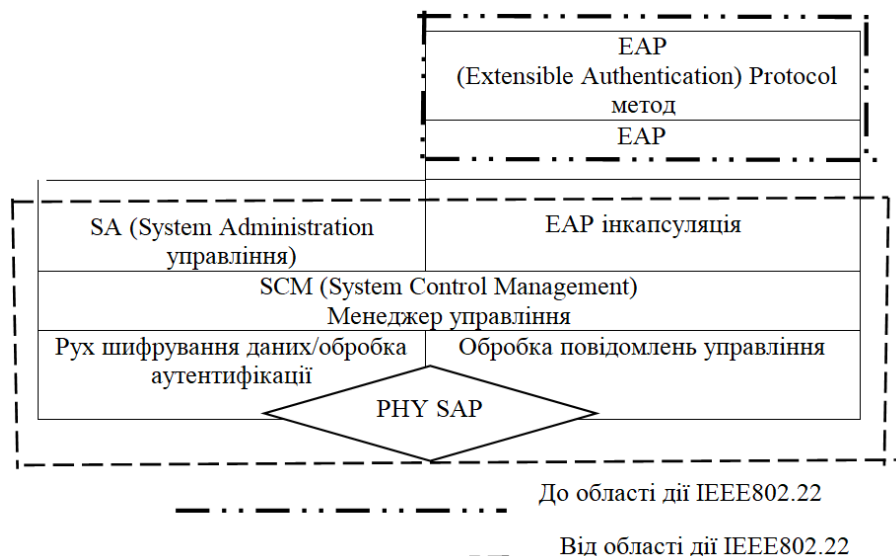


Рис. 8 Керування підрівнем безпеки в інтелектуальній мережі

В розділі запропоновано модель керуванням середовищем інтелектуального радіо з застосуванням окремого випадку радіальних базисних мереж – ймовірнісної нейромережі PNN (Probabilistic Neural Networks) і розроблено апробаційні методи реалізації цього підходу. Архітектура мережі PNN включає два шари. Перший шар базується на архітектурі радіальної базисної мережі, проте використовує конкуруючий шар як вихідний. Конкуруючий шар обчислює ймовірність приналежності вхідного вектора до певного класу. У результаті цього обчислення перший шар асоціює вхідний вектор з класом, ймовірність якого є найвищою.

Вхідний конкуруючий шар призначений тільки для приймання і розподілення ознак, що має вхідний вектор, сам вхідний конкуруючий шар не виконує обчислень. Чисельна кількість ознак вектора X визначається чисельною кількістю нейронів у вхідному шарі. Шар образів створює по одному нейрону для кожного зразка вхідного вектора з визначальною навчальною вибіркою.

Іншими словами, у випадку, коли навчальна вибірка містить N зразків, шар образів має N нейронів. Взаємопов'язана повна структура утворюється шляхом поєднання шару образів та вхідного шару. А набір пар «вхід-вихід» набувають вигляду нелінійної залежності:

$$(x_i, y_i) \cdot 1 = 1, M, \quad (3)$$

де $x_i = x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,p}$ – значення векторів входу; y_i – значення виходу векторів i -ої пари; M – обсяг вибірки.

Ймовірнісні нейромережі мають суттєву перевагу перед аналогами, бо працюють з ймовірнісними розподілами для моделювання невизначеності у вихідних даних. Для визначення ймовірності того, що вхідний зразок належить до k -го класу для нейромережі PNN використовується функція активації, яка розраховується за формулою:

$$a_k(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta_k^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu_k)^2}{2\delta_k^2}\right) \quad (4)$$

де $a_k(x)$ - активація k -го нейтрона для вхідного зразка X , що вказує на ймовірність того, що зразок належить до k -го класу; μ_k - середнє значення для k -го класу; δ_k - стандартне відхилення для k -го класу

Після обчислення всіх ймовірностей обирається клас з найвищою ймовірністю як прогнозований клас для зразка.

В результаті моделювання PNN як підсистеми прийняття рішень в керуванні середовищем інтелектуальної радіосистеми доведено, що ця модель найкраще відповідає реалізації поставлених в роботі наукових завдань і є підґрунтям для розробки методики множинного виявлення користувачів в інтелектуальній телекомунікаційній системі.

У четвертому розділі розроблено підхід до обробки даних, що передбачає виявлення та аналіз одночасної присутності багатьох об'єктів у великих масивах, а саме – архітектуру цього множинного виявлення і проведено порівняльний аналіз інших типових архітектур. Доведено, що ця архітектура суттєво відрізняється від існуючих наявних, оскільки кожна зона в даній архітектурі поділена на локації і на підзони. Таки розподіл є гнучким і дозволяє користувачам мобільних пристроїв вимірювати різні результати у одному каналі залежно від локації їх розміщення.

Досліджено архітектуру системи множинного виявлення користувачів мобільних пристроїв на базі оптимізації рою частинок, що полягає в створенні та вдосконаленні системи, яка здатна ефективно виявляти мобільних користувачів на основі радіочастотного аналізу і використовує алгоритм оптимізації балансу рою часток для досягнення цієї мети. В розділі більш детально розглянуто алгоритм апробації.

Приклад архітектури множинного виявлення представлений на рис. 9.

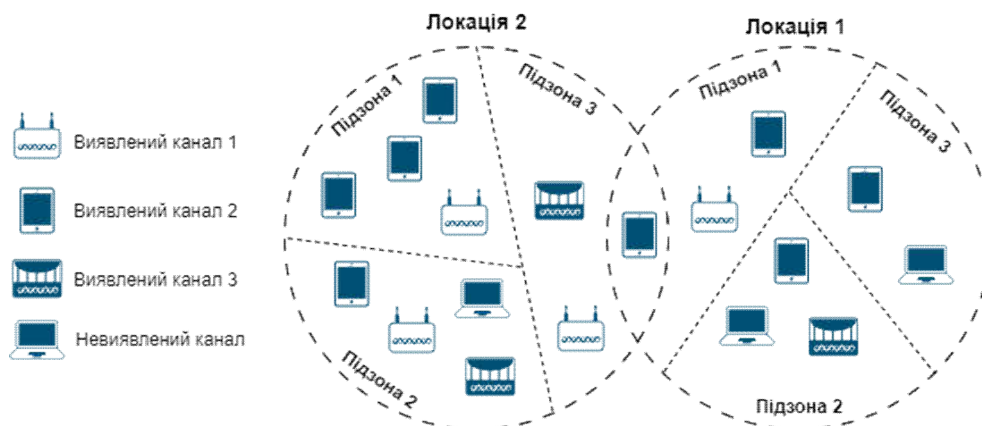


Рис. 9. Архітектура множинного виявлення користувачів мобільних пристроїв

Зроблено припущення, що M – позначає кількість місць, де проводиться аналіз радіочастотного спектру, більше того, за умовами N вказує на кількість доступних каналів для виявлення в точці j . У точці j спостерігаються різні види спотворень: тіньове і багатопроменеве завмирання, а також інші аномалії, які суттєво впливають на результати ідентифікації мобільних користувачів в різних частинах такої локації. Користувачі мобільних пристроїв можуть отримувати різні покази вимірювання в одному і тому ж місці. Внаслідок цього, місцезнаходження мобільних користувачів можна розділити на кілька підзон або підобластей.

Просторове розташування може бути визначене на основі результатів ідентифікації мобільних користувачів в різних локаціях. У зоні H локації j , $H(j)$ – це означає наявність принаймні одного доступного каналу передачі даних. Якщо $H(j) = 0$, то жодного каналу для передачі знайдено не було. У локації j допустимо, що $M(j)$ – це кількість підзон, в яких було знайдено канал хоча б одним мобільним користувачем.

Допускається, що $M(j) \leq m(j)$, де $m(j)$ – це загальна кількість підзон в локації j .

Припустимо, що чим вище значення $M(j)$, тим ефективнішим буде аналіз спектру. При $M(j) = m(j)$ аналіз спектру буде мати максимальний результат. Це доводить, що ефективність аналізу спектру зростає при невеликих значеннях $M(j)$, а при великих значеннях $M(j)$ навпаки, зменшується.

