

ВЕСТНИК

воздушно-космической обороны

Научно-технический рецензируемый журнал

Выпуск № 3 (3), 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: <i>П.А. Созинов, д-р техн. наук, профессор</i>	► Первая Всероссийская научно-техническая конференция «Расплетинские чтения»
ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: <i>В.М. Алдошин, д-р техн. наук, профессор</i>	Секция «Радиолокационные и радионавигационные системы»
ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: <i>Д.А. Леманский, канд. техн. наук, доцент</i>	Подсекция «Общие вопросы радиолокации и радионавигации»
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: <i>М.А. Горбачёв, д-р техн. наук</i> <i>Н.С. Губонин, д-р техн. наук, профессор</i> <i>А.И. Даниленко, д-р техн. наук</i> <i>М.В. Жестев, канд. техн. наук</i> <i>Г.В. Зайцев, д-р техн. наук</i> <i>А.Б. Игнатъев, д-р техн. наук, профессор</i> <i>В.А. Кашин, д-р техн. наук, профессор</i> <i>С.К. Колганов, д-р техн. наук, профессор</i> <i>В.И. Колесниченко, д-р техн. наук, профессор</i> <i>Ю.Н. Кофанов, д-р техн. наук, профессор</i> <i>В.В. Морозов, д-р техн. наук</i> <i>В.С. Оконешиников, д-р техн. наук</i> <i>А.А. Парамонов, д-р техн. наук, профессор</i> <i>Н.В. Радчук, д-р техн. наук, профессор</i> <i>С.П. Соколов, д-р техн. наук</i> <i>П.И. Стариковский, д-р техн. наук</i> <i>А.С. Сумин, д-р техн. наук, профессор</i> <i>Е.М. Сухарев, д-р техн. наук, профессор</i> <i>А.А. Трухачев, д-р техн. наук</i> <i>Н.С. Щербаков, д-р техн. наук, профессор</i>	Р.В. Антуфьев, М.С. Бобров, Г.Г. Пискунов, М.А. Царьков <i>Построение тренажно-моделирующего комплекса РЛС 5</i>
	В.В. Виноградов, А.И. Даниленко <i>Комплексный подход к решению задачи повышения точности измерения положения цели с использованием системы пространственной обработки сигналов..... 9</i>
	А.В. Володягин <i>Сокращение времени обзора земной поверхности бортовым радиолокатором в режиме маловысотного полёта..... 16</i>
	С.Э. Григас, Д.Ц. Литовченко, Ц.Г. Литовченко, А.А. Скорынин <i>Оценка требований к перспективному двухпозиционному наземно-космическому радиолокационному комплексу контроля космического пространства..... 20</i>
	В.Ю. Гришин, И.В. Пантелеев, В.В. Чекушкин <i>Совершенствование методов, математических моделей реализации вычислительных процессов в радиолокационных системах 25</i>
	М.Ю. Ивушкин, К.К. Храмов <i>Построение и оценка параметров АЗН-В приёмника радиолокационного комплекса 30</i>
	А.А. Карих <i>Методы защиты коррелятора от узкополосных помех..... 35</i>
	В.Ю. Кузьменков <i>Принципы расчёта информационных потерь в системе радиолокационного обеспечения потребителей 40</i>
	В.Ю. Кузьменков, А.В. Сметанин <i>Применение разных метрик для отождествления радиолокационных отметок и траекторий 45</i>
Технический редактор: С.А. Лукина Корректоры: Е.В. Карпова, Н.С. Умникова Компьютерная верстка: О.А. Пыхонина	
☎ редакции (499) 940-02-22 доб. 70-19, 16-00 E-mail: aspirantura@gskb.ru	

Вестник воздушно-космической обороны:
Научно-технический журнал/
ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2014 г.
№ 3 (3). С. 1–132

Подписано в печать 30.09.2014 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 7,2. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в ООО «Галлея-Принт»
111024, г. Москва, ул. 5-я Кабельная 2Б

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-54081

Учредитель:
Открытое акционерное общество «Головное
системное конструкторское бюро Концерна
ПВО «Алмаз-Антей»
им. академика А.А. Расплетина»

125190, г. Москва,
Ленинградский проспект, дом 80, корп. 16.
Тел./факс (499)940-02-22/(499)940-09-99

Статьи рецензируются.

Незаконное тиражирование и перевод статей,
включенных в журнал, в электронном
и любом другом виде запрещено и карается
административной и уголовной
ответственностью по закону РФ
«Об авторском праве и смежных правах»

© ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», 2014

ISSN 2311-830X

**ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС:
70576 в каталоге агентства
«РОСПЕЧАТЬ»:
ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ**

П.А. Макаров, Н.Ф. Чезганов, Д.Ю. Сусяков, М.В. Юрков, Е.А. Никитин <i>Натурная проверка микронавигационной системы БРЛС «Ирбис» самолёта Су-35</i>	50
Г.Х. Насыров <i>Механические испытания радиоэлектронной аппаратуры летательных аппаратов и их перспектива развития</i>	58
М.А. Нилов, В.П. Иванов, С.А. Львовский, Ю.Ф. Подоплекин <i>Многофункциональная помехозащищённая корабельная радиолокационная система с псевдонепрерывным широкополосным зондированием</i>	65
Д.А. Рождественский, А.Ю. Перлов <i>Оценка возможностей компенсации влияния ионосферы на характеристики РЛС с помощью спутниковых радионавигационных систем</i>	70
С.В. Терсин <i>Разработка графического интерфейса оператора РЛС и практическая реализация отображения РЛИ</i>	76
А.Ю. Фролов, Е.Е. Колтышев, В.Т. Янковский, Д.Л. Филиппов <i>Нелинейный фильтр Калмана сопровождения наземных радиолокационных ориентиров авиационными радиолокационными станциями с синтезированной апертурой антенны для обеспечения посадки на малооборудованные аэродромы</i>	82
Подсекция «Методы и аппаратура обработки сигналов»	
А.И. Даниленко, С.А. Урюпин <i>Система пространственной обработки сигналов импульсно-доплеровской РЛС</i>	87
К.А. Елагина, И.Ф. Лозовский <i>Обнаружение некогерентной пачки импульсов в условиях разного вида помех</i>	94
А.В. Иванов, В.С. Оконешников, В.В. Иванов <i>Синтез алгоритма сжатия сверхширокополосного многоканального ЛЧМ сигнала</i>	99
В.Б. Калашников, Н.В. Верденская, И.А. Иванова <i>Решение задачи обнаружения при полном поляризационном анализе</i>	104
Г.С. Кондратенков, Е.Е. Колтышев, В.А. Таганцев, А.Ю. Фролов, В.Т. Янковский <i>Оптимизация пространственно-временной обработки в радиолокационных системах с синтезированной апертурой переднего обзора</i>	112
В.В. Лабец, Д.В. Михеев, В.А. Шаталова, А.А. Шаталов <i>Адаптивные алгоритмы многомерной цифровой нелинейной фильтрации в модулярной арифметике</i>	118
В.В. Лабец, В.А. Шаталова <i>Алгоритм разрешения – обнаружения негауссовских сигналов на фоне гауссовского шума</i>	123
Е.А. Милащенко <i>Характеристики обнаружения морских целей в условиях когерентно-импульсной РЛС с высоким разрешением</i>	128

CONTENTS

► The first all – Russia Scientific and Technical Conference «Raspletin Readings»

Section «Radar and Radio Navigation Systems»

Subsection

«General Questions of Radiolocation and Radionavigation»

R.V. Antufyev, M.S. Bobrov, G.G. Piskunov, M.A. Tsarkov

Development of the training-simulator complex on the radar..... 5

V.V. Vinogradov, A.I. Danilenko

*A Complex approach to a solution of a task on the improvement
of the accurate measurement of an target disposition by using a system
fo the spaced signal processing.....* 9

A.V. Volodyagin

*Reducing the time of ground surface scanning by the board radar
in the low altitude flight mode.....* 16

S.E. Grigas, D.Ts. Litovchenko, Ts.G. Litovchenko, A.A. Skorynin

Requirement evaluation of the advanced bistatic land-and-based radar complex...20

V.Yu. Grishin, I.V. Panteleev, V.V. Chekushkin

*Improving methods of mathematical models of computing processes
in the implementation of radar systems25*

M.Yu. Ivuskin, K.K. Khramov

*The construction and parameter estimation of the automatic dependent
surveillance – broadcast (ADS-B) receiver of the radar complex30*

A.A. Karih

Protection methods correlator from narrow-band noise35

V.Yu. Kuzmenkov

*The calculation principles of data losses
in the consumer radar support system40*

V.Yu. Kuzmenkov, A.V. Smetanin

*Application of metrics of various kinds to identify radar
position symbols and paths.....45*

P.A. Makarov, N.F. Chezganov, D.Yu. Suslyakov, M.V. Jurkov, E.A. Nikitin

*The Full-scale testing of the «Irbis» airborne radar micronavigation system
of the SU-35 aircraft.....50*

G.Ch. Nasyrov

*Aircraft avionics mechanical testing and prospects
for their farther development.....58*

M.A. Nilov, V.P. Ivanov, S.A. Lvov, Yu.F. Podoplekin

*The multipurpose countermeasures-safe ship radar system
with pseudo-continuous broadband sounding.....65*

D.A. Rozhdestvensky, A.Yu. Perlov

*The ionosphere effect compensation capability
assessment for radar performance by means of satellite radio
navigation system (SRNS)70*

S.V. Tersin

Graphic interface development for a radar operator and implementation of radar data (RD) representation..... 76

A.Yu. Frolov, E.E. Koltyshev, V.T. Jankovski, D.L. Filippov

The nonlinear Kalman filter for landmarkstracking by aircraft synthetic aperture radar to provide safety landing on unequipped airfields 82

Subsection

«Methods and Signal Processing Equipment»

A.I. Danilenko, S.A. Uryupin

Spatial signal processing system in pulse Doppler radar..... 87

K.A. Elagina, I.F. Lozovskyi

Detection of an incoherent pulse packet against the background of different types of noise..... 94

A.V. Ivanov, V.S. Okoneshnikov, V.V. Ivanov

Synthesis of compression algorithm of ultra wideband multichannel LFM signal..... 99

V.B. Kalashnikov, N.V. Verdenskaya, I.A. Ivanov

Solving problem of detection with full polarization analysis 104

G.S. Kondratenkov, E.E. Koltyshev, V.A. Tagantsev,

A.Yu. Frolov, V.T. Jankovski

Optimizing space-time processing in radar systems with forward-looking synthetic aperture..... 112

V.V. Labets, D.V. Mikheyev, V.A. Shatalova, A.A. Shatalov

Adaptive algorithms of the multidimensional digital nonlinear filtration in modular arithmetics 118

V.V. Labets, V.A. Shatalova

Algorithm of resolution-detection of nongaussian signals against a background gaussian noise 123

E.A. Milashchenko

Characteristics of detection of the midget maritime targets with respect to the coherent puls radar with hight resolution 128

Полный список опубликованных статей, а также аннотаций к ним Вы найдете на нашем сайте
<http://raspletin.com>

ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «РАСПЛЕТИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

СЕКЦИЯ «РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ И РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

ПОДСЕКЦИЯ «ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОНАВИГАЦИИ»

УДК 621.396

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕНАЖНО-МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА РЛС

© Авторы, 2014

Р.В. Антуфьев,

начальник отдела, ОАО «Муромский завод радиоизмерительной аппаратуры», г. Муром

E-mail: roman.antufiev1975@gmail.com

М.С. Бобров,

ведущий инженер руководитель группы, ОАО «Муромский завод радиоизмерительной аппаратуры», г. Муром

Г.Г. Пискунов,

Главный Конструктор, ОАО «Муромский завод радиоизмерительной аппаратуры», г. Муром

М.А. Царьков,

начальник бюро, ОАО «Муромский завод радиоизмерительной аппаратуры», г. Муром

Разработан тренажно-моделирующий комплекс для тренировки боевых расчётов, проверки тракта обработки информации РЛС, отладки алгоритмов и технических решений аппаратуры.

Ключевые слова: моделирующий комплекс, РЛС.

The training-simulator complex was developed for training the combat units as well as checking the radar data processing and debugging algorithms and technical solutions of the equipment.

Keywords: training-simulator complex, radar.

Современная 3-координатная РЛС решает задачу обнаружения и вычисления координат на фоне мешающих воздействий. Поэтому встроенный тренажно-моделирующий комплекс должен обеспечивать имитацию воздушной обстановки, максимально приближенной к боевым условиям. Реализован полный цикл: от задания оператором трассы полета имитационного ЛА, расположения мешающих воздействий (активных (шумовых, синхронных, несинхронных) помех, распределенных объектов) до получения информации о координатах на экране рабочего места оператора (РМО). В режиме реального времени осуществляется расчет текущих координат с аппроксимацией кривыми третьего порядка в местах смены курса, вычисление амплитуды, фазы, частоты Доплера отраженных сигналов и наложение помеховой обстановки с учетом диаграмм направленности по азимуту и углу места. Средствами РЛС осуществляется подмес имитационных воздействий в тракт реально принятых и оцифрованных данных в каждом приемном канале обработки. Стандартными средствами осуществляется первичная и вторичная

обработка с расчетом координат ЛА. Таким образом, реализованный тренажно-моделирующий комплекс применяется для тренировки боевых расчетов РЛС, проверки тракта обработки РЛС, отладки алгоритмов и технических решений аппаратуры обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Антуфьев Р.В., Бобров М.С., Пискунов Г.Г., Царьков М.А., Чекушкин В.В., Пантелеев И.В.** Патент РФ на полезную модель №111702. «Устройство имитации радиолокационной информации». // Изобретения. Полезные модели. 2011. № 35.
2. **Антуфьев Р.В., Бобров М.С., Пискунов Г.Г., Чекушкин В.В., Пантелеев И.В., Царьков М.А.** Патент РФ на изобретение №2489753 «Способ и устройство имитации радиолокационной информации». // Изобретения. Полезные модели. 2013. №22.
3. **Бобров М.С. Аверьянов А.М., Чекушкин В.В.** Патент РФ на изобретение №2419072 «Способ имитации траекторий движения воздушных объектов». // Изобретения. Полезные модели. 2011. № 14.

DEVELOPMENT OF THE TRAINING-SIMULATOR COMPLEX ON THE RADAR

R.V. Antufyev, M.S. Bobrov, G.G. Piskunov., M.A. Tsarkov

The modern 3D radar solves a problem of detecting and computing data under the disturbing influence. Therefore the built-in training-simulator complex has to provide the air environment simulation under the simulated battlefield conditions. There has been carried out the total cycle: from the operator determination of a line of flight of the simulated aircraft, locating the active synchronous interference, unsynchronized jamming and noise interference up to acquiring the data on the operator workplace display (OWD). In the real-time mode there is performed the present-position data calculation with the cubic curve fitting in the path shift points as well as calculating an amplitude, a phase, Doppler frequency of the returned signals and imposing the jamming environment, taking into account the azimuth and tilt patterns. Dithering the simulation influence into the really received digitized data channel is performed by the radar means. Primary and secondary processing is made by the standard features according to the aircraft position calculation. Thus the introduced training-simulator complex is applied to train the radar combat units, to check the radar data processing channel and to debug algorithms and technical solutions of the equipment.

