

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 621.396.96

Адхам Салим АЛЬМУАЗ

**ОБНАРУЖЕНИЕ – РАСПОЗНАВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ В
МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ С МНОГОЧАСТОТНЫМ ЗОНДИРУЮЩИМ
СИГНАЛОМ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

по специальности 05.12.04 – радиотехника, в том числе
системы и устройства радиолокации, радионавигации и телевидения

Минск, 2008

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: Шаляпин Сергей Валентинович,
кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник
НПРУП «Алевкурп»

Официальные оппоненты: Косачев Иван Михайлович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской части учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»;

Наумов Александр Олегович, кандидат физико-математических наук, заведующий сектором научного учреждения «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси»

Оппонирующая организация: Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь»

Защита состоится « 29 » мая 2008 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.02 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013 Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел.293-89-89, dissovet@bsuir.by

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В последние годы интенсивно ведутся исследования и разработки, направленные на создание многопозиционных РЛС (МПРЛС), в том числе с использованием многочастотного излучения. Такой повышенный интерес к МПРЛС объясняется тем, что они более эффективно используют информацию, заключенную в пространственных характеристиках электромагнитного поля, что позволяет существенно повысить информативность, помехозащищенность, живучесть и ряд других важных характеристик радиолокационных станций.

Совокупность разнесенных по пространству антенн приемных устройств образуют антенную систему с большой протяженностью апертуры, что позволяет наблюдать пространственные флуктуации отраженного от цели сигнала (пространственно-коррелированный портрет) или распределение блестящих точек на поверхности цели в картинной плоскости (картинный портрет). Многочастотный зондирующий сигнал (ЗС) может рассматриваться как широкополосный сигнал, позволяющий наблюдать флуктуации отраженного от цели сигнала по частоте (частотно-коррелированный портрет) или распределение блестящих точек на поверхности цели по ее радиальной протяженности (дальностный портрет). Длительное время наблюдения позволяет наблюдать флуктуации сигнала по времени, которые характеризуют размеры цели и особенности ее конструкции, а также характеристики ее движения в турбулентной атмосфере.

Возможность протяженного наблюдения цели по времени, пространству и частоте позволяет выделить из отраженного от цели сигнала объем информации, достаточный для принятия решения не только о наличии или отсутствии цели в определенной области пространства радиолокационного наблюдения, но и о ее классе. Однако в МПРЛС существует целый ряд препятствий, затрудняющих эффективную обработку и извлечение информации из пространственно-частотно-временного сигнала. Часть таких проблем, рассматриваемых в данной работе, связана с трудностями обеспечения долговременной пространственной и частотной когерентности между различными приемными и передающими позициями МПРЛС. При обработке сигнала отсутствие пространственно-частотной когерентности проявляется в виде априорной неопределенности относительно средней межэлементной разности фаз между отсчетами сигнала, полученных в различных позициях или при различных частотах.

В работе преодоление такой априорной неопределенности осуществляется как путем адаптации к средней межэлементной разности фаз, так и усреднением многомерного закона распределения принятого сигнала по априорно-неизвестной межэлементной разности фаз. После усреднения информация, заключенная в фазовых флуктуациях, теряется, однако сохраняется информация, заключаемая в амплитудных флуктуациях сигнала, которая может использоваться для принятия решения об обнаружении и распознавании класса цели.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы включена в научный план работы учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и соответствует современным тенденциям развития радиолокационной техники, направленных на создание и совершенствование многопозиционных радиолокационных систем.

Тема диссертационной работы выполнена в рамках ОКР по модернизации РЛС точного измерения координат, шифр «Печора-2М», выполняемой предприятием «АЛБЕКУРП», по заданию МФПГ «Оборонительные системы».

Цель и задачи исследования

Цель исследования: Повышение эффективности работы устройств обнаружения-распознавания в многопозиционных РЛС малой дальности, обрабатывающих регулярно-коррелированные радиолокационные портреты, в условиях непреодолимой априорной неопределенности относительно средней межэлементной разности фаз между отсчетами сигнала, полученных на различных несущих частотах или в разнесенных по пространству пунктах приема.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих алгоритмов обнаружения-распознавания целей в МПРЛС малой дальности в условиях отсутствия пространственно-частотной когерентности сигнала, определение научных проблем, препятствующих внедрению существующих алгоритмов в технические средства радиолокации. Обоснование направлений научных исследований.

2. Разработка математической модели радиолокационного портрета в многопозиционных системах малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом.

3. Решение задачи синтеза алгоритмов обнаружения-распознавания в многопозиционных системах малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом в условиях непреодолимой априорной неопределенности относительно средней разности фаз между элементами регулярно-коррелированного радиолокационного портрета.

4. Разработка методики анализа характеристик системы обнаружения-распознавания в многопозиционных системах малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом в условиях априорной неопределенности относительно средней межэлементной разности фаз и проверка работоспособности синтезированных алгоритмов путем моделирования принятых сигналов и устройств их обработки с подробным учетом конструктивных особенностей наблюдаемых целей и наличия коррелированного радиолокационного фона.

5. Разработка практических рекомендаций по структуре устройства обнаружения-распознавания в многопозиционной РЛС малой дальности.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель комбинированного радиолокационного портрета цели для синтеза устройства обнаружения-распознавания цели в многопозиционной радиолокационной системе с многочастотным зондирующим сигналом.

