

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

ВОЛКОВ ІВАН ВАЛЕРІАНОВИЧ

УДК 621.391

**ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНИХ
РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ**

172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Автореферат
дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня “магістр”

Тернопіль 2018

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

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехнічних систем
Умзар Юрій Августович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехнічних систем
Хвостівський Микола Орестович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 20 лютого 2018 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. Алгоритми і методи, запропоновані в даній роботі, призначені для використання в пасивних радіолокаційних системах (ПРЛС), які працюють за сигналами сторонніх джерел підсвічування. Поштовхом до розвитку таких систем стало широке поширення бездротових телекомунікаційних систем, сигнали яких можуть з успіхом використовуватися в цілях пасивної локації. Важливою рисою пасивних радіолокаційних систем є скритність їх роботи, оскільки вони не випромінюють зондувальні сигнали, а використовують сигнали сторонніх джерел. Приклади таких систем є за кордоном, наприклад, Silent Sentry (США), Celldar (Великобританія), Cassidian (Німеччина), ERA (Чехія), однак вітчизняних аналогів в результаті огляду літератури не виявлено.

Робота пасивних радіолокаційних систем пов'язана з низкою проблем, які обмежують дальність дії, а також утруднюють виявлення радіолокаційних цілей і знижують точність оцінки їх параметрів. Однією з таких проблем є мала потужність випромінювання джерел підсвічування, що знижує дальність дії ПРЛС. Для підвищення дальності дії ПРЛС проводиться накопичення сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі, однак збільшення часу накопичення сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі, веде до значного збільшення обчислювальної складності. Інша проблема пов'язана з тим, що прямий сигнал джерела підсвічування по боковому пелюстці діаграми спрямованості антени ПРЛС надходить в канал ПРЛС, призначений для прийому сигналів, відбитих від радіолокаційної цілі. Потужність прямого сигналу джерела підсвічування у багато разів перевершує потужність сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі, внаслідок чого прямий сигнал передавача підсвічування ускладнює або робить неможливим виявлення і подальшу обробку сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі. Дані проблеми не вирішені в повному обсязі досі, тому тема актуальна і потребує вирішення.

Мета і задачі дослідження. Розробка та дослідження методів і алгоритмів, що дозволяють знизити обчислювальні витрати при обробці сигналів, підвищити точність оцінки параметрів передавача підсвічування та зменшити потужність прямого сигналу передавача підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі в пасивній радіолокаційній системі, що працює за сигналами сторонніх джерел підсвічування.

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

- на підставі існуючих алгоритмів оцінки доплерівського зміщення частоти і затримки сигналів, відбитих від радіолокаційної цілі, в пасивних радіолокаційних системах, розробити алгоритм, що дозволяє знизити обчислювальні витрати в порівнянні з існуючими алгоритмами при збереженні необхідної точності оцінки параметрів сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі;
- розробити метод компенсації прямого сигналу передавача підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі;
- провести математичне моделювання та експериментальну перевірку спроектованих методів і алгоритмів.

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

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

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 попередньої та міжканальної обробки сигналів; проектування та програмування – при проектуванні радіоелектронних систем виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів; експеримент та вимірювання – для апробації запропонованого алгоритму і засобу для виявлення, розрізнення, оцінки параметрів та фільтрації сигналів.

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

– розроблено алгоритм, що дозволяє знизити обчислювальні витрати в порівнянні з існуючими алгоритмами при збереженні необхідної точності оцінки параметрів сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі;

– розробити метод компенсації прямого сигналу передавача підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі.

Практичне значення отриманих результатів. Впровадження методів, алгоритмів та технологій розв'язку завдань статистичної радіотехніки. Основними є такі:

1. Алгоритм, що дозволяє знизити обчислювальні витрати в порівнянні з існуючими алгоритмами при збереженні необхідної точності оцінки параметрів сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі.

2. Метод компенсації прямого сигналу передавача підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі.