УДК 621.396.96

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

© Авторы, 2014

В.В. Виноградов, кандидат технических наук, начальник отдела,
ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», г. Москва,
E-mail: finn_vvv@mail.ru

А.И. Даниленко, доктор технических наук, начальник СКБ,
ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», г. Москва
E-mail: altair@gskb.ru

Рассматривается метод оценки координат низколетящей цели в РЛС с модульным построением антенной системы и цифровым диаграммообразованием. Исследование предлагаемого метода оценки координат на математической модели показало, что применение цифрового диаграммообразования позволяет компенсировать воздействие диффузной составляющей отражений от морской поверхности на точность сопровождения цели.

Ключевые слова: низколетящая цель, метод максимального правдоподобия, цифровое диаграммообразование.

An assessment method of the coordinates of a low flying target is analyzed. The method is based on using a radar. The radar is lent on an antenna system with a module layout and a digital beam forming (DBF). An investigation of the proposed assessment method of the coordinates using an mathematical model has shown an application of DBF allows to make up a reaction of an diffusing component of echo from the sea surface on the tracking target accuracy.

Keywords: low altitude target, likelihood method, digital beam forming ty.

В настоящее время задача повышения точности измерения положения цели и устойчивости ее сопровождения решается за счет применения алгоритмов, которые формируют оценку положения цели за счет нахождения максимума функции правдоподобия от ее координат. Как было установлено ранее, такой подход позволяет в корабельных РЛС унифицировать алгоритмы оценки угломестной координаты цели, как под большими углами места, так и при малых, когда проявляется действие сигнала, зеркально отраженного от морской поверхности. Причем, в области малых углов места точность его оценки получается не хуже, чем для свободного пространства. Однако в ранее проведенных исследованиях было установлено, что в промежуточной области между большими и малыми значениями угла места цели, расположенной над морской поверхностью, ошибка измерения возрастает. Это связано с преобладанием диффузной составляющей отражений от морской поверхности.

В статье для компенсации влияния диффузной составляющей отраженного от морской поверхности сигнала предлагается использовать радиолокационный измеритель в виде пространственного фильтра с модульным построением антенной системы и цифровым диаграммообразованием. Такое построение позволяет сформировать нуль требуемой глубины в суммарной и разностной диаграммах направленности в направлении на сосредоточенную область диффузного отражения и тем самым исключить ее влияние на процедуру оценки координат цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Bosse E., Turner R., Lecours M.** Tracking swerling fluctuating targets at low altitude over sea. – IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1991, v. 27, №5. Pp. 806–822.
2. **Lo T., Litva J. Low** – angle tracking using multifrequency sampled aperture radar. – IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1991, v. 27, №5. Pp. 797–805.
3. **А.И. Даниленко, С.В. Первачев, С.А. Рожновская.** Функция правдоподобия высоты источника сигнала, расположенного над отражающей поверхностью // Радиотехника. – 1996. – №7. – С. 105–109.
4. **А.И. Даниленко, С.В. Первачев.** Потенциальная точность измерения высоты источника сигнала, расположенного над отражающей поверхностью // Радиотехника. – 1997. – №7. – С. 76–81.
5. **В.В. Виноградов, А.И. Даниленко.** Определение отношения сигнал – шум необходимого для распознавания главного лепестка функции правдоподобия высоты источника сигнала. // Радиоэлектронные системы. Сер. Общетеchnическая. – 2002. – Выпуск 1(5). – С. 33–41.
6. **В.В. Виноградов, А.И. Даниленко.** Применение антенной решётки с большим электрическим раскрытием для вскрытия неоднозначности измерений высоты низколетящей цели. // Радиоэлектронные системы. Сер. Общетеchnическая. – 2004. – Выпуск 1(8). – С. 16–23.
7. **А.И. Даниленко, Е.А. Покровская.** Использование перестройки несущей частоты для распознавания главного лепестка функции правдоподобия высоты источника сигнала. // Радиоэлектронные системы. Сер. Общетеchnическая. – 2005. – Выпуск 1(9). – С. 71–79.
8. **А.И. Даниленко.** Оценка потенциальных возможностей по подавлению сигнала-подобной помехи в импульсно-доплеровской РЛС. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012, №4, С. 33–35.
9. **В.В. Виноградов, А.И. Даниленко.** Измерение угловых координат при использовании цифрового адаптивного пространственного фильтра. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012, №4, С. 63–66.
10. **А.И. Даниленко, Е.А. Покровская, В.В. Виноградов.** Комплексный подход к решению задачи повышения точности измерителя высоты цели с учётом условий работы корабельной РЛС. / Радиолокационные системы специального и гражданского назначения. 2010 – 2012 / Под ред. Ю.И. Белого. – М.: Радиотехника, – 2011. – 920 с.: ил.
11. **В.В. Виноградов, А.И. Даниленко.** Комбинирование методов измерения высоты для устойчивого сопровождения низколетящих целей. // Радиоэлектронные системы. Сер. Общетеchnическая. – 2004. – Выпуск 1(8). – С. 3–15.

**A COMPLEX APPROACH TO A SOLUTION OF A TASK
ON THE IMPROVEMENT OF THE ACCURATE MEASUREMENT
OF AN TARGET DISPOSITION BY USING
A SYSTEM OF THE SPACED SIGNAL PROCESSING**

V.V. Vinogradov, A.I. Danilenko

Currently a task devoted to the improvement of the accurate measurement of an target disposition and the stability of tracking the target has being solved by using some algorithms. They (algorithms) form an assessment of target disposition on account of finding out a likelihood function depending on the target coordinates. It has been stated earlier on the given approach allows to unify assessment algorithms of an angle placed coordinate of target disposed under big angles of a place as well as small angles. It occurs in both cases that an action of echo from the sea surface has been displayed. It's a fact within small angles the assessment accuracy of the approach is not worse than one within the unhampered space. However it's been stated the earlier investigations showed an error increases in an intermediate area between big and small target place angles with the target disposing above the sea surface. This effect is connected with a domination of diffusing component of echoes from the sea surface.

To make up an echo effect of diffusing component of echoes from the sea surface is offered to use an radar gauge gadget of a sort of spaced filter with an module construction of antenna system and digital beam forming. Such a construction allows to form Null of the claimed depth in the total and differential beam diagram and in a direction of an focused area of diffusive echo. This permits to exclude an construction influence on an target coordinate assessment procedure.

УДК 621.396.96

СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБЗОРА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БОРТОВЫМ РАДИОЛОКАТОРОМ В РЕЖИМЕ МАЛОВЫСОТНОГО ПОЛЁТА

© Автор, 2014

А.В. Володягин, кандидат технических наук, инженер I-й категории,
ОАО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург
E-mail: andrey_avia@mail.ru

В статье предложен принцип, позволяющий снизить требуемое время выхода в эфир бортового радиолокатора в режиме информационного сопровождения маловысотного полёта с огибанием рельефа местности.

Ключевые слова: маловысотный полёт, система следования рельефу местности, радиолокация.

In the article the principle is offered for reduction of requiring board radar emission time in terrain following information supply mode.

Keywords: low altitude flight, terrain following system, radiolocation.

Одним из способов преодоления средств противовоздушной обороны является полет на малых высотах. Для обеспечения безопасного полета в таком режиме необходимо радиолокационное измерение относительных координат земной поверхности, причем для реализации заданных вероятностных и точностных параметров этого процесса требуется определенный уровень энергетики бортового радара, излучение которого демаскирует летательный аппарат, поэтому для повышения эффективности выполнения задачи стремятся снизить пиковую мощность радиолокатора. Динамика полета предполагает обновление информации о рельефе с высокой частотой, поэтому снижение пиковой мощности излучения за счет накопления сигналов путем повторения зондирования одних и тех же направлений проблематично. В настоящей статье предложено использовать детерминированный характер информации о большей части подстилающей поверхности (который обусловлен постепенной сменой радиолокационной картины рельефа) для высвобождения временного ресурса радиолокатора, который следует использовать в целях дополнительного накопления зондирующих сигналов. Изложены принципы пересчета априорно известных координат поверхности, приведены алгоритмы выбора требуемых зон обзора, рассмотрены аспекты учета характерных особенностей земной поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дудник П.И.** Радиолокационное обеспечение безопасности полета и боевого применения самолётов на малых высотах. – М., 1971.
2. **Merrill Skolnik.** Radar Handbook. 3–d Edition. McGraw–Hill Companies, 2008.
3. **Бабич О.А.** Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991.
4. **Канащенков А.И., Меркулов В.И.** Радиолокационные системы многофункциональных самолётов. Том 1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолётов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов. – М.: Радиотехника, 2007.

REDUCING THE TIME OF GROUND SURFACE SCANNING BY THE BOARD RADAR IN THE LOW ALTITUDE FLIGHT MODE

A.V. Volodyagin

One of the methods of air defence breaking is low-level penetration. For safety providing in this mode radar estimation of relative ground coordinates is required. For specified accuracy and probability characteristics of this procedure supplying predetermined radar energetics level is needed. Radar radiation unmasks aircraft so for the best purpose achievement peak power should be decreased. Flight dynamics supposes that relief information changes very frequently so peak power decreasing by means of collecting the signals from the same direction is not simple. In this article determined surface character using is offered (determination of this information is conditioned by gradual surface portrait change). Free time received by this procedure should be used for additional accumulating echo signals. Principles of priory known ground coordinates re-count are given, requiring ground areas choice algorithms are shown.

ОЦЕНКА ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРСПЕКТИВНОМУ ДВУХПОЗИЦИОННОМУ НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОМУ РАДИОЛОКАЦИОННОМУ КОМПЛЕКСУ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

© Авторы, 2014

С.Э. Григас, кандидат физико-математических наук,
начальник лаборатории, ОАО «Корпорация «Комета», г. Москва
E-mail: stanislav.grigas@gmail.com

Д.Ц. Литовченко, доктор технических наук,
зам. генерального директора – генерального конструктора по научному обеспечению разработок,
ОАО «Корпорация «Комета», г. Москва

Ц.Г. Литовченко, доктор технических наук,
главный научный сотрудник, ОАО «Корпорация «Комета», г. Москва

А.А. Скорынин, кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник, ОАО «Корпорация «Комета», г. Москва

Получены требования к бортовому радиотехническому комплексу, предназначенному для проведения экспериментальных работ по обнаружению космических объектов в составе двухпозиционного наземно-космического радиолокатора.

Ключевые слова: двухпозиционная радиолокация, контроль космического пространства.

Space detection and tracking using bistatic space-to-ground radar is discussed. Technical requirements for spaceborne radar transmitter are obtained.

Keywords: bistatic radar, space detection and tracking.

В настоящее время в связи с угрозой засорения космического пространства актуальной задачей является обнаружение малоразмерных космических объектов (КО). Основным средством наблюдения таких объектов на высоких околоземных орбитах являются оптические телескопы в силу ограниченной дальности действия наземных радиолокационных станций (РЛС). Вместе с тем РЛС обладают рядом преимуществ перед оптическими средствами, к которым относятся высокая точность измерения скорости КО и возможность круглосуточной работы в любых погодных условиях.

Перспективным средством обнаружения КО на высоких орбитах и определения их геометрических размеров и траекторных параметров являются двухпозиционные наземно-космические радиолокационные комплексы (НК РЛК). Как и в традиционной моностатической схеме КО облучаются наземной РЛС, однако рассеянное на них излучение регистрируется аппаратурой приемной позиции, обращаемой на высокой эллиптической или геосинхронной орбите. В этой схеме расстояние от КО до КА-приемника много меньше, чем расстояние от КО до Земли, поэтому НК РЛК по энергетическому потенциалу существенно превосходят однопозиционные наземные РЛС. Это делает возможным обнаружение малоразмерных КО на высоких орбитах при сравнительно небольших размерах наземной антенны и низкой мощности передатчика.

ОАО «Корпорация «Комета» совместно с кооперацией соисполнителей (ОАО «ФНПЦ «ННИИРТ» и др.) была проведена серия натурных экспериментов по обнаружению низкоорбитальных КО с использованием макета НК РЛК. В качестве источника радиолокационного сигнала использовался радиопередатчик связного КА на высокой эллиптической орбите, прием сигнала осуществлялся наземной станцией слежения. В проведенных экспериментах были впервые обнаружены сигналы от низкоорбитальных КО в двухпозиционной наземно-космической схеме, что позволило подтвердить основные принципы мониторинга околоземного пространства с использованием таких комплексов.

Следующим этапом исследований является набор статистики для подтверждения вероятностных характеристик обнаружения КО с помощью двухпозиционных НК РЛК. Для решения этой задачи требуется более высокое отношение «сигнал-шум», чем полученное в проведенных экспериментах, что определяет необходимость применения специализированного бортового радиолокационного комплекса. К такому РЛК предъявляется ряд требований по энергетическому потенциалу и спектральному составу излучения, оценке которых посвящена настоящая статья.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Glaser J.I.** Bistatic RCS of Complex Objects Near Forward Scatter // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1985. Vol. AES-21. P. 70-78.
2. **Skolnik M.I.** Radar Handbook. Third Edition. McGraw-Hill. 2008.
3. **Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю.** «Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли». – М.: «Радиотехника», 2005.
4. <http://celestrak.com/NORAD/elements>.

TECHNICAL REQUIREMENTS FOR ADVANCED BISTATIC SPACE-TO-GROUND SPACE DETECTION AND TRACKING RADAR

S.E.Grigas, D.Ts. Litovchenko, Ts.G. Litovchenko, A.A. Skorynin

Nowadays the problem of space debris detection is of great importance due to its permanently increasing number both in low and high Earth orbits. Optical telescopes are common tool for tracking debris in high Earth, while the use of ground-based radar stations suffers from their range limitations. However radars have several advantages over telescopes such as high precision measurements of debris velocity and around the clock operation in any weather conditions.

Multistatic radars are perspective instrument for detection, tracking and shape profiling of debris in high orbits. Such systems consist of ground segment and passive or active spaceborne radars in geostationary or highly elliptical orbits. Since the debris is considerably closer to the satellites than to the ground station, multistatic systems are much more energy efficient than conventional monostatic ground-based radars. This makes possible to detect space debris in high Earth orbits using small-sized ground and space antennas and low-power transmitter.

OJSC «Corporation «Kometa» in cooperation with OJSC «FNPC «NNIIRT» and other companies have performed several experiments aimed on debris detection with bistatic radar prototype. Highly elliptical orbit communication satellite was used as a source of the signal, ground tracking station served as a receiver. During the experiments the scattered signals from space debris were detected by the bistatic space-ground radar for the first time. These results have confirmed the basic principles of near-Earth space monitoring using of multistatic space-ground radars (MSGR).

For further research of MSGR capabilities an advanced spaceborne radio transmitter with improved characteristics is required. Power and spectrum requirements for such transmitter are the topic of the present paper.

УДК 621.394

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

© Авторы, 2014

В.Ю. Гришин,

зам. ген. директора по НИОКР – 1-й зам. главного конструктора, ОАО «НИИ «Субмикрон», г. Зеленоград
E-mail: grishin@se.zgrad.ru

И.В. Пантелеев,

инженер конструктор 2-й категории, ОАО «МЗ РИП», г. Муром
E-mail: ilya-panteleev@mail.ru

В.В. Чекушкин, доктор технических наук,

профессор кафедры «Радиотехника» МИ ВлГУ, г. Муром
E-mail: chekvv@gmail.com

Усовершенствованы методы воспроизведения типовых функциональных зависимостей, которые используются в вычислительных процедурах основных алгоритмов работы радиолокационных устройств, с позиций оптимизации критериев вычислительного процесса: точностных характеристик, быстродействия и программно-аппаратных затрат.