Визначено, що $E(j)$ – це ефективність аналізу каналу i локації j , тому функція ефективності спектру для задач множинного виявлення буде мати наступний вигляд:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{N(j)} \omega_j^i f(i, j), \quad (5)$$

де ω_j^i - це невід'ємне вагове значення, за допомогою якого враховуються різні рівні аналізу каналів в кожній локації.

Згідно припущення, функція ефективності аналізу спектру зростає, коли $\omega(i, j)$ в діапазоні від 0 до $m(j)$ зменшується і зменшується, коли $\omega(i, j)$ зростає.

Для отримання реалістичного аналізу спектру функція ефективності аналізу спектру повинна бути максимальною з врахуванням всіх локальних обмежень каналу i , локації j і порогу, який менший за H . Локальні обмеження представлені у наступному вигляді:

$$f(i, j) \geq H, i \in [1, N(j)], j \in [1, M]. \quad (6)$$

В розділі, крім того, запропоновано загальний алгоритм PSO-NN, який має суттєву відмінність від наявних своєю більш точною адаптацією до реальних умов (рис. 10).

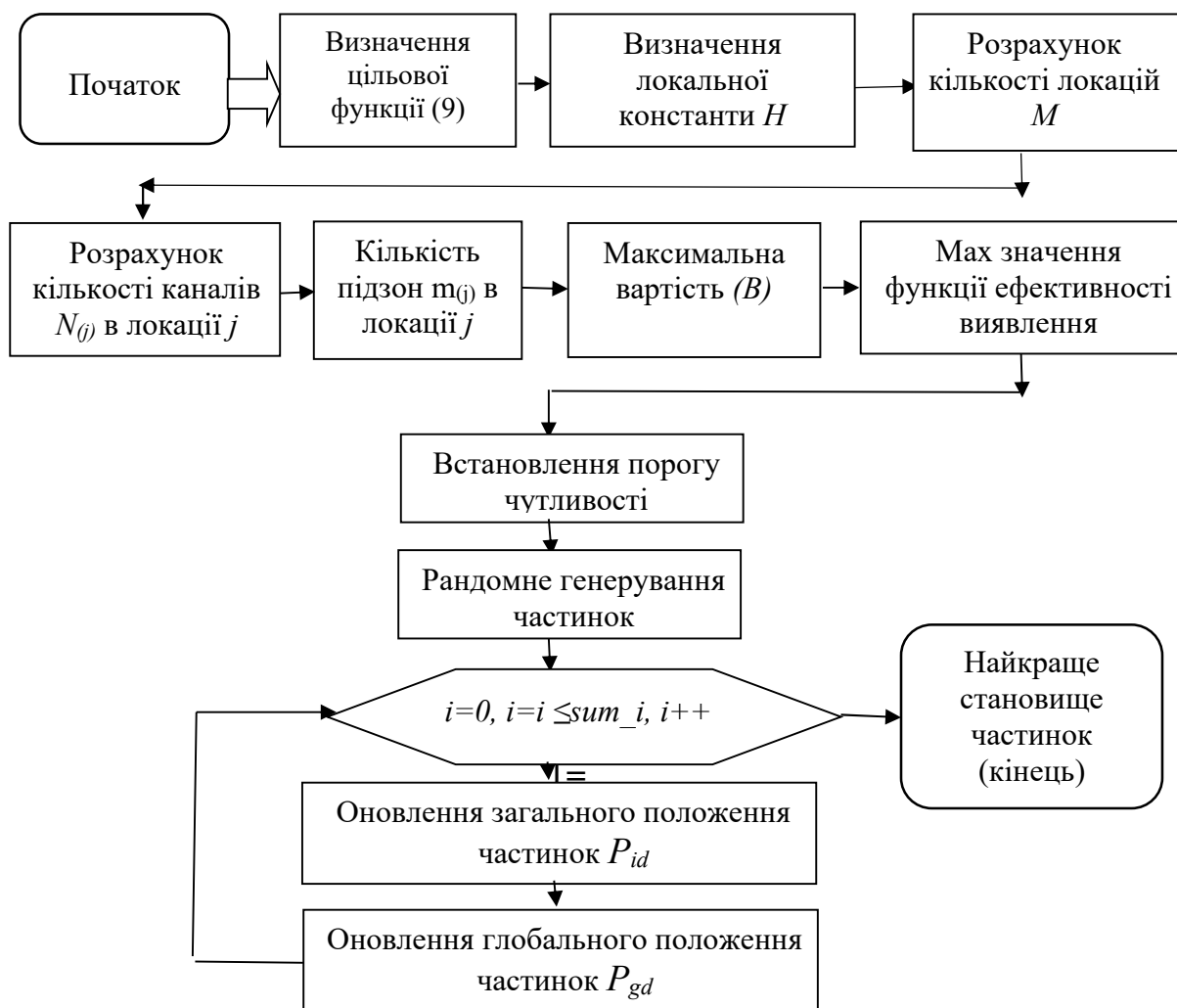


Рис. 10. Адаптивний алгоритм PSO-NN

Розроблений адаптивний алгоритм містить процедуру оптимізації рою частинок, керовану згортковою нейронною мережею, і це дозволяє робити більш точний аналіз характеристик спектру користувачів мобільних пристроїв. Доведено, що завдяки мікрочастинковій архітектурі і згортковим нейронним шарам, ефективність виявлення частинок та їх глобальна локація визначаються точніше. Завдання множинного виявлення в даному розділі дослідженні описує, в який спосіб користувач мобільного пристрою маючи достатню кількість енергії для аналізу спектру, встановлює локальний поріг H в вихідне значення θ .

У даному випадку це сигналізує про те, що вартість виявлення має оптимально допустимі межі. Згідно припущення що в задачі задіяно K мобільних користувачів і M визначених локацій, яка містить N каналів, які було виявлено, а кожен користувач мобільного пристрою, задіяний в діапазоні $l \in \{1, 2, \dots, K\}$. Представимо, що деяка невід’ємна вага ω_j^l буде константою. Тоді її розрахунок можна представити у вигляді:

$$\max \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{N(j)} f(i, j). \quad (7)$$

Рівняння визначає процес вибору d множини l з метою максимізації суми $f(i, j)$.

Оскільки проблема множинного виявлення є NP-важкою і складною, для її розв’язання у розділі запропоновано алгоритм, який використовує метод оптимізації збалансованого рою

частинок та нейронну мережу. У алгоритмі кожна частинка має свою швидкість пошуку і може змінювати своє положення на основі параметрів сусідніх частинок. Задаємо, що V_{id}^t позначає деяку швидкість частинок X_{id}^t . У цьому випадку рух частинок можна описати рівняннями:

$$V_{id}^{t+1} = \omega V_{id}^t + c_1 r_1 (P_{id} - X_{id}^t) + c_2 r_2 (P_{gd} - X_{id}^t), \quad (8)$$

$$X_{id}^{t+1} = V_{id}^{t+1} + X_{id}^t. \quad (9)$$

де ω - ітераційна вага; P_{id} - положення частинки (загальне), яке можна вважати найкращим; P_{gd} - глобальне положення частинки, яке можна вважати найкращим; r_1, r_2 - довільно обрані числа в діапазоні від $[0; 1]$; c_1, c_2 - керуючі фактори.

Ітераційна вага ω дозволяє розробленому алгоритму збільшити його розрахункову продуктивність.

Змодельовано задачу виявлення місцезнаходження окремої частинки за вихідними даними: існує $N(j)$ каналів в визначених локаціях діапазону $j \in [1, M]$, виходячи з цього кількість каналів, що буде виявлено буде дорівнювати $\sum_{j=1}^M N(j)$.

Значення K є позначенням користувачів всіх мобільних пристроїв, визначається у вигляді - $K \times \sum_{j=1}^M N(j)$, або як матриця X , для якої реалістичною є умова: $X[a][b] = 1$, - позначення мобільного користувача a , виявленого в процесі каналу b . А матриця $X[a][b] = 0$, показує таке положення користувача a , при якому канал не виявлено.

