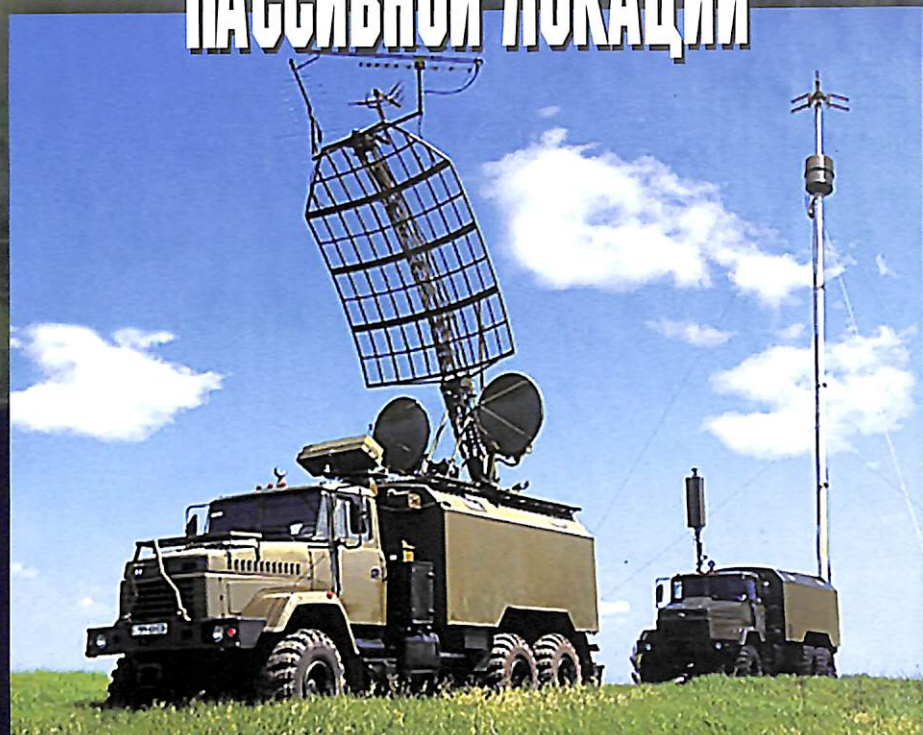




В.Н. ТКАЧЕНКО, Р.Л. ПАНТЕЕВ, Е.К. ПОЗДНЯКОВ

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МНОГОПОЗИЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ



НАЦИОНАЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ



ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МЕХАНИКИ

В.Н. ТКАЧЕНКО, Р.Л. ПАНТЕЕВ, Е.К. ПОЗДНЯКОВ

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МНОГОПОЗИЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

ПРОЕКТ
«НАУКОВА КНИГА»



КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 2018

В монографии приведены результаты исследований, основанные на использовании избыточной (дополнительной) информации об источниках радиоизлучения (ИРИ) и разработке соответствующих методов нахождения их координат. Сформулирован и исследован новый класс задач определения координат ИРИ на основе экстремальных постановок. Выполнено экстремальную постановку разностно-дальномерного метода (РДМ) на основе минимизации квадратичного функционала, что позволяет учесть погрешность измерения задержки времени прихода сигнала на каждую из станций. Предложен метод определения координат ИРИ, основанный на комбинированном использовании результатов РДМ и экстремальной задачи в условиях избыточности, что позволило увеличить точность определения координат и уменьшить влияние геометрического фактора расположения принимающих станций комплекса. Исследована совместная работа комплекса пассивной локации со средствами активного радиомониторинга — высотомером и активной РЛС. Определение координат ИРИ интегрированными средствами радиомониторинга позволяет уменьшить среднее квадратическое отклонение ошибки.

Для специалистов в области пассивной радиолокации, занимающихся разработкой математических методов определения координат источников излучения, а также для преподавателей, аспирантов и студентов вузов соответствующих специальностей.

У монографії викладено результати досліджень, заснованих на використанні надлишкової (додаткової) інформації про джерела радіовипромінювання (ДРВ) та розробці відповідних методів знаходження їх координат. Сформульовано та досліджено новий клас задач визначення координат ДРВ на основі екстремальних постановок. Виконано екстремальну постановку різницево-daleкомірною методу (РДМ) на основі мінімізації квадратичного функціонала, що дає змогу враховувати похибку виміру затримки часу приходу сигналу на кожну із станцій. Запропоновано метод визначення координат ДРВ, заснований на комбінованому використанні результатів РДМ і екстремальної задачі за умов надмірності, що дає змогу збільшити точність визначення координат і зменшити вплив геометричного фактора розташування приймаючих станцій комплексу. Досліджено спільну роботу комплексу пасивної локації із засобами активного радіомоніторингу — висотоміром і активною РЛС. Визначення координат ДРВ інтегрованими засобами радіомоніторингу сприяє зменшенню середнього квадратичного відхилення помилки.