Ключевые слова: радиолокационные системы, измерение и преобразование координат, стандартные функции, полиномы наилучшего приближения, специализированные вычислители.

There have been improved the generic functional relationship reproduction methods which are used in the main algorithm computational procedures of the radar system operation from the optimization perspective of computing process criteria: accuracy performance, rapid action capability and hardware-software expenses.

Keywords: radar system, measurement and conversion of coordinates, standard functions, polynomial of best approximation, specific calculators.

Совершенствование численных методов реализации вычислительных процессов в высокопроизводительных системах обработки, отображения радиолокационной информации, управления, функционально диагностического контроля, имитации сложной воздушной обстановки с использованием перспективной элементной базы, гетерогенных структур, компьютерных технологий имеет большое значение. Имеются потенциальные возможности существенного упрощения реализации сложных функциональных зависимостей путем их представления в виде суперпозиции более простых функций, использования предварительно подготовленных данных в некритичном замещенном масштабе времени для последующего их использования в масштабе реального времени, разработки оптимизированных полиномиальных преобразований Чебышева и гибридных алгоритмов.

Целью статьи является обобщение, совершенствование методов и алгоритмов реализации трудоемких вычислительных процессов. Оригинальные, высокоскоростные, экспериментально проверенные методы вычислительной математики применительно к решению широкого класса прикладных задач способны обеспечить оптимальные соотношения быстродействия и программно-аппаратных затрат с исключением избыточной точности получения результата вычислений в диапазоне представления от 1 до 64 двоичных разрядов операндов. Для диапазонов приведенных погрешностей выходных данных 20% ... 0,001% разработаны оптимальные численные методы и адекватно перестраиваемые вычислительные структуры.

Совершенствование методов аппроксимации планируется производить с использованием итерационных рекурсивных методов, сплайн - аппроксимации, кривых Безье. Предварительное моделирование вычислительного процесса обеспечивает сокращение вычислительных затрат, значительное уменьшение погрешности результата за счет взаимопоглощения и взаимокompенсации фактически детерминированных составляющих погрешностей. Такой проверенный под-

ход позволяет обеспечить повышение точностных характеристик вычислительных систем на 10-300% без снижения быстродействия и(или) в такое же число раз при заданном классе точности измерительно-информационной системы снизить затраты на ее реализацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В.** Вычислительные методы для инженеров. – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.
2. **Кахандер Д., Моупер К., Нэш С.** Численные методы и программное обеспечение: Пер. с англ. – М.: Мир, 2001. – 575 с.
3. **Гришин В.Ю., Пантелеев И.В., Сарибжанов И.Р., Чекушкин В.В.** Совершенствование полиномиальных методов воспроизведения функций в цифровых системах обработки информации // Радиопромышленность. – 2012. – № 2. – С. 63-68.
4. **Аверьянов А.М., Пантелеев И.В., Чекушкин В.В.** Методы повышения быстродействия и точностных характеристик преобразователей ортогональных составляющих сигнала в амплитуду // Измерительная техника. – 2012г. – №8. – с.9–14. Averyanov A.M., Chekushkin V.V., Pantelev I.V. Methods of increasing the speed and accuracy characteristics of converters of orthogonal components of a signal into amplitude // Measurement Techniques. November 2012, Volume 55, Issue 8, pp 858-866.
5. **Пантелеев И.В., Чекушкин В.В.** Совершенствование полиномиальных методов воспроизведения тригонометрических функций в информационно-вычислительных системах. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013, №1. С.53-59.
6. **Чекушкин В.В., Аверьянов А.М., Богатов А.Д.** Способ и устройство вычисления квадратного корня. Патент РФ №2438160 // Изобретения. Полезные модели. 2011. №36.
7. **Чекушкин В.В., Пантелеев И.В., Богатов А.Д.** Способ калибровки измерительных систем. Патент РФ №2476896 // Изобретения. Полезные модели. 2013. № 6.

THE IMPROVEMENT OF METHODS, MATHEMATICAL MODELS OF COMPUTATION IN THE RADAR SYSTEMS

V.I. Grishin, I.V. Pantelev, V.V. Chekushkin

The numerical technique improvement of the computation processes in high-performance systems of processing, radar data displaying, controlling, functional diagnostic analyzing, simulating the difficult air environment, using the advanced hardware components, heterogeneous structures, computer technologies are of great importance. There are some essential facilitation capabilities of the difficult functional relationship performing by their representation in the form of superposition of simpler functions, by using previously prepared data in the noncritical replaced time scale for their later use on the real time scale, the development of the optimized Chebyshev polynomials as well as the hybrid algorithms.

The work aim is to generalize and improve the methods and algorithms performing the cumbersome computing processes. The ingenious, high-speed, experimentally checked methods of numerical mathematics are capable to provide optimum relationship of the rapid action capability and hardware-software expenses.

The optimum numerical methods and the proper configurable computing structures were worked up for the conventional error rangers of outcoming data 20% ... 0,001%.

The approximation method improvement is planned to make by using the iterative recursive methods, a spline-approximation and the Bezier curves. The preliminary modeling of computing process provides the computing expense reduction, the considerable reduction of an error of result due to mutual absorption and mutual compensation of the actually determined error component. Such a checked approach allows to provide increasing the accuracy performance of computing systems by 10–300% without decreasing the rapid action capability, reducing the implementation cost.

ПОСТРОЕНИЕ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АЗН-В ПРИЁМНИКА РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

© Авторы, 2014

М.Ю. Ивушкин, начальник конструкторского бюро,
ОАО «Муромский завод радиоизмерительной аппаратуры», г. Муром
К.К. Храмов, декан факультета радиоэлектроники и компьютерных систем,
кандидат технических наук, доцент,
Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им.
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром
E-mail: hramovkk.lan@mit.ru

Предложена структурная схема АЗН-В приёмника, предназначенного для работы в составе радиолокационного комплекса. Произведён расчёт основных параметров приёмника.

Ключевые слова: ADS-B, АЗН-В, радиоприёмник, радиолокация, радионавигация.

There has been presented the structural circuit of the ADS-B receiver designed to work as a part of the radar complex. There was performed the key parameter calculation.

Keywords: ADS-B, receiver, radar, radio navigation.

Воздушное судно, оборудованное системой ADS-B, каждую секунду при помощи радиосигналов передает свои координаты, скорость, высоту, номер рейса и курс. Это позволяет в реальном масштабе времени отслеживать его местоположение пилотам других самолетов, диспетчерам систем управления воздушным движением. В настоящее время разработаны интернет-ресурсы для определения местоположения воздушного судна с известным номером (см. например, <http://www.flightradar24.com> или <http://radarbox24.com>). ADS-B может сделать полет безопасным и может позволить более эффективно использовать воздушное пространство.

На борту самолета при помощи сигналов GPS определяются точное его местоположение. Система ADS-B в сочетании с другой информацией преобразует рассчитанные координаты в цифровой код, который, обновляется несколько раз в секунду и транслируется с борта самолета по каналам связи. Другие самолеты и наземные станции, принявшие этот код на расстоянии до 200 км, могут получать заложенную в нем информацию.

Интенсивность движения самолетов в районах крупных городов в настоящее время очень высока, как следствие количество одновременно работающих передатчиков системы ADS-B очень велико. Это приводит к приему сигнала на фоне большого количества несинхронных импульсных помех (НИП). На больших расстояниях от самолета интенсивность (НИП) может достигать до величин 40 000 пакетов/сек.

Для повышения качества приема информации системы ADS-B в настоящее время применяются различные алгоритмы обработки. Целью представленной статьи является исследование работоспособности существующих алгоритмов обработки сигналов системы ADS-B, наблюдаемых на фоне НИП большой интенсивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ADS-B Технология (TIS-B, FIS-B) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://adsbradar.ru/ads-b_fis-b_tis-b_technology.
2. Опыт и перспективы внедрения АЗН-В в Российской Федерации [Электронный ресурс] // ФГУП ГосНИИ Аэронавигация, 2011. Систем. требования: PowerPoint. Режим доступа: <http://www.mak.ru/russian/info/seminars/aeronav-2011/rd8.ppt>.
3. Продукция компании Analog Devices [Электронный ресурс]: официальный сайт фирмы Analog Devices, Inc., 2013. URL: <http://www.analog.com/ru/index.html>.

4. **Сосулин Ю.Г.** Теоретические основы радиолокации и навигации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
5. **Колосовский Е.А.** Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 456 с.
6. Руководство по авиационному наблюдению [Электронный ресурс]: Международная организация гражданской авиации. – ИКАО, 2012. Систем. требования: Acrobat Reader. Режим доступа: http://aviadocs.net/icaodocs/Docs/9924_cons_ru.pdf.
7. **Бакулев П.А.** Радиолокационные системы. Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.

THE CONSTRUCTION AND PARAMETER ESTIMATION OF THE AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE- BROADCAST (ADS-B) RECEIVER OF THE RADAR COMPLEX

M.Yu. Ivushkin, K.K. Khramov

The automatic dependent surveillance-broadcast, ADS-B, is a technology introduced in many countries around the world including Russia which provides periodic transmission of the aircraft position and other aeronautical information and then using it for surveillance purposes. This technology helps to prevent conflicts by the pilots without controllers.

The paper proposes and describes the block diagram of the ADS-B direct amplification receiver designed for operation in the radar system. The receiver contains the 4-channel high frequency amplifier unit, the shaper of pilot signal for control, the unit of analog-to-digital conversion and the digital signal processing unit. In order to obtain a wide dynamic range of receiver the logarithmic detector is used as an amplitude detector.

In this paper the basic parameters of the receiver have been determined. The influence of the sensitivity of ADS-B receiver on the range of the entire system has been considered. The quantitative value of the receiver sensitivity at changing the effective noise bandwidth and noise figure has been analyzed. The range of ADS-B system for specific values of the parameters of the projected receiver has been calculated.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ КОРРЕЛЯТОРА ОТ УЗКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ

© Автор, 2014

А.А. Карих, начальник отдела
ОАО «Лантан», г. Москва
E-mail: karih@bk.ru

В статье рассматривается корреляционная обработка применительно к системам и комплексам пассивной локации, основным элементом которой является временной коррелятор, которому присущ основной недостаток: невозможность обработки узкополосных сигналов. У этого типа сигнала в узкой полосе сосредоточена большая мощность, корреляционная функция – широкая, ножевидного типа, которая занимает много элементов разрешения. Такой тип сигнала становится для коррелятора помехой, переводит его в режим «насыщения» и представляет серьезную угрозу. Рассматриваются меры защиты от такого типа помехи.

Ключевые слова: коррелятор, узкополосная помеха, корреляционная обработка.

The article considers the system of correlation processing with application in to the passive radar, the main element of which is the time correlator, which has the main disadvantage is the inability processing narrow-band noise. This type of signal in a narrow band centered great power, the correlation function of a broad, knife-like type, which takes a much of elements of the resolution. This type of a signal becomes a noise for the correlator, transfers it to a mode of «saturation» and poses serious threat. Measures on protection against a noise of this kind are discusses.

Keywords: narrow-band noise, correlation processing, bandpass filter, limiti.

Узкополосная помеха является серьезной угрозой для временного коррелятора. В статье рассматриваются методы подавления помех в аналоговой и в цифровой части. Аналоговые методы: помеха вырезается перестраиваемым режекторным фильтром, либо ограничивается ее уровень, во входном каскаде приемного устройства разбив предварительно на поддиапазоны. Основной недостаток этих методов сложность в реализации.

Более простые в реализации методы относятся к цифровой обработке: помеха вырезается адаптивным, перестраиваемым цифровым фильтром, либо ограничивается ее уровень в спектральной области при корреляции с двойным БПФ.

При ограничении сигнала в аналоговой и цифровой части потери в отношении сигнал/шум составили около 7 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сколник М. Основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1976. – Т.1. – С.456.
2. Черняк В.С. Широкополосная корреляционная система разнесенного приема на узкополосных элементах. – Военная радиоэлектроника, 1964. – №6.
3. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1974. – С.561.
4. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – С.416.

PROTECTION METHODS CORRELATOR FROM NARROW-BAND NOISE

A.A. Karih

The narrow-band noise is serious threat for the time correlator. In article methods of suppression of noise in analog and in digital part are considered. Analog methods: the noise is cut out by the changeable bandpass filter, or its level is limited, in the input stage of the receiver breaking sub-bands. The main drawback of these methods complexity in realization.

Simpler in realization methods belong to digital processing: the noise is cut out by the adaptive, changeable bandpass digital filter, or its level in spectral area is limited at correlation with double FFT.

When the limit signal in the analog and digital part of the loss in signal/noise ratio was about 7 dB.

ПРИНЦИПЫ РАСЧЁТА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

© Автор, 2014

В.Ю. Кузьменков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
начальник отдела ОКБ, ОАО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва
E-mail: lemez_noginsk@bk.ru

Получены выражения, которые позволяют оценить потери информации на разных этапах радиолокационного обеспечения (РЛО) потребителей. Эти выражения позволяют сравнить разные пути совершенствования РЛО по их вкладу в прирост количества информации, доводимой до органов и пунктов управления.

Ключевые слова: радиолокационное обеспечение, потери информации, функция последовательных потерь, РЛС, радиолокационные измерения, информационная модель.

There have been obtained the expressions which allow estimating the data losses at the different stages of Radar-tracking maintenance (RTN) of consumers. These expressions allow to compare different ways of the RTN improvement according to their contribution to the augmentation of the data amount delivered to operational posts and supervisory units.

Keywords: radar-tracking maintenance (RTN), data losses, functions of successive losses, radar measurements, information model.

В системах управления военного и гражданского назначения довольно часто применяется информация, получаемая от радиолокационных средств различных типов и видовой принадлежности. Чем выше эффективность функционирования системы радиолокационного обеспечения (РЛО) потребителей, тем лучше качество управления. При исследовании РЛО, как правило, рассматриваются последовательные этапы:

- планирование (выбор РЛС и размещение их на местности);
- обработка отраженных сигналов на РЛС;
- сбор информации от источников и ее совместная обработка;
- представление радиолокационной информации на рабочих местах должностных лиц боевых расчетов авиационных ПУ.

На каждом из указанных этапов имеют место потери информации. Они обусловлены разными причинами. Для оценки информационных потерь в системе РЛО полетов авиации получено выражение для расчета относительных потерь информации: $\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 - (\Delta_1\Delta_2 + \Delta_1\Delta_3 + \Delta_1\Delta_4 + \Delta_2\Delta_3 + \Delta_2\Delta_4 + \Delta_3\Delta_4) + -(\Delta_1\Delta_2\Delta_3 + \Delta_1\Delta_2\Delta_4 + \Delta_1\Delta_3\Delta_4 + \Delta_2\Delta_3\Delta_4) - \Delta_1\Delta_2\Delta_3\Delta_4$,

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ – доля сведений относительно исходного количества информации, которые теряются на соответствующих этапах функционирования системы РЛО. Для уменьшения потерь информации необходимо минимизировать эту функцию.

Эта функция последовательных потерь может быть актуальной при проведении исследований и в других областях естествознания.

Получены математические выражения для оценки относительных информационных потерь на всех этапах функционирования системы РЛО.

