МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ОБІХОД ЯРОСЛАВ ЯКОВИЧ

УДК 621.391

МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Лисечко Володимир Петрович,
Український державний університет залізничного транспорту,
доцент кафедри транспортного зв'язку

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Климаш Михайло Миколайович,
Національний університет «Львівська політехніка», професор, завідувач кафедри телекомунікацій

доктор технічних наук, професор,
Смірнов Олексій Анатолійович,
Центральноукраїнський національний технічний університет,
завідувач кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення

Захист відбудеться «06» грудня 2019 року о 15^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, площа Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, площа Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «30» жовтня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради К.А. Трубчанінова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з основних проблем, що виникають при функціонуванні інтелектуальних телекомунікаційних мереж є недостатньо гнучке та дієве керування в системах прийняття рішень когнітивного радіо. Відсутність механізмів, реалізації динамічної зміни середовища, низька відмовостійкість призводять до зменшення пропускної спроможності системи, збільшення вартості розгортання та обслуговування мережі.

Сучасні тенденції розвитку інтелектуальних телекомунікаційних мереж спрямовані на впровадження механізмів моніторингу робочого спектру частот, співіснування, реєстрації та відстеження користувачів. Впровадження накопичених знань та прийняття рішень є одними з найважливіших напрямів розвитку інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

В останні роки розгортається безліч однотипних WRANs (Wireless Regional Area Networks – безпроводові локальні мережі) в межах невеликої територіальної близькості. Різні WRANs в певній галузі можуть бути розгорнуті різними провайдерами. У такому динамічно зростаючому середовищі з'являється велика кількість проблем, пов'язаних з безпекою, співіснуванням, топологією мережі та ін. Всі провайдери повинні узгоджувати свої дії між собою для того, щоб користувачі мали змогу спільно використовувати одні і ті ж ресурси в різних WRANs. У цій галузі радіозв'язку працюють такі вчені: Young Chang, Hu Wendong, Gubbi, S. Marusic, M., CordeiroC., ChallapaliL., BirruD. Однак суттєвим є те, що в роботах перелічених авторів не розглядається архітектура когнітивної мережі. Описано деякі елементи архітектури і їх взаємодія, такі як безпека, сценарій ініціалізації частот, валідація, але недостатньо розглянуто архітектуру WRAN. Також мало уваги приділено методам керування та аналізу частот. В той же час, керування середовищем в когнітивній радіосистемі вимагає детального розгляду функцій керування спектром та радіозв'язку з програмованими параметрами. Таке керування реалізується на фізичному рівні (PHY - Physical layer) стандарту IEEE 802.22. WRANs є важливою складовою когнітивних радіо-платформ. В цьому напрямку стандарту працюють такі вчені: Bacchus R., Bogucka H., Mahmoud Q., ZouY., WangX., ShenW. Але суттєвим недоліком є те, що питання про двох або більше вторинних користувачів, які конкурують за один канал практично не вивчалося. Більш того, ймовірність виникнення помилок між вторинним та первинним користувачами збільшується в режимі множинних вторинних користувачів, також залишилось без уваги.

Технологія когнітивного радіо дозволяє неліцензованим користувачам використовувати вільний спектр, в той момент, коли він не використовується ліцензованими користувачами. Тому спектральний аналіз повинен проводитися до того, як неліцензовані користувачі отримають доступ до частотного ресурсу. Даній проблематиці присвячені праці: Alhammadi A., Tragos E. Z., Zeadally S., Arslan H. В цих працях використовується спрощена цільова функція, і відсутнє бюджетне обмеження (BD – budget constraint), а також всі ці дослідження не враховують енергетичну складову мобільних користувачів.

Таким чином, актуальність роботи визначається необхідністю вирішення

завдань, що виникають при керуванні середовищем когнітивної радіосистеми з метою підвищення ефективності їх функціонування та підвищення відмовостійкості, збільшення пропускної спроможності системи, зменшення вартості розгортання та обслуговування мережі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження в дисертаційній роботі безпосередньо пов'язані з наступними положеннями:

– Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні.

– Концепція Національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р., No 75/98-ВР (із змінами, внесеними згідно із Законами N 3421-IV (3421-15) від 09.02.2006,N 3610-VI (3610-17) від 07.07.2011, 406-VII (406-18) від 04.07.2013).

– Рекомендаціями щодо «Реформ галузі інформаційно-комунікаційних технологій та розвитку інформаційного простору України».

– Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем та технологій».

– Постанова про затвердження Правил надання та отримання телекомунікаційних сервісів від 11 квітня 2012 р. No 295 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ No 251 від 29.04.2015).

– Стратегія сталого розвитку "Україна–2020", схвалена Указом Президента України від 12 січня 2015 року No 5/2015.226. Тема дисертаційної роботи пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на 2011-2015 роки», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України No 942 від 7 вересня 2011.

Дисертаційні дослідження виконувались у відповідності до наукового напряму кафедри транспортного зв'язку Українського державного університету залізничного транспорту.

Мета роботи і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування інтелектуальних телекомунікаційних мереж за рахунок розробки та впровадження методів керування в системах прийняття рішень мережах когнітивного радіо.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити науково-прикладну задачу, яка полягає в розробці методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж. Щоб вирішити загальну науково-прикладну задачу дисертації необхідно вирішити такі частинні задачі досліджень:

1. Виконати дослідження рівня керування доступом до середовища, методів керування системами когнітивного радіо.
2. Удосконалити метод керування середовищем когнітивного радіо з використанням нейронної мережі.
3. Розробити метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі.
4. Розробити метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів.

5. Розробити алгоритми для програмної реалізації методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

Об'єктом дослідження **є** процес керування систем керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

Предмет дослідження - методи керування систем керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж, які забезпечують підвищення ефективності функціонування інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

Методи дослідження. При вирішенні часткових наукових задач дисертації використовувались методи статистичної теорії зв'язку, теорії ймовірностей і випадкових процесів, числові методи обробки емпіричних даних – при розробці методу керування середовищем когнітивного радіо, методу множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі та методу вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів.

Для підтвердження достовірності отриманих теоретичних результатів застосовувались методи імітаційного моделювання. Аналіз результатів експериментальних досліджень проводився з використанням методів математичної статистики, математичні моделі побудовані за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж, математичні моделі керування, методи теорії алгоритмів NP-hard.

Наукова новизна отриманих результатів обумовлена новим вирішенням важливої науково-прикладної проблеми, що полягає у підвищенні ефективності функціонування інтелектуальних телекомунікаційних мереж та збільшенні енергетичної ефективності, а також дозволяє підвищити ефективність виявлення мобільних користувачів інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

1. **Удосконалено** метод керування середовищем когнітивного радіо за рахунок розширення мережі, який відрізняється від існуючих введенням когнітивних функцій до системи керування середовищем WRAN, реалізованого під керуванням нейронної мережі, що дозволяє підвищити ефективність функціонування інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

2. **Вперше** розроблено метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі, який дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити ефективність виявлення мобільних користувачів інтелектуальних телекомунікаційних мереж.

3. **Вперше** розроблено метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів, який дозволяє, на відміну від існуючих, впровадити технології «ENERGY HARVESTING» під керуванням нейронної мережі. Це дозволяє зменшити ймовірність помилок при передачі інформації вторинними користувачами та реалізувати процедуру вибору каналу для великої кількості вторинних користувачів на основі конкуруючого набору.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю розроблених моделей та методів в існуючих технологіях забезпечення вимог QoS в телекомунікаційних системах.

Наукове значення роботи. Отримані наукові результати в сукупності є розвитком стандарту IEEE802.22.2 та спрямовані на підвищення виявлення мобільних користувачів у телекомунікаційних системах та мережах, а також збільшення швидкості передачі даних та адаптацію до змін навколишнього середовища.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає у створенні програмних засобів, які реалізують методи:

1) керування середовищем когнітивного радіо з використанням нейронної мережі, що дозволив забезпечити адаптацію до змін навколишнього середовища і збільшення швидкості передачі даних в 1,67 рази;

2) множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі, що покращив виявлення мобільних користувачів інтелектуальних телекомунікаційних мереж від 10 до 35 % в залежності від кількості локацій.