Для фахівців у галузі пасивної радіолокації, що займаються розробкою математичних методів визначення координат джерел випромінювання, а також для викладачів, аспірантів і студентів вишів відповідних спеціальностей.

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор П.И. Бидюк,
доктор технических наук, профессор В.М. Синеглазов

*Рекомендовано к печати ученым советом
Института прикладной математики и механики НАН Украины
(протокол № 3 от 24.03.2017)*

*Оригінал-макет виготовлено за кошти Цільової комплексної програми
«Створення та розвиток науково-видавничого комплексу НАН України»*

Научно-издательский отдел физико-математической и технической литературы
Редактор В.В. Вероцкая

© В.Н. Ткаченко, Р.Л. Пантеев,
Е.К. Поздняков, 2018
© НПП «Видавництво “Наукова думка”
НАН України», дизайн, 2018

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы постоянно возрастают требования к точности определения координат источников радиоизлучения (ИРИ) многопозиционными комплексами пассивной локации (МКПЛ). Основными методами пассивной локации являются *триангуляционный метод* (ТМ) и *разностно-дальномерный метод* (РДМ) [106]. Эти методы широко известны, успешно апробированны и активно применяются в системах пассивной локации, решающих различные технические задачи, основной из которых является *радиотехническая разведка* (РТР). Тем не менее, при достижении определенных условий, связанных с особенностями распространения сигнала от ИРИ, взаимным положением ИРИ и МКПЛ, а также насыщенностью радиоэлектронной обстановки (РЭО), точность определения координат ИРИ классическими методами оказывается недостаточной. Развитие и совершенствование вычислительной техники представляет возможность для успешного внедрения методов, основанных на использовании избыточной информации, характеризующей местоположение цели. При этом важное требование к разрабатываемым алгоритмам состоит в необходимости проведения расчетов, связанных с определением местоположения цели, в режиме мягкого реального времени.

Задача повышения точности определения координат ИРИ в настоящее время приобретает важное значение в связи с проявлением тенденции интеграции пассивных и активных средств в единые системы [107]. Поэтому разработка методов, основанных на использовании избыточной информации, с помощью которых можно увеличить точность определения координат ИРИ, является актуальной задачей. Для ее решения необходимо:

1. Исследовать основные принципы и особенности построения технических систем определения координат, проанализировать преимущества и недостатки современных систем контроля РЭО. Выполнить анализ существующих методов определения координат ИРИ в многопозиционных комплексах пассивной локации.
2. Разработать подход для определения условий использования вычислительного метода, ускоряющего процесс расчета координат ИРИ комплексами МКПЛ.

175. *Ткаченко В.Н.* Использование методов теории чувствительности для оптимизации процедур расчета и определения погрешности расчета координат пассивными системами радиолокации / В.Н. Ткаченко, В.В. Коротков, Р.Л. Пантеев // Известия Юго-западного государственного университета. — 2014. — № 3. — С. 35—41.

176. *Ткаченко В.Н.* Экстремальная постановка и анализ задачи определения координат источников радиоизлучения разностно-дальномерным методом / В.Н. Ткаченко, В.В. Коротков, Р.Л. Пантеев // Системы обработки информации. — 2014. — № 4(120). — С. 64—68.

177. *Ткаченко В.Н.* Анализ точности определения координат источников радиоизлучения при совместной работе системы пассивной радиолокации и высотомера / В.Н. Ткаченко, В.В. Коротков, Р.Л. Пантеев // Сб. научных трудов Харьковского ун-та Воздушных Сил. — 2014. — № 2(39). — С. 109—114.

178. *Ткаченко В.Н.* Анализ точности определения координат источников радиоизлучения при совместной работе системы пассивной радиолокации и активной радиолокационной станции / В.Н. Ткаченко, В.В. Коротков, Р.Л. Пантеев // Системы обработки информации. — 2014. — № 6(122). — С. 90—95.

179. *Sineglazov V.M.* UAV detection accuracy and coordinates calculation improvement by means of active and passive radar-location systems / V.M. Sineglazov, R.L. Pantyeyev, V.N. Tkachenko // IEEE International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). — Kyiv, 2015. — P. 206—209.

180. *Sineglazov V.M.* Special features of the passive and active radar systems multiplexing / V.M. Sineglazov, R.L. Pantyeyev, V.N. Tkachenko // Electronics and Control Systems. — 2015. — N 3(45). — P. 33—39.

181. *Пантеев Р.Л.* Обработка результатов измерений пассивными системами радиолокации для решения координатно-трассовой задачи / Р.Л. Пантеев // Сб. тез. докл. IV Научно-практич. конф. студентов и аспирантов «Взгляд в будущее приборостроения». — Киев, 2011. — С. 39.

182. *Пантеев Р.Л.* Использование коэффициентов чувствительности для определения точности расчета координат пассивными системами радиолокации / Р.Л. Пантеев, В.Н. Ткаченко, В.В. Коротков // Сб. ст. 22-й Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационной технологии». — Севастополь, 2012. — С. 1027—1028.