Применение предложенного подхода позволяет обосновать пути совершенствования информационного обеспечения потребителей данными, получаемыми от РЛС. При известных затратах на реализацию определенного направления совершенствования системы РЛО возможно оптимизировать стратегию развития исходя из выделенных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменков В.Ю. Принципы минимизации информационных потерь в процессе радиолокационного обеспечения полетов авиации ВС РФ. Вопросы радиоэлектроники. Серия «Радиолокационная техника» (РЛТ). Вып. 1. – М.: ОАО ЦНИИ «Электроника», 2011. – С.13-19.
2. Научно-технический отчёт о НИР «Технология-4». – НИЦ 30 ЦНИИ МО РФ, 2000. – 207с.
3. Радиоэлектронные системы. Теория и принципы построения. Справочник. / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: «МАКВИС», 1998. – 828 с.

THE CALCULATION PRINCIPLES OF DATA LOSSES IN THE SYSTEM OF RADAR-TRACKING MAINTENANCE OF CONSUMER

V.Yu. Kuzmenkov

In military and commercial control systems the data received from the radar means of various types and application-specific implements is quite often used. The more the functioning efficiency of the consumer RTN system, the better control quality. When investigating the RTN system, the successive steps are considered:

- planning (selecting the radar and locating on the ground);
- processing the returned signals by the radar;
- data acquisition from sources and its joint processing;
- radar data presentation on the workplaces.

All above mentioned steps have the loss data opportunity caused by different reasons. To estimate the data losses in the RTN flight system there have been obtained an expression to calculate the relative data losses:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 - (\Delta_1\Delta_2 + \Delta_1\Delta_3 + \Delta_1\Delta_4 + \Delta_2\Delta_3 + \Delta_2\Delta_4 + \Delta_3\Delta_4) +$$
$$-(\Delta_1\Delta_2\Delta_3 + \Delta_1\Delta_2\Delta_4 + \Delta_1\Delta_3\Delta_4 + \Delta_2\Delta_3\Delta_4) - \Delta_1\Delta_2\Delta_3\Delta_4,$$

where $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ is a part of information toward the original data amount which is lost at the appropriate steps of the RTN system functioning.

To reduce the data losses it is necessary to minimize this function.

This function of relative losses can be of current interest when carrying out researches as well as in the other areas of natural sciences.

There have been obtained the mathematical expressions for the relative loss assessment at all steps of the RTN system functioning.

Using the approach suggested allows justifying the improvement ways of the radar data base organization and management of consumers. Under the certain compensation costs of the particular direction of the RTN system improvement it is possible to optimize the development strategy on the basis of the resources made available.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНЫХ МЕТРИК ДЛЯ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТМЕТОК И ТРАЕКТОРИЙ

© Авторы, 2014

В.Ю. Кузьменков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
начальник отдела ОКБ, ОАО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва

А.В. Сметанин,
начальник сектора ОКБ, ОАО «НПО «ЛЭМЗ», г. Москва
E-mail: lemez_noginsk@bk.ru

В статье сформулированы принципы и математическая постановка задачи оптимального отождествления измерений с сопровождаемыми траекториями. Предложен подход к решению задачи с использованием нескольких метрик.

Ключевые слова: радиолокационная информация, траекторная обработка, стробирование, отождествление, оптимальный вариант, метрика, экстремум, приоритет.

The article deals with the principles and mathematical formulation of the problem of the optimum measurement identification with the tracked paths. The method of attack, using several metrics was offered.

Keywords: radar data, path processing, gating, identification, optimum option, metrics, turning-point, priority.

При сопровождении воздушных объектов в сложной целевой и помеховой обстановке в стробы отождествления траекторий попадает по несколько единичных замеров (ЕЗ), также возможны случаи, когда один ЕЗ попадает в несколько стробов. В таких условиях актуальна задача определения варианта отождествления, в котором ЕЗ наилучшим образом соответствовали бы сопровождаемым траекториям. Для решения данной задачи используются различные подходы, в основе которых, как правило, лежит оценка связи отметок и траекторий по некоторому параметру (метрике). Например, в качестве метрик могут использоваться: модуль расстояния между координатами ЕЗ и экстраполированными на момент его получения координатами траекторий; вероятность принадлежности отметки сопровождаемой траектории; модуль разности средней ЭПР отметок, отождествленных с траекторией за несколько предыдущих периодов обновления информации, и ЭПР последнего измерения, попавшего в строб.

Существуют подходы, в которых с использованием метрики одного типа рассчитывается сумма метрик пар «траектория - ЕЗ» для всех возможных вариантов отождествления, после чего осуществляется выбор варианта соответствующего экстремуму суммы. В то же время данные подходы не предполагают использования нескольких метрик, при этом в результате отождествления с использованием одной метрики может сложиться ситуация, когда разница между суммами метрик некоторых вариантов настолько незначительна (не превышает некоторого порога неопределенности), что с практической точки зрения данные варианты являются равнозначными. В такой ситуации будет целесообразным использовать несколько метрик в соответствии с их рангом. Решение об использовании следующей метрики должно приниматься в случае, когда на очередном этапе выбора варианта отождествления, суммы метрик вариантов отличаются на величину, не превышающую порога неопределенности. Ранг метрик определяется на основе их стабильности на множестве «гарантированных» отождествлений. При этом чем стабильнее метрика, тем большим рангом она обладает. В качестве показателя стабильности метрики предлагается взять оценку нормированного СКО, полученного на множестве «гарантированных» отождествлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Черняк В.С.** Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
2. **Кузьмин С.З.** Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
3. **Журавлев В.М., Коляда А.Н., Кузьменков В.Ю., Сметанин А.В.** Постановка задачи оптимального отождествления радиолокационных измерений. Научно-технический сборник «Эффективность автоматизированных систем управления авиацией, систем связи и РТО ВВС». – Щелково: НИЦ АТиВ 4 ЦНИИ МО РФ, 2013.
4. **Фарина А., Студер Ф.** Цифровая обработка радиолокационной информации. Перевод с англ. под ред. А.Н.Юрьева. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
5. **Грачев О.Д., Маврычев Е.А., Шухман Л.С.** Обнаружение траекторий и отождествление радиолокационных отметок с использованием селекции по радиальной скорости. Научно-технический сборник «Эффективность автоматизированных систем управления авиацией, систем связи и РТО ВВС». – Щелково: НИЦ АТиВ 4 ЦНИИ МО РФ, 2013.

APPLICATION OF METRICS OF VARIOUS KINDS TO IDENTIFY RADAR POSITION SYMBOLS AND PATHS

V.Yu. Kuzmenkov, A.V. Smetanin

When tracking air targets under the high interference signaling environment conditions, some single samples (SS) get to the path identification gates, and also there are some chances of getting the single samples to several gates. Under such conditions the identification option definition problem is of current concern.

To solve this task the different approaches are used which are based on the communication assessment of symbols and paths in some parameter (metrics). For example, the distance modulus between the SS coordinates and the path coordinates can be used as metrics.

There are methods with using the metrics of particular type to calculate the metric couple sum of «path –SS» for all possible identification versions. At the same time the above mentioned approaches don not presume using several metrics, but if only in accordance with the metric rank. The rank of metrics is defined on the basis of their stability on a great number of the «guaranteed» identifications. In this case the more stable it is, the greater rank it has.

НАТУРНАЯ ПРОВЕРКА МИКРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БРЛС «ИРБИС» САМОЛЁТА СУ-35

© Авторы, 2014

П.А. Макаров, кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник, ОАО «НИИП им. В.В. Тихомирова»,
E-mail: palmakarov@gmail.com

Н.Ф. Чезганов, кандидат технических наук,
главный специалист, ОАО «НИИП им. В.В. Тихомирова»

Д.Ю. Сусяков, начальник лаборатории
ОАО «НИИП им. В.В. Тихомирова»

М.В. Юрков, начальник сектора ОАО «НИИП им. В.В. Тихомирова»

Е.А. Никитин, инженер-программист 2 категории
ОАО «НИИП им. В.В. Тихомирова»

Приведено описание микронавигационной системы БРЛС самолёта Су-35, введённой в целях повышения качества радиолокационного картографирования. Представлен анализ упругих деформаций фюзеляжа, произведённый на основе данных микронавигационной и основной навигационной систем самолёта. Показано, что при выполнении манёвров умеренной интенсивности амплитуда колебаний полотна антенны превышает допустимую погрешность счисления траектории его центра.

Ключевые слова: радиолокационное картографирование, РЛС с синтезированной апертурой, инерциальная навигация, микронавигация.

The specification of the Su-35 radar micronavigation system designed to improve the radar mapping quality has been described. There was presented the fuselage elastic deformation analysis made on the basis of the aircraft micronavigation and the main navigation system data. It was shown that when performing the moderate-intensity maneuvers, the aerial curtain response amplitude exceeds an allowable calculation error of the antenna phase center (APC) track.

Keywords: radar mapping, synthetic-aperture radar, inertial navigation, micronavigation.

Для получения качественного радиолокационного изображения (РЛИ) земной поверхности с высоким разрешением посредством БРЛС с синтезированием апертуры требуется точное счисление траектории фазового центра антенны (ФЦА) на интервале синтеза. Это счисление выполняется по данным бортовых навигационных средств, среди которых основным элементом служит инерциальная навигационная система (ИНС), размещаемая вблизи центра масс самолёта. Поскольку указанная точка удалена от антенны на расстояние в несколько метров, использование информации с ИНС сопряжено с определенными трудностями, обусловленными жесткостью конструкции самолёта и, как следствие, невозможностью точно рассчитать траекторию ФЦА по параметрам движения точки расположения ИНС. Точный расчет траектории ФЦА возможен при установке вблизи антенны дополнительных инерциальных датчиков, формирующих совместно с основной ИНС самолёта микронавигационную систему (МНС), рассчитывающую параметры движения антенны РЛС с необходимой точностью.

Для самолёта Су-35 заданы весьма высокие требования к качеству РЛИ высокого разрешения, что потребовало введения МНС в состав его оборудования. В настоящее время МНС реализована посредством размещения вблизи антенны дополнительной бесплатформенной ИНС (БИНС).

В статье приведены результаты сравнения навигационных данных, сформированных дополнительной БИНС и основной БИНС, расположенной вблизи центра масс самолёта, полученных в реальных полетах. Представлены графики углов ориентации носителя, вычисленных указанными двумя БИНС. Полученные графики свидетельствуют о том, что, в зависимости от динамики полета, углы ориентации носовой и центральной частей могут отличаться на величину порядка $0,1^\circ$ – $0,2^\circ$. Такое различие в углах соответствует линейному смещению точки расположения дополнительной БИНС в системе координат, связанной с основной БИНС, на величину порядка 1–2 см, что превышает допустимую ошибку определения координат ФЦА, составляющую порядка четверти длины волны РЛС.

Таким образом, результаты натурных работ подтверждают необходимость установки МНС на самолет Су-35 в целях картографирования с высоким разрешением.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Savage P.G.** Strapdown analytics. – Strapdown Associates, Inc., Maple Plain, Minnesota, 2000.
2. **Бахвалов Н.С.** Численные методы. – М.: Наука, 1975.
3. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Теория упругости. – М.: Наука, 1987.

**THE FULL-SCALE TESTING OF THE «IRBIS»
MICRONAVIGATION AIRBORNE RADAR SYSTEM
FOR THE SU-35 AIRCRAFT**

P.A. Makarov, N.F. Chezganov, D.Yu.Suslyakov, M.V. Yurkov, E.A. Nikitin

To obtain the qualitative high resolution radar picture (RP) of the terrain by means of the airborne synthetic-aperture radar it is required the exact notation of APC track over the synthesis interval. This notation is carried out according to data of the airborne navigation means, the main part of which is the inertial navigation system (INS) located near the aircraft mass center.

The INS data using is attended with definite difficulties because of the aircraft structural flexibility. Therefore it's impossible to calculate the APC track according to motion variables of the INS location point.

The exact calculation of the APC track is possible when mounting the additional inertial sensors forming the micronavigation system (MNS) jointly with the main aircraft INS. This MNS enables calculating the radar aerial motion parameters with due accuracy.

The very high requirements were defined to the high resolution RP quality for the Su-35 aircraft. This fact demanded the MNS introduction to its structure equipment. At the present time the MNS was implemented by means of locating near the additional strap-down inertial system (SDIS) antenna.

The article has presented the comparison results of the obtained in real flights navigation data generated by the additional SDNS as well as the main one located near the aircraft mass center.

There were introduced some schedules of the carrier pointing angles calculated by two above mentioned SDNSs. The obtained schedules show that the pointing angles of nose and central parts can differ from one another by a quantity of the order of $0,1^{\circ} - 0,2^{\circ}$ depending on the flight dynamics.

Such an angle distinction corresponds to a linear shift of the additional SDNS location point in the system of reference.

Thus, the results of the full-scale works confirm the need of the MNS installation for the Su-35 aircraft to perform high resolution mapping.

УДК 534.1.13

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИХ ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ

© Автор, 2014

Г.Х. Насыров, кандидат технических наук, доцент,
ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения им. В.В. Тихомирова, г. Жуковский
E-mail: niip180@gmail.com

Рассмотрены теоретические и практические вопросы проведения механических испытаний радиоэлектронной аппаратуры. Автоматизированное рабочее место для проведения механических испытаний.

Ключевые слова: механические испытания РЭА, АРМ механических испытаний, широкополосная случайная вибрация, вибрация.

Theoretical & practical items of radio electronic equipment research mechanical tests realization are examined in the article. The developed atomized workstation for research mechanical tests is presented.

Keywords: key words: radio electronic equipment (REE) mechanical tests, computer workstation (WKS) of mechanical tests, broad-band random vibration, vibration.

Основными видами механического воздействия внешних воздействующих факторов (ВВФ) для радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) летной аппаратуры (ЛА) и наземной техники является вибрация в разнообразных ее проявлениях. Прочность, функциональная работоспособность РЭА оцениваются по ответной реакции аппаратуры и отдельных ее узлов на механическое воздействие, которому подвергается изделие. Вся аппаратура, устанавливаемая на борт ЛА, подвергается механическим испытаниям. К точности воспроизведения режимов механических испытаний, в узлах крепления РЭА предъявляются высокие требования. В НИИП им. Тихомирова инструментом для контроля режимов механических воздействий на РЭА и мониторинга ответной реакции изделия и его составных частей на механическое воздействие стало автоматизированное рабочее место механических испытаний (АРМ). АРМ, разработанный в НИИП, позволяет документировать режимы механических испытаний и ответной реакции изделия. Мониторинг ответной реакции изделия позволяет избежать дорогостоящих, невынужденных разрушений на стадии испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пугачёв В.С. Теория случайных функций и её применение к задачам автоматического управления. – М.: Физматгиз, 1962.
2. Случайные колебания. Под ред. Кренделла С. – М.: Мир, 1967.

AIRCRAFT AVIONICS MECHANICAL TESTING AND PROSPECTS FOR THEIR FURTHER DEVELOPMENT

G.Ch. Nasyrov

The main types of mechanical effects of external environmental factors (EEF) for aircraft radio electronic equipment (REE) and ground-based equipment are vibration in various performances.

