

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента

на дисертаційну роботу

СОПРОНЮКА Івана Івановича

на тему: «МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ КОГНІТИВНИХ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії,

галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»,

спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Досягнення сучасних технологій базується на застосуванні наукових ідей та теорій, створення і розвиток яких вимагає систематичного підходу до проблеми, з акцентом на доказовості, об'єктивності та відтворюваності результатів. Критичне підвищення і ускладнення рівня сучасного знання робить все більш складним завданням відшукування інноваційних концепцій, часто це можливо лише завдяки спільній роботі значної кількості фахівців чи цілих наукових інститутів з відповідним фінансуванням. Проте пошук і рух вперед в індивідуальній дослідницькій роботі дає хороші результати завдяки доступності до напрацювань і здобутків світового рівня. Так наукові відкриття стають основою для технічних інновацій, а технічні виклики стимулюють наукові дослідження. Аналіз дисертаційної роботи Сопропока І. І. дає змогу стверджувати, що підняті і висвітлені ним проблеми розвитку когнітивних телекомунікаційних технологій дали новий ефективний результат у вигляді формування нового напрямку створення і впровадження інтегральних адаптивних підходів спектрального аналізу та моніторингу.

Робота демонструє, що традиційні підходи до моніторингу частотного спектру та управління радіочастотними ресурсами більше не відповідають потребам сучасності. Навантаження на телекомунікаційні мережі значно зросло,

а з ним і кількість інтерференцій, шумів та інших факторів, які негативно впливають на якість передачі даних. Водночас когнітивні радіосистеми як інноваційний підхід до вирішення цієї проблеми, потребують нових, більш адаптивних і ефективних методів аналізу спектру. Вибір теми роботи обумовлений актуальністю задачі розвитку когнітивних мереж як перспективної технології майбутнього.

Завдання роботи тісно пов'язане з її актуальністю: створити інструменти, які дозволять підвищити ефективність когнітивних телекомунікаційних систем шляхом удосконалення спектрального моніторингу. Завдяки впровадженню гібридних методів аналізу та адаптивних алгоритмів фільтрації, дисертант прагне розв'язати одразу кілька ключових проблем: забезпечити високу точність виявлення вільних частотних смуг, покращити стійкість до шумів і створити адаптивні системи, здатні реагувати на змінні умови радіосередовища.

Використання інноваційних підходів, зокрема багатокритеріальної оптимізації, інформаційних критеріїв Акайке та Байеса, а також вейвлет-перетворень, демонструє прагнення дисертанта до створення систем нового покоління, які відповідатимуть вимогам динамічного ринку телекомунікацій. Тому, можна стверджувати, що тема рецензованої дисертації є дійсно проблемною і відповідає науковому рівню дослідження та вказаному напрямку спеціальності, пропонує нові підходи вивчення, аналізу та удосконалення пристроїв та процесів в системах зв'язку.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем шляхом впровадження гібридних методів спектрального моніторингу, отриманих на основі методів оптимізації та удосконалення методів аналізу радіочастотного спектру, та розроблених адаптивних алгоритмів управління спектральними ресурсами в умовах динамічно змінюваного радіосередовища, що відповідає пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних

тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок та середньострокових пріоритетних напрямків інноваційної діяльності загальнодержавного та галузевого рівнів», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України № 942 від 7 вересня 2011, зі змінами згідно Постанови №782 від 12 липня 2022р.

Детальний аналіз представленої на розгляд роботи, показує відповідність поставлених часткових задач, змісту дослідження і отриманих висновків вибраній темі дослідження, що стосується методів, моделей, алгоритмів оптимізації спектрального моніторингу та адаптивного управління радіочастотними ресурсами. Робота базується на ретельному вивченні світового досвіду та стану розв'язання задач з даної проблематики, містить переконливий огляд переваг та недоліків існуючих методів моніторингу спектра, характеризується високим ступенем наукової обґрунтованості та рівнем використаного методологічного та математичного апарату для підтвердження висунутих теорій.

В процесі вирішення поставленої наукової проблеми основний акцент зосереджується на розробці методів спектрального моніторингу шляхом впровадження гібридних методів, які забезпечують ефективну ідентифікацію вільних частотних смуг, підвищення рівня завадостійкості та спектральної ефективності, з побудовою адаптивних алгоритмів, здатних функціонувати в умовах складного радіосередовища.

Достовірність отриманих в дисертації наукових результатів підтверджується: коректним формулюванням завдання і відповідністю вихідних даних реальним умовам, достатньою кількістю експериментальних даних, отриманих шляхом комп'ютерного моделювання та порівняльного аналізу в порівнянні з традиційними підходами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1) вперше розроблено метод моніторингу частотного спектру – VTSM (Variable Time Segment Monitoring) на основі неоднорідної декомпозиції

часових сегментів та адаптивного спектрального аналізу в залежності від статистичних властивостей сигналу. Запропонований метод, на відміну від традиційних, забезпечує динамічну адаптацію довжини сегментів від характеристик сигналу в реальному часі, що підвищує точність виявлення частотних компонентів, знижує вплив шуму та збільшує ефективність використання спектру в умовах динамічних передач.