В розділі проведено моделювання з симуляцією реальних умов PSO-NN як алгоритму визначення рівня ефективності виявлення множини користувачів мобільних пристроїв (первинних і вторинних), яке показало значне зростання ефективності роботи безпроводової інтелектуальної телекомунікаційної системи (рис. 11).

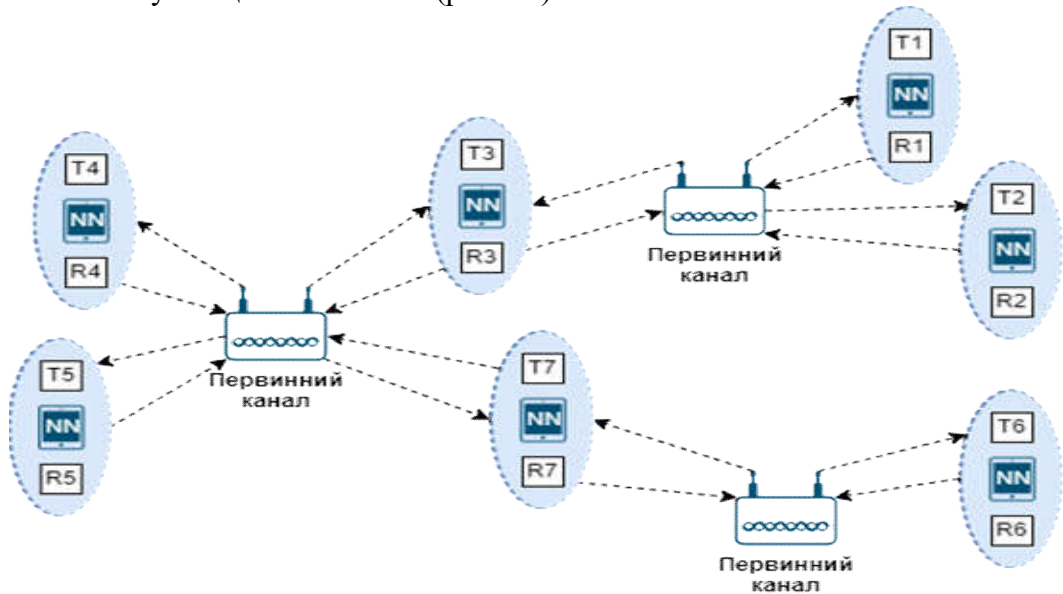


Рис. 11. Схема архітектури безпроводової інтелектуальної телекомунікаційної системи з первинними і вторинними користувачами мобільних пристроїв

З використанням технології накопичення енергії розроблено методику вибору визначеного режиму для передачі даних вторинним користувачам. За запропонованою методикою мережа інтелектуального радіо з використанням накопичення енергії перевершує існуючі методики за критерієм енергозбереження.

У даному підході, вторинний користувач, керований нейронною мережею, приймає рішення щодо використання вільних або зайнятих каналів для передачі даних або для «збору» енергії, залежно від стану буфера даних і рівня енергії. Це дозволяє вторинним користувачам

економити енергію під час виявлення каналів і забезпечує їм більше часу для накопичення енергії.

Наприклад, є наявність чотирьох вторинних користувачів, які знають про вільність/невільність каналів і в процесі конкуренції формують конкуруючий набір. Канал А є доступним для першого, другого і третього вторинного користувача, всім їм присвоюються довільні значення набору. У випадку отримання користувачем нульового значення, він покидає закріпленій конкуруючий набір, а значення інших вторинних користувачів, які залишилися в наборі зменшуються на один.

В п'ятому розділі на основі проведених досліджень набув удосконалення методичний підхід з врахуванням властивостей взаємної кореляції щодо формування ансамблів складних кодових конструкцій сигналів в часовій області. Цей метод має відмінність від існуючих за рахунок того, що на першому етапі алгоритму досліджувані послідовності «конкурують» за визначені інтервали часу, а на другому етапі проводиться перестановка з використанням ранжованих значень. Сигнали, створені таким чином, відрізняються найнижчим з можливих рівнем завад множинного доступу (ЗВД), який, у свою чергу, визначається максимальним значеннями викидів бічних пелюсток ФВК.

Запропоновано алгоритм апробації методу формування ансамблів складних кодових конструкцій сигналів на основі ранжованих значень з перестановкою. Алгоритм складається з наступних етапів.

1. Задання вихідних даних. Приймаємо чисельність послідовностей $s_i(t)$ інтервалів, на яких потребується розбиття послідовностей m , τ_i – значення тривалості імпульсу в $s_i(t)$, $i=1, \dots, N$; T – значення тривалості послідовності; Q_{\min} – значення шпаруватості імпульсів в послідовностях з \max кількістю елементів n_{\max} ; n_i – кількість імпульсів $i=1 \dots N$, ($n_i \neq n_j$).

2. Розрахунок періоду T_i імпульсів в i -й послідовності.

3. Розбиття на інтервали послідовностей.

4. Впровадження методу перестановок інтервалів.

5. Проведення для інтервалів попарних розрахунків для функцій взаємної кореляції.

6. Перевірка отриманих значень функції взаємної кореляції інтервалів після перестановок з врахуванням умови \min подібності.

7. При невиконанні умови \min подібності, видалення того інтервалу, який взаємодіє з найбільшою кількістю порушень умов. І знову до повного виконання умов \min подібності запускається цикл дій з четвертого пункту по сьомий.

8. Визначення загального середнього значення функції взаємної кореляції.

9. Складання ранжованих значень \max викидів бічних пелюсток ФВК.

10. Формування послідовності, яка відповідає значенням ранжованого ряду.

11. Виконання перевірки отриманих значень функції взаємної кореляції нових послідовностей з врахуванням умов \min подібності.

12. При невиконанні умови \min подібності видаляється та послідовність, що отримала найбільше число порушень і запускається цикл з восьмого по дванадцятий пункт алгоритму до того моменту, поки умова \min подібності не буде виконана.

13. Прийом новоутворених послідовностей до ансамблю складних кодових конструкцій.

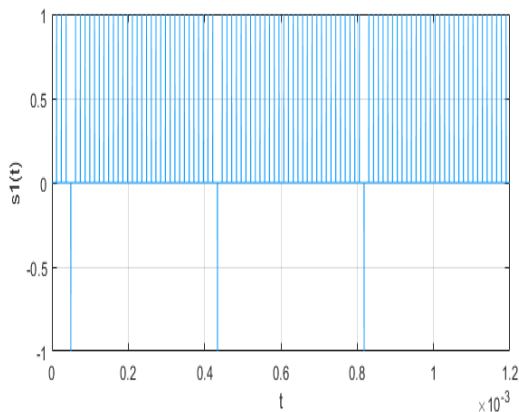
В розділі розраховано значення максимальних викидів в бічних пелюстках функції взаємної кореляції, отриманої на основі ранжованих значень часових інтервалів, шляхом перестановки. Розрахунки проводились за формулою:

$$R_{ij}(\tau) = \int_{-T}^T s_i(t) s_j(t - \tau) dt \quad (10)$$

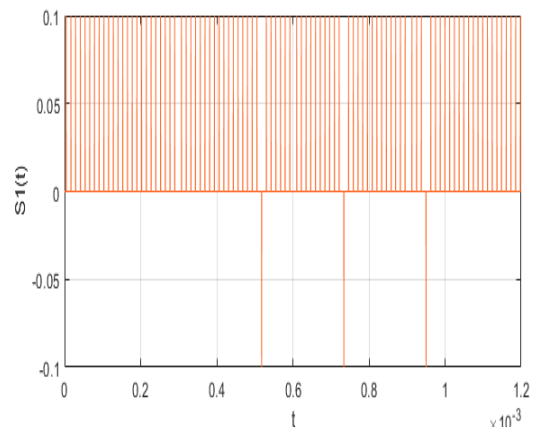
де $s_i(t)$, $s_j(t)$ – i -е і j -е значення послідовностей коротких відео імпульсів, $i \neq j$; T – значення інтервалу за функціями $s_i(t)$ и $s_j(t)$.

Апробацію розробленого методу проведено за наступними вихідними даними: Працездатність запропонованого методу перевірено на прикладі, в якому використовуються чотири послідовності імпульсів $S_1(t), S_2(t), S_3(t), S_4(t)$ з кількістю імпульсів $n_1 = 117, n_2 = 123, n_3 = 137, n_4 = 149$, при значенні тривалості сигналів у $T \approx 1.22$ мс і тривалості імпульсів $\tau_i = 10$ нс. В кожній послідовності імпульси проходять наступні періоди: $T_1 = 60,63$ мкс, $T_2 = 54,72$ мкс, $T_3 = 48,93$ мкс і $T_4 = 46,21$ мкс.

За розробленою моделлю послідовності сформовано 4 рівні складові. Для кожної складової, отриманих вихідних послідовностей попарно розраховано значення функції взаємної кореляції. На наступному етапі на базі середніх значень і перевірки на умову міні подібності з них створено ранжований ряд. Графічне зображення часових діаграм, отриманих в результаті розрахунків часових інтервалів показано на рис. 12.



а) вихідна послідовність



б) послідовність на основі ранжованого ряду з перестановкою часових інтервалів

Рис. 12. Графічне зображення часових діаграм

Для оптимізації розрахунків за запропонованим методом, розроблено програмний код для Matlab. Максимальне значення функції кореляції послідовностей за рахунок перестановок з урахуванням ранжування показано в табл. 2.

Для оцінки ступеня схожості і взаємозв'язку між послідовностями сигналів було проведено покрокове порівняння максимальних значень функції взаємної кореляції між сигналами, що ґрунтуються на послідовностях з низькою взаємодією і тими, які отримані шляхом перестановки та ранжування. В результаті оцінки доведено, що отримані показники мають набагато кращі характеристики взаємної кореляції ніж були у послідовностях вихідних даних.

Таблиця 2.

Оцінка ступеня схожості/взаємозв'язку послідовностей сигналів шляхом порівняння максимального значення функції кореляції

	$\max R_1$	$\max R_2$	$\max R_3$	$\max R_4$
$\max R_1$	1,0	0,0083	0,0079	0,0076
$\max R_2$	0,0083	1,0	0,0077	0,0074
$\max R_3$	0,0079	0,0077	1,0	0,007
$\max R_4$	0,0076	0,0074	0,007	1,0

За розрахунками доведено, що в отриманих послідовностях рівень завад множинного доступу має суттєво менше значення. Графічне зображення отриманого чисельного ряду рівня максимальних викидів бічних пелюсток функції, яка знаходиться в залежності від кількості імпульсів з перестановками з урахуванням ранжування представлено на рис. 13.

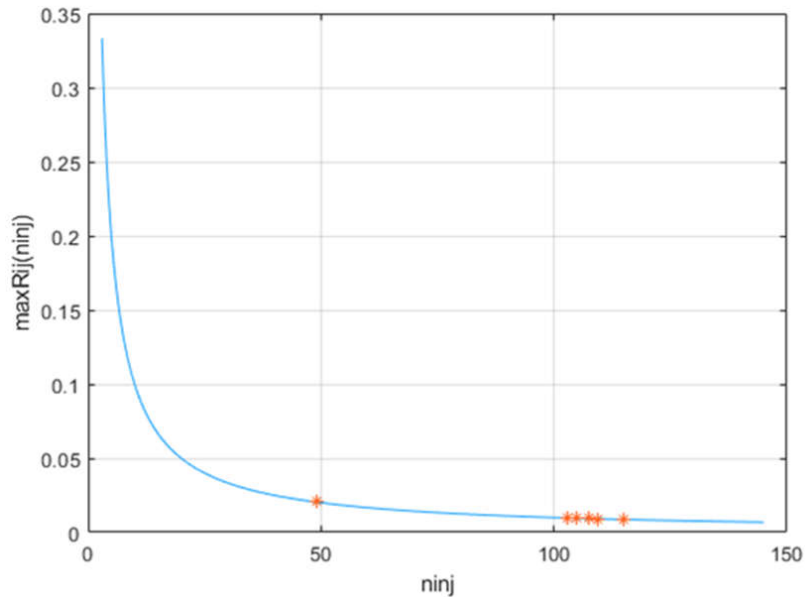


Рис.13. Графік максимальних викидів бічних пелюсток ФВК в залежності від кількості імпульсів у послідовностях з перестановками

За результатами апробації і досліджень характеристик кореляції нових сформованих ансамблів конструкцій сигналів виявлено повна відповідність умові мінімальної подібності послідовностей при максимальному рівні викидів бічних пелюсток функції кореляції. Обґрунтовано, що ансамблі складних кодових конструкцій сигналів, які було створено за запропонованим методом з перестановкою часових інтервалів і з виконанням умови взаємної кореляції, є значно більшого об'єму, і мають низький рівень завад множинного доступу, а також удосконалені характеристики взаємної кореляції.

Після проведення дослідження було виявлено та науково обґрунтовано, що властивості складних ансамблів кодових конструкцій сигналів, які формуються на основі ранжування з перестановкою послідовностей в інтервалі часу, мають значно більший об'єм ансамблів, ніж ансамблі інших відомих сигналів, що використовуються в інтелектуальних телекомунікаційних системах. В реальних умовах ця перевага дозволяє знизити рівень завад множинного доступу при обслуговуванні великої кількості абонентів.

В шостому розділі запропоновано для апробації метод перестановки частотних елементів сигналів з використанням повного перебору. Метод допомагає сформувати сигнально-кодові конструкції низького рівня взаємної кореляції, що досягається в процесі перестановки елементів частот з різними вихідними послідовностями. Впровадження цього методу значно збільшує об'єм ансамблю складних сигналів на визначену кількість частотних елементів.

Доведено, що сучасні безпроводові системи мають великі потенційні можливості із збільшення числа користувачів і, відповідно, можливості з удосконалення якості обслуговування. Реалізувати цю мету на практиці дозволяє множинний доступ до різноманітних технологій та інформаційних ресурсів з використанням складних сигналів з великими обсягами.

Одним із дієвих способів збільшення обсягів сигналів є застосування послідовностей з псевдовипадковістю, що мають низький рівень енергетичної взаємодії в часовій області. В них різна кількість імпульсів, але визначені послідовності мають спільну характеристику, а саме – це однакова тривалість імпульсів та приблизно однаковий період між імпульсами та шпаруватістю.

На рис. 14 показано схематичний вигляд графів формування ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій на базі послідовностей з покращеними властивостями взаємної кореляції, отримані за допомогою смугової фільтрації з послідовними перестановками.

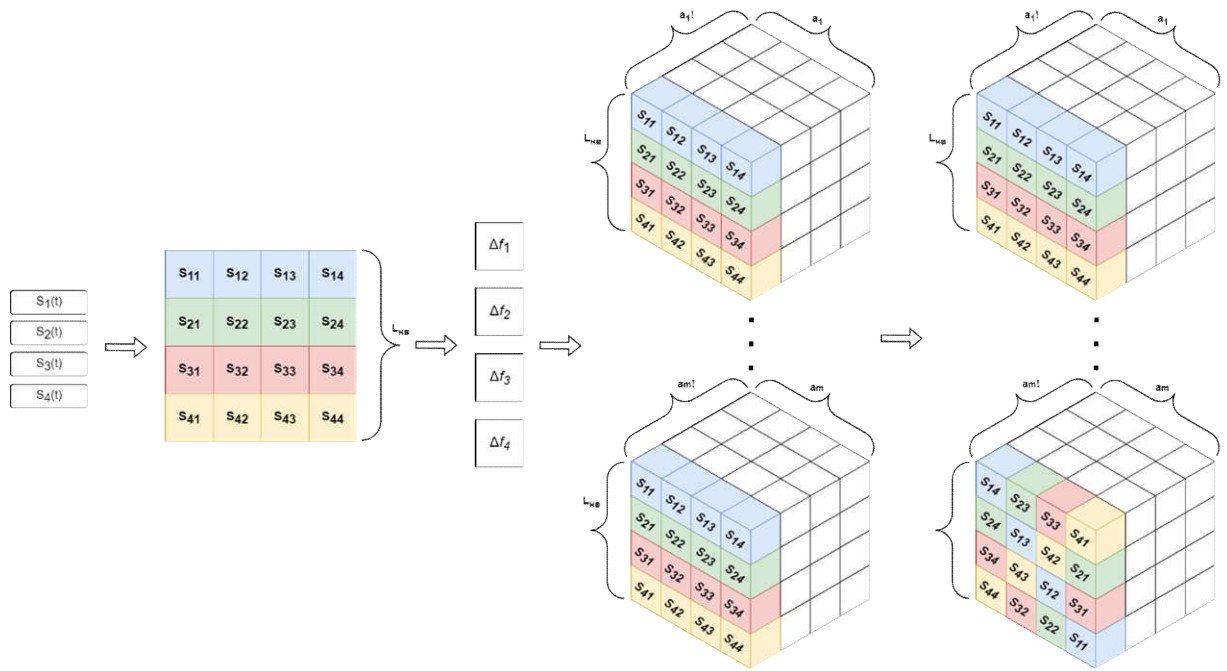


Рис. 14. Схематичний вигляд методу формування ансамблів складних сигналів

Ці послідовності мають переваги, такі як: низький рівень енергетичної взаємодії в визначеній часовій області, низька взаємна кореляція, низький рівень міжсигнального спотворення завад і відповідність умовам мінімальної подібності. Проте, дослідження ансамблів таких сигнальних конструкцій на практиці довели, що їх обсяг обмежується кількістю утворюючих послідовностей.

Для подальшого розширення масштабів ансамблів складних сигнальних конструкцій та оптимального використання обмеженого радіочастотного ресурсу, запропоновано методику перестановок частотних елементів сигнальних конструкцій шляхом їх повного перебору.

Метод перестановок частотних елементів сигнальних конструкцій заснований на порівнянні значень максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції сигнальних конструкцій, що утворились під час частотної фільтрації різноманітних вихідних послідовностей з різними діапазонами частот.

Інтегралом від F_H до F_B добутку i -го та j -го елементу сигнальних конструкцій записується значення коефіцієнту порівняння максимально можливого викиду бічних пелюсток функції взаємної кореляції сигнальних конструкцій. Записується формулою:

$$R_{ij\max}(\Delta f) = \int_{F_H}^{F_B} s_i(\Delta f) \cdot s_j(\Delta f - \Delta) d\Delta f, \quad (11)$$

де Δf – фільтраційна смуга; Δ – визначений крок інтегрування.

У тому числі, необхідне виконання умови, що отримані значення описуються математичною залежністю, яка відповідає визначеним умовам мінімальної подібності:

$$R_{ij\max} \leq \frac{2 \dots 5}{\sqrt{B}}. \quad (12)$$

Перестановка кодових конструкцій сигналів виконується з застосуванням методики повного перебору. В якості прикладу вихідних даних задано набір визначених елементів частот, таких як: R_1 , R_2 , R_3 і R_4 . Вони були отримані в різних проміжках визначеного спектру, з застосуванням методу смужової фільтрації, до того як вихідні послідовності отримали покращені

характеристики взаємної кореляції. В якості результату отримано перестановки з різними можливими комбінаціями R_{11} , R_{12} , R_{13} і R_{14} , а саме:

Описаний метод перестановок виражається формулою:

$$\sum R_{ij} = \frac{R_{ij}^2 - R_{ij}}{2}. \quad (13)$$

Для формування послідовності з ранжуванням в розділі було використано середнє значення максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції ансамблів сигнально-кодових структур. Якщо під час математичних обчислень виявлялась сигнально-кодова конструкція, яка не відповідала формулі залежності, то вона автоматично виключалась з списку значень, які брали участь у дослідженні. З отриманих в результаті валідації моделі значень ранжованого ряду, було створено такі ансамблі сигнально-кодових конструкцій, які мали близький до оптимального порядок перестановок елементів конструкцій та значно покращені властивості взаємної кореляції. Для збільшення обсягу сигнальних конструкцій в ансамблях запропоновано методи створення ансамблів складних сигналів, які базуються на послідовностях з покращеними властивостями взаємної кореляції, що було отримано завдяки перестановкам і використанню смугової фільтрації.

Обґрунтовано, що сутність запропонованого методу базується на застосуванні процесу фільтрації смуги до послідовностей з псевдовипадковостями, які відзначаються низьким рівнем взаємодії у часовій області. Під час проведення аналізу методу, діапазон частот послідовностей поділено на рівні смуги. Для визначення оптимального рівня смуги фільтрації сигналів здійснено аналіз залежності функції взаємної кореляції R_{ij} від кількості елементів у послідовностях $\sqrt{n_i n_j}$ та ширини фільтраційної смуги ΔF , що відповідають умовам максимальних значень. Для оцінки кількості фільтраційних смуг використано коефіцієнт використання k_s частотного спектру:

$$k_s = \frac{\Delta F}{\Delta f}, \quad (14)$$

де ΔF – значення ширини основної пелюстки (піку) у спектрі послідовності з псевдовипадковістю з мінімальною взаємодією в часовій області; Δf – значення ширини фільтраційної смуги послідовностей з псевдовипадковістю.

За методикою розрахування статистичних характеристик довільних величин було оцінено статистичні характеристики ансамблів складних сигналів на базі послідовностей з покращеними властивостями взаємної кореляції, отриманими з перестановками, шляхом фільтрування смуги. Для проведення обчислень використано програмний засіб MATLAB (табл. 3).

Таблиця 3.

Аналіз максимальних розбіжностей бокових пелюсток ФВК сигнальних структур										
	$\Delta F(\%)$									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
$m_{R_{\max}}$	0,582	0,209	0,180	0,144	0,119	0,116	0,114	0,112	0,110	0,108
$\sigma_{R_{\max}}$	0,205	0,141	0,114	0,074	0,071	0,068	0,067	0,067	0,067	0,067
	$\Delta F(\%)$									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
$m_{R_{\max}}$	0,106	0,104	0,101	0,095	0,093	0,091	0,091	0,087	0,086	0,086
$\sigma_{R_{\max}}$	0,064	0,064	0,063	0,063	0,061	0,061	0,059	0,058	0,058	0,057

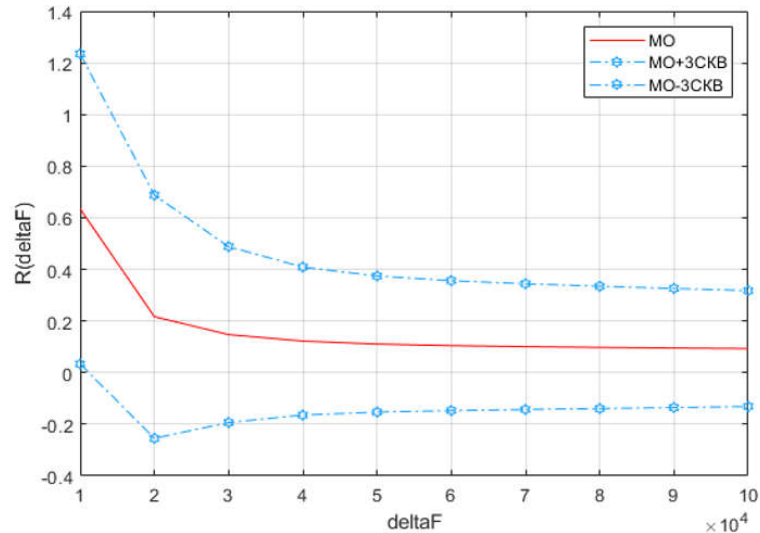


Рис. 15. Графік функціонального взаємозв'язку розбіжностей ФВК від смуги частот

Для апробації запропонованих методик проведено розрахунки і побудовано графічні залежності рис. 16.