Strength, aircraft REE functional performance are valued by equipment and its independent unit response on mechanical effect which is the equipment subjected. All equipment installed on board the aircraft is subjected to mechanical tests. High demands are made to measurement precision of mechanical tests modes in radio electronic equipment (REE) fastener assembly. To control mechanical effect modes on radio electronic equipment and to monitor equipment and its independent units response on mechanical effects computer workstation (WKS) is used in V.V. Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design (NIIP). Monitoring of equipment response allows avoiding costly unconstrained damage on testing stage

Computer workstation developed in NIIP allows to record the modes of mechanical tests and equipment response.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННАЯ КОРАБЕЛЬНАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ПСЕВДОНЕПРЕРЫВНЫМ ШИРОКОПОЛОСНЫМ ЗОНДИРОВАНИЕМ

© Авторы, 2014

М.А. Нилов, кандидат технических наук,

главный специалист по радиотехническим системам, ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»

E-mail: cri-granit@peterlink.ru

В.П. Иванов,

директор НПК-РТС – Главный конструктор по направлению, ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»

E-mail: cri-granit@peterlink.ru

С.А. Львовский,

начальник Научно-производственного центра, ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»

E-mail: cri-granit@peterlink.ru

Ю.Ф. Подоплекин,

первый заместитель генерального директора по науке, ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»

E-mail: cri-granit@peterlink.ru

Разработана РЛС с непрерывным зондированием, реализуемая совмещением нескольких приёмопередатчиков, работающих в квазинепрерывном режиме в разных поддиапазонах частот. Низкая мощность излучения (менее 10 Вт), широкий диапазон смены несущей (до 2 ГГц), большой банк сложных сигналов (база не менее 10^6) малой скважности (2:4) при большой длительности когерентного (до 0,1 с) и некогерентного (до нескольких минут) накоплений при приёме обеспечивают высокую помехозащищённость РЛС.

Ключевые слова: сложный квазинепрерывный сигнал, непрерывное зондирование, скрытность РЛС.

There has been developed the continuous sounding radar embodied by combining several transceivers working in a quasicontinuous mode in different subbands of frequencies. The low transmission power (less than 10 W), a wide range of carrier frequency changing (to 2 GHz), a big bank of complex signals (a spreading ratio not less than 10^6) of low duty ratio (2:4) with the long duration of coherent (to 0,1s) and incoherent (about several minutes) integrations at receiving – provide high noise immunity of the radar.

Keywords: complex quasicontinuous signal, continuous sounding, emission security.

Представлены результаты разработки РЛС с непрерывным зондированием, реализуемой путем совмещения нескольких приемопередатчиков, работающих в квазинепрерывном режиме в разных поддиапазонах частот. Переход к непрерывному зондированию обеспечивает уменьшение пиковой мощности излучения пропорционально числу объединяемых приемопередатчиков. Использование низкой мощности излучения (менее 10 Вт на больших шкалах дальности), широкого диапазона смены несущей (до 2 ГГц), большого банка сложных (база не менее 10^6) квазинепрерывных (минимальная скважность близка к 2) зондирующих сигналов при большой длительности когерентного (до 100 мс) и некогерентного (до нескольких минут) накопления при приеме, обеспечивает высокую помехозащищённость РЛС.

Основной функцией РЛС является контроль надводной обстановки – обнаружение морских и низколетящих воздушных целей и обеспечение автономной навигации.

Главной проблемой создания РЛС рассматриваемого типа является развязка одновременно работающих приемников и передатчика. Проблема решается оптимизацией частотного разноса поддиапазонов совмещаемых приемопередатчиков и специальной высокоэффективной фильтрацией излучаемых и принимаемых сигналов.

Достоинства разработки: высокая помехоустойчивость к естественным и искусственным пассивным помехам; большой энергопотенциал; высокая разрешающая способность по дальности (до единиц и долей метра) на всех шкалах; высокая разрешающая способность по скорости (до единиц и долей метра в секунду); повышенная надежность; малая экологическая опасность маломощного излучения, малогабаритный полупроводниковый приемопередатчик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретические основы радиолокации. Учебное пособие для вузов / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970.

**THE MULTIPURPOSE COUNTERMEASURES-SAFE SHIP
RADAR SYSTEM WITH PSEUDO-CONTINUOUS
BROADBAND SOUNDING**

M.A. Niloy, V.P. Ivanov, S.A. Lvovskiy, Yu.F. Podoplekin

The development results of the continuous sounding radar embodied by combining several transceivers working in a quasicontinuous mode in different subbands of frequencies have been presented. The changeover to continuous sounding provides reducing the emission high-peak power proportionally to the number of the united transceivers.

Using the low transmission power (less than 10 W at the expanded range interval), a wide range of carrier frequency changing (to 2 GHz) a large bank of complex (a spreading ratio not less than 10^6) quasicontinuous sounding signals with the long duration of coherent (to 100 ms) and incoherent (up to several minutes) integrations at receiving – provide high noise immunity of the radar.

The main radar function is to control the surface picture – detecting the sea and low-flying air targets and ensuring the autonomous navigation.

The main development problem of the radar under consideration is decoupling the concurrent receivers and a transmitter. This problem is solved by the frequency diversion optimization of the subbands of the integrated transreceivers and by special high-performance filtering the received and transmitted signals.

The article has noted the following advantages: high-noise immunity to natural and artificial passive jamming; large link budget; high-range resolution; high-speed resolution; increased reliability; low environmental threat of low-power emission, small-sized semiconductor transceiver.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РЛС С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

© Авторы, 2014

Д.А. Рождественский,

инженер, ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца»

E-mail: drozhdestvenskiy@rti-mints.ru

А.Ю. Перлов,

инженер, ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца»

E-mail: aperlov@rti-mints.ru

В данной статье рассматривается вопрос возможности совместного использования метода определения полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы с помощью спутниковых радионавигационных систем GPS/ГЛОНАСС и метода вертикального зондирования ионосферы в режиме реального времени, с использованием методов математического моделирования характеристик ионосферы, применительно к компенсации систематической погрешности определения координат объектов сопровождения, вызванной преломлением сигнала РЛС в ионосфере.

Ключевые слова: радиолокационные измерения, точность РЛС, ионосфера, полное электронное содержание, SRNS, вертикальное зондирование.

This article deals with the compatibility question of the method for determining the ionosphere total electron content (ITEC) by means of the GPS/GLONASS satellite radio navigational systems and the vertical-incidence ionosphere sounding method in real time, when using the mathematical model methods of the ionosphere performance as applied to the systematic error compensation of the position determination of the tracked objects caused by the radar signal refraction in the ionosphere.

Keywords: radar measurements, radar accuracy, ionosphere, total electron content, SRNS, vertical sounding.

Современные РЛС по своим параметрам достигли такого уровня, когда дальнейшее повышение этих характеристик невозможно без учета влияния ионосферы Земли.

С появлением созвездий радионавигационных спутников GPS/ГЛОНАСС/Galileo возможности мониторинга ионосферы существенно повышаются. Работы по использованию радионавигационных систем для мониторинга ионосферы активно ведутся как за рубежом, так и в России. В интересах повышения характеристик локаторов дальнего действия мониторинг ионосферы необходимо производить с точностью максимально минимизирующей ионосферную ошибку в определении координат лацерируемых объектов.

В статье рассматриваются вопросы воздействия ионосферной активности на прохождение сигналов РЛС и характеристики локатора. Также рассматриваются методы расчета полного электронного содержания ионосферы по кодовым и фазовым измерениям и методы минимизации ошибок измерений, в том числе:

- устранение ошибок связанных с временной задержкой сигналов пришедших от навигационных спутников, в приемном тракте аппаратуры потребителя;
- устранение ошибок, связанных с задержкой между излучениями сигналов L1 и L2 в аппаратуре навигационных спутников.

Представлены экспериментальные данные измерений ПЭС ионосферы при различных условиях наблюдений: низкие углы места пролета навигационных спутников, воздействие помех и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Davis, M. J.** The integrated ionospheric response to internal atmospheric gravity waves. 1973
2. **Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П.** GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – ИСЗФ, ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАН, 2006.
3. An Introduction to GNSS: GPS, GLONASS, Galileo and Other Global Navigation Satellite Systems, Written By Charles Jeffrey for NovAtel Inc., 2010.

4. **Татаринов П.В., Ясюкевич Ю.В.** Определение абсолютного значения полного электронного содержания по данным ГЛОНАСС. БШФФ-2011. Изд-во ИСЗФ СО РАН, Иркутск, 2011. С. 255–257.
5. **Sibandaa P., McKinnell L.A.** The applicability of existing topside ionospheric models to the South African region, South African Journal of Science 105, September/October 2009. С. 384.

THE IONOSPHERE EFFECT COMPENSATION CAPABILITY ASSESSMENT FOR RADAR PERFORMANCE BY MEANS OF SATELLITE RADIO NAVIGATION SYSTEM (SRNS)

D.A. Rozhdestvensky, A.Yu. Perlov

To increase the high modern radar performance it is necessary to take into account the earth ionosphere influence.

The ionosphere monitoring capability is significantly enhanced with the advent of the GPS/GLONASS/Galileo radio navigational satellite constellations. For the ionosphere monitoring the radio navigational system application workings are actively performed abroad and in Russia. For benefit of the long-range radar performance increase it is necessary to carry out the ionosphere monitoring with accuracy minimizing an ionosphere error supremely in the located object position determination.

The paper considers the questions of the ionosphere activity influence on the radar signal propagation as well as the radar performance; the calculation methods of the ionosphere total electron content according to the code and phase measurements; error minimization methods including:

- error elimination due to time delay of navigation satellite signals in the equipment receive path;
- error elimination due to delay between signal emissions L1 и L2 in the navigation satellite equipment.

There has been presented the ITEC measurement experimental data made under the various observing conditions: low angle of altitude of navigation satellite flight; noise influence, etc.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРА РЛС И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ РЛИ

© Автор, 2014

С.В. Терсин, ведущий инженер,
ОАО «Муромский завод радиоизмерительной аппаратуры», г. Муром
E-mail: svt-murom@yandex.ru

В статье приводятся принципы построения оптимального интерфейса оператора современной радиолокационной станции с разделением на рабочие зоны, описываются программные и аппаратные составляющие рабочего места оператора, излагается алгоритм вывода на отображение радиолокационной информации путем сложения битовых слоев.

Ключевые слова: РЛС, рабочее место оператора, интерфейс, информационная модель, Linux, графическое ядро, битовые слои.

The article deals with the principles of the optimum radar operator interface development divided into working areas, software and hardware components of an operator workplace, the algorithm of the output to display the radar data by adding the bit planes.

Keywords: radar, operator workplace, interface, entity-relationship model, Linux, graphic kernel, bit planes.

В РЛС большое значение предается визуальному представлению информации, обеспечивающему емкость, оперативность и удобство восприятия. По мере совершенствования технической базы, целесообразно производить оптимизацию графических интерфейсов для обеспечения наиболее рационального отображения РЛИ, элементов управления РЛС, индикации состояния отдельных подсистем, соответствия эргономическим требованиям.

Рассмотрена схема организации графического интерфейса с расположением наиболее важных функциональных и информационных элементов в оптимальной зоне экрана рабочего места оператора (РМО), компоновка реализованного графического интерфейса для экранов с соотношением сторон 4:3, а также – для модуля отображения с экраном FullHD и отношением сторон 16:9.

Приводится описание двух возможных реализаций отображения на экране оператора РЛС радиолокационной и таблично-знаковой информации, отмечены достоинства и недостатки, проведен анализ с точки зрения достижения максимально возможной производительности.

Рассмотрена реализация графического ядра (компонента), его основные характеристики, принцип послойной отрисовки, назначение и количество слоев, алгоритмы сложения слоев и способы их оптимизации с использованием низкоуровневых системных вызовов.

Приводится описание видов отображаемой РЛИ – первичная РЛИ (эхо) и вторичная (координатные точки, отметки воздушных объектов и их формуляры, история трасс), представление первичной РЛИ в бинарном и многоразрядном (амплитудном) виде, общие принципы формирования массивов отметок эхо-сигналов и передачи потока данных от ЭВМ обработки на ЭВМ РМО для отображения, а также изложены способы оптимизации приема и обработки отображаемой информации.

Рассмотрены преимущества применения унифицированного графического ядра в различных изделиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Головач В.В.** Дизайн пользовательского интерфейса II <http://uibook2.usetrics.ru/uibookII.pdf>
2. Xlib – C Language X Interface X Window System Standard XVersion 11, Release 6.7 <http://www.x.org/docs/X11/xlib.pdf>
3. **Сколник М.** Справочник по радиолокации // Пер. с. англ. Под общей редакцией К. Н. Трофимова. В четырёх томах. – М.: Сов. радио, 1976-78.
4. **Коростелев А.А., Ключев Н.Ф., Мельник Ю.А. и др.** Теоретические основы радиолокации: Учебное пособие для вузов, Под ред. В. Е. Дулевича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.

**GRAPHIC INTERFACE DEVELOPMENT
FOR A RADAR OPERATOR AND IMPLEMENTATION
OF RADAR DATA (RD) REPRESENTATION**

S.V. Tersin

The image display providing operational flexibility and improved readability is the main part of the radar. According to the technical base improvement it is reasonable to optimize the graphic interfaces for many purposes.

There has been considered the graphic interface layout depicting the position of critical functional and data items in the optimal screen zone of the operator workplace as well as the performed graphic interface arrangement.

There has been presented the description of two possible display implementations of the radar and table- sign data on the radar operator screen as well as the analysis in the context of the maximum probable operational efficiency.

There has been considered the graphic kernel implementation, its main performance, the layer-by-layer rendering, the plane addition algorithms and the optimization technique ways, using low-level system calls.

The article provides the description of the displayed RD types-primary radar data and secondary, the primary RD representation is provided in the binary and amplitude forms.

The optimization techniques of receiving and processing the displayed data were described.

The application advantages of the unified graphic kernel in various products were considered.

НЕЛИНЕЙНЫЙ ФИЛЬТР КАЛМАНА СОПРОВОЖДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОРИЕНТИРОВ АВИАЦИОННЫМИ РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ СТАНЦИЯМИ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСАДКИ НА МАЛООБОРУДОВАННЫЕ АЭРОДРОМЫ

© Автор, 2014

А.Ю. Фролов, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник,
ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения», г. Жуковский

Е.Е. Колтышев, доктор технических наук, профессор,
главный специалист, ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения», г. Жуковский

В.Т. Янковский, доктор технических наук, старший научный сотрудник,
главный специалист, ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения», г. Жуковский

Д.Л. Филиппов, инженер-программист 2 категории,
ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения», г. Жуковский
E-mail: dlfilippov88@yandex.ru

В статье выполнен синтез нелинейного фильтра Калмана, обеспечивающего сопровождение наземных ориентиров авиационными радиолокационными станциями с синтезированной апертурой антенны при выполнении посадки в сложных метеоусловиях на малооборудованные аэродромы. Фильтр формирует оценки координат, скорости и ускорения летательного аппарата относительно расчётной точки касания. Приведены точности формируемых оценок.

Ключевые слова: расширенный фильтр Калмана, автосопровождение, посадка, РСА.

The nonlinear Kalman filter was synthesized in the article. The filter provides landmarks tracking by aircraft synthetic aperture radar for the case of bad weather landing at unequipped airfields. The filter forms the estimations of coordinates, velocities and accelerations of the aircraft relative to the expected contact point. Accuracy of the estimations is also presented.

Keywords: extended Kalman filter, target tracking, landing, synthetic aperture radar.

Посадка летательного аппарата (ЛА) является одним из наиболее сложных и аварийноопасных этапов полета, особенно в сложных метеоусловиях (СМУ). Для обеспечения безопасности выполнения данного этапа полета современные аэродромы обеспечиваются сложным и дорогостоящим радиотехническим оборудованием, развертывание и эксплуатация которого требует значительных временных ресурсов и большого количества квалифицированного обслуживающего персонала. Для военной авиации актуальным остается обеспечение посадки на необорудованные или слабооборудованные аэродромы.

Для обеспечения посадки ЛА в условиях недостаточной видимости необходимо знание следующих параметров полета: высоты над поверхностью земли, удаления ЛА от торца ВПП, отклонения ЛА от оси ВПП, отклонения курса ЛА от курса ВПП и т.д. Высокоточное измерение этих параметров возможно с помощью радиолокационных станций с синтезированной апертурой антенны (РСА) и радиолокационных ориентиров (как естественного, так и искусственного происхождения).

Для определения координат ЛА выполнен синтез оптимального нелинейного фильтра Калмана. В качестве математической модели полета ЛА в режиме следования по глиссаде предложено использовать расширенную модель Зингера, включающую помимо координат, скорости и ускорения еще и угол сноса.

В процессе посадки РСА обеспечивает измерение дальности, азимута, угла места и доплеровской частоты от каждого радиолокационного ориентира. Особенность разработанного фильтра заключается в том, что его коррекция выполняется не одновременно для всех наблюдаемых в данный момент ориентиров, а последовательно – для каждого ориентира в отдельности. Это не только сни-

жает вычислительную нагрузку, но и позволяет использовать одну структуру фильтра для любой конфигурации ориентиров.

В заключение приведены результаты математического моделирования работы разработанного фильтра для типовых условий посадки. Точность оценки параметров движения ЛА зависят от дальности до ориентиров, их количества и пространственного положения. Повышение точности возможно с помощью выбора геометрии взаимного размещения искусственных ориентиров, а также комплексированием полученных данных с данными радиолокационного высотомера малых высот и бортовых навигационных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фролов А.Ю.** Информационное обеспечение посадки летательного аппарата с использованием бортовой радиолокационной станции с синтезированной апертурой // Радиотехника. 2007. № 11.
2. **Eli Brookner.** Tracking and Kalman Filtering Made Easy. John Wiley & Sons, Inc., 1998.
3. **Yaakov Bar-Shalom.** Estimation with Applications to Tracking and Navigation. John Wiley & Sons, Inc., 2001.

THE NONLINEAR KALMAN FILTER FOR LANDMARKS TRACKING BY AIRCRAFT SYNTHETIC APERTURE RADAR TO PROVIDE SAFETY LANDING ON UNEQUIPPED AIRFIELDS

A.Y. Frolov, E.E. Koltyshev, V.T. Jankovski, D.L. Filippov

Landing (especially bad weather landing) is one of the most difficult and dangerous part of a flight. Modern airfields are equipped by complex and costly radio equipment to provide safety landing. Its installation and maintenance requires a lot of time and big amount of processing people. Providing landing to unequipped airfields is an actual problem for the military aviation.

To provide safety landing it is necessary to know the height above an airfield, the distance to the runway threshold, the aircraft bearing relative to the runway centerline, etc. High precision measurements of these parameters can be obtained by using synthetic aperture radar (SAR) and natural or artificial landmarks.

The nonlinear Kalman filter was synthesized to determine aircraft coordinates. The extended Zinger motion model was chosen as an aircraft motion model. This dynamic model contains three linear coordinates, velocities, accelerations and a bearing angle.

SAR measures distance to every landmark, horizontal and vertical angles of landmarks line of sight and Doppler frequency shift of received radio signal. The key feature of proposed filter is in sequential processing of measurement algorithm. This means that the state correction makes for every landmark separately, which greatly reduces computational costs and makes the filter able to handle any landmarks spatial configuration.

Experimental results for ordinary landing conditions are presented in the last part of the article. Precision of an aircraft motion parameters estimate depends on the distance to landmarks, its quantity and spatial configuration. Estimation precision can be improved by choosing the landmarks geometry and by combining SAR data and onboard navigation system data.

ПОДСЕКЦИЯ «МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ»

УДК 621.396.969.1

СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ИМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРОВСКОЙ РЛС

© Авторы, 2014

А.И. Даниленко, доктор технических наук, начальник СКБ, ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», г. Москва
E-mail: altair@gskb.ru

С.А. Урюпин,
ведущий инженер, ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», г. Москва
E-mail: KolovratAnd2@rambler.ru

Предлагается схема системы пространственной помехозащиты импульсно-доплеровской РЛС. Рассматривается теоретическая оценка подавления сигналоподобной помехи и возможность использования данной схемы для разных видов сигналов. Также описываются эффекты, возникающие в предложенной схеме.

Ключевые слова: пространственная помехозащита, корреляционная матрица, импульсно-доплеровская РЛС.

The report proposes the system of spatial interference immunity pulse-Doppler radar. Considering the theoretical evaluation of the suppression imitation interference and the possibility of using this scheme for different types of signals. Also described the effects arising proposed radar scheme.

Keywords: interference immunity, correlation matrix, pulse-Doppler radar.

Аналитически и на имитационных математических моделях исследуются характеристики системы пространственной обработки сигналов импульсно-доплеровской РЛС.

В системе реализуется следующая последовательность операций. Сигналы с выходов приемных трактов частных антенных подрешеток оцифровываются на промежуточной частоте и подвергаются предварительной обработке. Обработка заключается в цифровой фильтрации, цифровом преобразовании частоты, формировании квадратуры и децимации. Затем последовательности этих сигналов разделяются на два потока. Один поток сохраняется до некоторого времени. Для второго потока находятся спектры, производится режекция областей спектров, соответствующих пассивным помехам, и формируется пространственная корреляционная матрица. Каждый элемент матрицы представляет собой скалярное произведение векторов с координатами, равными элементам массивов режектированных спектров. С корреляционной матрицей и различными опорными векторами решается несколько систем уравнений, находятся адаптивные весовые множители для суммарного и разностных каналов РЛС. Сохраненные потоки сигналов суммируются с весовыми множителями, образуются потоки сигналов соответствующие суммарному и разностным каналам, в которых не содержится мешающих сигналов.

Рассмотрены возможности системы по работе с различными видами мешающих сигналов, работе в условиях перемещения источника мешающего сигнала за время излучаемого сигнала, а также возможности системы по работе с другими сигналами, отличающимися от применяемых в импульсно-доплеровских РЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции. / Под. ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 416с.: ил.
2. Проектирование зенитных управляемых ракет / Под. ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова. – Изд. второе, перераб. и доп. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 732с.: ил.
3. **П.И. Дудник, А.Р. Ильчук, Б.Г. Татарский.** Многофункциональные радиолокационные системы: уч. пособие для вузов / под ред. Б.Г. Татарского. – М.: Дрофа, 2007. – 283 с.: ил.
4. **Ю.П. Зрашин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.** Радиотехнические системы: учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / под. ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.: ил.
5. Оценка потенциальных возможностей по подавлению сигнало-подобной помехи в импульсно-доплеровской РЛС / А.И. Даниленко. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2012, №4.
6. **Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М.** Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / под ред. Перунова. – М.: «Радиотехника», 2003. – 416 с.: ил.
7. **А. Оппенгейм, Р. Шафер.** Цифровая обработка сигналов. – М.: «Техносфера», 2006. – 856 с.

SPATIAL SIGNAL PROCESSING SYSTEM IN PULSE DOPPLER RADAR

A.I. Danilenko, S.A. Uryupin

In recent years, the possibility of electronic warfare (EW) increased significantly. Usual spatial anti-jamming techniques are ineffective due to the form zeroes antenna pattern in the allotted for this period of time, and modern electronic warfare does not emit when silence radar that does not allow for adaptation.

In this article is proposed the scheme of spatial anti-jamming for pulse-Doppler radar. In this system the composition of digitized target signal and interferences is divided into two computational threads. In the first stream of the received signals are stored, and the second is calculated on the basis of their adaptive spatial vector. The resulting spatial vector processing goes saved in the first stream of digital signals. Thus, a noise reduction of operating only during radiation radar.

Scheme, without changing the structure calculations can be used to treat various types of signals: SOS, chirp, FCM.

The proposed scheme has its own specifics. For example, due to the formats used to represent the numbers of zero depth formed DR restricted, but more than 60 dB, which can suppress a strong interference. Also, due to imperfection formation quadrature suppression effect occurs in Nam symmetrical relative to the normal to the antenna array areas, which may lead to suppression of the useful signal. But this is very rare event.

It speaks about the prospects of this radar scheme for protection pulse-Doppler stations from jamming.

УДК 621.391.26

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕКОГЕРЕНТНОЙ ПАЧКИ ИМПУЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ РАЗНОГО ВИДА ПОМЕХ

© Авторы, 2014

К.А. Елагина,

инженер, ОАО НПО «НИИИП-НЗик», г. Новосибирск

И.Ф. Лозовский, доктор технических наук, старший научный сотрудник,

начальник отдела, ОАО НПО «НИИИП-НЗик», г. Новосибирск

E-mail: lozov-igor@yandex.ru

Рассмотрена задача обнаружения некогерентной пачки импульсов при возможном воздействии на РЛС обзора разного априори неизвестного вида помех. Для каждого вида помех предложен наиболее эффективный алгоритм обнаружения сигналов и критерий его выбора в зависимости от помеховой ситуации. Проведена проверка работы совокупности предложенных алгоритмов, причём, поскольку помехи, вызванные сверхрефракцией, ранее в данной задаче не исследовались, в этом случае получены более подробные характеристики и обоснован выбор параметров алгоритма обнаружения.

Ключевые слова: РЛС обзора, пачка импульсов, шумовая помеха, несинхронная импульсная помеха, точечный по дальности, сверхрефракция, «ангел».

The problem of detection of an incoherent pulse packet when a number of a priori unknown type of noise impact on surveillance radar, is considered in this paper. The most effective detection algorithm and its selection criterion which is depended on noise situation are offered for every kind of noise. The check of working possibility of the aggregate of algorithms was done. Moreover the more detailed characteristics are obtained and the choice of the detection parameters is substantiated in case of noise induced by superrefraction which was not researched before as a part of such problem.

Keywords: surveillance radar, pulse packet, noise interference, asynchronous impulse noise, pointed on range, superrefraction, «angel».

Проблема моделирования алгоритмов обнаружения сигналов в условиях воздействия разного числа априори неизвестных видов помех на РЛС обзора рассмотрена в данной статье.

В условиях шума неизвестной мощности применяется алгоритм некогерентного накопления. При воздействии конечно-протяженных по дальности и синхронных от периода к периоду помех, используется проверка однородности помех по дальности. Для уменьшения влияния несинхронных импульсных помех, используется нормировка сигналов в каждом периоде. Также применяется обнаружение и цензурирование точечных несинхронных импульсных помех. Для борьбы с отражениями от «ангелов» предложен алгоритм некогерентного накопления с порогом по частоте Доплера. Защита от помех, вызванных сверхрефракцией, обеспечивается проверкой наличия сигнала в 1-м периоде.

По результатам моделирования алгоритмов, обеспечиваются высокие значения вероятности правильной классификации всех видов помех. Для алгоритма некогерентного накопления с защитой от сигналов сверхрефракции, порог 1-го периода выбирается исходя из величины потерь обнаружения 0.1 или 0.5дБ. В алгоритме обеспечивается полное бланкирование мощных сигналов сверхрефракции. Вероятность ЛТ от слабых сигналов сверхрефракции $P_{f_i} \leq 0.1$ при $n \leq 8$.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лозовский И.Ф.** Алгоритм обнаружения неоднородности мощности помех // сб. тр. VII Международной конференции RLNC-2001 (Воронеж, 24-26 апреля, 2001). Т.3. – Воронеж, 2001. – С. 1513–1521.
2. **Лозовский И.Ф.** CFAR-алгоритмы некогерентного обнаружения с адаптивным окном усреднения // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2003. – вып.1. – С. 3–12.
3. **Лозовский И.Ф.** Алгоритмы защиты от несинхронных сигналов при обнаружении некогерентной пачки импульсов // Материалы VII Международной конференции АПЭП-2004 (г. Новосибирск, 21–24 сентября 2004г.). Т.4. – Новосибирск, 2004. – С. 33–40.
4. **Лозовский И.Ф.** Эффективность частотного порога при разностно-временном подавлении точечных движущихся помех // XI Международная конференция «Радиолокация, навигация, связь» (г. Воронеж, апрель 12–14, 2005). Т.3. – Воронеж, 2005. – С. 1274–1281.
5. **Елагина К.А., Лозовский И.Ф.** Обнаружение некогерентной пачки импульсов в условиях воздействия отражения от «ангелов» и несинхронных сигналов // VII Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем. – Ульяновск, 2011. – С. 46–49.

DETECTION OF AN INCOHERENT PULSE PACKET AGAINST THE BACKGROUND OF DIFFERENT TYPES OF NOISE

K.A.Elagina, I.F.Lofovskyi

The problem of modeling of signals detection algorithms when a number of a priori unknown type of noise (includes noise induced by superrefraction) impact on surveillance radar, is considered in this paper.

In conditions of the noise with unknown power, the algorithm incoherent accumulation is offered. In conditions of finite-extensive range and synchronous from-period-to-period noise, the check of homogeneity range of noise is used. To reduce the impact of asynchronous impulse noise, normalization of a signal in every period is used. Also the detection and censoration of pointed asynchronous impulse noise are being carried out. To struggle against reflection from «angels», detection algorithm of incoherent accumulation with the Doppler frequency threshold is offered. To struggle against noise with superrefraction, the lack of signal in 1st period is being checked.

As result of simulation modeling, quite high value of probability of right classification for all kinds of noise is being provided. For incoherent accumulation algorithm with protection against superrefraction signals, the threshold of 1st period is chosen in terms of additional losses value of 0,1 and 0,5 dB. There is a total blanking of powerful superrefraction signals is provided in the algorithm. The false alarm probability from weak superrefraction signals is $P_{fa} \leq 0.1$, where the quantity of impulses $n \leq 8$.

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА СЖАТИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО ЛЧМ СИГНАЛА

© Авторы, 2014

А.В. Иванов, зам. начальника отдела,
НТЦ «НИИРП» ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», г. Москва
В.С. Оконешников, доктор технических наук, старший научный сотрудник,
зам. начальника НТЦ, НТЦ «НИИРП» ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», г. Москва
В.В. Иванов, ведущий инженер,
НТЦ «НИИРП» ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», г. Москва

Представлен синтез алгоритма сжатия в цифровой форме отраженного ЛЧМ сигнала, составные подимпульсы которого приняты, усилены в многоканальной схеме и в аналоговой форме сведены к одной промежуточной частоте со случайными начальными фазами в каждом из n каналов.

Ключевые слова: составной сверхширокополосный ЛЧМ сигнал; сжатие составного ЛЧМ сигнала.

The article deals with the synthesis of the compression algorithm of the digital echo linear frequency modulation (LFM) signal, the component subpulses of which were received and amplified in the multichannel configuration and in an analog form they were restricted to one intermediate frequency with the random initial phases in each n channels.

Keywords: composed ultrabroadband linear frequency modulation (LFM) signal; compression of composed ultrabroadband linear frequency modulation (LFM) signal.

При модернизации высокопотенциальной измерительной РЛС, используемой при испытании боевого оснащения ракетных комплексов, возникла необходимость выполнить сжатие составного сверхширокополосного ЛЧМ сигнала. В статье представлен синтез алгоритма сжатия в цифровой форме отраженного составного ЛЧМ сигнала, составные подимпульсы которого приняты, усилены в многоканальной схеме и в аналоговой форме сведены к одной промежуточной частоте со случайными начальными фазами в каждом из n каналов.

