

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Дзюби Володимира Андрійовича –на тему
«Інформаційна технологія моніторингу мереж радіозв'язку», представлену
на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за
спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота Дзюби Володимира Андрійовича присвячена вирішенню актуального наукового завдання - створення інформаційної технології моніторингу мереж радіозв'язку, що поєднує методи штучного інтелекту, нейронні мережі глибокого навчання, адаптивну фільтрацію та програмно-визначені радіосистеми для підвищення ефективності, точності та оперативності аналізу спектра в умовах ускладненої радіоелектронної обстановки. Ускладнення радіоелектронного середовища проявляється у збільшенні щільності сигналів, зростанні рівня взаємних перешкод, застосуванні противником засобів радіоелектронної боротьби, широкому використанні засекречених та багатосмугових каналів зв'язку. Це посилює вимоги до точності та швидкодії методів аналізу сигналів, а також до живучості й адаптивності систем моніторингу.

Одним із найважливіших технологічних викликів є відмова традиційних апаратних рішень від статичної схеми аналізу та перехід до програмно-керованої архітектури. Зокрема, технологія програмно--визначеного радіо (SDR) відкриває можливість повної реконфігурації сигналів засобами програмного забезпечення без втручання в апаратну частину системи. Це дає змогу реалізовувати нові методи спектрального аналізу, впроваджувати адаптивні алгоритми управління частотами, створювати універсальні платформи для приймання та класифікації сигналів різних стандартів. У цих умовах особливо актуальним стає застосування штучних нейронних мереж та технологій машинного інтелекту для вирішення таких завдань.

Значні успіхи в галузі глибинного навчання дозволили застосовувати згорткові нейронні мережі для оброблення спектрограм сигналів і статистичних характеристик випромінювання. Це забезпечує підвищення точності автоматичної класифікації рухомих і стаціонарних об'єктів, скорочує час прийняття рішень та розширює можливості комплексного аналізу радіочастотного простору.

Сучасні тенденції розвитку концепції «когнітивного радіо» передбачають створення систем, здатних самостійно навчатися, оцінювати поточний ресурс спектра, адаптуватися до змін середовища та оптимізувати власні параметри у режимі реального часу. Реалізація цих принципів неможлива без формування

інформаційної технології, що поєднує апаратне, програмне та алгоритмічне забезпечення в єдину систему.

Таким чином, підвищення ефективності радіомоніторингу, створення методів автоматичної класифікації сигналів, удосконалення технологій динамічного розподілу частотного ресурсу та розроблення інтелектуальних багатопозиційних технологій локалізації є важливим та актуальним науково-практичним завданням загальнодержавного та оборонного рівня. Потреба в науково обґрунтованому підході до проектування таких систем, їх алгоритмічному та програмному забезпеченні визначає актуальність дисертаційного дослідження та його значущість для подальшого розвитку інформаційних технологій у сфері радіомоніторингу.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів полягає у наступному:

1. *Вперше* запропоновано інтегровану математичну модель управління динамічним розподілом частотного ресурсу для радіомереж у умовах радіоелектронної протидії, яка об'єднує когнітивне сприйняття спектра, елементи теорії ігор (для узгодження інтересів багатьох користувачів), адаптивне керування та методи підкріплювального і глибинного навчання у єдину керуючу систему.

2. *Вперше* розроблено та експериментально реалізовано програмний модуль навчання CNN на синтетичних даних для задач радіомоніторингу; забезпечено розпізнавання більше 15 класів сигналів у діапазоні 30 МГц–6 ГГц з точністю більше 95% при варіативних SNR і частотному маневруванні.

3. *Вперше* створено алгоритмічний комплекс інтелектуального аналізу сигналів (виявлення → класифікація → локалізація), стійкий до низького SNR, мультипасу та частотних перестроювань; комплекс поєднує енергетичні, кореляційні та спектрально-фазові ознаки з механізмами адаптивного порогоування і злиття даних.

4. *Удосконалено* методику динамічного управління спектром на основі Q-навчання: введено моделі функції корисності з вагами для пропускної здатності, завадостійкості, енергоспоживання і швидкодії, а також критерії оцінювання (час реакції, стабільність, точність), що забезпечують збіжність рішень в умовах РЕБ.

5. *Набула подальшого розвитку* технологія моделювання SDR-систем (GNU Radio / MATLAB) для відтворення бойових сценаріїв РЕО та перевірки робастності розроблених алгоритмів; показано відтворюваність показників точності/часу реакції та можливість інтеграції модулів у прикладні стенди.

6. *Запропоновано* практичну архітектуру впровадження (регламент, інтероперабельність, кіберзахист, масштабування) для інтеграції технології у

державні системи моніторингу радіочастотного простору з орієнтацією на підвищення спектральної безпеки в умовах війни та відбудови.

Достовірність наукових результатів забезпечується коректним застосуванням розгалуженого апарату дослідження, що включає методи системного аналізу, математичного програмування, теорії нечітких множин, математичного моделювання та експерименту. Висновки роботи логічно впливають із представлених теоретичних положень та підтверджуються результатами програмної реалізації та імітаційного моделювання. Наукові дослідження виконані здобувачем в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України під керівництвом доктора технічних наук, професора Триснюка Василя Миколайовича.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Дзюби Володимира Андрійовича повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». Робота є завершеною науковою працею, яка свідчить про глибоку обізнаність автора в предметній області та його особистий внесок у вирішення наукової задачі. Звіт про перевірку на текстові збіги підтверджує, що дисертація є самостійним дослідженням, не містить елементів плагіату та має належні посилання на використані джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено структуровано, послідовно та з використанням коректної наукової термінології. Структура дисертації є класичною та логічно обґрунтованою, забезпечуючи послідовний перехід від постановки проблеми до її вирішення та верифікації результатів. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг становить 163 сторінки.

У вступі автор всебічно обґрунтовує важливість обраної тематики, підкреслюючи її відповідність сучасним тенденціям розвитку засобів радіомоніторингу на тлі різкого ускладнення радіоелектронного середовища та збройної агресії проти України. Чітко визначено мету дослідження, сформульовано об'єкт і предмет роботи, окреслено коло дослідницьких завдань, а також виокремлено наукові результати та їхню практичну значущість, які виносяться на захист.

У першому розділі дисертації автор аналізує перспективи застосування інтелектуальних методів для автоматизованої обробки радіотехнічної інформації. Значну увагу приділено впровадженню нейромережових технологій, зокрема згорткових нейронних мереж, для автоматичної ідентифікації сигналів різних типів. Розроблено робочий прототип програмного

модуля навчання CNN на штучно згенерованих вибірках, що забезпечив високу точність класифікації сигналів у широкому частотному діапазоні. Запропоновано структурну схему системи первинного аналізу спектра, яка охоплює програмно-визначені приймачі, засоби попереднього DSP-опрацювання та модулі інтелектуального аналізу, здатні ідентифікувати понад 15 типів радіосигналів в оперативному режимі.

Другий розділ містить математичне обґрунтування підходу до адаптивного управління спектральним ресурсом, що реалізується на принципах когнітивного радіо. Ключовим елементом є модель оптимізації вибору частотного діапазону, побудована на засадах адаптивного навчання та оцінки невизначеності радіоелектронної обстановки. Формалізовано ітераційний алгоритм прийняття рішень, який дає змогу системі автоматично перебудовуватися відповідно до змін поточної спектральної ситуації.

У третьому розділі автором представлено комплексний підхід до побудови системи просторової локалізації випромінювачів з використанням багаторівневої обробки сигналів. Запропоновано архітектуру, що поєднує вимірювання SDR-приймальних постів, методи просторово-часової фільтрації та нейромережеві моделі виокремлення спектральних ознак. Результати моделювання свідчать про здатність запропонованої системи забезпечувати точне визначення координат джерел радіовипромінювання навіть за складних фізичних умов та наявності навмисних перешкод. Підхід є придатним до застосування як у цивільних телекомунікаційних системах, так і в структурах оборонного профілю.

У четвертому розділі проведено узагальнення отриманих результатів та їх інтеграцію у вигляді повноцінної інформаційної технології моніторингу мереж радіозв'язку. Сформовано розподілену архітектуру системи, що складається з сенсорного рівня збору даних, інтелектуального рівня обробки та керуючого рівня динамічного перерозподілу спектра. Передбачено засоби масштабування, забезпечення кіберзахищеності та функціональної надійності системи. Практична реалізація запропонованих рішень довела здатність системи зменшувати затримку прийняття рішень, підвищувати точність аналізу спектра та забезпечувати стабільність функціонування телекомунікаційних мереж у реальних умовах експлуатації.

Дисертаційна робота оформлена у повній відповідності до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Результати дисертаційних досліджень опубліковані в 14 наукових працях: 5 статтях у наукових фахових виданнях України та 9 тез міжнародних науковопрактичних конференцій.

Порушень принципів академічної доброчесності у публікаціях не виявлено, що свідчить про належну апробацію результатів.

Таким чином, наукові результат описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

При загальній позитивній оцінці дисертаційної роботи, варто виділити наступні дискусійні питання та зауваження:

1. У першому розділі, у підрозділі 1.2.1 «Архітектура і компоненти стаціонарних і мобільних систем радіомоніторингу», здійснено класифікацію систем за принципом організації, розташуванням засобів та ступенем автоматизації. Водночас доцільно було б детальніше розглянути особливості функціонування стаціонарних і мобільних систем.

2. У роботі бажано конкретніше пояснити механізми поширення радіохвиль та їх класифікацію за фізичними принципами розповсюдження у навколишньому середовищі.

3. У роботі розглянуто модульну структуру програмного комплексу та інтерфейс користувача. Доцільно було б розширити та конкретизувати опис кожного модуля, наведеного в таблиці 2.3.

4. У роботі проведено моделювання багатопозиційної системи місцевизначення джерел радіовипромінювання. Бажано уточнити кількість використаних комбінацій координат джерел, амплітуд сигналів та кутів пеленгації.

5. У тексті дисертації наявні поодинокі стилістичні неточності та друкарські помилки.

Висловлені зауваження не є принциповими, мають дискусійний характер і не зменшують загальну наукову та практичну цінність отриманих результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Дзюби Володимира Андрійовича на тему «Інформаційна технологія моніторингу мереж радіозв'язку» є завершеним дослідженням. Виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного

законодавства України, що передбачені в п.6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Дзюба Володимир Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Рецензент

Головний науковий співробітник
Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАНУ,
доктор технічних наук, професор



Юрій КАЛЮХ

Підпис Юрія Калюха засвідчую:
Начальник відділу кадрів Інституту
телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАНУ



Олена РАДЧУК



«27» листопада 2025 року