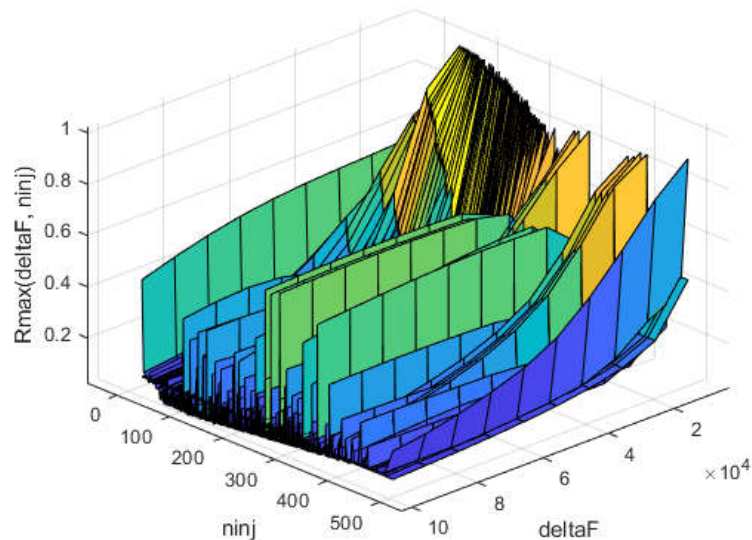


Рис. 16. Діаграма оптимальної фільтраційної смуги сигналів з покращеними властивостями кореляції

Оптимальна ширина смуги фільтрації визначалася шляхом аналізу залежності максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції від кількості елементів у використаних послідовностях та від $R_{\max}(\sqrt{n_i n_j}, \Delta F)$ ширини смуги та з врахуванням обмежень $R_{\max.\text{пор}}(\sqrt{n_i n_j}, \Delta F)$. Запроваджено покроковий алгоритм до методики створення ансамблів складних сигнальних конструкцій, який використовує послідовності з покращеними властивостями взаємної кореляції, що були отримані шляхом фільтрування смуги частот. Отримані результати підтверджують, що при визначених обмеженнях ФВК не перевищує заданих вихідних параметрів значення максимальних викидів пелюсток. І це задовольняє умові подібності сигналів.

Порівняльний аналіз різних методик формування ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій представлений на рис. 17-18.

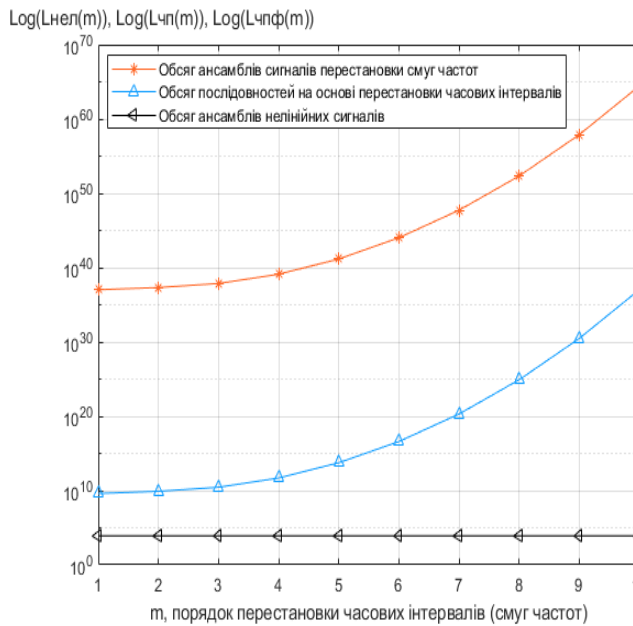


Рис. 17 Графік кривих залежності обсягу ансамбля сигнално-кодових конструкцій

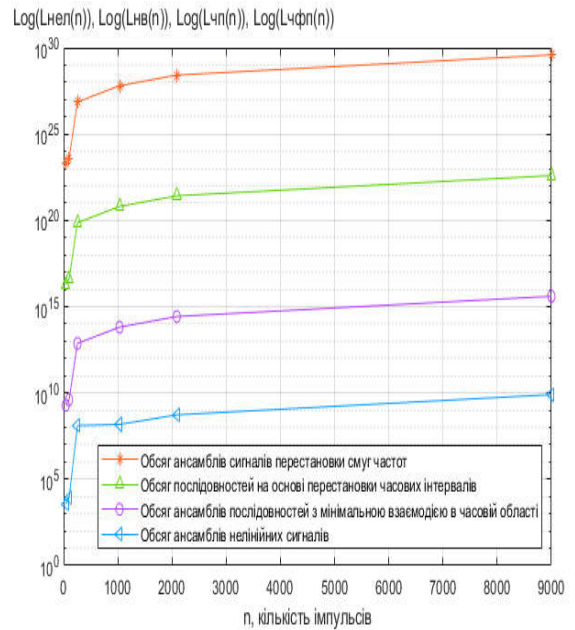


Рис. 18 Графік кривих залежності об'єму сигналів від зміни кількості імпульсів

За результатами, отриманими шляхом апробації запропонованих в роботі методик, обґрунтовано, що збільшення кількості фільтраційних смуг призводить до збільшення об'єму ансамблю сигналних конструкцій при обраній кількості імпульсів. І це є пріоритетним фактором для інтелектуальних телекомунікаційних систем з обмеженими умовами передачі інформації, тому розроблені ансамблі сигналів з удосконаленими властивостями взаємної кореляції за рахунок фільтрування з перестановками, дозволяють підвищити продуктивність передачі даних і зменшити вплив завад, спотворень і шумів.

За результатами аналізу отриманих в результаті апробації даних, доведено, що ансамблі складних сигналів, які були отримано з перестановками на основі послідовностей з покращеними властивостями за допомогою фільтрації, мають гірші властивості порівняно з сигналами, отриманими шляхом перестановки інтервалу часу вихідних послідовностей з використанням ранжування. В них більша тривалість імпульсів при меншій смузі частот сигналу.

ВИСНОВКИ

У сукупності, отримані в дисертаційному дослідженні результати, дозволили вирішити загальну науково-прикладну задачу з розробки сучасних моделей і методів підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем на основі складних сигнално-кодових конструкцій. Отримані наукові і практичні результати, що були досягнуті під час вирішення завдань дисертаційного дослідження, представляють собою фундаментальний внесок, який сприятиме подальшому розвитку теорії та практики підвищення ефективності використання частотно-часового ресурсу в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах. Науково-практичні результати роботи узагальнено до наступних положень:

1. Виконано дослідження комплексних методів та здійснено розробку моделей спектрального моніторингу в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах. За результатом опрацювання методу моніторингу спектру, який спирається на алгоритм швидкого перетворення Фур'є і його використання в реальному часі при низькому рівні співвідношення сигнал-шум, науково ґрунтовно доведено, що значення за якими приймаються рішення щодо використання каналу є нечутливими до рівня шуму. Також запропоновано покроковий алгоритм спектрального моніторингу з орієнтацією на частотну область, що значно полегшує його запровадження. З метою створення одночасно простого для застосування і дієвого алгоритму,

докладно розглянуто метод спектрального моніторингу на основі інформаційного критерію Акайке, який ефективно дозволяє виявити вільний спектральний діапазон. Цей покроковий алгоритм виконання також враховує, що шум в каналі може бути змодельовано за допомогою розподілу за методом Гауса. Відмінністю алгоритму є простота його реалізації за рахунок зменшення етапів і кількості необхідних для обчислення операцій.

2. Виконано дослідження рівня керування доступом до середовища та методів керування в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах.

3. Виконано удосконалення методів та розробка моделей керування середовищем в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах що дозволило сформувати алгоритм за методом керування середовищем з використанням роботи нейромережі. Запропонований алгоритм відрізняється від існуючих аналогів тим, що нейромережеві системи управління можуть бути більш гнучко налаштовані під реальні умови роботи інтелектуальної мережі, створюючи моделі, що повністю відповідають безпроводовим ІТС. Цей алгоритм використовує гібридну систему керування. Крім того, розроблена блок-схема методу керування середовищем з нейромережею, яка реалізується на основі окремого випадку радіальних базисних мереж - ймовірнісної нейромережі. Використання такого підходу дозволило зменшити ймовірність помилки та підвищити швидкодію мережі.

4. Здійснено розробку моделі та вдосконалення методу множинного виявлення мобільних користувачів в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах. Був розроблений загальний алгоритм PSO-NN, що відрізняється від існуючих алгоритмів своєю більш точною адаптацією до реальних умов інтелектуального радіо. Алгоритм містить підхід до оптимізації балансу рою частинок, з застосуванням керування згортковою нейронною мережею, і це дозволяє робити більш точний аналіз характеристик спектру користувачів мобільних пристроїв. Також доведено, що завдяки застосуванню методики згорткових нейронних шарів і створенню мікрочасткової архітектури, ефективність виявлення частинок та їх глобальна локація визначаються значно точніше.

5. Здійснено розробку алгоритмів програмної реалізації методів керування середовищем в безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах. Результати моделювання показують, що з використанням розроблених програм, ефективність виявлення зросла на 12%, 24%, 25% і 26% при заданих локаціях.

6. Виконано аналіз можливостей покращення рівня завадозахищеності для безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем, в результаті якого зроблено висновок про напрямки зменшення рівнів завад множинного доступу і, таким чином, підвищення рівня завадозахищеності безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем шляхом розробки нових складних ансамблів кодових конструкцій сигналів.

7. Розроблено моделі та удосконалено методи синтезу ансамблів складних сигнально-кодових конструкцій для безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних системах. В результаті доведено, що найкращі властивості взаємної кореляції і повна відповідність умовам мінімальної подібності спостерігається у складних кодових конструкцій сигналів отриманих на основі ранжування з перестановкою інтервалів послідовностей у часі. В реальних умовах ця перевага дозволяє знизити рівень ЗМД при обслуговуванні великої кількості абонентів.

8. Розроблено програмне рішення до реалізації алгоритмів і методів синтезу ансамблів сигнально-кодових конструкцій на основі послідовностей з покращеними властивостями взаємної кореляції в часовій та частотній областях, яка дозволяє спростити процедуру синтезу.

9. Досліджено кореляційні та ансамблеві властивості отриманих сигналів. Після проведеного дослідження, набув подальшого розвитку метод, який базується на послідовностях, що мають покращені властивості взаємної кореляції в частотній області. Головною його відмінністю є фільтрація смуги псевдо випадкових послідовностей, що мають низький рівень взаємодії у часовій області і з подальшим перенесенням частотних сегментів в спільну область частот із наступним з міксуванням, що дає можливість суттєво збільшити обсяг ансамблю сигналів при незначному збільшенні рівня завад множинного доступу.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Pohasii S., Yevseiev S., Zhuchenko O., Milov O., Lysechko V., Kovalenko O., Kostiak M., Volkov A., Lezik A., Susukailo V. Development of crypto-code constructs based on LDPC codes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (116)), 2022. P. 44–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254545>. (Scopus - 2022).
2. Lysechko V.P., Kulagin D.O., Indyk S.V., Zhuchenko O.S., Kovtun I.V. The Study Of The Cross-Correlation Properties Of Complex Signals Ensembles Obtained By Filtered Frequency Elements Permutations. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (2), 2022. 15p. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-2-2> (Web Of Science - 2022).
3. Indyk S., Lysechko V., Zhuchenko O., Kitov V. The formation method of complex signals ensembles by frequency filtration of pseudo-random sequences with low interaction in the time domain. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. Issue 4 (55), 2020. P. 7-15. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-4-1>. (Web Of Science - 2020).
4. Lysechko V., Obikhod Y., Sverhunova Y., Zhuchenko O., Progonniy O., Kachurovskiy G., Tretijk V., Malyuga V., Voinov V. Improvement of the cognitive radio system area management method with using neural networks. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, Vol. 4/9 (88). 2017. P. 22-29. (Scopus - 2017).
5. Indyk S., Lysechko V. The formation method of complex signals ensembles with increased volume based on the use of frequency bands. *Control, navigation and communication system*. Issue 4 (62), 2020. P. 119-121.
6. Indyk S., Lysechko V. The study of ensemble properties of complex signals obtained by time interval permutation. *Advanced Information Systems*. Vol. 4, № 3. 2020. P. 85-88. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.11>.
7. Indyk S., Lysechko V. Method of permutation of intervals, taking into account correlation properties of segments. *Control, navigation and communication system*. Issue 3 (61). 2020. P. 128-130. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.3>.
8. Індик С.В., Лисечко В.П. Дослідження ансамблевих властивостей складних сигналів, отриманих за рахунок частотної фільтрації псевдовипадкових послідовностей з низькою взаємодією у часовій області. *Збірник наукових праць*. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба. Вип. 4 (66). 2020. С.46-50. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.06>.
9. Лисечко В.П., Обіход Я.Я., Ковтун І.В., Шувалова Ю.С., Сколота С.В. Методи віртуалізації і масштабування в мережах безпроводового доступу. *Журнал «Системи управління, навігації та зв'язку»*. Вип 3(55). Полтава, 2019. С.171-175. ISSN 2073-7394.
10. Приходько С.І., Штомпель М.А., Жученко О.С., Лисечко В.П., Шувалова Ю.С. Дослідження ефективності адаптивного методу декодування алгебраїчних згорткових кодів перемежування. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. № 2, 2019. С. 13-18.
11. Лисечко В.П., Обіход Я.Я., Прогонний О.М., Качуровський Г.М., Сколота С.В. Розробка методу вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології «Energy harvesting» під керуванням нейронної мережі. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. Полтава: ПНТУ, 2018. Т. 3 (49). С. 165-174. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.3.165>.
12. Лисечко В.П., Обіход Я.Я., Олєфіренко Т.М. Дослідження імовірнісного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. Харків: УкрДАЗТ, Вип. 6. 2015. С. 51-54.
13. Лисечко В.П., Шимків М.В., Гуменюк А.В. Статистична оцінка методу моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Х.: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 5. С. 71-74.

14. Лисечко В.П., Воронець О.М., Северінов О.В. Розробка методу розподілу ресурсів когнітивної радіомережі з використанням мультиагентних систем. Системи обробки інформації. Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2013. Вип. 2. С. 220-225.

15. Лисечко В.П., Шимків М.В., Прогонний О.М., Гуменюк А.В. Метод моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації. Вісник Національного технічного університету. Техніка та електрофізика високих напруг. Харків: НТУ «ХП», 2013. №60(1033). С. 127 - 135.

16. Лисечко В.П., Обіход Я.Я., Фоменко О.К. Метод навчання когнітивних радіомереж на основі кіл Маркова. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, Вип. 133. 2012. С. 147-154.

17. Лисечко В.П., Сопронюк І.І., Ухова О.О. Метод моніторингу спектра в когнітивних радіосетях на основі використання інформаційного критерія Акайке. Системи обробки інформації. ХУПС ім. І. Кожедуба. 2011. Вип. 5(95). С. 108-112.

18. Лисечко В.П., Сопронюк І.І. Метод моніторингу спектра в когнітивних радіосетях на основі БПФ. Вестник Национального технического университета «ХПИ», 2011. Вип. 16. С. 173 - 180.

19. Лисечко В.П., Капурін В.В., Северінов О.В.. Дослідження характеристик низхідного каналу технології LTE в складних заводських умовах. Наука і техніка ПС Збройних сил України: Зб. наук. пр. Х.: ХУПС, 2011. Вип. №2 (6). С. 99-101.

20. Лисечко В.П., Степаненко Ю.Г., Качуровский Г.Н. Метод наращивания объема ансамбля последовательностей коротких видеоимпульсов с низким уровнем взаимной корреляции. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Х.: УкрДАЗТ, 2010. Вип. 116. С. 100-106.

21. Лисечко В.П., Степаненко Ю.Г. Метод боротьби із внутрішньосистемними завадами в системах зв'язку з кодовим розділенням каналів. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. Х.: «ХАІ», 2010. Вип. 5(46). С. 277-281.

22. Лисечко В.П., Сопронюк І.І., Фарид Абдель Самад. Дослідження завадостійкості систем безпроводового доступу. Системи обробки інформації. Х.: ХУПС. 2010. Вип. 2(83). С. 153-155.

23. Лисечко В.П., Степаненко Ю.Г., Сопронюк І.І., Брюзгіна Н.О. Дослідження методів аналізу спектру в когнітивних радіомережах. Збірник наукових праць. Х.: Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2010. Вип. 3 (25). С.137-145.

24. Лисечко В.П., Сопронюк І.І., Северінов О.В. Моніторинг спектру у каналах із завмираннями та частотними спотвореннями. Системи обробки інформації. Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2010. Вип. 9(90). С. 94-98.

Матеріали й тези доповідей на конференціях.

25. Лисечко В.П., Індик С.В. Статистичний аналіз властивостей ансамблів складних сигналів отриманих за рахунок перестановок ранжованих часових інтервалів. *Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій*: тези доповідей Х Міжнар. наук.-практ. конф., (07 – 09 жовтня 2020 р.). Запоріжжя: НУЗП, 2020. С. 29-30.

26. Лисечко В.П., Індик С.В. Метод формування ансамблів складних сигналів за рахунок аналізу частотної вибірки смуг спектру псевдовипадкових послідовностей з малою енергетичною взаємодією. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності*: тези доповідей Всеукр. наук.-практ. конф., (20 листопада 2020 р.). Львів: НАСВ, 2020. С. 154-155.

27. Лисечко В.П., Індик С.В. Дослідження кореляційних характеристик ансамблів складних сигналів отриманих за рахунок перестановок частотних ділянок псевдовипадкових послідовностей. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези доповідей 33-ї

Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті (Харків, 30 жовтня 2020 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2020. Вип. 3. С. 24-25.

28. Лисечко В.П., Індик С.В. Аналіз статистичних характеристик ансамблів складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями. *Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика: тези доповідей VI Всеукраїнської наук.-практ. конф.*, (Полтава, 06 листопада 2020 р.). Полтава: НУПП, 2020. С. 193-166.

29. Обіход Я.Я., Лисечко В.П. Метод вибору каналів у когнітивному радіо під керуванням нейронної мережі. Збірник наукових праць УкрДАЗТ LXXX Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». Вип.177. Харків: УкрДАЗТ, 2018. С. 39.

30. Обіход Я.Я., Лисечко В.П. Розробка методу вибору каналів когнітивного радіоприймача при множинному доступу первинних та вторинних користувачів з використанням технології «Energy Harvesting» під керуванням нейронної мережі. Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Службово-бойова діяльність Національної гвардії України: сучасний стан, проблеми та перспективи». Харків: НАНГУ, 2018. С. 36.

31. Обіход Я.Я., Лисечко В.П. Вдосконалення методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі. Матеріали шостої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». Харків, 2016. С. 63.

32. Обіход Я.Я., Лисечко В.П. Методи навчання інтелектуальних телекомунікаційних систем. Матеріали стендових доповідей та виступів учасників 29-ої міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Черноморськ: УкрДАЗТ, 2016. С. 38.

33. Обіход Я.Я., В.П. Лисечко, Т.М. Олефіренко. Дослідження імовірнісного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо. Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку». Харків, 2015. С. 64.

АНОТАЦІЯ

Лисечко В.П. Методи та моделі підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем на базі складних сигнально-кодових конструкцій – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Національний авіаційний університет Міністерства освіти і науки України.

В дисертаційній роботі вирішується актуальне науково-технічне завдання підвищення завадостійкості інтелектуальних телекомунікаційних систем на базі складних сигнально-кодових конструкцій.

У роботі для підвищення завадостійкості безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем було розроблено метод створення кодових конструкцій сигналів у вигляді ансамблів, що базується на систематичних перестановках часових і частотних складових сигналів. Цей метод дозволяє розширити резерв об'єму ансамблів, завдяки аналізу всіх можливих комбінації в часовому та частотному діапазонах і подальшому створенні стійких фіксованих сигналів. Відмінністю методу з визначенням часово-частотних координат співпадінь сигнальних елементів є застосування середнього значення максимальних відхилень бічних пелюсток функції взаємної кореляції і оптимізація процедури міксування перестановок в ансамблях сигнально-кодових конструкцій. Для збільшення кількості складних сигналів в ансамблі, при збереженні оптимально потрібної стійкості до завад множинного доступу, запропоновано метод синтезу кодових конструкцій сигналів. Метод ґрунтується на використанні послідовностей з покращеними взаємкореляційними

характеристиками, які досягаються через смугову фільтрацію, виділення частотних смуг зі спектру цих послідовностей та подальше багатократне їх перенесення та міксування.

Запропоновано метод конкурентного вибору каналів безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем під час множинного доступу первинних та вторинних користувачів. Він відрізняється від існуючих підходів впровадженням технології накопичення енергії, яка використовується спільно з роботою нейронної мережі. Цей метод сприяє підвищенню рівня завадостійкості системи, за рахунок інтелектуального вибору оптимального каналу на основі даних про стан каналів та завади.

Для покращення ефективності функціонування безпроводових інтелектуальних телекомунікаційних систем розроблено метод управління оточуючим середовищем шляхом розширення мережі. Цей підхід відрізняється від існуючих впровадженням інтелектуальних функцій у систему управління доступом у безпроводовій регіональній мережі (WRAN) за допомогою нейронних мереж. Для підвищення ефективності виявлення мобільних користувачів в інтелектуальних системах запропоновано метод множинного виявлення, що ґрунтується на структуруванні і оптимізації рою частинок в системах безпроводового зв'язку.

ANOTATION

Lysechko V.P. Methods and models for improving the immunity to interference of wireless intelligent telecommunication systems based on complex signal-code structures - a qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a degree of Doctor of Technical Sciences in speciality 05.12.13 – «Radio engineering devices and means of telecommunications». – National Aviation University. – Kyiv, 2023.

In the dissertation research, the pertinent scientific and technical challenge of enhancing the interference resilience of intelligent telecommunications systems using intricate signal-code structures is addressed.

In the research, to enhance the interference resistance of wireless intelligent telecommunications systems, a method was developed for creating signal code constructions in the form of ensembles based on systematic permutations of temporal and frequency components of signals. This method allows for expanding the reserve capacity of ensembles by analyzing all possible combinations in the temporal and frequency domains and subsequently creating robust fixed signals. The key difference of the method for determining the temporal-frequency coordinates of signal element coincidences lies in the utilization of the average value of maximum deviations of side lobes in the cross-correlation function and optimization of the permutation mixing procedure in the ensembles of signal code constructions.

To increase the diversity of complex signals within an ensemble while maintaining the necessary interference resistance for multiple-access, a method for synthesizing signal code constructions was proposed. This method is based on the utilization of sequences with improved cross-correlation characteristics, achieved through bandpass filtering, extracting frequency bands from the spectrum of these sequences, and subsequent multiple transposition and mixing.

A method for competitive channel selection in wireless intelligent telecommunication systems during multiple-access by primary and secondary users has been proposed. It distinguishes itself from existing approaches by incorporating energy accumulation technology, which is used in conjunction with a neural network. This method contributes to enhancing the interference resilience of the system by intelligently selecting the optimal channel based on information about channel conditions and interference.

To improve the efficiency of wireless intelligent telecommunication systems, a method for environmental management through network expansion has been developed. This approach differs from existing methods by introducing intelligent functions into the access control system of a wireless regional network (WRAN) using neural networks. Additionally, to enhance the effectiveness of mobile user detection in intelligent systems, a method for multiple detection has been proposed, which is based on structuring and optimizing a particle swarm in wireless communication systems.