По разработанному алгоритму производится оцифровка и сжатие ЛЧМ подимпульсов в каждом канале. Сжатые ЛЧМ подимпульсы переносятся каждый на свою собственную промежуточную частоту, совмещаются во времени и объединяются в одном сверхширокополосном канале. При этом используется автоматическая подстройка в каждом канале начальной фазы сжатого ЛЧМ подимпульса, что обеспечивает дополнительное укорочение сжатых ЛЧМ подимпульсов в n раз.

Весовая обработка, необходимая для уменьшения уровня боковых лепестков, выполняется по сверхширокополосному сжатому ЛЧМ сигналу в объединенном канале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочемасов В.И., Белов Л.А., Оконешников В.С. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией. – М.: Радио и связь, 1983 – 192 с.
2. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. – М.: Изд-во «Сов. радио», 1971.

SYNTHESIS OF COMPRESSION ALGORITHM OF ULTRA WIDEBAND MULTICHANNEL LFM SIGNAL

A.V. Ivanov, V.S. Okoneshnikov, V.V. Ivanov

During modernization of someone radar, which used for test of fighting equipment of missile systems there was a need to execute compression of compound ultra wideband LFM signal. In article present synthesis of compression algorithm in digital form of returned LFM signal. The compounds LFM impulses of signal are received and amplified in multichannel scheme and in analog form are reduced to the one frequency with random initial phase in each n channels.

On the developed algorithm numbering and compression LFM subimpulses in each channel is made. Each compressed LFM subimpulses are transferred on own the intermediate frequency, and then subimpulses are combined in time and unite in one ultra wideband channel. Automatic fine tuning in each channel of an initial phase of compressed LFM subimpulse is thus used that provides additional shortening of compressed LFM subimpulses in n of times. The weight processing necessary for reduction of level of side lobes, is carried out on ultra wideband compressed LFM to a signal in the united channel.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИ ПОЛНОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ

© Авторы, 2014

В.Б. Калашников, ведущий инженер-программист,

ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца», г. Москва

E-mail: vkalashnikov@rti-mints.ru

Н.В. Верденская, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник,

ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца», г. Москва

E-mail: verdenskaya@rti-mints.ru

И.А. Иванова, начальник сектора,

ОАО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца», г. Москва

E-mail: ivanova@rti-mints.ru

В статье рассматривается задача оптимального обнаружения неизвестного объекта радиолокатором с полным поляризационным анализом. Предполагается, что отраженный сигнал не имеет неизвестных параметров, за исключением поляризационной матрицы рассеяния (ПМР) объекта. Априорное распределение элементов ПМР предполагается гауссовским. Получено оптимальное правило обнаружения и приведены его характеристики при фиксированной вероятности ложной тревоги.

Ключевые слова: полный поляризационный анализ, поляризационная матрица рассеяния, оптимальное обнаружение, априорное распределение, байесовский подход.

The article considers the problem of the optimum unknown object detection by the radar with the perfect polarization analysis. It is supposed that the returned signal doesn't have any unknown parameters, except for the object polarization scattering matrix (PSM). A priori distribution of the PSM elements is supposed to be Gaussian. The optimal detection rule was obtained and its performance was provided under the fixed probability of a false alarm.

Keywords: perfect polarization analysis, polarization scattering matrix, optimal detection, a priori distribution, Bayesian approach.

В статье рассматривается задача обнаружения объекта радиолокатором с полным поляризационным анализом. Прием и передача сигнала осуществляется на двух ортогональных поляризациях. В этом случае, неизвестными параметрами принимаемого сигнала оказываются элементы поляризационной матрицы рассеяния (ПМР) лоцируемого объекта в текущем ракурсе. А сам принимаемый сигнал является векторным.

Получены оптимальные правила обнаружения сигнала в описанной ситуации. Приведено правило для полностью известного сигнала, т.е. в случае, когда известна поляризационная матрица обнаруживаемого объекта. Кроме того, получено оптимальное правило обнаружения в случае, когда ПМР объекта неизвестна. В обоих случаях получены аналитические выражения для характеристик обнаружения. Проведен численный анализ полученных процедур и их сравнение с обычно используемыми эмпирическими процедурами обнаружения.

Обсуждаются вопросы практического использования предложенных процедур.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хлусов В.А., Шарыгин Г.С., Лигтхарт Л.П.** Поляризационные радиолокаторы с одновременным измерением матриц обратного рассеяния. I. Принципы и алгоритмы обработки сигналов. Труды XI Международной научно-практической конференции «Радиолокация. Навигация. Связь», 12-14 апреля 2005 г., г. Воронеж, Россия. т.3, с.1464-1473.
2. **Хлусов В.А., Шарыгин Г.С., Лигтхарт Л.П.** Поляризационные радиолокаторы с одновременным измерением матриц обратного рассеяния. II. Ошибки оценки элементов матриц рассеяния. Труды XI Международной научно-практической конференции «Радиолокация. Навигация. Связь», 12-14 апреля 2005 г., г. Воронеж, Россия. т.3, с.1474-1483.

3. **Урманчев Р.В.** Обнаружение удаленных объектов при когерентном накоплении сигналов в радиолокаторах с полным поляризационным анализом. Выпускная квалификационная работа по направлению 010900 «Прикладная математика и физика», МФТИ, Москва, 2013. – 28 с.
4. **Сосулин Ю.Г.** Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1999. – 304 с.

SOLVING PROBLEM OF DETECTION WITH FULL POLARIZATION ANALYSIS

V.B. Kalashnikov, N.V. Verdenskaya, I.A. Ivanov

The report considers the problem of the optimum unknown object detection by the radar with the perfect polarization analysis. Receiving and signaling is carried out in two orthogonal polarizations. In this case the unknown parameters of a receiving signal are the PSM elements of a located object. And the receiving signal is vectorial.

The optimal signal detection rules were obtained for a described situation. The rule for a completely known signal (when the polarization matrix of the located object is known) was provided. Besides, the optimal detection rule for the unknown PSM of the object was also obtained. The analytical expressions for the detection performance were obtained in both cases. The numerical analysis of the obtained procedures and their comparison with the usually used empirical detection procedures were carried out.

The practical use questions of the offered procedures were discussed.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ ПЕРЕДНЕГО ОБЗОРА

© Авторы, 2014

Г.С. Кондратенков, доктор технических наук, профессор,
ведущий инженер ОАО «НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова»
Е.Е. Колтышев, доктор технических наук, профессор,
главный специалист ОАО «НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова»
В.А. Таганцев,
главный конструктор ОАО «НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова»
А.Ю. Фролов, доктор технических наук, доцент,
академия РВСН им. Петра Великого,
E-mail: alexey_frolov@inbox.ru
В.Т. Янковский, доктор технических наук, старший научный сотрудник,
главный специалист ОАО «НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова»,
E-mail: yankvlad@mail.ru

В статье выполнен синтез оптимального алгоритма пространственно-временной обработки траекторного сигнала, обеспечивающего получение РЛИ с высоким разрешением в переднем секторе обзора. Структура оптимальной пространственно-временной обработки сигнала РСА переднего обзора состоит из согласованной доплеровской фильтрации полезного сигнала и пространственной режекции мешающего сигнала. Приводятся результаты цифровомоделирования работы оптимального алгоритма.

***Ключевые слова:** радиолокационная система, радиовидение, синтезирование апертуры, передний обзор, пространственно-временная обработка, оптимальная обработка, функция неопределённости, радиолокационное изображение.*

This article gives an optimal algorithm for the synthesis of space-time processing of the trajectory of the signal so as to obtain a high-resolution radar data in the forward field of view. Structure optimal spatio-temporal signal processing comprises forward-looking SAR coherent Doppler filtration of the desired signal and rejection of the interfering signal space. Results of digital-simulation modeling of work of optimum algorithm are given.

***Keywords:** radar system, radio imaging, synthetic aperture, forward view, the space-time processing, the optimal treatment, the function of uncertainty, the radar image.*

Современные радиолокационные системы с синтезированной апертурой антенны (РСА) позволяют получить детальное радиолокационное изображение (РЛИ) в боковом и переднебоковом секторе обзора. В секторе $\pm 100^\circ$ существующие РСА не обеспечивают получение РЛИ. В то же время решение таких важных задач, как мониторинг подстилающей поверхности; поисково-спасательные работы; облет и обход препятствий, десантирование, сброс грузов, посадка на аэродромы (в том числе беспилотных летательных аппаратов), оценка метеобстановки и др., требует получения детального РЛИ в переднем секторе обзора.

Для решения задачи формирования детального радиолокационного изображения местности в переднем секторе обзора необходимо подавить пики неоднозначности функции неопределённости траекторного сигнала РСА и тем самым обеспечить однозначное определение углового положения отражателя на РЛИ. Решение этой проблем возможно несколькими методами:

- с помощью оптимальной пространственно-временной обработки траекторного сигнала;
- с помощью специального траекторного управления носителем РСА.

В статье рассматривается формирование детального РЛИ местности в переднем секторе обзора с помощью оптимальной пространственно-временной обработки траекторного сигнала.

Структура оптимальной пространственно-временной обработки сигнала РСА переднего обзора состоит из согласованной доплеровской фильтрации полезного сигнала и пространственной режекции мешающего сигнала. Пространственная компенсация осуществляется путем формирования пространственных фильтров (лучей ДНА) в направлении полезного сигнала и мешающих сигналов соответственно с последующим весовым суммированием. Таким образом, формируется ноль диаграммы направленности приемной антенны на точку подстилающей поверхности, имеющей доплеровскую частоту, равную частоте полезного сигнала.

В заключение статьи приводятся РЛИ местности с высоким разрешением, полученное в результате летного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю.** Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования земли. Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Радиотехника 2005.
2. **Антипов В.Н, Ильчук А.Р., Колтышев Е.Е., Янковский В.Т.** Алгоритмы селекции сигналов движущихся объектов в когерентно-импульсных РЛС. - М.: Радиотехника, 1998. – №4.
3. **Кондратенков Г.С., Фролов. А.Ю.** Траекторное управление системой радиовидения в переднем обзоре. – М.: Радиотехника, 2010. – №7.
4. **Ширман Я.Д., Манжонс В.Н.** Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: «Радио и связь», 1981.

OPTIMIZING SPACE-TIME PROCESSING IN RADAR SYSTEMS WITH FORWARD-LOOKING SYNTHETIC APERTURE

G.S. Kondratenkov, E.E. Koltyshev, V.A. Tagantsev, A.Yu. Frolov, V.T. Jankovski

Currently developed SAR systems, which allows for a detailed radar image in the side and anterolateral sector review. However, in the sector of ± 10 degrees of an image is not formed due to the presence of ambiguity between the angular position of the target and its Doppler frequency.

Ambiguity function of the radar signal in the straight flight has peaks ambiguity and symmetric with respect to the ground speed vector. This means that in the rectilinear uniform flight based on analysis of only the phase structure can not determine the position of the observed object relative to the ground speed vector (left or right).

To fix this uncertainty in the SAR has traditionally used a real antenna, which suppresses the peak ambiguity (interference signal). In the front view when the angular position of the reflector relative to the ground speed vector is less than the actual width of the antenna pattern suppression becomes not effective.

To solve the problem of forming a detailed radar images of terrain in the forward field of view is necessary to suppress the ambiguity peaks of the function uncertainty of the trajectory signal of SAR and thereby provide an unambiguous determination of the angular position of the reflector in the radar picture. The solution to this problem is possible in several ways:

- using the optimal space-time processing of the SAR signal;
- using a special trajectory control SAR.

The paper presents a synthesis of optimal space-time signal processing for radar imaging area in the front field of view.

The structure of optimal signal processing consists coherent Doppler filtering and spatial rejection of the interfering signal. The spatial compensation is performed by generating a spatial filter in the direction of the desired signal and interfering signals, respectively, followed by the summation of their weighted output signals.

Since each Doppler filter processing system are received signals from two directions, to determine the parameters of a signal, system spatio are rejected other signal, and vice versa. Each filter is corresponds to a pair of angular positions of the left and right relative to the velocity vector. For radar imaging of each of the two points, echoes of which accumulate in the Doppler filter processing system, it is necessary to estimate the amplitude of these signals.

Simulation results of the algorithm in the forward-looking mode when the call PCA aircraft carrier landing.

УДК 621.38

АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ МНОГОМЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В МОДУЛЯРНОЙ АРИФМЕТИКЕ

© Авторы, 2014

В.В. Лабец, кандидат технических наук, доцент,
зам. начальника кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербурга

Д.В. Михеев, кандидат технических наук, доцент,
Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербурга
E-mail: Timonmicro@mail.ru

В.А. Шаталова, кандидат технических наук, доцент,
Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербурга

А.А. Шаталов, доктор технических наук, доцент,
Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербурга

Рассматриваются предложенные авторами алгоритмы многомерной нелинейной фильтрации в модулярной арифметике, позволяющие выполнять некоторые арифметические операции точно, если операнды суть целые числа. Это позволяет избежать ошибок округления и достигнуть максимального быстродействия за счёт применения параллельных вычислений.

Ключевые слова: модуль, адаптивные алгоритмы, нелинейная фильтрация, случайные процессы, статистические характеристики.

There have been considered the algorithms of a multidimensional nonlinear filtration in modular arithmetics allowing to carry out some arithmetic operations precisely if operand essence is the whole number, avoiding round errors and taking out the maximum fast operation due to o parallel calculation application.

Keywords: Module, adaptive algorithms, nonlinear filtration, random process, statistical characteristics.

Реализация алгоритмов оптимальной обработки информации в современных радиолокационных системах осуществляется методами цифровой фильтрации на основе спецпроцессоров цифровой обработки сигналов (ЦОС). При этом необходимо помнить, что при любом представлении непрерывных переменных чисел вносится ошибка, являющаяся следствием аппроксимации переменных конечным числом цифр. Эта ошибка зависит от числа используемых при таком представлении двоичных разрядов b , способа представления (с фиксированной или плавающей запятой), способа представления отрицательных чисел и метода, используемого для исключения разрядов, превышающих длину регистров.

Влияние эффекта конечной разрядности представления весовых коэффициентов фильтров и результатов выполнения арифметических операций проявляется в ухудшении отношения сигнал – шум, и, как следствие, приводит к уменьшению вероятности правильного обнаружения и увеличению среднеквадратической ошибки (СКО) измерения дальности, скорости и угловых координат РЛС. Особенно оно сказывается при распараллеливании вычислений и реализации адаптивных алгоритмов обработки информации. Увеличение числа разрядов лишь частично улучшает ситуацию, существенно усложняя архитектуру спецпроцессора и увеличивая энергетические затраты и сроки проведения НИОКР.

Хорошо известно, что специализированные вычислители могут выполнять некоторые арифметические операции точно, если операнды суть целые числа. Это побуждает рассмотреть целочисленную арифметику как средство избежать ошибок округления в надежде, что некоторые плохо обусловленные задачи станут решаться точно. На указанном принципе

построены так называемые теоретико-числовые и полиномиальные преобразования (ТЧП и ПП), широко применяемые в быстрых алгоритмах ЦОС.

Для реализации многомерных адаптивных алгоритмов обработки предлагается использовать методы модулярной арифметики и выполнять параллельные вычисления без ошибок округления. Для этого потребуется выполнение целого ряда ограничений, доказательство сходимости адаптивных алгоритмов и оценка скорости сходимости разрабатываемых алгоритмов.

