

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу БЕРШОВА В'ячеслава Султанбековича
«Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення
завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії,
спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Актуальність теми дисертації.

Представлена дисертація здобувача БЕРШОВА В'ячеслава Султанбековича на тему «Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж», присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми – підвищенню завадостійкості когнітивних телекомунікаційних систем за рахунок оптимізації формування ансамблів складних сигналів.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю забезпечення стабільної та високоякісної передачі даних у безпроводових мережах, що працюють в умовах інтенсивної інтерференції, обмеженого радіочастотного ресурсу та динамічно змінюваного середовища. Традиційні методи завадостійкого кодування та фільтрації не завжди дозволяють ефективно компенсувати вплив міжканальної та міжсимвольної інтерференції, а також адаптувати систему до умов реального часу.

Дисертаційна робота розширює наукові підходи до обробки сигналів, пропонуючи багаторівневе рекурентне часово-частотне сегментування та багатомасштабну декомпозицію, як ключові методи для побудови ансамблів складних сигналів. Використання цих підходів дозволяє мінімізувати вплив завад, знизити рівень кореляції між сигнальними компонентами та забезпечити оптимальне використання частотного спектра.

Методи, запропоновані в роботі, мають значний науково-практичний потенціал та можуть бути використані для підвищення ефективності когнітивних радіомереж, зокрема в умовах високої щільності користувачів та нестабільних характеристик каналу зв'язку.

Оцінка наукового рівня дисертації.

Вибрана дисертантом тема є науково та практично значущою, оскільки стосується підвищення завадостійкості інтелектуальних телекомунікаційних систем шляхом розробки нових методів формування ансамблів складних

сигналів. Дослідження має міждисциплінарний характер, поєднуючи теоретичні аспекти цифрової обробки сигналів, адаптивні алгоритми когнітивного зв'язку та оптимізаційні методи.

Суттєвою науковою перевагою дисертаційної роботи є комплекс розроблених та удосконалених методів, сформованих на основі аналізу існуючих недоліків та обмежень сучасних підходів. Запропоновані автором методи дозволяють адаптивно оптимізувати параметри передачі та обробки сигналів у змінному радіочастотному середовищі, що сприяє підвищенню завадостійкості та ефективності когнітивних телекомунікаційних мереж. Проведене експериментальне тестування показало: збільшення співвідношення сигнал/шум (SNR), зменшення середньоквадратичної помилки (MSE) та більш ефективне використання спектрального ресурсу.

Дисертація відзначається поєднанням фундаментального аналізу з практичними результатами. Автором розроблено алгоритми адаптивної обробки сигналів з застосуванням таких методів, як LMS, RLS, STFT та вейвлет-перетворення, що забезпечує підвищення стійкості до завад та ефективне використання частотного спектру. Детальне експериментальне моделювання та порівняльний аналіз запропонованих рішень надають роботі додаткової обґрунтованості.

Особливе значення має розроблений метод багатомасштабної часової декомпозиції та його алгоритм реалізації, який дозволяє аналізувати та обробляти ансамблі сигналів на макро-, мезо- та мікрорівнях. Запропонований підхід сприяє мінімізації енергоспоживання, зниженню рівня взаємної кореляції між сигналами та підвищенню адаптивності телекомунікаційних систем.

Результати дослідження мають як наукову та практичну цінність для розвитку когнітивних радіомереж, особливо в умовах підвищеної інтерференції та обмежених спектральних ресурсів.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації.

Підходи, застосовані у дисертаційному дослідженні, відповідають сучасним вимогам до наукових досліджень у сфері цифрової обробки сигналів та когнітивних телекомунікаційних систем. Автор послідовно виконав усі етапи наукового дослідження, включаючи аналіз актуальних наукових публікацій, системний аналіз існуючих методів, математичне моделювання, оптимізацію параметрів, проектування алгоритмів і їх програмну реалізацію. Представлені

результати ґрунтуються на детальному теоретичному обґрунтуванні та експериментальній верифікації, що підтверджує їх достовірність.

Запропоновані та удосконалені методи мають математично строгий опис, реалізовані у вигляді алгоритмів, а їхня ефективність підтверджена чисельними експериментами та порівняльним аналізом. У роботі обґрунтовано критерії оцінки ефективності, що дає змогу кількісно порівняти характеристики синтезованих ансамблів сигналів та їх вплив на завадостійкість когнітивних безпроводових мереж.

Для вирішення задач, поставлених в дисертаційному дослідженні, було застосовано: методи оптимізації – для визначення оптимальних параметрів обробки та синтезу сигналів у когнітивних мережах; теорія ймовірностей та статистичний аналіз – для дослідження випадкових процесів у радіосередовищі; теорія інформації – для оцінки ефективності передачі даних в умовах множинного доступу; імітаційне моделювання та методи симуляції – для експериментальної перевірки розроблених підходів; методи вибіркової статистики, регресійний та кореляційний аналіз – для оцінки статистичної значущості отриманих результатів.

Отримані чисельні результати та проведені порівняльні дослідження підтверджують, що розроблені методи підвищують ефективність обробки сигналів, підвищують завадостійкість та забезпечують адаптивність телекомунікаційних мереж у динамічних середовищах. Таким чином, положення і висновки дисертації є обґрунтованими, достовірними та мають наукову і практичну цінність.

Основні результати та положення дослідження були опубліковані у 10 наукових працях, серед яких 3 статті у фахових виданнях, 1 у виданні Web of Science, 1 стаття у міжнародному виданні та 5 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня. Особистий внесок здобувача, що включає розробку нових методів, алгоритмів та технічних рішень, повною мірою відображений в публікаціях і вказаний у вступі роботи.

Практичне застосування результатів досліджень підкріплене актами впровадження в навчальний процес Луцького національного технічного університету та у діяльності військової частини А7223, що додаються до дисертаційної роботи.

Наукова новизна та практична цінність одержаних результатів та висновків. На основі розв'язання завдань дисертаційного дослідження сформульовано наукові результати і висновки, які в сукупності підтверджують досягнення поставленої мети.

1. Удосконалено метод багаторівневого рекурентного часового сегментування інтервалів на основі часо-частотних перетворень та адаптивної фільтрації для підвищення ефективності аналізу та обробки сигналів, з метою створення ансамблів сигналів на різних рівнях часової і частотної деталізації, для забезпечення високої точності і адаптивності в умовах динамічного когнітивного радіосередовища.

2. Удосконалено метод аналізу та обробки ансамблів складних сигналів на основі застосування специфічних перетворень та оптимізованих фільтрів на різних етапах методу багатоступеневого рекурентного часо-частотного сегментування з врахуванням умов зміни параметрів сигналу, наявності та інтенсивності завад, а також швидкозмінних характеристик когнітивного радіосередовища. Запропонований метод відрізняється від існуючих здатністю до адаптації і ефективного аналізу сигналів у складних умовах когнітивного радіо середовища, що забезпечує високий рівень завадостійкості інтелектуальної телекомунікаційної системи.

3. Вперше запропоновано метод формування ансамблів складних сигналів на основі багатомасштабної (мультискейлової) часової сегментної декомпозиції, який дозволяє створювати ансамблі сигналів на різних рівнях часової деталізації (макро, мезо і мікро-рівень), забезпечуючи кращу адаптивність, ефективність та завадостійкість порівняно з традиційними підходами, які використовують однорідні декомпозиції.

Практична цінність дисертаційного дослідження полягає в розробці технологічних рішень, алгоритмів та програмних реалізацій, що дозволяють суттєво підвищити ефективність функціонування безпроводових когнітивних мереж. Використання запропонованих методів дозволяє збільшити точність відновлення сигналів за рахунок зменшення середньоквадратичної помилки, що є базовим фактором для підвищення завадостійкості систем зв'язку. Оптимізація процесів часо-частотного сегментування та адаптивної фільтрації сприяє ефективному розподілу ресурсів мережі, що дозволяє значно покращити якість обслуговування кінцевих користувачів.

Запропоновані методи також забезпечують зростання співвідношення сигнал/шум, зниження енергоспоживання когнітивних радіомереж, що важливо для безпроводових систем в автономному режимі або з обмеженим ресурсом. Додатково, запропоновані підходи дозволяють зменшити рівень інтерференції, що позитивно позначається на стабільності з'єднань та забезпечує безперебійну роботу мережі навіть у високонавантажених умовах.

З точки зору практичної реалізації, розроблені алгоритми можуть бути впроваджені в сучасні телекомунікаційні системи, зокрема в мережі стандартів 5G та перспективні 6G, що потребують високої адаптивності та стійкості до завад. Оптимізація спектрального використання дозволяє збільшити загальну пропускну здатність мережі, що робить запропоновані методи актуальними для систем мобільного зв'язку, інтернету речей (IoT), безпілотних комунікаційних платформ та спеціалізованих мереж. Верифікація результатів у реальних умовах підтвердила ефективність розроблених підходів, що свідчить про можливість їх широкого практичного застосування.

Структура дисертаційної роботи та відповідність встановленим вимогам. Дисертаційна робота Бершова В. С. за структурою та оформленням відповідає освітній програмі спеціальності, а також встановленим нормам і вимогам. Мета, задачі, об'єкт і предмет дослідження відповідають обраній темі. Всі часткові задачі вирішені послідовно, їх результати відображені у висновках, таким чином можна вважати мету роботи досягнутою. Ідеї, та пропозиції автора викладені з достатнім рівнем математичного обґрунтування і пояснення, посилання на інформаційні джерела та цитування розміщені доцільно і коректно.

Робота складається з анотації українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено наукові завдання, новизну дослідження та його практичну значущість, а також представлено авторський внесок і перелік публікацій.

У першому розділі проведено аналіз сучасних викликів когнітивних телекомунікаційних мереж, що виникають через масштабування та спектральне навантаження. Розглянуто методи оптимізації та їх застосування для підвищення завадостійкості, а також оцінено ефективність рекурентного сегментування у формуванні ансамблів сигналів.

Другий розділ присвячений розробці методу багаторівневого рекурентного сегментування та його адаптивного алгоритму реалізації. Проаналізовано ефективність методів перетворення та фільтрації на різних етапах алгоритму. Експериментальні результати підтверджують високу точність і адаптивність запропонованого методу обробки сигналів у когнітивних мережах.

Третій розділ описує вдосконалений метод до аналізу та обробки ансамблів сигналів, що включає оптимізовані перетворення та фільтри. Проведено експериментальну оцінку ефективності методу та його практичної реалізації в умовах змінного радіосередовища.

Четвертий розділ зосереджений на розробці методу багатомасштабної декомпозиції сигналів у часовій області. Представлено алгоритм формування ансамблів складних сигналів, проведено порівняльний аналіз методів і обґрунтовано їх застосування в безпроводових телекомунікаційних мережах.

Висновки логічно узгоджені з поставленими завданнями, чітко відображають рівень виконання дослідження та демонструють новизну й практичну цінність отриманих результатів.

Загалом подача матеріалу, наукових концепцій і висновків відзначається доступним та зрозумілим стилем, позначення всіх параметрів і змінних відповідають загальноприйнятому математичному апарату, пояснення формул викладені чітко і повністю, висновки супроводжуються достатньою кількістю ілюстративного матеріалу, що наочно демонструє показники методів для широкого кола сигналів різних типів технологій зв'язку.

Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих працях.

Містить 168 сторінок основного тексту, у тому числі: 36 рисунки, 35 таблиця, 128 найменувань у списку використаних джерел на 12 сторінках, 6 Додатків (А-Е). Загальний обсяг дисертаційної роботи займає 191 сторінку. Структура дисертації логічна та відповідає суті поставлених завдань. Зміст кожного розділу повністю розкриває відповідні аспекти дослідження, без надлишкової інформації.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності. За результатами перевірки дисертації та наукових публікацій встановлено, що текст є оригінальним, без ознак плагіату, самоплагіату, фабрикивання, фальсифікування даних чи будь яких інших порушень принципів академічної доброчесності.

Зауваження до змісту та оформлення дисертації.

До змісту роботи виникли наступні запитання.

1. В розділі 2 представлено удосконалений метод багаторівневого рекурентного часового сегментування на основі часово-частотних перетворень та адаптивної фільтрації, проте не обґрунтовано яким чином забезпечується баланс між деталізацією аналізу сигналів і обчислювальними витратами. Доцільно б було додати рекомендації щодо вибору рівнів сегментації залежно від умов когнітивного середовища.

2. У підрозділі 3.4 (стор. 124) розглянуто практичну реалізацію методу сегментування з застосуванням на різних етапах методу адаптивних фільтрів, проте не наведено аналізу обчислювальної складності застосування цих фільтрів, тобто як такий алгоритм впливає на швидкість обробки в реальному часі. \

3. Представлений в розділі 4 метод багатомасштабної декомпозиції часових інтервалів та алгоритм його реалізації (стор. 143, рис. 4.2) не містить обґрунтування вибору та аналізу результативності кількості рівнів часової деталізації (автором обрано три рівня).

Слід відмітити деякі рекомендації щодо оформлення роботи:

– пункт 2.3. роботи містить аналіз і обґрунтування вибору фільтрів для методу багаторівневого сегментування, проте характеристики та умови застосування фільтрів винесено в пункт 3.1. «Розробка адаптивного методу аналізу та обробки ансамблів складних сигналів...». Об'єднання матеріалу в одному розділі полегшило б сприйняття роботи;

– назви розділів і підпунктів дисертації потребують скорочення та більш чіткого формулювання. Це сприяло б підвищенню ясності структури роботи й полегшенню сприйняття її змісту;

– автор подає великий обсяг експериментальних даних за різними показниками ефективності роботи алгоритмів, зокрема на рисунках 3.7, 3.10, 4.5. Через значну кількість інформації зображення виходять занадто дрібними, що ускладнює їх сприйняття. Доцільно було б частину даних перенести до додатків для покращення наочності основного тексту.

Наведені недоліки і зауваження не впливають на цінність та загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження та не зменшують наукові і практичні результати дослідження.

Висновок щодо відповідності дисертації чинним вимогам.

1. Дисертаційну роботу Бершова В'ячеслава Султанбековича «Методи формування ансамблів складних сигналів для підвищення завадостійкості безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж» можна вважати завершеною науковою працею, що включає самостійні авторські висновки і результати, які мають наукове підґрунтя і є адаптовані для практичного застосування в галузі телекомунікацій.

2. Дисертаційна робота за змістом та оформленням відповідає «Вимогам до оформлення дисертації», Наказ № 40 МОН України від 12.01.2017 р. зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН України № 759 від 31.05.2019р.

3. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» та вимогам постанови «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженої Кабінетом Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 502 від 19.05.2023р.), а її автор, Бершов В'ячеслав Султанбекович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації».

Рецензент
професор кафедри транспортного зв'язку,
доктор технічних наук, професор

«17» 03 2025 року



Карина ТРУБЧАНІНОВА

Підпис засвідчую:

Особистий підпис
засвідчую 17.03.2025 р.
Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Євгенія ЧЕЛОВІТЬКО

