

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Сакович Анастасії Андріївни
на тему «Дискретно-адаптивні алгоритми обробки сигналів
в умовах комплексу завад»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 17 — Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
за спеціальністю 172 — Електронні комунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації

Характерною рисою більшості сучасних крилатих ракет великої дальності є можливість польоту на низькій висоті з огинанням рельєфу (англ. *terrain-following*). У зв'язку з цим важливою є задача виявлення радіолокаційних цілей, що низько летять, в умовах високої інтенсивності паразитних відбитків від поверхні, що підстилає. Вплив таких завад проявляється у придушенні і маскуванні сигналів, відбитих від об'єкту, що спостерігається. Причому інтенсивність корельованих завад може істотно перевищувати рівень власних шумів приймача та корисного сигналу від цілі, що ускладнює радіолокаційне спостереження, а іноді робить його взагалі неможливим. Проблемою також є те, що сучасні радіолокаційні радары спостереження, які реалізують складні оптимальні багатовимірні алгоритми, через їх високу вартість не можуть широко використовуватися тоді, коли необхідно розгорнути мережу радарів, щоб гарантувати повне перекриття контрольованих зон. Одним із шляхів вирішення протиріччя «ефективність–витрати» є використання дискретно-адаптивного підходу до обробки сигналів, що реалізується у вигляді комплексу неадаптивних підсистем (режимів), які автоматично перемикаються в залежності від рішень аналізатора завадової обстановки. Таким чином, дослідження, які проводяться у рамках дисертаційної роботи Сакович А.А., мають важливість та практичне значення для подальшого розвитку дискретно-адаптивних методів обробки сигналів та їх ефективного використання в умовах комплексу завад, що містить некорельовану, корельовану та імпульсну завади.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтованість отриманих наукових результатів дисертаційного дослідження підтверджується використанням автором методів, які є визнаним інструментом аналізу та обробки даних у сфері цифрової обробки сигналів, теорії оцінювання та випадкових процесів. Використані методи імітаційного моделювання забезпечили ефективний аналіз ефективності розроблених дискретно-адаптивних алгоритмів обробки сигналів в умовах комплексу завад. Статистичні методи розрахунку дозволили провести порівняльні оцінки ефективності різних алгоритмів та систем виявлення сигналів на тлі завад. Таким

чином, використання цих методів гарантує об'єктивність та достовірність отриманих результатів.

Дослідження в рамках даної роботи проводилися згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри радіоелектронних і телекомунікаційних систем Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки, радіоелектроніки та телекомунікацій Національного університету «Одеська політехніка» в рамках держбюджетної теми № 201-57 "Моделювання та оптимізація параметрів телекомунікаційних систем та мереж" (номер державної реєстрації - 0121U111053).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому:

- запропоновано метод вирішення задачі синтезу дискретно-адаптивної системи обробки, що дозволяє мінімізувати кількість та оптимізувати параметри режимів завадозахисту при обмеженні на рівень втрат в ефективності порівняно з системами з безперервною перебудовою параметрів (СБП);
- синтезовано ефективний алгоритм когерентне-некогерентного одноканального виявлення «дружно» флюктуючого пакету імпульсів в умовах адитивної суміші корельованої та некорельованої гаусових завад, що є оптимальним за критерієм усередненого по фазі сигналу відношення правдоподібності, а також оптимальним за критерієм максимуму усередненого по φ_c «показника якості виявлення»;
- запропоновано для вирішення задачі аналізу ефективності виявників з класу нелінійних структур використовувати показник поліпшення, який є часткою відношення сигнал/завада на виході нелінійної системи до відношення сигнал/завада на її вході, усередненим за всіма можливими радіальними швидкостями цілі; отримані точні математичні вирази показника поліпшення для синтезованого і відомого алгоритмів;
- запропоновано алгоритм виявлення імпульсних несинхронних завад для радіосистем вилучення інформації (СВІ) що може ефективно функціонувати в умовах адитивної суміші некорельованої та потужної дискретної за відстанню корельованої завади при наявності обмежень на динамічний діапазон приймального тракту радіотехнічної системи.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання, а саме розвиток заснованих на принципі дискретної адаптації методів синтезу адаптивних алгоритмів і систем виявлення радіолокаційних цілей на тлі комплексу завад для зменшення їх обчислювальної та апаратурної складності при контрольованому обмеженні на рівень втрат в ефективності, виконано повністю, а здобувачка повною мірою оволоділа методологію наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Сакович А.А. повністю відповідає напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми “Телекомунікації та радіотехніка”.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям з телекомунікацій та

радіотехніки.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сакович Анастасії Андріївни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Текст дисертації характеризується смисловою завершеністю, доступністю викладення, цілісністю й логічною послідовністю. Дисертація написана з використанням сучасного наукового стилю, що склався в технічних науках та, в основному, термінології, яка є прийнятою у науковому напрямку, до якого відноситься дисертація.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 176 сторінок.

у **вступі** показана актуальність вирішення задач зменшення обчислювальної та апаратної складності адаптивних алгоритмів и систем обробки сигналів в умовах складної, мінливої і апіорно невідомої завадової обстановки. Визначено об'єкт, предмет, задачі та методи дослідження; наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; висвітлено особистий внесок здобувача;

перший розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу сучасного стану питання виявлення радіолокаційних сигналів на тлі адитивної суміші заважаючих впливів, за результатами якого обґрунтовано обмеження (допущення) як на структуру системи виявлення, так і на моделі сигналу і завад, при розробці дискретно-адаптивних систем (ДАС), сформульовано мету та завдання досліджень;

у **другому розділі** наведено результати структурного синтезу дискретно-адаптивних систем обробки когерентних N -імпульсних сигналів в умовах комплексу завад. Розроблена структурна схема дискретно-адаптивної системи, що функціонує під керуванням аналізатора завадової обстановки. У класі одноканальних з доплерівської частоти виявників гаусового сигналу на тлі адитивної суміші некорельованої та корельованої гаусових завад та за обмежень на дружні флуктуації імпульсів в пакеті, розроблено оптимальний для цих умов інваріантний до доплерівських зрушень фаз сигналу (φ_c) алгоритм виявлення. Доведено, що синтезований алгоритм є оптимальним за критерієм усередненого по φ_c відношення правдоподібності, а також оптимальним за критерієм максимуму усередненого по φ_c «показника якості виявлення» при вирішенні задачі виявлення гаусового сигналу, що «дружно» флуктує, в умовах гаусових завад.

третій розділ присвячений параметричному синтезу дискретно-адаптивних систем обробки когерентних N -імпульсних сигналів в умовах комплексу завад. Запропонована двоетапна методика синтезу дискретно-адаптивної системи обробки сигналів що передбачає мінімізацію числа режимів завадозахисту і оптимізацію параметрів ДАС в умовах гаусових завад. Проведено параметричний

синтез одноканальної з доплерівської частоти сигналу ДАС, в якій для скорочення числа режимів був збережений безперервний характер адаптації до аргументу кореляційної функції завади. Показано, що синтезована, відповідно до розробленої методики і заданих обмежень на максимальні втрати, ДАС дозволяє при порівняно невеликому числі режимів завадозахисту, забезпечити, в припущенні безпомилкової класифікації завадової обстановки, незначні середні щодо СБП втрати в ефективності обробки сигналів на фоні адитивної суміші некорельованої і унімодальної корельованої завад;

у **четвертому розділі** вирішенні питання синтезу і аналізу ефективності оптимальних і квазіоптимальних алгоритмів розпізнавання класів завад для керування режимами ДАС. Синтезовані алгоритми розпізнавання класів завад за інформативними ознаками, в якості яких використані потужність завади та перший і другий міжперіодні коефіцієнти кореляції. Проведено дослідження ефективності розроблених алгоритмів методом статистичного моделювання, що показало повну відповідність експериментальних та теоретичних результатів. Для ідентифікації елементу дозволу за дальністю ураженого несинхронною імпульсною завадою розроблено алгоритм її виявлення, що може ефективно функціонувати в умовах адитивної суміші некорельованої та потужної дискретної за відстанню корельованої завади при наявності обмежень на динамічний діапазон приймального тракту СВІ. На основі розроблених алгоритмів розпізнавання класів корельованих завад, алгоритму виявлення імпульсної завади, а також відомого оптимального алгоритму вимірювання доплерівської фази завади, запропонована структурна схема пристрою, що дозволяє вирішити задачу керування режимами ДАС;

у **п'ятому розділі** з використанням методу статистичного моделювання проведено порівняльне дослідження ефективності ДАС у динамічному режимі. Запропоновано методику векторної оптимізації дискретно-адаптивних систем в умовах апіорної невизначеності спектрально-кореляційних характеристик завад з використанням критерія «ефективність-витрати». За її допомогою проведено вибір варіанту побудови системи виявлення когерентного 5-ти імпульсного сигналу на тлі адитивної суміші унімодальної корельованої і некорельованої завад в умовах параметричної. апіорної невизначеності. Проведенні дослідження показали, що дискретно-адаптивна система, режими якої перемикаються в залежності від результатів аналізу завадової обстановки, порівняно з системою безперервною перебудовою параметрів, за вибраним векторним критерієм ефективності виявляється переважніше у 1,51 рази.

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

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні результати дисертації висвітлено у наукових публікаціях, зокрема у чотирьох статтях які опубліковано у виданнях, включених до Переліку фахових видань України категорії «Б» та індексуються у міжнародних наукометричних базах даних (зокрема, Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals Directory,

Electronic Journals Library, Google Scholar), що відповідає вимогам МОН України до здобуття ступеня доктора філософії.

Результати дослідження апробовано у 9-ми тезах на Міжнародних наукових конференціях.

Рівень наукових публікацій здобувача характеризується високою якістю: результати досліджень викладені в статтях із детальним обґрунтуванням та описом наукових досліджень з відповідними посиланнями та зазначенням особистого внеску, що свідчить про повне дотримання принципів академічної доброчесності.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Синтезований в роботі оптимальний за критерієм усередненого по фазі сигналу відношення правдоподібності алгоритм виявлення припускає наявність «дружних» флуктуацій імпульсів в пакеті, що не завжди виконується в реальних умовах; доцільно було розглянути втрати в ефективності запропонованого алгоритму, якщо це припущення не витримується.

2. Не вказано, що синтезований в роботі одноканальний з доплерівської частоти виявник гаусового сигналу не забезпечує, на відміну від алгоритму що використовує відому статистику Готелінга, сталість ймовірності хибної тривоги незалежно від зміни потужності шуму або корельованої завади.

3. В розділі 5 терміни класифікація та розпізнавання завадової обстановки подекуди ототожнюються, що не є коректним.

4. При дослідженні ефективності дискретно-адаптивного алгоритму виявлення корисного сигналу не розглянуто випадки, коли на вході системи діє корельована завада з бімодальною, або з більш складною, формою спектра флуктуацій.

5. В тексті дисертації присутні окремі орфографічні та стилістичні неточності. Подекуди не витримано оформлення роз'яснень формул, а також наявні поодинокі розбіжності символічних позначень у тексті та на рисунках.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії Сакович Анастасії Андріївни на тему «Дискретно-адаптивні алгоритми обробки сигналів в умовах комплексу завад» 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 галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації». Дисертаційна робота за актуальністю,

практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп.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.

Здобувачка Сакович Анастасія Андріївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка».

Рецензент:

Доцент кафедри радіоелектронних і телекомунікаційних систем Національного університету «Одеська політехніка»,
к.т.н., доцент

Андрій САДЧЕНКО