3. Математичне моделювання та експериментальна перевірка спроектованих методів і алгоритмів показала, що даний алгоритм та метод дозволяють підвищити точність визначення параметрів радіолокаційної цілі.

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 – 108 арк. формату А4, графічна частина – 8 аркушів формату А1.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність розробки алгоритмів і методів, які призначені для використання в пасивних радіолокаційних системах (ПРЛС), які працюють за сигналами сторонніх джерел підсвічування. Поштовхом до розвитку таких систем стало широке поширення бездротових телекомунікаційних систем, сигнали яких можуть з успіхом використовуватися в цілях пасивної локації.

Основною задачею роботи є:

– розробка алгоритму на підставі існуючих алгоритмів оцінки доплерівського зміщення частоти і затримки сигналів, відбитих від радіолокаційної цілі, в пасивних радіолокаційних системах, що дозволяє знизити обчислювальні витрати в порівнянні з існуючими алгоритмами при збереженні необхідної точності оцінки параметрів сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі;

– розробка методу компенсації прямого сигналу передавача підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі;

– провести математичне моделювання та експериментальну перевірку спроектованих методів і алгоритмів.

У першому розділі дипломної роботи “Огляд принципів роботи, методів визначення координат і проблематики пасивних радіолокаційних систем” проведено аналіз проблем пасивних радіолокаційних систем:

До основних проблем таких систем можна віднести наступні:

1) Мала потужність передавача підсвічування в поєднанні з малими значеннями ЕПР радіолокаційних цілей призводить до зменшення дальності дії ПРЛС. Для збільшення дальності проводиться збільшення часу накопичення сигналу, відбитого від РЛЦ, що в свою чергу призводить до підвищення обчислювальної складності [30].

2) Потужний прямий сигнал передавача підсвічування надходить в приймальний канал, призначений для прийому сигналів, відбитих від радіолокаційних цілей. Потужність сигналу підсвічування значно перевищує потужність корисного сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі, що значно ускладнює прийом і обробку корисного сигналу [31].

У даній роботі пропонуються шляхи вирішення описаної проблематики для пасивних радіолокаційних систем, що працюють за сигналами сторонніх джерел підсвічування, рунтуючись на досвіді зарубіжних і вітчизняних дослідників і розробників подібних систем.

У другому розділі “Обробка сигналів в пасивних радіолокаційних системах” запропоновано двоетапний алгоритм оцінки параметрів сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі (затримка і доплерівське зміщення частоти). Даний алгоритм дозволяє знизити обчислювальні витрати в кілька разів у порівнянні з відомими алгоритмами, при збереженні необхідної точності оцінки параметрів сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі. Виграш в обчислювальній складності в порівнянні з іншими алгоритмами збільшується при зниженні часу накопичення. При збільшенні часу накопичення обчислювальна складність розглянутих алгоритмів зростає і приймає близькі значення.

Математичне моделювання показало, що зменшення потужності прямого сигналу передавача підсвічування в приймальному каналі і при збільшенні затримки перевідбитого сигналу щодо прямого, СКВ помилки оцінки доплерівського зміщення частоти знижується. При збільшенні доплерівського зміщення частоти, СКВ помилки оцінки доплерівського зміщення частоти також знижується.

У третьому розділі “Компенсація потужного прямого сигналу передавача для підсвічування в каналі” запропоновано метод аналогової компенсації прямого сигналу підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі, в багатопозиційній ПРЛС з широконаправленою антеною

системою. Проведено експериментальне дослідження впливу факторів на рівень компенсації сигналу передавача. Отримано залежності, що показують вплив помилки настройки кожного з елементів компенсуючого тракту на рівень компенсації.

Проведено експериментальну перевірку запропонованого методу в лабораторних умовах. Результати експерименту показали, що даний метод дозволяє домогтися рівня компенсації прямого сигналу передавача підсвічування в приймальному каналі до 30 дБ.

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 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

Основні результати даної роботи полягають в наступному.