183. *Меньшаков Ю.К.* Теоретические основы радиотехнических разведок / Ю.К. Меньшаков. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 536 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕЛИ СОВРЕМЕННЫМИ СИСТЕМАМИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ: ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ	11
1.1. Современные тенденции развития систем радиотехнической разведки	11
1.2. Особенности построения технических систем для решения проблемы определения координат цели в системах радиотехнической разведки	15
1.3. Развитие средств пассивного радиомониторинга. Принципы работы пассивных систем и определения координат ИРИ	21
1.4. Развитие средств активного радиомониторинга. Принципы работы активных систем и определения координат ИРИ	34
1.5. Перспективы развития систем интегрированного многопозиционного радиомониторинга	46
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ДО ОБЪЕКТА	51
2.1. Определение информационных параметров сигнала в системах пассивной локации	51
2.1.1. Модель измерения параметров сигнала в пассивной локации	51
2.1.2. Определение периода вращения АФС РЛС пассивными системами	53
2.1.3. Определение временных задержек прихода сигнала	60
2.2. Метод определения дальности до цели на основе нахождения периода вращения АФС РЛС	63
2.3. Анализ метода определения дальности на основе определения периода вращения АФС РЛС	65
2.4. Исследование метода определения дальности с помощью функций параметрической чувствительности	69
2.5. Сравнение результатов расчета дальности до ИРИ на основе работанного метода с данными полевых испытаний	75
Выводы к главе 2	80

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИРИ В РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОЙ СИСТЕМЕ И ИХ АНАЛИЗ	82
3.1. Разработка и исследование метода определения координат ИРИ в разностно-дальномерной системе на основе метода Ньютона	82
3.2. Решение задачи разностно-дальномерной координатометрии модифицированным методом Ньютона	88
3.3. Применение параметризации для уменьшения размерности системы гиперболических уравнений	89
3.4. Анализ нелинейной задачи разностно-дальномерной координатометрии с помощью функций параметрической чувствительности	93
3.4.1. Использование функций параметрической чувствительности для определения абсолютной погрешности вычисления координат ИРИ ...	93
3.4.2. Применение функций параметрической чувствительности для сокращения количества уравнений РДМ	98
3.5. Разработка метода определения координат ИРИ в РДС на основе критерия минимума взвешенной суммы квадратов ошибок и его анализ	100
3.5.1. Экстремальная постановка задачи определения координат ИРИ в РДС и ее решение	100
3.5.2. Анализ разработанного метода определения координат ИРИ в РДС при неравноточных измерениях разностей времен задержек прихода сигналов	102
Выводы к главе 3	106
ГЛАВА 4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ С ПОМОЩЬЮ ИЗБЫТОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ О МЕСТОПОЛОЖЕНИИ ЦЕЛИ	108
4.1. Определение координат цели разностно-дальномерным методом в системах пассивной локации	108
4.2. Метод определения координат цели на основе избыточной информации о местоположении цели	112
4.3. Метод компенсации высокой погрешности избыточной информации и учета неравноточности измерений станциями комплекса	122
4.4. Дальномерно-пеленгационный метод определения координат объекта в условиях наличия избыточной информации	127
4.5. Анализ статистических характеристик результатов моделирования ...	132
Выводы к главе 4	140
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИРИ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСАХ РАДИОМОНИТОРИНГА И ИХ АНАЛИЗ	142
5.1. Разработка метода определения координат ИРИ в интегрированном комплексе «РДС—РВ»	142
5.1.1. Метод определения координат ИРИ в интегрированном комплексе «РДС—РВ» на основе критерия минимума суммы квадратов ошибок	142
5.1.2. Анализ точности определения координат ИРИ при совместной работе интегрированного комплекса «РДС—РВ»	145

5.2. Разработка метода определения координат ИРИ в интегрированном комплексе «РДС—РЛС»	151
5.2.1. Метод определения координат ИРИ в интегрированном комплексе «РДС—РЛС» на основе критерия минимума суммы квадратов ошибок	151
5.2.2. Анализ точности определения координат ИРИ при совместной работе интегрированного комплекса «РДС—РЛС»	155
В ы в о д ы к г л а в е 5	160
Г Л А В А 6. РЕАЛИЗАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ О МЕСТОПОЛОЖЕНИИ ЦЕЛИ	161
6.1. Общие вопросы функционирования программного обеспечения МКПЛ	161
6.2. Реализация методов повышения точности определения координат цели в виде программных алгоритмов	171
6.3. Экспериментальное исследование алгоритма определения координат ИРИ для четырехпозиционного пассивного комплекса	183
6.4. Экспериментальное исследование алгоритма определения координат для трехпозиционного пассивного комплекса	195
6.5. Алгоритмическая реализация методов повышения точности определения координат ИРИ	200
6.6. Принятие решений при идентификации ИРИ по параметрам излучений	205
В ы в о д ы к г л а в е 6	218
В ы в о д ы	219
СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	225
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	226