2) удосконалено метод спектрального моніторингу на основі варіативних часових сегментів та адаптивних вейвлет-перетворень (Морле, Добеші) та адаптивних фільтрів: Калмана, LMS та RLS для оптимізації виявлення та аналізу спектральних характеристик у різних умовах навантаження. Запропонований метод відрізняється від відомих здатністю забезпечувати високий рівень адаптивності та точності за рахунок використання передових фільтраційних технік і спектрального аналізу.

3) удосконалено метод ієрархічного циклічного моніторингу частотного спектру за рахунок застосування інформаційних критеріїв Акайке та Байеса для виявлення вільних частотних смуг у спектральному діапазоні, а також багатоступеневої фільтрації, для зменшення шумів та спотворень сигналу з врахуванням завмирань. Запропонований метод відрізняється від існуючих тим, що критерій Акайке використовується для початкового вибору моделей, а критерій Байеса забезпечує уточнення налаштування і запобігання «перенавчанню», що робить метод більш ефективним для застосування у складних радіосередовищах з різними типами шумів та спотворень.

Практичне значення результатів дослідження.

Практичне значення запропонованих результатів дослідження полягає у розробці технологічних рішень, алгоритмів та програмних реалізацій на основі запропонованих методів у сфері когнітивних безпроводових телекомунікаційних систем, які доведено володіють стабільно кращими характеристиками при використанні в умовах різних шумів і завмирань, що робить їх ефективними для широкого спектру сигналів. Для кожного з

розроблених методів визначено найкращі умови застосування, послідовність виконання процедур, вибір і оцінка граничних умов та очікуванні показники ймовірностей виявлення сигналів, що ґрунтуються на результатах експериментального застосування для комп'ютерних моделей сигналів найпоширеніших типів технологій зв'язку. Це робить результати, отримані в роботі, придатними для практичного застосування при оптимізації мереж а також корисними для підготовки фахівців галузі.

Отримані напрацювання можуть бути використані при інтеграції можливостей штучного інтелекту для автоматичної адаптації параметрів моніторингу залежно від змін у радіосередовищі. Це дозволить створити гнучкі системи моніторингу, здатні динамічно налаштовуватися під різні умови середовища та забезпечувати високу точність детектування при мінімальних витратах ресурсів.

У додатку до дисертаційної роботи включені документи, які підтверджують фактичне використання науково-практичних результатів дослідження.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 13 наукових працях, серед яких 8 статей у фахових виданнях, 1 у виданні міжнародного рівня, 4 доповіді на міжнародних наукових конференціях. Зміст публікацій відповідає темі та етапам проведеного дослідження, в повній мірі дозволяє ознайомитись з отриманими науковими результатами. Вказаний особистий внесок автора в кожній з публікацій. Рівень апробації відповідає вимогам, що висуваються МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності і відповідності встановленим вимогам.

Дисертація має загальноприйнятну структуру, складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків,

списку використаних джерел і містить 181 сторінок тексту, 38 рисунків, 26 таблиці, 6 Додатків. Список використаних джерел містить 154 найменування.

У вступі роботи акцентується на важливості наукової проблеми, пов'язаної з підвищенням ефективності когнітивних безпроводових телекомунікаційних систем через вдосконалення методів спектрального моніторингу. Обґрунтовується вибір теми дослідження, актуальність і обсяг наукової проблеми. Окреслено наукову новизну дослідження, зв'язок із сучасними науковими програмами та практичну цінність результатів. Відображено відомості про апробацію та впровадження результатів дослідження, конкретизовано особистий внесок автора у працях, написаних у співавторстві.

У першому розділі аналізуються сучасні методи спектрального моніторингу, зокрема адаптивного управління частотним спектром, та обґрунтовується потреба у впровадженні гібридних підходів для підвищення ефективності використання радіочастотних ресурсів. Досліджуються існуючі підходи до моніторингу, їх адаптивність до змін у складних радіосередовищах, а також проводиться порівняння за критеріями точності, швидкості реакції та завадостійкості.

Другий розділ присвячений розробці нового гібридного методу спектрального моніторингу – VTSM (Variable Time Segment Monitoring). Цей метод адаптується до змін у спектрі завдяки змінному часовому сегментуванню сигналів, що забезпечує кращу ефективність у динамічних системах. Експериментально доведено, що VTSM перевершує традиційні методи за середніх і високих рівнів SNR, хоча може поступатися для відомих сигналів із фіксованими характеристиками.

У третьому розділі представлено вдосконалений метод спектрального моніторингу із застосуванням вейвлет-перетворень та адаптивної фільтрації. Метод дозволяє аналізувати спектр у реальному часі та адаптуватися до змін у складі сигналу. Його ефективність зростає завдяки використанню багатокритеріальної оптимізації параметрів.