3) вибору каналу когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів, що дозволяє зменшити ймовірність помилок при виявленні вільних каналів і зменшити помилки при передачі вторинних користувачів;

Отримані в роботі результати знайшли практичне впровадження та використання:

- У ТОВ “АРТІКС ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ” при розробці рекомендацій з організації та впровадження щодо системи радіозв’язку на основі стандарту IEEE 802.22.2.

- В Національній академії Національної Гвардії України при здійсненні професійної, науково-технічної та дослідницько-інноваційної діяльності щодо впровадження удосконаленого методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронних мереж.

Достовірність отриманих результатів підтверджується відсутністю протиріч з основними положеннями теорії інформації, теорії оптимізації, теорії математичного програмування, а також збіжністю отриманих результатів із даними експериментальних досліджень та результатами математичного моделювання.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, викладені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві і опублікованих у наукових фахових виданнях України та виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, особистий внесок автора полягає у розробці методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж. У наступних статтях, які були опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: у роботі [1] - досліджено метод керування когнітивних радіомереж на основі кіл Маркова; у [2] – проведено дослідження імовірнісного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо; у [3] – запропоновано метод керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі; у [4] – розроблено метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології «ENERGY HARVESTING» під керуванням нейронної мережі, у роботі [5] – розроблено метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі. У роботі

[6] - розроблено узагальнену хмарну архітектуру мережі оператора зв'язку на основі SDN/NFV.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційних досліджень , практичні висновки та рекомендації, одержані в процесі досліджень, були апробовані, оприлюднені та отримали позитивну оцінку у ході:

Науково-практичної конференції Національної академії Національної гвардії України (2015 року, м. Харків); VI міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів керування» (2016, м. Харків); XXIX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (2016, м. Чорноморськ); LXXX Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (2018, м. Харків); VI міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації» (2018, м. Черкаси); Науково-практичної конференції Національної академії Національної гвардії України (2018 р., м. Харків).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані у 12 наукових працях, у тому числі у 6 наукових статтях (з них 1 одноосібна) у фахових виданнях України та виданнях України, що входять до наукометричних баз (з них 4 – у наукових журналах, 2 -у збірниках наукових праць, серед яких 1 стаття у журналі, що індексується наукометричною базою SCOPUS) та 6 тезах доповідей та матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та додатків. Повний обсяг дисертації складає 182 сторінки, у тому числі 112 сторінок основного тексту, 50 рисунків, 5 таблиць, список використаних джерел зі 105 найменувань на 10 сторінках, 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** доводиться актуальність теми дисертації, зв'язок роботи з науковими програмами, обґрунтовуються мета і задачі дослідження, визначено об’єкт і предмет дослідження. Наведено перелік результатів дисертаційного дослідження, які становлять наукову новизну, сформульовано практичну значимість отриманих наукових результатів. Наведено відомості щодо реалізації, апробації, публікації наукових і практичних результатів дисертації та особистий внесок автора дисертаційної роботи у наукових статтях, які виконано у співавторстві.

У першому розділі було проведено дослідження рівня керування доступом до середовища, методів керування та системами когнітивного радіо. На основі отриманих результатів обґрунтовано напрям досліджень та здійснено постановку завдань досліджень. У даному розділі вирішено перше завдання дослідження.

Проведений аналіз показав, що для впровадження методів керування відкриті два рівня когнітивних радіомереж - рівень співіснування та рівень рівень ініціалізації.

З проведених досліджень випливає, що еволюція керування середовищем когнітивного радіо, а саме множинного виявлення мобільних користувачів та вибору каналів, полягає у впровадженні сучасних технологій. Показано, що основними технологіями є: цикл Бойда, нечіткі нейронні мережі, управління систем на основі

мереж Mobile Ad-Hoc Networks, управління систем на основі нейронних мереж.

Цикл Бойда передбачає багатократне повторення петлі дій, з чотирьох послідовних взаємодіючих процесів: спостереження, орієнтації, рішення та дії. Такий метод має фактично формальний характер. Управління мережі на основі нечітких нейронних мереж одержали свою назву в силу того, що для апроксимації залежності вихідного сигналу від вхідного вектора $X=[x_1, x_2, ..., x_n,]^T$ в них використовуються вирази, запозичені з нечітких систем (зокрема, із систем Мамдани-Заді і Такаги-Сугено-Канга). Теоретично доведено, що ці вирази дозволяють з довільною точністю апроксимувати будь-яку безперервну нелінійну функцію багатьох змінних сумою функцій (названих нечіткими) однієї змінної.

Встановлено, що всі вузли мережі Mobile Ad-Hoc Networks мобільні і обмінюються інформацією безпосередньо між собою або застосовують ретрансляцію переданих пакетів. Під вузлом мережі розуміється термінал (переносний комп'ютер, персональний секретар, сенсорний пристрій, робот і ін.), оснащений приймачем та передавачем, що й реалізує функції маршрутизатора. Вузли даної мережі повинні швидко адаптуватися до частих змін топології і ефективно використовувати обмежені мережеві ресурси. У таких умовах забезпечити інформаційний обмін із заданою якістю неможливо без ефективної системи керування мережею.

Визначено, що нейронна мережа - математична модель, а також програмна або апаратна реалізація, побудована за принципом спрощеної організації та функціонування біологічних нейронних мереж - мереж нервових клітин живого організму. В процесі функціонування нейронна мережа формує вихідний сигнал Y відповідно до вхідного сигналу X, реалізуючи деяку функцію $Y = G(X)$.Якщо архітектура мережі задана, то вид функції G визначається значеннями синоптичних ваг і зміщень мережі. Нехай рішенням деякої задачі є функція $Y = F(X)$, задана параметрами вхідних-вихідних даних (X_1Y_1), (X_2Y_2), ..., (X_NY_N), для яких $Y_K= F(X_K)$ $(k = 1,2, ..., N)$.

Найкращі характеристики в часі та швидкості керування, були виявленні на основі радіальної базисної мережі, ймовірностних та згорткових нейронних мереж. Найбільш важливими перевагами PNN-мереж полягають у тому, що вихідне значення має імовірнісний сенс (і тому його легше інтерпретувати), і в тому, що мережа швидко навчається. При навчанні такої мережі час витрачається майже виключно на те, щоб подавати їй на вхід навчальні спостереження, і мережа працює настільки швидко, наскільки це взагалі можливо.

Радіальні базисні мережі моделюють довільну нелінійну функцію за допомогою всього одного проміжного шару, тим самим позбавляючи розробника від необхідності вирішувати питання про кількість шарів. По-друге, параметри лінійної комбінації в вихідному шарі можна повністю оптимізувати за допомогою добре відомих методів лінійної оптимізації, які працюють швидко і не відчувають труднощів з локальними мінімумами, які заважають при навчанні з використанням алгоритму зворотного поширення помилки.

Згорткова нейронна мережа за рахунок великої кількості абстрактних шарів, забезпечують часткову стійкість до змін масштабу, зсувів, поворотам, зміні ракурсу і іншим спотворень. Також мають можливість розпаралелювання обчислень,

реалізації алгоритмів роботи і керування мережі на графічних процесорах. Таким чином, відповідно до мети дисертаційної роботи на основі проведеного у 1 розділі аналізу, було сформовано завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі вирішено друге завдання дослідження; отримано перший науковий результат, а саме удосконалено метод керування середовищем когнітивного радіо, було здійснено впровадження когнітивних функцій в її архітектуру. Також запропоновано алгоритм керування середовищем WRAN, реалізованого під керуванням нейронної мережі, який зображено на рис. 1.

Нейронна мережа в кожній WRAN може збирати статистичні дані про стан оточення для аналізу і оцінки параметрів, щоб оптимізувати системну продуктивність, яка може ґрунтуватися на прогнозуванні з використанням нейронної мережі або інших методів.

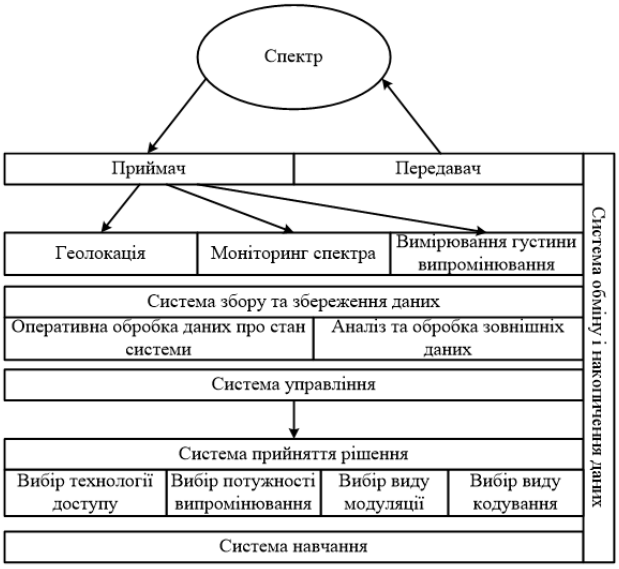

Рис. 1. Алгоритм керування середовищем з використанням нейронної мережі

Інформація може бути розширена додатковими компонентами визначення для забезпечення додаткових даних, які безпосередньо пов'язані з безпекою, несанкціонованим доступом, впливом інших WRANs. Нейронна мережа використовує результати вимірювань для генерації локального керування і регулює продуктивність всієї системи WRAN.

Дана система повинна бути добре обумовлена і повинна виконувати наступні умови:

– Існування (existence). Для будь-якого вхідного вектора $x \in X$ існує вихідне значення $y=f(x)$, де $y \in Y$.

– Унікальність (uniqueness). Для будь-якої пари вхідних векторів $(x, t) \in X$ рівність $f(x)=f(t)$ виконується тоді і тільки тоді, коли $x=t$.

– Безперервність (continuity). Відображення вважається безперервним, якщо для будь-якого $\varepsilon>0$ існує $\delta=\delta(\varepsilon)$, таке, що з умови $p_x(x, t)<\delta$ виявляється, що $p_y(f(x), f(t))<\varepsilon$, де p() – відстань між двома аргументами у відповідних просторах. Властивість безперервності ще називають стійкістю (stability).

Керування розглядається як задача реконструкції гіперповерхні на основі безлічі точок, яке може бути досить розрідженим.

Корекція помилок передбачає вибір центрів на основі самоорганізації і подачі помилки на вхід мережі. Для процесу управління удосконалено метод керування середовищем, який розбиває задану безліч точок даних на дві підгрупи, кожна з яких повинна бути максимально однорідною. Для такої ситуації будемо використовувати метод *k*-середніх (*k*-means clustering method). Цей метод можна описати таким чином:

Крок1. Ініціалізація (initialization). Вибираємо випадкові значення для вихідних центрів $t_k(0)$. Єдиною вимогою до їх вибору на даному етапі є неоднаковість всіх початкових значень. Значення Евклідової норми по можливості повинні бути мінімізовані.

Крок2. Вибірка (sampling). Вибираємо вектор x з вхідного простору x з певною ймовірністю. Цей вектор буде вхідним для алгоритму на ітерації n.

Крок3. Перевірка подібності (similarity matching). Позначимо $k(x)$ як індекс, що найбільш задовольняє (що переміг) центру для даного вектора x. Знаходимо $k(x)$ на ітерації n, використовуючи критерій мінімальної Евклідової відстані:

$$k(x) = \arg\min_k \left\| x(n) - t_k(n) \right\|, k = 1, 2, \ldots, m_1, \tag{1}$$

де $t_k(n)$– центр k-ї радіальної базисної функції на ітерації n.

Крок4. Коригування (updating). Коригуємо центри радіальних базисних функцій, використовуючи наступне правило:

$$t_k(n+1) = \begin{cases} t_k(n) + \mu\left[x(n) - t_k(n) \right], \\ t_k(n) - \textit{в іншому випадку,} \end{cases} \tag{2}$$

де μ – параметр швидкості керування (learning-rate parameter), обраний з діапазону $0<\mu<1$.

Крок5. Продовження (continuation). Збільшуємо на одиницю значення n і повертаємося до кроку 2, продовжуючи процедуру до тих пір, поки положення центрів t_k істотно змінюється.

Використовуючи цей метод, ймовірність помилки сигналу при використанні правила найближчого сусіда вдвічі перевищує Байєсову ймовірність помилки.

Отримані результаті моделювання представлені на рис. 2. Мережа має 20 нейронів, вона навчалася протягом 1200 мс, що на 800 мс (в 1,67 рази) швидше необхідного значення згідно зі стандартом IEEE-802.22 (2000 мс). Величини вхідних і вихідних значень множин мають невеликі відхилення, а в деяких позиціях дорівнюють один одному, що підтверджує правильність керування мережі. Мережа визначила 4 групи і два вхідних вектора до однієї з груп, де їх значення показані на рис. 2 зірочками (червона зірочка - входить в навчальну множину, синя - не входить в навчальну множину), а входять значення масивів даних, що показано точками.

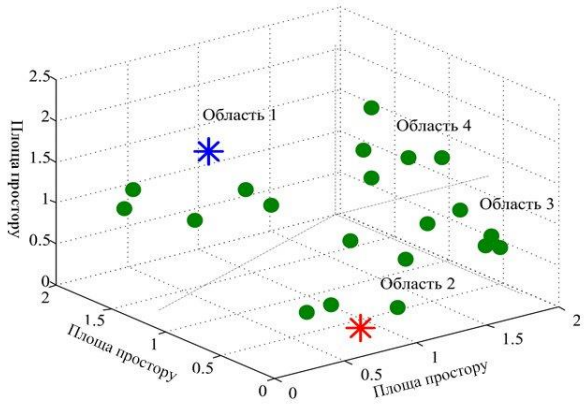

Рис. 2. Результат роботи імовірнісної нейронної мережі (PNN)

У третьому розділі вирішено третє завдання дослідження; отримано другий науковий результат, а саме розроблено метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі.

Нехай M – це кількість місць, в яких буде проводитися аналіз спектра, а N – кількість каналів, які можуть бути виявлені в точці j. В точці j присутні тіньове і багатопроменеве завмирання, а також інші спотворення, які можуть впливати на результати визначення мобільних користувачів в різних місцях даної локації. Мобільні користувачі можуть отримувати різні результати вимірювань в одному і тому ж місці. Звідси випливає, що місцезнаходження мобільних користувачів можна розбити на декілька підзон.

Просторове розташування можна зафіксувати за допомогою результатів визначення мобільних користувачів в різних локаціях. В зоні H локації j, $z_{hj}^{i}=1$ означає, що існує щонайменше один канал передачі даних. При значенні $z_{hj}^{i}=0$ зрозуміло, що не було знайдено жодного каналу передачі. В локації j нехай y_j^i - це кількість підзон, де виявлено канал щонайменше одним мобільним користувачем. Ми можемо припустити, що $y_j^i = \sum_{h=1}^{m(j)} z_{hj}^i$, де $m(j)$ – це кількість підзон в локації j. Можна припустити, що чим вище значення y_j^i, тим більш ефективним буде аналіз спектру. При $y_j^i = m(j)$ буде досягнуто максимальний результат аналізу спектру. З цього випливає, що ефективність аналізу спектру буде зростати, коли y_j^i має малі значення, і навпаки. Нехай $f(i,j)=\sqrt{y_j^i / m(j)}$ - це ефективність аналізу каналу i локації j. В результаті чого можна описати функцію ефективності спектра для задач множинного виявлення наступним чином:

$$\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N(j)} \omega_j^i f(i,j), \qquad (3)$$

де ω_j^i - невід'ємне вагове значення $\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N(j)}\omega_j^i = 1$, при якому ω_j^i може відрізняти різні рівні аналізу каналів в кожній локації.

Згідно (3) функція ефективності аналізу спектру збільшується, коли y_j^i знаходиться в діапазоні від 0 до *m(j)* та зменшується, якщо y_j^i зростає.

Щоб отримати реалістичний аналіз спектра, функція ефективності аналізу спектру повинна бути максимальною, враховуючи всі локальні обмеження каналу *i*, локації *j* і порога, меншого за *H*. Локальні обмеження можуть бути описані:

$$f(i, j) \geq H,\ i \in [1,\ N(j)], j \in [1,\ M]. \tag{4}$$

Існують також чинники, які слід враховувати в наведений спосіб. Для мобільних користувачів спочатку слід розглянути залишкову енергію сигналу. Тільки коли залишкова енергія мобільного користувача буде вище заданого порогу, користувач може виконати операцію аналізу спектру. Приймемо T_h як нормалізований поріг залишкової енергії, *K* – це всі мобільні користувачі, і e_k – це залишкова енергія мобільного користувача *k*. Тоді енергетичне обмеження може бути виражено як:

$$e_k \geq Th,\ \ k \in K. \tag{5}$$

Позначимо *M* як кількість місць, які необхідно проаналізувати. Лише мобільні користувачі, які знаходяться в локації *j*, можуть здійснювати аналіз спектру. Передбачається, що мобільний користувач може аналізувати лише один канал. Нехай в локації *jK(j)* – набір мобільних користувачів, *n(j)* – кількість мобільних користувачів і *N(j)* – кількість каналів, які можуть бути проаналізовані. Для мобільних користувачів $k \in K(j)$, $x_{ki} = 1$ означає, що канал *i* було виявлено мобільним користувачем *k*. Враховуючи, що мобільний користувач може аналізувати лише один канал, можна виразити всі інші обмеження як:

$$\sum_{k \in K(j)}\sum_{i=1}^{N(j)} x_{ki} \leq n(j). \tag{6}$$

Схема стимулювання передбачає, що FC буде оплачувати рахунки мобільних користувачів, які намагаються аналізувати спектр частот. Така вартість множинного виявлення повинна бути затверджена операторами зв'язку і перебувати в прийнятному діапазоні. Нехай *C* – максимальна вартість, яку повинен заплатити користувач за аналіз спектра і $c_к$ - вартість одного мобільного користувача, при $k \in K(j)$. Такий вираз може бути описано наступним чином:

$$\sum_{j=1}^{M}\sum_{k \in K(j)} c_k \sum_{i=1}^{N(j)} x_{ki} \leq C. \tag{7}$$

Найприйнятніший розподіл користувачів для множинного виявлення можна описати виразом:

$$\max \sum_{j=1}^{M} \sum_{i=1}^{N(j)} \omega_j^i f(i,j), \tag{8}$$

при умові, що $f(i,j) \geq H \; i\,[1, N(j)],\; j \in [1, M], e_k \geq Th,\; k \in K.$

$$\begin{gathered} \sum_{k \in K(j)} \sum_{i=1}^{N(j)} x_{ki} \leq n(j), \\ \sum_{j=1}^{M} \sum_{k \in K(j)} c_k \sum_{i=1}^{N(j)} x_{ki} \leq C, \\ \sum_{j=1}^{M} \sum_{i=1}^{N(j)} \omega_j^i = 1. \end{gathered} \tag{9}$$

На рис. 3 показано приклад розподілу користувачів для множинного виявлення. У мережі існують дві локації і три канали. Кожна локація розділена на три підзони. Мобільні користувачі можуть в різних підзонах отримувати різні результати вимірювань в одному і тому ж каналі. Деякі користувачі не можуть здійснювати аналіз спектру, оскільки мають локальні обмеження, високу вартість запиту або недостатню залишкову енергію. Решта користувачів буде аналізувати канали відповідно до (7).

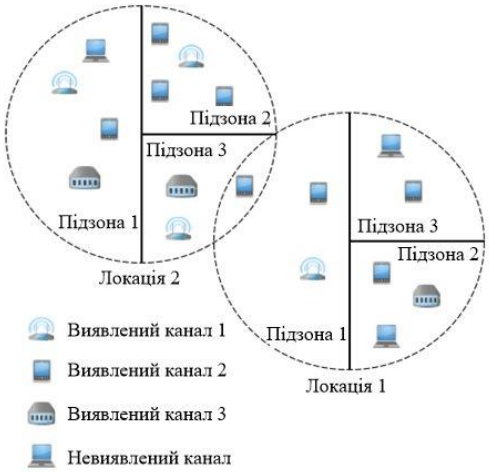

Рис. 3. Приклад архітектури множинного виявлення

Після кожного циклу по множинному виявленню користувачів, енергія користувача, що аналізує, буде зменшуватися. Мобільний користувач повинен визначити, що його енергія, яка залишилася, відповідає енергетичному порогу. Якщо власна енергія користувача, який аналізує спектр, є вищою за порогове значення, мобільний користувач знову може провести аналіз спектру. Якщо власна енергія користувача, який аналізує спектр, є нижчою порогового значення, то мобільний користувач не може здійснити аналіз спектру. Для кожної частинки рою, у випадку, якщо енергії користувача не вистачає для аналізу спектру, здійснюється запис вектора даної частинки в нульове значення відповідної матриці. Ґрунтуючись на поточній матриці, функція ефективності частинки може бути знайдена згідно (3). Після обчислення функції ефективності всіх частинок ми можемо отримати краще

розташування частинки P_{id} і глобальне розташування P_{gd}. Чим вище значення функції ефективності, тим краще становище відповідної частки. Залежно від положення P_{id} і P_{gd}, об'єднаємо матриці для оптимізації множинного виявлення. Нехай T_1 - поточна матриця частинки, а T_2 і T_3 позначають кращу і глобальну матрицю відповідно. Об'єднана матриця може бути описана комбінацією T_1, T_2 і T_3.

Запропонований алгоритм множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок з використанням нейронної мережі (Particle Swarm Optimization-Neural Network – PSO-NN) оцінюється шляхом моделювання. Існують локації, в яких можна здійснити аналіз спектру з однаковими радіусами. Кожна локація поділяється на 3 підзони. Кількість каналів дорівнює 5 (N = 5). Локальний поріг H = 0.57. Невід'ємні ваги ω_j^i однакові для кожного каналу і для кожної локації. Мобільні користувачі генеруються в випадкових локаціях.

На рис. 4 показано ефективність множинного виявлення при спільній роботі 50 мобільних користувачів від 15 до 40 локацій. Коефіцієнт вартості $c_к$ вибрано в діапазоні {1,2,3, ..., 50}. Максимальна вартість $a\sum_{k=1}^{50} c_k$, де a лежить в діапазоні від 0,6 до 0,8. Нормований енергетичний поріг $0,2 \le T_h \le 0,5$. Ефективність множинного виявлення обчислюється за (1). Ця функція відображає ефект виявлення, а її значення лежить у діапазоні від 0 до 1. Чим ближче значення до 1, тим функція виявлення буде кращою. Порівнюючи розроблений метод із іншими реалізаціями, можна зауважити, що алгоритм, який реалізує запропонований метод показав вищий ефект виявлення. В міру збільшення числа локацій, ефективність виявлення зменшується. Це відбувається тому, що більша кількість локацій призводить до виникнення більшої кількості підзон, фіксована кількість користувачів не може виявити всі підзони. При T_h = 0,2 і a = 0,8 функція ефективності виявлення показала найвищі значення.

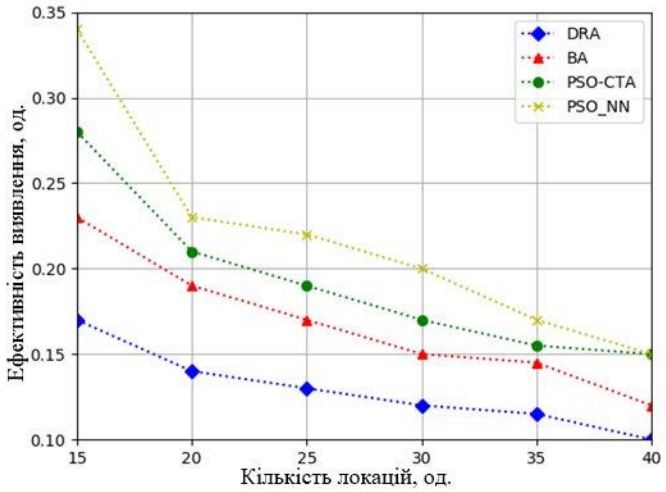

Рис. 4. Функція ефективності множинного виявлення для 50 мобільних користувачів

Розроблений метод PSO-NN, який оснований на алгоритмі множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок з використанням нейронної мережі відрізняється від існуючих тим, що він більш

коректно налаштовується на реальні умови, властиві архітектурі когнітивних систем. Цей метод використовує оптимізацію рою частинок під керуванням згорткової нейронної мережі. Завдяки цьому забезпечується суворий доступ до аналізу спектру на основі енергетичної складової мобільних користувачів. За рахунок використання мікрочасткової архітектури та згорткових нейронних шарів, функція ефективності виявлення і глобальне розташування частинок визначається більш точно. Подальша реалізація методу множинного виявлення відрізняється від існуючих тим, що після об'єднання матриць користувачів виявлених каналів, тільки один користувач закріплюється за певним каналом. Також, така реалізація передбачає більш реалістичний простір пошуку і швидкість виявлення користувачів зі знайденими каналами. Моделювання PSO-NN, як метод ефективності множинного виявлення для 50 мобільних користувачів, має кілька згорткових шарів, які узагальнено один з одним. Така архітектура може бути підтвердженням того, що обрана практичним шляхом нейронна мережа більшою мірою задовольняє поставленим завданням. Результати моделювання показали, що при 20 локаціях, ефективність виявлення з використанням методу PSO-NN зросла на 10 відсотків, при 25 локаціях - на 20%, при 30 локаціях - на 20%, при 35 - на 20%, при 40 не змінилась.

У четвертому розділі вирішено четверте завдання дослідження; отримано третій науковий результат, а саме розроблено метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології “ENERGY HARVESTING”.

Виявлення спектральних «дір» є основою механізму DSA (Dynamic spectralaccess - DSA). Крім того, помилково знайдені канали впливають на продуктивність передачі вторинних користувачів та призводять до виникнення помилок в роботі первинних користувачів.

Спектральний аналіз повинен виконуватися перед передачею даних для виявлення доступності каналу. Більшість методів застосовуються вторинними користувачами для виявлення активності первинних користувачів. Метод детектування енергетичної складової простий в реалізації і показує реальну картину зайняття каналів. Тому такий метод є більш точним, навіть якщо вторинний користувач практично не має інформації про первинного користувача і взятий за основу в розробці методу як алгоритм зондування спектру. Тобто, основною метою вимірювання спектра є визначення зайнятості каналу в ліцензованій смузі частот. У відповідності з двома гіпотезами, описаними нижче, сигнал може бути виражений як:

$$\begin{aligned} H_0 &: x(t) = n(t), \\ H_1 &: x(t) = s(t) + n(t). \end{aligned} \tag{10}$$

де H_0, H_1- дві гіпотези про зайнятість або вільність каналу;
$n(t)$-адитивний білий гаусів шум (AWGN – Additive white Gaussian noise);
$s(t)$- сигнал первинного користувача в обраному каналі.

Передбачається, що імовірність виявлення можна позначити через P_d з фіксованим SNR γ в каналі з AWGN і її можна представити як:

$$P_d(\gamma,\tau,\lambda)=\alpha\left(\left(\frac{\lambda}{\sigma^2}-\lambda-1\right)\sqrt{\frac{\tau f_s}{2\gamma+1}}\right), \tag{11}$$

де τ - тривалість виявлення;

λ - поріг виявлення;

f_S - частота дискретизації;

σ - дисперсія AWGN;

α - імовірність нормального розподілу.

При помилковому виявленні можливе виникнення двох типів помилок: хибна помилка і, власне, помилкове виявлення. Хибна помилка виникає, коли канал вільний, а вторинний користувач вважає, що канал зайнятий. При помилковому виявленні вторинний користувач ідентифікує канал як вільний, який фактично зайнятий. Звідси випливає, що хибна помилка вказує на невикористану можливість доступу до спектру, в той час як помилкове виявлення вносить потенційні завади в каналі з первинним користувачем. Імовірності виявлення хибної помилки f_s та помилкового виявлення f_m можуть бути представлені як:

$$P_f(\tau,\lambda)=\alpha\left(\left(\frac{\lambda}{\sigma^2}-1\right)\sqrt{\tau f_s}\right), \tag{12}$$

$$P_m(\gamma,\tau,\lambda)=1-\alpha\left(\frac{\frac{\lambda}{\sigma^2}-(1+\gamma)}{(1+\gamma)\sqrt{\frac{2}{\tau P_s}}}\right). \tag{13}$$

Через ефекти багатопроменевого завмирання, всередині високих будівель з високими втратами і локальними перешкодами та завадами, ймовірності хибної помилки і помилкового виявлення збільшуються при не суміщених методах виявлення, що призводить до помилок при прийомі-передачі між первинними та вторинними користувачами в мережах когнітивного радіо.

При надходженні даних на приймач вторинного користувача, він здійснює порівняння результатів поточного стану каналу з інформацією CSI (Channel state information - CSI), визначає потужність первинного користувача на підставі відстані і посилення антени в тому випадку, якщо первинний користувач повністю не займає цей канал. Для режиму перекриття немає обмеження для потужності передачі вторинного користувача. Для зміни поточного стану каналу в режим сполучення, через виникнення завад, викликаних впливом роботи вторинного користувача на канал первинного користувача, необхідно зменшити потужність передачі, змінити тип модуляції і визначити тип кодування, для забезпечення відповідного SNR (signal-to-noiseratio).

У такій гібридній моделі передачі даних вторинний користувач може визначити, чи здійснювати йому передачу даних або «збір» енергії в залежності від

буфера даних або стану джерела безперебійного живлення. Ґрунтуючись на результатах вимірювання спектра і порогових значеннях режиму суміщення або перекриття, кожен вторинний користувач може як отримувати доступ до каналу з ПК, так і накопичувати енергію з каналів, зайнятих первинним користувачем. Нейронна мережа, використовуючи накопичену інформацію про стани каналу, топології виявлених каналів, рівня випромінювання, дальності, приймає рішення про перехід на новий канал для передачі даних на зайнятих частотах для «збору» енергії або передачі даних в наступних фазах CS (channel sensing - CS). Процес вибору режиму передачі для кожного вторинного користувача представлено на рис. 5.

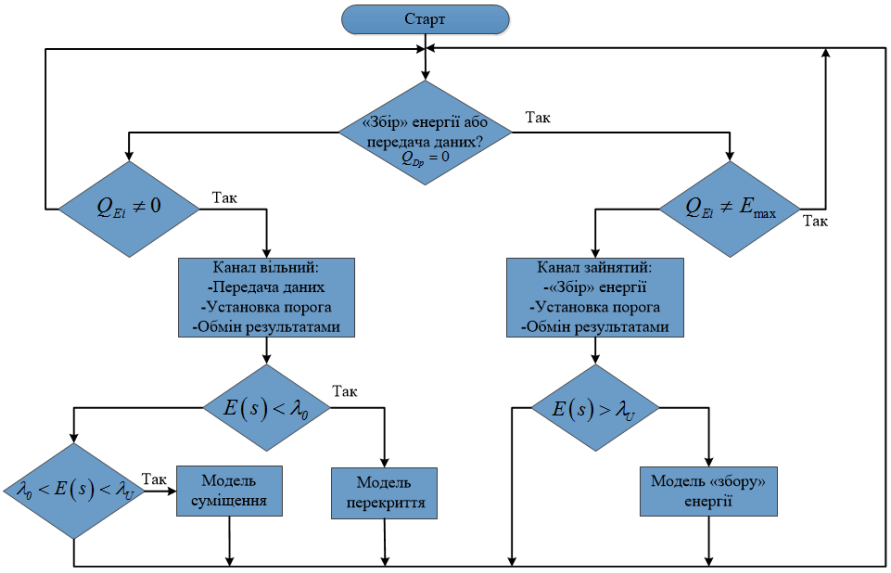

Рис. 5. Процес вибору режиму передачі вторинного користувача

На підставі розробленого методу гібридної моделі передачі даних кожен вторинний користувач може або передавати дані у вільному каналі, або здійснювати «збір» енергії з зайнятого каналу. Для мережі когнітивного радіо з великою кількістю первинних та вторинних користувачів однією з ключових проблем, пов'язаних з доступом до багатоканальних систем, є проблема конкуренції між вторинними користувачами.

Якщо виявлено незайнятий канал, передавач вторинного користувача відправляє пакет RTS (Request To Send - RTS) по каналу на приймач вторинного користувача. Потім вторинний користувач, що приймає, відповідає пакетом CTS (Clear To Send - CTS) в тому ж каналі. У каналі можуть виникати колізії RTS і CTS пакетів, якщо один і той же канал використовує більше однієї пари вторинних користувачів. Відповідно, пара вторинних користувачів отримує доступ до каналу не відразу, а після того як один з них отримав CTS пакет. Ті вторинні користувачі, які отримують CTS пакет, утворюють конкуруючий набір - S_{Ii}= 1, 2, 3,…, M, який показує, що ці вторинні користувачі конкурують за доступ до каналу первинного користувача. Припустимо, що розмір S_{Ii} - це W, якому довільно присвоюємо значення від 0 до W-1. Вторинний користувач, який має W = 0, може передавати дані в режимі DT (Data Transmission - DT). Якщо вторинний користувач виявляє більше одного каналу, він може конкурувати за кілька незайнятих каналів і

отримувати кілька значень з конкуруючого набору. Для збільшення пропускної спроможності нейронна мережа може розділити передачу даних на кілька каналів, при умові, якщо вона отримала нульове значення з конкуруючого набору. Коли канал може бути доступним лише в режимі суміщення для передачі даних, ті вторинні користувачі, які отримують CTS пакет, утворюють конкуруючий набір, S_{Ui} = 1, 2, 3, ..., M.

Вторинний користувач буде передавати дані до тих пір, поки стан каналу не зміниться і результат поточного стану не буде дорівнювати $E(s) < \lambda_0$ в наступному режимі CS. Коли вторинний користувач «виходить» з поточного каналу, всі інші вторинні користувачі автоматично встановлюють значення конкуруючого набору в W-1. Результат стану каналу буде $\lambda_0 < E(s) < \lambda_u$ в наступному CS режимі, тобто якщо первинний користувач не повністю займає весь канал для передачі в даний момент часу, вторинний користувач знижує рівень потужності, щоб були дотримані обмеження потужності перешкод первинного користувача, вказані в режимі суміщення. Якщо передача вторинного користувача призводить до виникнення завад в каналах первинного користувача при $E(s) > \lambda_u$, то передача даних буде припинена в наступній фазі DT, а конкуруючий набір буде дорівнювати NULL.

Метод визначення критерію вибору каналу вторинного користувача, що входить в основу метода, забезпечує передачу даних в режимі перекриття або суміщення. Швидкість обслуговування кожного вторинного користувача в гібридній моделі описується як $R_h = R_o + R_u$, де $R_h = R_o + R_u$ і може бути виражена через R_o^0, R_o^1, $R_o^{0'}$, $R_o^{1'}$ в моделі перекриття:

$$\begin{gathered} R_o^0 = B\log_2\left(1+g_sP_s^o\right), \\ R_o^1 = 0, \\ R_o^{0'} = B\log_2\left(1+\frac{g_sP_s^o}{g_pP_p+1}\right), \\ R_o^{1'} = 0, \end{gathered} \tag{14}$$

де R_o^0 - показник того, що первинний користувач не займає канал;

R_o^1 - показник того, що первинний користувач займає канал;

$R_o^{0'}$ та $R_o^{1'}$ - показники норми обслуговування кожного вторинного користувача при хибній помилці або помилковому виявленні.

В моделі суміщення R_u може бути позначена як R_u^0 (15) та R_u^1 (16) відповідно:

$$R_u^0 = B\log_2\left(g_sP_s^u\right), \tag{15}$$

$$R_u^{0'} = B\log_2\left(1+\frac{g_sP_s^u}{g_pP_p+1}\right). \tag{16}$$

Пропускна здатність вторинного користувача має такий вид:

$$T = 1 - p_{out}, \tag{17}$$

де p_{out} - імовірність відмови.

Пропускна здатність критерія вибору каналів T_h складається з T_o і T_u. T_o описується виразом (18):

$$T_o = p_i\left(1-p_f\right)\left(1-p_{out}^{o}\right)+\left(1-p_i\right)p_f\left(1-p_{out}^{o'}\right), \tag{18}$$

де p_i - імовірність «простою» каналу;

p_{out}^{o} та $p_{out}^{o'}$ - хибна помилка та помилкове виявлення, які, відповідно, можуть бути виражені як (19) та (20):

$$p_{out}^{o} = Pr[R_o^0 < R_s], \tag{19}$$

$$p_{out}^{o'} = Pr[R_o^{0'} < R_s], \tag{20}$$

де R_s – прийнятна швидкість обслуговування вторинного користувача.

Виходячи з вищеописаного, ми можемо отримати T_u (21), p_{out}^{u} (22) та $p_{out}^{u'}$ (23):

$$T_u = p_i\left(1-p_f\right)\left(1-p_{out}^{u}\right)+\left(1-p_i\right)p_f\left(1-p_{out}^{u'}\right), \tag{21}$$

$$p_{out}^{u} = Pr[R_u^0 < R_s], \tag{22}$$

$$p_{out}^{u'} = Pr[R_u^{0'} < R_s]. \tag{23}$$

У (24) показано час, що минув від прийому сигналу RTS до повної передачі даних між кожним вторинним користувачем. Цей час відображає продуктивність конкуруючого набору. Нейронна мережа дозволяє більш прийнятно визначити вибір конкуруючого набору ніж звичайний критерій випадкового доступу. Середній час очікування вторинного користувача може бути описано як:

$$T_w = T_t - T_{RTS}, \tag{24}$$

де T_t та T_{RTS} - час прийому-передачі вторинного користувача.

Ефективність накопичення енергії описується з точки зору залишкової енергії та може бути описано (25):

$$e_r^{t+1} = \min\left[e_r^t + e_h - \left(e^t + e_s + e_c\right), E_{\max}\right], \tag{25}$$

де e_h - «пакети» енергії, які було зібрано вторинним користувачем в зайнятих каналах;

e_t та e_s– енергія, споживана вторинним користувачем для передачі даних та виявлення каналів в спектрі відповідно;

e_c – інші втрати енергії;

e_r^t - залишкова енергія в часовому інтервалі t.

На рис. 6 показано середній час очікування вторинних користувачів в чотирьох різних моделях при різній кількості зайнятих каналів.

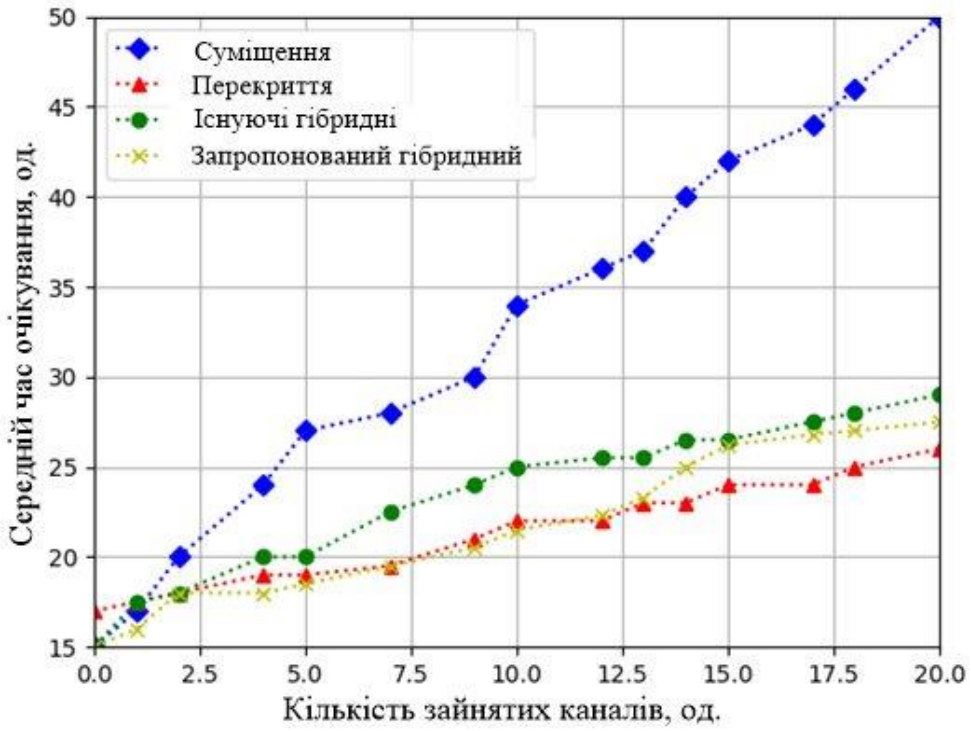

Рис. 6. Вплив моделі передачі даних на середній час очікування вторинного користувача при різній кількості зайнятих каналів

Для вирішення проблеми конкуренції каналів серед вторинних користувачів, було розроблено гібридну модель передачі для одного вторинного користувача. Кожен вторинний користувач може здійснювати передачу даних в незайнятому каналі або здійснювати «збір» енергії з каналу, в якому відбувається передача даних з урахуванням конкуруючого набору і стану ємності джерела безперебійного живлення.

ВИСНОВКИ

Сукупність отриманих у дисертаційній роботі результатів вирішує актуальну науково-прикладну задачу, що полягає в розробці методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж, які забезпечують підвищення ефективності когнітивних радіомереж. На основі проведених досліджень і результатів вирішення часткових задач отримані нові наукові та практичні результати, які є істотним внеском у подальший розвиток теорії й практики підвищення ефективності інтелектуальних телекомунікаційних систем в умовах множинного доступу.

Найбільш важливі наукові та практичні результати, що отримані в дисертації, такі.

1. Проведені дослідження рівня керування доступом до середовища, методів керування та керування системами когнітивного радіо показали, що відомі методи мають суттєві недоліки відмовостійкості, накопичення прийнятих рішень, механізмів реалізації динамічної зміни середовища, не в повній мірі використання спектру, що призводить до погіршення зв’язку та до зменшення кількості обслуговування абонентів.

2. Удосконалено метод керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі. Запропонований метод має ту особливість, що нейронна мережа розташовується в кожній базовій станції (BS) і взаємодіє з іншими WRANs відповідно до стандарту IEEE 802.22. Оточення мережі може складатися з інших WRANs, з якими він може взаємодіяти. Ці взаємодії можуть включати спільне використання даних і узгодження розподілу ресурсу. Завдяки цьому забезпечується адаптація до змін навколишнього середовища і збільшення швидкодії в 1,67 рази. Даний встановлений факт може бути пояснений тим, що така архітектура більшою мірою задовольняє параметрам, встановлених стандартом IEE802.22, в порівнянні з іншими існуючими методами. Також нейромережеві системи управління більш гнучко налаштовуються на реальні умови, утворюючи моделі повністю адекватні когнітивним системам. Крім того, управління середовищем із застосуванням нейронної мережі реалізується на основі окремого випадку радіальних базисних мереж - ймовірнісної нейронної мережі. Завдяки цьому забезпечується зменшення байєсівської ймовірності помилки і збільшення швидкодії мережі. Даний встановлений факт може бути пояснений тим, що використовується гібридна форма керування.

3. Вперше запропоновано метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі. Запропонований метод відрізняється від відомих тим, що він більш коректно налаштовується на реальні умови, властиві архітектурі когнітивних систем. В цьому методі використовується оптимізація рою частинок під керуванням згорткової нейронної мережі. Завдяки цьому забезпечується суворий доступ до аналізу спектру на основі енергетичної складової мобільних користувачів. За рахунок використання мікрочасткової архітектури та згорткових нейронних шарів, функція ефективності виявлення і глобальне розташування частинок визначається більш точно. Також, така реалізація передбачає більш реалістичний простір пошуку і швидкість виявлення користувачів зі знайденими каналами. Наприклад, ефективність множинного виявлення для 50 мобільних користувачів, має кілька згорткових шарів, які узагальнено один з одним. Така архітектура може бути підтвердженням того, що обрана практичним шляхом нейронна мережа більшою мірою задовольняє поставленим завданням. Наприклад, при 20 локаціях, ефективність виявлення з використанням методу зросла на 10 %, при 25 локаціях - на 20%, при 30 локаціях - на 20%, при 35 - на 20%, при 40 не змінилась.

4. Вперше запропоновано метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології “ENERGY HARVESTING”. Для вирішення проблеми конкуренції каналів серед вторинних користувачів, було розроблено гібридну модель передачі для одного вторинного користувача. Кожен вторинний користувач може здійснювати передачу даних в незайнятому каналі або здійснювати «збір» енергії з каналу, в якому відбувається передача даних з урахуванням конкуруючого набору і стану ємності джерела безперебійного живлення. Також метод може забезпечити більш високу пропускну здатність у порівнянні з випадковою політикою. Тобто, запропонований метод суміщеного аналізу спектра і механізм визначення критерію вибору каналу перевершують відомі з точки зору ймовірності хибної помилки,

середньої пропускної здатності, середнього часу очікування та ефективності «збору» енергії вторинного користувача. Наприклад при 4 зайнятих каналів, середній час очікування зменшився на одну мкс. При 10 зайнятих каналів зменшився на 20мкс якщо зрівнювати з методами суміщення та гібридними.

5. На основі запропонованих методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж розроблено відповідні алгоритми, що лежать в основі їх програмної реалізації, а також досліджено ефективність даних методів для певних моделей каналів зв'язку та умов передачі інформації шляхом порівняння з існуючими методами.

6. Достовірність та наукова обґрунтованість отриманих результатів підтверджується відсутністю протиріч з основними положеннями теорії інформації, теорії математичного програмування, а також збіжністю отриманих результатів із даними експериментальних досліджень та результатами математичного моделювання. Основні результати, отримані у дисертаційній роботі, впроваджено.

7. Достовірність отриманих результатів підтверджується відсутністю протиріч з основними положеннями теорії інформації, теорії оптимізації, теорії математичного програмування, а також збіжністю отриманих результатів із даними експериментальних досліджень та результатами математичного моделювання.

8. Отриманні в роботі результаті знайшли практичне впровадження та використання:

- У ТОВ "АРТІКС ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ" при розробці рекомендацій з організації та впровадження щодо системи радіозв'язку на основі стандарта IEEE 802.22.2.

- В Національній академії Національної Гвардії України при здійсненні професійної, науково-технічної та дослідницько-інноваційної діяльності щодо впровадження удосконаленого методу керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронних мереж.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України та виданнях України, що входять до наукометричних баз:

1. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Фоменко О.К. Метод навчання когнітивних радіомереж на основі кіл Маркова. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. № 133. С. 147-154.

2. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Олефіренко Т.М. Дослідження імовірносного розподілу службових сигналів в когнітивному радіо. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2015. №6. С. 51-54.

3. Obikhod Y., Lysechko V., 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*. 2017. № 4/9 (88). P. 22-29. [SCOPUS]

4. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Олефіренко Т.М. Розробка методу вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних

користувачів з використанням технології “ENERGYHARVESTING” під керуванням нейронної мережі. *Збірник наукових праць.* 2018. № 3(49). С. 165-174.

5. Obikhod Y.Y. Mobileuser’s multiple detection method on the basis of the particle swarm optimization in the cognitive radio network. *Quarterly scientificant technical journal*. 2018. №2(2). P. 127-132.

6. Обіход Я.Я., , Ковтун І.В., Шувалова Ю.С., Сколота С.В. Методи віртуалізації і масштабування в мережах безпроводового доступу. *Журнал «Сиситеми керування, навігації та зв’язку».* 2019. №3(55). С.171-175.

Тези доповідей у збірниках наукових конференцій:

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

8. 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 керування».* 2016. С. 63.

9. 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»*. 2016. С. 38.

10. Обіход Я.Я., Лисечко В.П. Метод вибору каналів у когнітивному радіо під керуванням нейронної мережі. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ LXXX Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті».* 2018. № 177. С. 39.

11. Обіход Я.Я., Лисечко В.П., Сколота О.В. Метод множинного виявлення мобільних користувачів в когнітивній радіомережі. *Тези доповідей шостої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації».* 2018. С. 32.

12. 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 НАНГУ «Службово-бойова діяльність Національної гвардії України: сучасний стан, проблеми та перспективи».* 2018. С. 36.

АНОТАЦІЯ

Обіход Я.Я. Методи керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі. - Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, Харків, 2019.

Дисертаційне дослідження присвячене розробці методів керування інтелектуальних телекомунікаційних мереж з метою підвищення ефективності їх функціонування.

В дисертаційній роботі було розроблено метод вибору каналів когнітивного радіо при множинному доступі первинних та вторинних користувачів з використанням технології «ENERGY HARVESTING» під керуванням нейронної мережі, що дозволяє зменшити ймовірність помилок при виявленні вільних каналів та при передачі інформації вторинними користувачами. В роботі удосконалено метод керування середовищем когнітивної радіосистеми з використанням нейронної мережі, який дозволяє забезпечити адаптацію до змін навколишнього середовища і збільшення швидкості передачі даних. Також було розроблено метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі, що дозволяє підвищити ефективність виявлення мобільних користувачів інтелектуальних телекомунікаційних мереж. Розроблено алгоритм управління середовищем з використанням нейронної мережі. Алгоритм має таку особливість, що нейромережеві системи управління більш гнучко налаштовуються на реальні умови, утворюючи моделі повністю адекватні когнітивним системам. В ході досліджень було розроблено архітектуру множинного виявлення, яка відрізняється від відомих тим, що кожна локація розділена на підзони. В результаті, мобільні користувачі можуть в різних підзонах отримувати різні результати вимірювань в одному і тому ж каналі.

Ключові слова: вторинний користувач, збереження енергії, когнітивне радіо, нейронна мережа, первинний користувач, передача даних, радіо хвилі, радіочастотний спектр.

ABSTRACT

Obikhod Y.Y. Methods of control intellectual telecommunication networks. – On the rights of the manuscript.

A thesis submitted in fulfillment of the candidate of technical sciences degree on specialty 05.12.02 - telecommunication systems and networks. - Ukrainian State University of Railway Transport of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation research is dedicated to developing of methods of management of intelligent telecommunication networks in order to increase the efficiency of their functioning.

In the dissertation the researches of the level of access control to the environment, methods of management and control of the systems of cognitive radio showed that the known methods have significant disadvantages of fault tolerance, accumulation of the made decisions, mechanisms of realization of dynamic change of the environment, not fully using the spectrum, which leads to deterioration to reduce the number of customer service. Improved cognitive radio environment management method using neural network. The proposed method has the feature that the neural network is located in each base station (BS) and interacts with other WRANs in accordance with IEEE 802.22. A network environment may consist of other WRANs with which it may interact. These interactions

may include data sharing and resource allocation coordination. This ensures adaptation to environmental changes and an increase in performance of 1.67 times. This established fact can be explained by the fact that such architecture more than meets the parameters set by the standard IEE802.22, in comparison with other existing methods. Neuronetic control systems are also more adaptable to real-world conditions, creating models that are completely adequate to cognitive systems. In addition, the management of the environment using the neural network is implemented on the basis of a special case of radial basis networks - probabilistic neural network. This reduces the Bayesian error probability and increases network performance. This established fact can be explained by the fact that the hybrid form of control is used. For the first time, a method for multiple detection of mobile users based on particle swarm optimization in a cognitive radio network is proposed. The proposed method differs from the known ones in that it is more correctly tuned to the real conditions inherent in the architecture of cognitive systems. This method uses particle swarm optimization under the control of a convolutional neural network. This provides rigorous access to spectrum analysis based on the energy component of mobile users. Through the use of microparticle architecture and convolutional neural layers, the detection efficiency and global particle positioning are more precisely determined. Also, this implementation provides a more realistic search space and speed of detection of users with found channels. For example, multiple detection efficiency for 50 mobile users has several convolutional layers that are generalized to each other. Such an architecture can be a confirmation that the neural network chosen in a practical way is more satisfying for the task. For example, at 20 locations, detection efficiency using the method increased by 10%, at 25 locations - by 20%, at 30 locations - by 20%, at 35 - by 20%, at 40 did not change. For the first time, a method for selecting cognitive radio channels with multiple access for primary and secondary users using "ENERGY HARVESTING" technology is proposed. To solve the problem of competition for channels among secondary users, a hybrid transmission model for one secondary user was developed. Each secondary user can transmit data in an unoccupied channel or "collect" energy from the channel in which the data is transmitted taking into account the competing set and the state of the uninterruptible power supply. The method can also provide higher bandwidth than random policy. That is, the proposed method of combined spectrum analysis and the mechanism for determining the channel selection criterion exceeds the known in terms of error probability, average bandwidth, average latency and efficiency of "collecting" the energy of the secondary user. For example, with 4 busy channels, the average waiting time decreased by one microsecond. At 10 busy channels it decreased by 20mx when compared to the combination methods and hybrid ones. An algorithm for managing the environment using a neural network has been developed. The algorithm has the feature that neural network control systems are more flexible to real-world conditions, forming models that are completely adequate to cognitive systems. In the course of the research, a multiple detection architecture was developed that differs from the known ones in that each location is divided into subzones. As a result, mobile users may receive different measurement results in different sub-bands in the same channel. A method for determining the criterion for channel selection was also developed. Developed policies can provide higher bandwidth than random policies.

Key words: secondary user, energy conservation, cognitive radio, neural network, primary user, data transmission, radio waves, radio frequency spectrum.

АННОТАЦИЯ

Обиход Я. Я. Методы управления интеллектуальных телекоммуникационных сетей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети. - Украинский государственный университет железнодорожного транспорта Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2019.

Диссертационное исследование посвящено разработке методов управления интеллектуальных телекоммуникационных сетей с целью повышения эффективности их функционирования. В диссертационной работе был разработан метод выбора каналов когнитивного радио при множественном доступе первичных и вторичных пользователей с использованием технологии «ENERGY HARVESTING» под управлением нейронной сети, что позволяет уменьшить вероятность ошибок при обнаружении свободных каналов и при передаче информации вторичными пользователями. В работе усовершенствован метод управления средой когнитивной радиосистемы с использованием нейронной сети, который позволяет обеспечить адаптацию к изменениям окружающей среды и увеличение скорости передачи данных. Также был разработан метод множественного обнаружения мобильных пользователей на основе оптимизации роя частиц в когнитивной радиосети, который позволяет повысить эффективность обнаружения мобильных пользователей интеллектуальных телекоммуникационных сетей. Разработан алгоритм управления средой с использованием нейронной сети. Алгоритм имеет такую особенность, что нейросетевые системы управления более гибко настраиваются на реальные условия, образуя модели полностью адекватные когнитивным системам. В ходе исследований был разработан архитектуру множественного обнаружения, которая отличается от известных тем, что каждая локация разделена на подзоны. В результате, мобильные пользователи могут в различных подзонах получать различные результаты измерений в одном и том же канале.

Ключевые слова: вторичный пользователь, сохранения энергии, когнитивное радио, нейронная сеть, первичный пользователь, передача данных, радио волны, радиочастотный спектр.

ОБІХОД ЯРОСЛАВ ЯКОВИЧ

УДК 621.391

МЕТОДИ КЕРУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск зав.лаб. В.М. Головко

Підписано до друку 12.09.2019 р.
Формат 60х84 1/16. Папір офсетний
Умовн.-друк.арк. 0,9. Тираж 100. Замовлення № 689.

Надруковано у копі-центрі «Panda-Print»
(ФОП Панарін В.С., ЄДРПОУ 3332303034) заказ № 226 від 29.10.2019
61050 м. Харків, м. Фейєрбаха,11-б