Если для многомерных алгоритмов линейной адаптивной обработки ответы на указанные вопросы авторами были получены в предыдущих работах, то для нелинейной обработки часть ответов приводится в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шаталов А.А.** Адаптивные алгоритмы многомерной нелинейной обработки сигналов и характеристики эффективности. Радиотехника и электроника, 2000, т.45, №3, С. 320-326.
2. **Акимцев В.В., Гринько С.В., Шаталов А.А., Ястребков А.Б.** О влиянии эффекта конечной разрядности весовых коэффициентов нелинейных адаптивных фильтров на качество обработки./ Радиотехника и электроника, 2000, т.45, №4, С.1-4.
3. **Шаталов, А.А.** Быстрые алгоритмы многомерной адаптивной выбеливающей фильтрации с использованием ТЧП./ Радиотехника и электроника. 1992. т.37. N 8. С.1456-1461.
4. **Шаталов А.А., Шаталова В.А.** Методы адаптивной обработки многомерных случайных процессов на основе теоретико-числовых и полиномиальных преобразований. Радиотехника, 2007, №8. С.30-37.

ADAPTIVE ALGORITHMS OF THE MULTIDIMENSIONAL DIGITAL NONLINEAR FILTRATION IN MODULAR ARITHMETICS

V.V. Labets, D.V. Mikheyev, V.A. Shatalova, A.A. Shatalov

The algorithm implementation of optimum data processing in modern radar systems is enabled by the digital filtration methods on the basis of special processors of the digital signal processing (DSP). In such case it is necessary to remember that at any representation of continuous variable numbers the error is introduced which is a consequence of approximation of variables by a finite number of figures.

This error depends on the number of the binary digit bits used at such a representation, a way of representation (with a fixed or floating comma), the way of representation of minus numbers and the method used to exclude the places exceeding the register length.

Influencing the final digit capacity effect of the representation of the filter weight coefficients and results of arithmetic operation performance occurs in the signal-to-noise ratio deterioration, and as a result, leads to reducing the correct detection probability and increasing the mean-square error (MSE) of the range/speed /radar angular coordinate measurement.

Especially it has an impact on paralleling the calculations and data processing adaptive algorithm implementation. Increasing the number of bits improves a situation partially, significantly complicating the special processor architecture and increasing the power consumption and the R&D schedule.

It is well known that the special-purpose calculators can carry out some arithmetic operations precisely, if the operand essence is the whole number. This fact compels to consider integer arithmetics as means to avoid the rounding errors to solve poor conditioned problems precisely. On the referenced principle the so-called number-theoretic and polynomial transformations (NTP and PT) were constructed.

To implement the multidimensional adaptive processing algorithms it is offered to use the modular arithmetics methods and to carry out parallel calculations without rounding errors.

The answers to the specified nonlinear processing questions are given in this work.

УДК 621.38, 621.6.677

АЛГОРИТМ РАЗРЕШЕНИЯ – ОБНАРУЖЕНИЯ НЕГАУССОВСКИХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ГАУССОВСКОГО ШУМА

© Авторы, 2014

В.В. Лабец, кандидат технических наук, доцент,
зам. начальника кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург
E-mail: vetalino@yandex.ru

В.А. Шаталова, кандидат технических наук, доцент,
зам. начальника кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург

Рассмотрена математическая постановка и возможные пути решения задачи определения числа сигналов, принимаемых от низколетящих объектов. Предполагается, что случайные сигналы подчиняются модифицированному вейбулловскому закону распределения вероятностей. Предложен двухэтапный алгоритм обработки, предполагающий: 1. Формирование оценки совокупности сигналов по критерию минимума СКО. 2. Оценивание ранга случайных процессов (СП), соответствующего полученной оценке.

Ключевые слова: определение числа целей, сигналы, разрешение, распределение Вейбулла, гауссовский шум.

There was considered mathematical statement and possible ways to solve the problem of defining the number of the signals received from low-flying objects. It is supposed that random signals are subordinate to the modified Weibull probability distribution law. There was presented the two-stage processing algorithm assuming the estimation formation of a set of signals by criterion of a minimum of the average squared error as well as estimating the RP rank corresponding to the received assessment.

Keywords: definition of target number, signals, resolution, Weibull distribution, Gaussian noise.

Рассмотрена математическая постановка и возможные пути решения задачи разрешения – обнаружения (определения числа сигналов), принимаемых от низколетящих объектов. Предполагается, что сигналы представляют собой многомерные узкополосные случайные процессы (СП) со случайной амплитудой, распределенной по закону Вейбулла и случайной равномерно распределенной фазой, получившие название модифицированных вейбулловских СП. В качестве аддитивного используется белый гауссовский шум (БГШ).

Показано, что существует несколько подходов к решению поставленной задачи, отличающихся применяемыми критериями оптимизации, объемом априорной информации о статистических характеристиках принимаемого векторного СП, получаемыми в результате характеристиками качества разрешения – обнаружения, сложностью выполнения обработки, чувствительностью к методам реализации, влиянием эффекта конечной разрядности представления чисел на качество обработки.

Доказано, что на первом этапе оптимальный алгоритм предполагает формирование нелинейной оценки совокупности сигналов по критерию минимума среднего квадрата ошибки (СКО) с помощью алгоритма многомерной нелинейной фильтрации. На втором этапе с помощью многомерного нелинейного фильтра выполняется оценивание порядковой кратности СП, соответствующего полученной нелинейной оценке. Порядковая кратность определяет тип СП и оценку числа сигналов с помощью решающего устройства, установленного на выходах второго нелинейного фильтра последовательно включенного за первым многомерным нелинейным фильтром. Решающее устройство осуществляет многопороговую проверку гипотез о порядковой кратности случайного процесса.

Упрощения обработки можно добиться в результате отказа от первого из двух многомерных нелинейных фильтров. Показано, что это приведет к существенному ухудшению качественных характеристик разрешения – обнаружения.

Следующий этап упрощения обработки состоит в линеаризации обработки за счет замены нелинейных фильтров линейными. Эта обработка будет оптимальной в случае приема сигналов с амплитудой, распределенной по закону Рэлея и равномерно распределенной фазой. Задача разрешения – обнаружения в указанном случае сводится к оценке ранга ковариационной матрицы линейной оценки совокупности сигналов, постановка и решение которой получены в [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ширман, Я.Д.** Разрешение и сжатие сигналов. / Я.Д. Ширман. – М.: Сов. радио, 1974. – 360 с.
2. **В.С.Давыдов, А.П.Лукошкин, А.А.Шаталов, А.Б.Ястребков.** Радиолокация сложных целей. Разрешение и распознавание. // Под ред. А.П.Лукошкина, А.А.Шаталова, А.Б.Ястребкова. – СПб.: Янис, 1993. – 280 с.
3. **Бачевский А.С., Бачевский С.В., Шаталов А.А., Шаталова В.А.** Математические модели сигналов, помех и шумов, принимаемых антенными системами в условиях многолучевого распространения электромагнитных волн. Труды Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию вуза «Системы и процессы управления и обработки информации» в 2 ч. – СПб.: СЗТУ, Институт системного анализа, автоматизации и управления, 2010. С. 83-92.
4. **Лабец В.В., Шаталова В.А.** Адаптивный алгоритм оценивания ранга случайных процессов и его применение к решению задачи разрешения-обнаружения многих целей./ – М.: Труды РТИ им. академика А.Л.Минца. Вып.2(46). 2010. – С. 85-96.

ALGORITHM OF RESOLUTION-DETECTION OF NONGAUSSIAN SIGNALS AGAINST A BACKGROUND GAUSSIAN NOISE

V.V. Labets, V.A. Shatalova

There was considered mathematical statement and possible ways to solve the problem of defining the number of the signals received from low-flying objects.

It is supposed that signals represent the multivariable narrowband random processes (RP) with the random amplitude distributed according to the Weibull law and a uniformly distributed random phase received the name of modified Weibull RP. As additive the white Gaussian noise (WGN) is used.

It was shown that there are some approaches to solving the set problem differing by the applied optimization criteria, the apriori information volume on the statistical characteristics of the received vectorial RP.

It was proved that at the first stage the optimum algorithm assumes forming the nonlinear assessment of a set of signals by the integral square error criterion by means of a multivariable nonlinear filtering algorithm.

At the second stage the RP ordinal ratio is estimated by means of a multivariable nonlinear filter. The ordinal ratio determines the RP type and the signal number estimation by the computing system carrying out the multi-threshold checking of RP ordinal ratio hypotheses.

The following stage of the processing simplification is in the processing linearizing due to nonlinear filter replacement with the linear one. This processing will be optimum in case of the signal receiving with an amplitude distributed according to the Rayleigh law and by a uniformly distributed phase. The resolution – detection problem reduces to the rank estimation of the linear assessment covariance matrix of a set of signals. This problem statement and decision were shown in «Radiolokation of the difficult purposes (resolution and recognition)», – SPb.: Yanis, 1993, p.280, performed by Davydov V. S., Lukoshkin A.P., Shatalova A.A., Yastrebkova A.B.

УДК 621.391:621.396

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ СВЕРХМАЛЫХ МОРСКИХ ЦЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КОГЕРЕНТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РЛС С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

© Автор, 2014

Е.А. Милащенко,
инженер-конструктор, ОАО «ОКБ «Новатор»
E-mail: mea_mail@mail.ru

Исследуются характеристики обнаружения когерентно-импульсной радиолокационной станции с высоким разрешением применительно к морским целям с малой эффективной поверхностью рассеяния. В результате моделирования с учётом технических параметров радиолокационной станции и условий радиолокационного наблюдения показано, что характеристики обнаружения при распространённой Гауссовской модели помех значительно оптимистичнее, чем характеристики обнаружения при наиболее адекватной негауссовской модели помех, основанной на К-распределении огибающей радиолокационных отражений.

Ключевые слова: морские помехи, К-распределение, распределение Рэлея, Гауссовские помехи, негауссовские помехи, характеристики обнаружения, когерентно-импульсная РЛС.

We research the characteristics of detection of the coherent pulse radar with high resolution in relation to maritime targets with low radar cross section. As a result of the simulation based on the technical parameters of radar and radar observation conditions shows that the detection performance under a common Gaussian noise model is much more optimistic than the detection performance at the most appropriate non-Gaussian noise model based on K-distribution of the envelope of the radar reflections.

Keywords: sea clutter, K-distribution, Rayleigh distribution, Gaussian clutter, non-Gaussian clutter, characteristics of detection, coherent pulse radar.

Известно, что для радиолокационных станций (РЛС) с низким разрешением под влиянием эффекта нормализации отраженного радиолокационного сигнала от взволнованной морской поверхности помехи имеют Гауссово распределение амплитуды. Однако, для радиолокатора с высоким разрешением эффект нормализации отсутствует, и помехи имеют негауссовскую структуру. Следовательно, необходимо использовать негауссовские модели помех для учета влияния их структуры на характеристики обнаружения РЛС с высоким разрешением.

Целью данной работы является оценка влияния Гауссовских и негауссовских радиолокационных помех от взволнованной морской поверхности на характеристики обнаружения целей со сверхмалой эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР) когерентно-импульсной РЛС с высоким разрешением.

Разработанная математическая модель когерентно-импульсного лоатора включает в себя доплеровский фильтр, пороговое устройство, а также учитывает условия окружающей среды и параметры лоатора. Учитываемые условия окружающей среды: удельная ЭПР морской поверхности, усредненная ЭПР цели и тип радиолокационной помехи. Учитываемые параметры РЛС: длительность импульса, частота несущей, размеры антенны, излучаемая импульсная мощность, количество накапливаемых импульсов, период повторения импульсов, доплеровский сдвиг принимаемого радиосигнала, вероятность ложной тревоги, высота антенны над уровнем моря и наклонная дальность до цели. В качестве Гауссовской модели помех использовалась помеха с Рэлеевской плотностью распределения огибающей, а в качестве негауссовской – помеха с К – распределением плотности вероятности огибающей, которая, как показано в современной зарубежной литературе, наиболее полно описывает структуру морских помех и ни каким образом не рассматривается в отечественной литературе.

В ходе исследования показано, что вероятность обнаружения объекта с малой ЭПР для помехи с Рэлеевской плотностью распределения вероятности огибающей выше, чем для помехи с К – распределением плотности вероятности огибающей при прочих равных условиях.

Таким образом, при проектировании РЛС, работающих по морским целям, следует учитывать модель основанную на К – распределении огибающей отраженного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Antipov I.** Estimation of a constant false alarm rate processing loss for a high-resolution maritime radar system / I. Antipov, J. Baldwinson. – Edinburgh.: Electronic warfare and radar division defense science and technology organization, 2008. – 85 p.
2. **Antipov I.** Simulation of sea clutter returns / I. Antipov. – Salisbury.: DSTO Electronic and surveillance research laboratory, 1998. – 71 p.
3. **Bocquet S.** Calculation of radar probability of detection in K-distributed sea clutter and Noise / S. Bocquet. – Canberra.: DSTO Science and technology organization, 2011. – 35 p.
4. **Ward K.** Sea clutter: scattering, the K distribution and radar performance / K. Ward, R. Tough, S. Watts. – 2nd edition. – Croydon.: CPI Group Ltd, 2013. – 586 p.
5. **Бакулев П.А.** Радиолокационные системы / П. А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
6. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В. В. Быков. – М.: Советское радио, 1971. – 328.
7. **Валеев В.Г., Вахрушев А.С.** Эффективность некогерентной компенсации пассивных помех в импульсно-когерентных РЛС // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2010. № 5. С. 55-60.

CHARACTERISTICS OF DETECTION OF THE MIDGET MARITIME TARGETS WITH RESPECT TO THE COHERENT PULS RADAR WITH HIGHT RESOLUTION

E.A. Milashchenko

It is known that for the radar with low resolution under the influence of the effect of normalization of the reflected radar signal from the rough sea surface clutter have a Gaussian amplitude distribution. However, for a high resolution radar effect of normalization is absent and clutter have non-Gaussian structure. Therefore, it is necessary to use non-Gaussian noise model to account for the impact of their structure on the characteristics of radar detection with high resolution.

The aim of this research is to assess the effect of Gaussian and non-Gaussian radar clutter from rough sea surface on the characteristics of detection of target with very small radar cross section for coherent pulse radar with high resolution.

The mathematical model of coherent-pulse radar includes a Doppler filter threshold device, as well as take into account the environmental conditions and the parameters of the radar. Taken into account the environmental conditions: specific radar cross section of sea surface, averaged radar cross section of target and the type of radar clutter. Recorded radar parameters: pulse duration, carrier frequency, antenna size, radiated pulse power, the number of accumulated pulses, pulse repetition period, the Doppler shift of the received RF signal, the probability of false alarm, antenna height above sea level and the slant range to the target. As a Gaussian clutter model was used clutter with the Rayleigh density distribution of the envelope, and as a non-Gaussian – clutter with K-probability density of the envelope, which is shown in modern foreign literature that best describes the structure of sea clutter, and in no way considered in the national literature.

The study shows that the probability of detecting an object with low radar cross section for clutter with Rayleigh probability density of the envelope is higher than for the clutter with K-probability density envelope, ceteris paribus.

Thus, the design of the radar operating at sea targets, and should be considered a model based on K - the distribution of the envelope of the reflected signal.