1) Запропоновано двоетапний алгоритм оцінки параметрів сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі (затримка і доплерівське зміщення частоти). Даний алгоритм дозволяє знизити обчислювальні витрати в кілька разів у порівнянні з відомими алгоритмами при збереженні необхідної точності оцінки параметрів сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі. Виграш в обчислювальній складності в порівнянні з іншими алгоритмами збільшується при зниженні часу накопичення. При збільшенні часу накопичення обчислювальна складність розглянутих алгоритмів зростає і приймає близькі значення.

2) Запропонований алгоритм оцінки розсинхронізації гетеродинів приймального і передавального пунктів, що дозволяє знизити СКВ помилки оцінки частотного зміщення в порівнянні з відомими існуючими алгоритмами. Даний алгоритм може бути застосований в тому випадку, коли джерело сигналу підсвічування випромінює сигнал з OFDM модуляцією. Зниження СКВ помилки оцінки частотного зміщення між гетеродинами приймального і передавального пунктів досягається за рахунок використання для оцінки не тільки пілот сигналів певної структури, а й інформаційних символів.

3) Отримані залежності СКВ помилки оцінки частотної розсинхронізації гетеродинів приймального і передавального пунктів від відношення сигнал/шум і числа помилок при демодуляції біт. Отримані результати математичного моделювання підтверджуються експериментальними дослідженнями в лабораторних умовах, а також на реальних трасах поширення радіохвиль.

Компенсація прямого сигналу передавача підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі, є однією з найважливіших задач, яку необхідно вирішити при розробці пасивної радіолокації. При відсутності системи компенсації сигнал передавача підсвічування в приймальному каналі ускладнює виявлення і подальшу обробку сигналів, відбитих від радіолокаційної цілі. Існуючі підходи до вирішення даної проблеми, такі як електродинамічне екранування прямого сигналу, поляризаційна режекція і цифрове утворення діаграми, мають ряд недоліків, також їх реалізація є дорогою. Пропонується метод аналогової компенсації прямого сигналу підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі, в багатопозиційною ПРЛС з широконаправлені антеною системою. Даний метод не має недоліків перерахованих вище підходів, при цьому він дозволяє домогтися порівнянного і в деяких випадках більшого рівня компенсації сигналу передавача в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі.

АНОТАЦІЯ

Волков І.В. Дослідження алгоритмів цифрової обробки складних радіолокаційних сигналів.

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня магістра 172 – “Телекомунікації та радіотехніка”. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль 2018.

У дипломній роботі магістра проведено розробку та дослідження методів і алгоритмів, що дозволяють знизити обчислювальні витрати при обробці сигналів, підвищити точність оцінки параметрів передавача підсвічування та зменшити потужність прямого сигналу передавача підсвічування в каналі, призначеному для прийому сигналу, відбитого від радіолокаційної цілі в пасивної радіолокації системі, що працює за сигналами сторонніх джерел підсвічування.

Ключові слова: АЛГОРИТМ, АДАПТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ, ОЦІНЮВАННЯ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є, ПРОГРАМНА СИСТЕМА, ПАСИВНА РАДІОЛОКАЦІЙНА СИСТЕМА, РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ СИГНАЛ, СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНЕ ВІДХИЛЕННЯ

ANNOTATION

Volkov I. V. Method of forming radiolocation portraits based on adaptive filtering algorithms

The diploma paper for obtaining the Master's degree 172 – Telecommunications and radio engineering – Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil 2018.

In the dissertation work of the Master the development and research of methods and algorithms, that reduce the computational costs of signal processing, improve the accuracy of evaluation of the parameters of the transmitter of illumination and reduce the power of the direct signal of the transmitter of illumination in the channel intended for reception of the signal reflected from the radar target in the passive radar system, which works by signals from third-party sources of illumination.

Keywords: ALGORITHM, ADAPTIVE FILTERING, EVALUATION, FOURIER TRANSFORM, MEAN SQUARE DEVIATION, SOFTWARE SYSTEMS, RADARS SIGNAL, PASSIVE RADAR SYSTEM