Четвертий розділ описує метод ієрархічного циклічного спектрального моніторингу, що використовує інформаційні критерії для оптимізації моделей сигналів. Поєднання фільтрів Калмана, Вінера та медіанного фільтра підвищує точність в умовах шумів і радіоперешкод, особливо для Wi-Fi та 5G.

Висновки підсумовують результати дослідження, підтверджуючи їх наукову та практичну значущість, містять оцінку отриманих переваг і недоліків у порівнянні з існуючими аналогами.

Аналіз змісту роботи, публікацій та висновків свідчить про те, що поставлене завдання є виконаним в повній мірі. Зміст і матеріал відповідає темі роботи і відображає порядок вирішення поставлених часткових завдань. При постановці задачі дослідження проведено ретельний огляд існуючих досліджень на тему, здійснена оцінка поточного стану знань, виявлено недоліки та прогалини існуючих методів та технологій. Здійснено обґрунтований вибір методів дослідження. Всі математичні викладки оформлені з використанням загальноприйнятих позначень і термінології, є достатніми для розуміння і сприйняття спеціалістами в галузі, супроводжуються лаконічними і доцільними поясненнями, надлишкового матеріалу і матеріалу, що не відноситься до теми дослідження не виявлено. Результати апробації та верифікації розроблених методів супроводжуються відповідними графіками динаміки показників ефективності детектування різних типів сигналів для різних величин шумового навантаження, що дозволяє оцінити придатність методів до впровадження.

Послідовність та оформлення викладу матеріалів, наукових положень й висновків відповідає вимогам до дисертаційного дослідження та забезпечує їхнє сприйняття й розуміння фахівцями галузі. В дисертації достатньою мірою наведено і пояснено графічний та табличний матеріали результатів дослідження.

У відповідності до встановлених норм в тексті присутні посилання на використані джерела, особисті здобутки і напрацювання автора сформульовані у висновках до кожного розділу.

Використання чужих ідей та результатів без посилань, а також невідповідність змісту дисертації паспорту спеціальності не виявлено.

Зауваження до дисертації.

1. В алгоритмі методу моніторингу VTSM присутній крок «Оцінка складності сигналу». Вказано, що якщо дисперсія та енергія високі, сигнал вважається «складним». Варто було б провести дослідження і надати орієнтовну оцінку параметрів сигналів, які можуть вважатись складними для різних технологій зв'язку.

2. Для аналізу показників таких як: точність виявлення сигналів (TPR); середній рівень шуму (ANL); коефіцієнт завмирання (FAF), тощо, результати обчислення яких містяться в таблиці 3.2 (стор 98), відсутні формули за якими здійснювався розрахунок.

3. В таблиці 2.1 вказані недоліки методу VTSM, проте не сформовано висновок, наскільки ці недоліки можуть впливати чи обмежувати можливості реалізації методу.

4. Для наочного порівняння ефективності запропонованого удосконаленого адаптивного методу (п.3.3) доцільно було б навести графіки показників ефективності, такі як: TPR; ANL; FAF, як у пункті 3.2.

5. Формула 2.1. описує розрахунок показника складності сигналу для налаштування адаптивного методу, вказано, що складність залежить від енергії сигналу та дисперсії шуму, проте в формулі відсутні змінні, що відповідають значенням енергії сигналу.

6. Для рисунку 2.2. відмінність між традиційними методами спектрального аналізу з «фіксованим вікном» і адаптивним підходом VTSM, відсутнє пояснення, що демонструють червона і зелена криві і як вони отримані.

Усі зазначені зауваження суттєво не знижують оцінку виконаних досліджень загалом і не впливають на якість і цінність роботи І. І. Сопронюка.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Сопронюка Івана Івановича «Методи моніторингу частотного спектру для підвищення ефективності безпроводових когнітивних

телекомунікаційних систем», є повністю завершеною, оригінальною науковою працею, яка успішно вирішує актуальну наукову проблему, містить розвиток теорії спектрального моніторингу сигналів безпроводових когнітивних мереж з авторськими висновками та практичними рекомендаціями. Робота пропонує нові, науково обґрунтовані теоретичні та практичні відкриття і концепції, що відображають особистий науковий внесок автора в цю галузь та є оприлюднені у відповідних публікаціях.

Дисертаційна робота відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» та вимогам, визначеним наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017р «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та положенню «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженому Кабінетом Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 502 від 19.05.2023р.) та рекомендується до захисту, а її автор, Сопронюк Іван Іванович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії галузі знань 172 «Телекомунікації та радіотехніка» 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю.

Офіційний рецензент

Доцент кафедри транспортного зв'язку

канд. техн. наук, доцент



Олександр ЖУЧЕНКО

«03»

02

2025 року *

Підпис засвідчую:

