

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
І ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

ЛЕСІВ ПАВО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.391

**МЕТОД ФОРМУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПОРТРЕТІВ ЦІЛЕЙ НА
ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ**

8.05090103 “Радіоелектронні пристрої, системи та комплекси”

Автореферат
дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня “магістр”

Тернопіль 2017

Роботу виконано на кафедрі радіотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: доктор технічних наук, професор кафедри радіотехнічних систем
Пастух Олег Анатолійович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехнічних систем
Яворська Євгенія Богданівна,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 25 лютого 2017 р. о 9⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №26 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9 “Сатурн”, ауд. 612

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. В даний час існуючий прогрес в області мікроелектроніки та обчислювальної техніки дозволяє реалізовувати алгоритми обробки практично будь-якого ступеня складності. Однак методи обробки сигналів, основою яких є спектральний і кореляційний аналіз, уже не відповідає рівню можливостей сучасної мікроелектроніки. У зв'язку з цим дослідження, результатом яких є нові алгоритми обробки інформації, є актуальними і перспективними. У них вирішується одна з основних задач теперішнього часу – створення і розвиток нових технологій, що забезпечують прийом, обробку та передачу потоків інформації на сучасному рівні.

Найбільш послідовно і повно питання обробки вузькосмугових одиночних сигналів викладаються в теорії оптимального прийому. Вона базується на роботах А. Вальда, Н. Вінера, В. А. Котельникова, Р. Л. Колмогорова, А. Н. Стратоновича, [23, 44, 45, 7, 8]. Її основи добре викладені в роботах А. І. Перова, В. І. Тихонова, А. П. Трифонов і ін. [46, 47, 48, 49 - 53, 32]. У теорії оптимального прийому вирішуються завдання виявлення, розрізнення, оцінки параметрів, фільтрації сигналів. Однак існують недоліки у вирішенні зазначених завдань. Так завдання виявлення сигналу вирішується, в основному, при повністю відомих параметрах сигналу і дисперсії шуму. Невідомим є лише факт наявності сигналу в прийнятому повідомленні. У зв'язку з цим розв'язок є теоретичним і його складно використовувати в радіоелектронних комплексах. Завдання оцінки параметрів двох і більше сигналів вирішується в сучасних радіоелектронних системах лише в області їх ортогональності, коли кореляційні або спектральні максимуми відповідають критеріям Релея. Завдання вирішення подібних сигналів в радіоелектронних системах вирішується, в основному, на підставі функції невизначеності. Ця задача фільтрації сигналів в існуючих радіоелектронних системах також вирішується лише в області їх ортогональності. Узгоджені, оптимальні фільтри, реалізовані в цифровому або аналоговому вигляді, не в змозі розділити неортогональні сигнали.

Роздільна здатність, за переважною кількістю джерел / А. І. Перов, Я. Д. Ширман і ін. / [32, 62, 63] в системах локації, пеленгації, навігації, системах спектроскопії всіх видів визначається розміром функції невизначеності (тіла невизначеності). Аналіз показує, що функція невизначеності це, по суті, нормована багатопараметрична функція кореляції сигналу. Вона являє собою узагальнення відомого критерію Релея на випадок, коли функція кореляції залежить від багатьох параметрів. Ширина основного пелюстка кореляційної функції сигналу по якомусь параметру залежить від часової, частотної або просторової бази сигналу. В результаті роздільна здатність існуючих радіоелектронних систем, визначена відповідно до функції невизначеності, має обмеження Релея. По суті, це обмеження розділяє сигнали в радіоелектронних системах на ортогональні, коли перетини функцій невизначеності двох сигналів не перекриваються і неортогональні, коли перетин функцій невизначеності двох сигналів перекриваються / А. І. Перов / [32].

В даний час переважна кількість розробок теоретичного або прикладного характеру пов'язана з областю ортогональності сигналів, з релеївською роздільною здатністю сигналів.

Так, наприклад, автори П. А. Бакулев і А. А. Сосновський [2] розглядають питання роздільної здатності цілей з позиції ортогональності сигналів, тобто з позиції релєївської роздільної здатності, А. І. Канащенков, В. І. Меркулов, А. І., Перов [19, 20] розглядають роздільну здатність цілей на основі тіла невизначеності. У В. І. Тихонова [46] як і у А. І. Перова [32] питання роздільної здатності розглядаються з точки зору розмірів функції невизначеності. Автором Ю.А. Громакова і ін. [14] розглянуті питання теорії великих систем (багатопозиційних РЛС). Автори при викладі матеріалу знаходяться на позиції класичної (релєївської) теорії роздільної здатності. Незважаючи на значний розвиток технології цифрових фільтрів, вони не в змозі вирішити завдання фільтрації сигналів з частково співпадаючими спектрами (з частково співпадаючими кореляційними функціями), тобто задачу фільтрації неортогональних сигналів.

До теперішнього часу накопичено багато інформації, яка вказує на можливість отримання розв'язку статистичних задач в радіотехніці в області неортогональних сигналів. Так, наприклад, С. Л. Марплом (мол.) [30] представлені методи надроздільної здатності: “Проні”, передбачень, “Music”, “Писаренко”, “Авторегресивний”, “змінного середнього”, “метод максимальної ентропії”, “метод мінімальної дисперсії”. Вони засновані на різницевому рівнянні, і розв'язок статистичних задач пов'язаний з погано обумовленою матрицею даних або кореляційною матрицею даних. Однак вони забезпечують в області частотної спектроскопії кращу роздільну здатність, ніж спектральний аналіз. Областю їх роботи є високе відношення сигнал/шум. Різницеве рівняння є основою при створенні таких фільтрів як фільтри Вінера, фільтри Калмана.

У роботі К. Хелстрома [57] вперше розглядається можливість отримання розв'язку статистичних задач радіотехніки в області неортогональності двох або більше сигналів, тобто при коефіцієнті кореляції двох сигналів що не дорівнює нулю.

У роботах С. А. Клімова, В. В. Абраменкова [21, 1] представлено експериментальне підтвердження надроздільної здатності в сфері локації. У роботах В. І. Слюсара [37, 38, 39, 42] показана можливість створення радіоелектронних систем на неортогональних сигналах.

Всі ці роботи дають істотну теоретичну основу для розробок радіоелектронних комплексів, ефективність обробки сигналів в яких більш висока.

В даний час можна відзначити перехід від простих сигналів до сигналів з внутрішньо-імпульсною модуляцією: сигнали на основі кодів Баркера, сигнали з лінійно змінною частотою (ЛЧМ-сигнали), сигнали на основі М-последовностей. Основною перевагою складних сигналів є істотне зниження потужності при збереженні енергії сигналу і можливість отримання високої роздільної здатності. Основою обробки складних сигналів є кореляційна обробка. У цьому випадку ширина кореляційної функції визначається тривалістю однієї позиції в сигналах на основі кодів Баркера або девіацій частоти в ЛЧМ-сигналах. Однак питання обробки складних сигналів на основі положень теорії оптимального прийому розроблені недостатньо. Особливо це стосується області неортогональності складних сигналів. Це є проблемою у вирішенні завдання подальшого вдосконалення радіотехнічних комплексів апаратури.

Мета і задачі дослідження. Основною метою роботи є розвиток методів обробки складних сигналів стосовно радіоелектронних систем.

Для досягнення вказаної мети, в роботі поставлено та розв'язано наступні задачі:

- виявлення складних сигналів з попередньою кореляційною обробкою і з оцінкою дисперсії шуму в прийнятому повідомленні;
- роздільної здатності і оцінки параметрів складних сигналів на основі перетвореного функціоналу правдоподібності в області їх неортогональності;
- розробка методів адаптивної фільтрації складних сигналів на фоні неортогональних по відношенню до сигналу завади;
- розробка методів оптимізації за часом алгоритмів пошуку глобального мінімуму функціоналу правдоподібності при обробці складних сигналів.

Об'єкт дослідження: процеси виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів.

Предмет дослідження: моделі, методи і засоби виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів.

Методи дослідження: для вирішення поставлених задач використано наступні методи: аналіз та узагальнення – при проведенні аналізу існуючих методів і засобів виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів; формалізації та математичного моделювання – при побудові моделей виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів; проектування та програмування – при проектуванні радіоелектронних систем виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів; експеримент та вимірювання – для апробації запропонованого методу і засобу для виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів.

Наукова новизна отриманих результатів. У магістерській роботі отримані наступні наукові результати:

Метод розв'язання задачі виявлення складного сигналу з попередньою кореляційною обробкою та оцінкою дисперсії шуму в прийнятій реалізації.

Технологія перетворення функціоналу правдоподібності для вирішення статистичних завдань радіотехніки в області неортогональності складних сигналів.

Метод розв'язання задачі оцінки параметрів і завдання вирішення складних сигналів на основі перетвореного функціоналу правдоподібності.

Технологія адаптивної фільтрації складного сигналу на фоні неортогональних завад.

Методи швидкої мінімізації функціоналів правдоподібності, що істотно збільшують швидкодію запропонованих алгоритмів.

Практичне значення отриманих результатів. Впровадження методів, алгоритмів та технологій вирішення завдань статистичної радіотехніки. Основними є такі.

1. Технологія перетворення функціоналу правдоподібності для вирішення завдань дозволу і оцінки параметрів складних сигналів в області їх неортогональності.

2. Метод адаптивної фільтрації складних сигналів на фоні імпульсних і зосереджених завад.

4. Швидкі алгоритми пошуку мінімуму поверхні перетворених функціоналів правдоподібності при обробці складних сигналів.

5. Метод оцінки дисперсії шуму в прийнятому повідомленні.

6. Метод оцінки робочої області при вирішенні завдання роздільної здатності складних сигналів.

Публікації. Результати дослідження апробовано на двох науково-практичних конференціях Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя у вигляді тез конференцій.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається із вступу, 6 частин, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 157 арк. формату А4, графічна частина – 8 аркушів формату А1.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обробки неортогональних складних сигналів. Це є проблемою у вирішенні завдання подальшого вдосконалення радіотехнічних пристроїв, систем та комплексів. Мета і задачі дослідження. Основною задачею роботи є:

- виявлення складних сигналів з попередньою кореляційною обробкою і з оцінкою дисперсії шуму в прийнятому повідомленні;
- роздільної здатності і оцінки параметрів складних сигналів на основі перетвореного функціоналу правдоподібності в області їх неортогональності;
- розробка методів адаптивної фільтрації складних сигналів на фоні неортогональних по відношенню до сигналу завади;
- розробка методів оптимізації за часом алгоритмів пошуку глобального мінімуму функціоналу правдоподібності при обробці складних сигналів..

У першому розділі дипломної роботи “Теоретичні основи оптимальної обробки складних сигналів” проведено аналіз сучасного стану в області теоретичних основ оптимальної обробки складних сигналів:

- виявлення складних сигналів з попередньою кореляційною обробкою і з оцінкою дисперсії шуму в прийнятому повідомленні;
- оцінка параметрів складних сигналів;
- розрізнення складних сигналів на основі перетвореного функціоналу правдоподібності в області їх неортогональності;
- адаптивна фільтрація складних сигналів на фоні неортогональних по відношенню до сигналу завад;
- алгоритмів пошуку глобального мінімуму функціоналу правдоподібності при обробці складних сигналів.

У другому розділі “Результати модельних досліджень особливостей обробки сигналів з великою базою” проведено статистику оцінок параметрів складних сигналів, ЛЧМ-сигналів на основі перетвореного функціоналу правдоподібності. Проведено порівняння роздільної здатності сигналів,

модульованих М-послідовністю на основі перетвореного функціоналу правдоподібності ЛЧМ – сигналу від відношення сигнал/шум в прийнятій реалізації та роздільної здатності ЛЧМ-сигналів на основі перетвореного функціоналу правдоподібності. Проведено модельне дослідження особливостей обробки сигналів з великою базою.

У третьому розділі “Експериментальні дослідження розроблених алгоритмів цифрової обробки складних сигналів” проведено експериментальне дослідження розроблених алгоритмів цифрової обробки складних сигналів. Розроблено алгоритм адаптивної фільтрації складних сигналів на фоні неортогональних по відношенню до сигналу завад при вертикальному зондуванні.

У четвертому розділі “Спеціальна частина” розглянуто питання використання середовища MATLAB для математичного моделювання.

У п'ятому розділі розглянуто питання економічної доцільності проведення науково-дослідної роботи.

У шостому розділі дипломної роботи “Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях” проаналізовано вимоги з охорони праці і техніки безпеки при використанні.

Розглянуто вимоги інженерно-технічних заходів цивільного захисту до ліній і споруд зв'язку, радіомовлення та телебачення та захист населення у надзвичайних ситуаціях від впливу радіації.

У сьомому розділі дипломної роботи “Екологія” проведено аналіз сучасних програмних продуктів для опрацювання великих масивів екологічної інформації та робота з банками екологічної інформації.

У загальних висновках щодо дипломної роботи описано отримані в процесі виконання дипломної роботи магістра результати, що відображають сучасний стан досліджень в області обробки складних сигналів.

В додатках до пояснювальної записки приведено копію наукової публікації автора, лістинг коду реалізованого програмного засобу.

В графічній частині до дипломної роботи магістра наведено результати аналізу сучасних моделей та методологій розробки програмного забезпечення, формально та схематично представлено модифіковану модель життєвого циклу програмних систем та розроблений метод інтеграції процесів гарантування якості на етапах виконання проекту, архітектуру та вимоги програмного засобу підтримки запропонованих у роботі рішень у вигляді UML діаграм.

ВИСНОВКИ

При вирішенні задачі виявлення складних сигналів отримано наступне:

- встановлено, що значення мінімуму функціоналу правдоподібності визначає дисперсію шуму в прийнятому повідомленні;
- запропоновано для розв'язання задачі використовувати статистику шуму і статистику кореляційної функції в точці максимуму, використовуючи оцінку дисперсії в прийнятому повідомленні;
- запропоновано в комплексах апаратури пороговий рівень встановлювати відповідно до критерію Неймана-Пірсона з урахуванням оцінки дисперсії шуму, визначеної за мінімуму функціоналу правдоподібності.

Розроблено питання теорії і проведено дослідження потенційно досяжних оцінок параметрів складних сигналів на основі перетвореного функціоналу правдоподібності.

Отримано наступне:

- виведено вирази, що визначають оптимальний алгоритм обробки при оцінці амплітуди, фази, частоти, часу приходу складного сигналу;
- виведено вирази, що визначають дисперсії Рао-Крамера для амплітуди, початкової фази, частоти, часу приходу складного сигналу;
- встановлено, що потенційно досяжна точність оцінок амплітуди і фази складного сигналу відповідає дисперсії Рао-Крамера. Точність оцінок часу приходу при малих відношеннях сигнал/шум не відповідає ні дисперсії Рао-Крамера, ні дисперсії Вудворда.

Розроблено положення теорії та проведено дослідження питань розрізнення складних сигналів в області їх неортогональності на основі перетвореного функціоналу правдоподібності. При цьому отримано наступне:

- визначено алгоритм обробки складних сигналів при вирішенні завдання їх дозволу в області неортогональності;
- отримані вирази, що визначають дисперсії Рао-Крамера для сукупності складних сигналів;
- встановлено, що можливість вирішення двох складних сигналів в області їх неортогональності визначається модулем коефіцієнта взаємної кореляції і ставленням сигнал / шум.

– встановлено, що робоча область при вирішенні завдання роздільної здатності двох складних сигналів визначається значенням модуля коефіцієнта кореляції, що змінюється в межах від 0 до 0.9.

Розроблено основи теорії і проведені дослідження можливостей адаптивної фільтрації складних сигналів на фоні завад. При цьому отримано наступне:

- розроблена технологія цифрової адаптивної фільтрації складних сигналів в області неортогональності сигналу і завади, заснована на методі максимальної правдоподібності;
- показано, що найбільш складними є завади неортогональні сигналу. Існуючі фільтри можуть придушити лише ортогональну по відношенню до сигналу заваду.

– встановлено, що можливість придушення як зосереджених по частоті, так і імпульсних завад визначається модулем коефіцієнта кореляції між сигналом і перешкодою, що змінюються в межах від 0 до 0.9.

На даних вертикального зондування іоносфери показана можливість повного розрізнення двох магнітоіонних компонент навіть при збігу їх часів приходу.

Розроблено методи швидкої мінімізації функціоналів правдоподібності, які істотно прискорюють алгоритм пошуку мінімуму. При цьому отримано наступне:

– розроблений алгоритм швидкої мінімізації функціоналів правдоподібності на основі технології паралельних обчислень CUDA;

– розроблений алгоритм швидкої мінімізації функціоналів правдоподібності на основі алгоритму глобальної оптимізації CRS_LGM.

На основі проведених розрахунків встановлено техніко-економічні показники щодо ефективності впровадження модифікованої моделі життєвого циклу програмних систем, методу інтеграції процесів гарантування якості та програмної системи їхньої підтримки, які доводять економічну доцільність науково-практичної роботи.

Досліджено вимоги з охорони праці та вимог електробезпеки при експлуатації комп'ютерної техніки, що дало змогу врахувати їх при подальшому оформленні інструкцій з охорони праці і техніки безпеки для забезпечення здоров'я, фізичного та психо-емоційного стану користувачів розробленої програмної системи.

Проведено дослідження впливу антропогенних факторів, рівнів і видів забруднення на навколишнє середовище.

АНОТАЦІЯ

Лесів П.В. Метод формування радіолокаційних портретів цілей на основі алгоритмів адаптивної фільтрації.

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня магістра 8.05090103 – Радіоелектронні пристрої, системи та комплекси. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль 2017.

У дипломній роботі магістра проведено пошук мінімуму функціоналу, який дозволяє отримати суттєвий приріст в швидкості роботи програми, що здійснює оцінку параметрів сигналу на основі теорії оптимального приймання, в той же час, розв'язок, що отримується за допомогою описаного алгоритму, є істинним глобальним мінімумом, що дозволяє знизити помилки, пов'язані з промахами при застосуванні будь-яких алгоритмів оптимізації.

Розроблено питання теорії і проведено дослідження потенційно досяжних оцінок параметрів складних сигналів на основі перетвореного функціоналу правдоподібності.

Розроблено положення теорії та проведено дослідження питань розрізнення складних сигналів в області їх неортогональності на основі перетвореного функціоналу правдоподібності.

Розроблено основи теорії і проведені дослідження можливостей адаптивної фільтрації складних сигналів на фоні завад.

На даних вертикального зондування іоносфери показана можливість повного розрізнення двох магнітоіонних компонент навіть при збігу їх часів приходу.

Розроблено методи швидкої мінімізації функціоналів правдоподібності, які істотно прискорюють алгоритм пошуку мінімуму.

Ключові слова: АЛГОРИТМ, АДАПТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ, ОЦІНЮВАННЯ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є, ПРОГРАМНА СИСТЕМА, РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ СИГНАЛ, СКЛАДНИЙ СИГНАЛ

ANNOTATION

Lesiv P. V. Method of forming radiolocation portraits based on adaptive filtering algorithms

The diploma paper for obtaining the Master's degree 8.05090103 – Radio Electronic Devices, Systems and Complexes – Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil 2017.

In the diploma paper conducted search of minimum functionality that allows you to significantly increase the speed of the program, which evaluates the signal parameters based on the theory of optimal reception, at the same time, the solution is obtained by using the described algorithm is the true global minimum, thus reducing errors associated with failures in the application of any optimization algorithms.

Developed the theory and the research of potentially achievable parameter estimates based on complex signals converted likelihood function.

Developed the theory and the research of complex signals distinction in their nonorthogonality transformed from functional plausibility.

Fundamentals of theory and studies possibilities of adaptive filtering of complex signals on the background noise.

In these vertical ionosphere sounding the possibility of distinguishing two full mahnitioionnyh component even if it matches their arrival times.

Methods for rapid minimize likelihood function that significantly accelerate the search algorithm minimum.

Keywords: ALGORITHM, ADAPTIVE FILTERING, EVALUATION, FOURIER TRANSFORM, SOFTWARE SYSTEMS, РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ СИГНАЛ, СКЛАДНИЙ СИГНАЛ.