2. Методика синтеза асимптотически оптимального устройства обнаружения-распознавания цели в многопозиционной радиолокационной системе с многочастотным зондирующим сигналом, отличающаяся от известных усреднением многомерной плотности распределения вероятностей комплексных амплитуд комбинированного радиолокационного портрета по априорно-неизвестной межэлементной разности фаз, что позволяет в условиях отсутствия пространственной или частотной когерентности между разнесенными приемными позициями на 10...15% повысить среднюю вероятность правильного распознавания класса обнаруженной цели при снижении в 4...20 раз средней вероятности ложных решений.

3. Методика синтеза квазиоптимального устройства обнаружения-распознавания цели в многопозиционной радиолокационной системе с многочастотным зондирующим сигналом, отличающаяся от известных разбиением многомерного дискретного радиолокационного сигнала на пары и отказом от учета корреляции между сигналами, принадлежащими разным парам, что позволяет в условиях одновременного отсутствия пространственной и частотной когерентности между разнесенными приемными позициями на 9...12% повысить среднюю вероятность правильного распознавания класса обнаруженной цели при снижении в 3...11 раз средней вероятности ложных решений.

4. Методика статистического анализа характеристик обнаружения-распознавания класса цели в многопозиционной радиолокационной системе с многочастотным зондирующим сигналом, позволяющая с использованием метода математического моделирования оценить вероятности правильных и ложных решений об обнаружении и распознавании целей в различных помеховых условиях.

Личный вклад соискателя

Автором самостоятельно разработана математическая модель принятого сигнала, разработана методика анализа вероятностных характеристик обнаружения-распознавания на основе статистического и геометрического моделирования принятого сигнала и устройства его обработки, разработаны предложения по технической реализации разработанных в работе алгоритмов обнаружения-распознавания.

Работы, связанные с синтезом алгоритмов обработки регулярных амплитудно-коррелированных радиолокационных портретов, выполнены с участием научного руководителя кандидата технических наук доцента Шаляпина Сергея Валентиновича.

Исходные данные – цифровые записи сигналов, отраженных от целей различных классов, получены в ходе моделирования совместно с кандидатом технических наук, доцентом Горшковым Сергеем Анатольевичем – разработчиком программного комплекса моделирования обратного рассеяния воздушных целей: Radar Target Backscattering Simulation. Version 1.0. 2001. S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko, V.M. Orlenko, S.Yu. Sedyshev, Ya.D. Shirman и кандидатом технических наук Солонаром Андреем Сергеевичем.

Апробация результатов диссертации

Результаты диссертационных исследований докладывались на конференциях и семинарах.

1. Двенадцатая международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 18-20 апреля 2006.
2. Тринадцатая международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 17-19 апреля 2007.
3. 42-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Радиотехника и Электроника», Минск, БГУИР, 17-21 апреля 2006.
4. 43-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Радиотехника и Электроника», Минск, БГУИР, 9-14 апреля 2007.

Опубликованность результатов диссертации

Результаты исследований представлены в 6 опубликованных работах, в том числе: в 4 статьях в рецензируемых научных журналах Республики Беларусь, 2 материалах докладов конференций. Объем опубликованных материалов, соответствующих пункту 18 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь», составляет 1.31 авторских листа. Объем остальных публикаций – 0.99 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из титульного листа, оглавления, перечня обозначений, введения, общей характеристики работы, 5 глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и 6 приложений.

В первой главе приводится анализ литературы по теме диссертации, освещены основные научные проблемы, связанные с трудноустраняемой априорной неопределенностью относительно средней межэлементной разности фаз. Поставлены задачи для дальнейшего исследования. Во второй главе разрабатывается математическая модель регулярно-коррелированного комбинированного радиолокационного портрета, включающего в себя флуктуационный, частотно-коррелированный и пространственно-коррелированный одномерные портреты, и осуществляется его преобразование в спектральную область. В третьей главе осуществляется синтез двух алгоритмов обнаружения-распознавания в многопозиционных системах малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом, которые в отличие от известных алгоритмов сохраняют свою работоспособность при наличии априорно неизвестной разности фаз между элементами многомерного радиолокационного портрета. В главе 4 производится анализ ха-

рактических характеристик системы обнаружения-распознавания в многопозиционной системе малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом, построенной на основе синтезированных алгоритмов. Показаны преимущества и недостатки каждого из синтезированных алгоритмов. В главе 5 рассматриваются вопросы технической реализации. В заключение в краткой и обобщенной форме приводятся основные научные результаты, полученные в ходе проведенных исследований, и приводятся рекомендации по использованию результатов диссертации на практике.

Работа содержит 214 страниц, в том числе: 100 страниц текста основной части диссертации; 39 страниц иллюстраций и таблиц в основной части диссертации; 6 приложений на 53 страницах; библиографический список из 110 наименований, из них 6 публикаций автора, на 10 страницах; титульный лист, оглавление и список обозначений на 12 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ литературы по теме диссертации, который показал, что исследование, направленное на развитие теории и практики обнаружения-распознавания в МПРЛС многочастотным сигналом, является актуальной задачей. Показано, что одной из проблем, стоящей на пути широкого внедрения алгоритмов радиолокационного распознавания в технику МПРЛС, является труднопреодолимая априорная неопределенность относительно средней нерегулярно изменяющейся межэлементной разности фаз (СМЭРФ), а существующие решения этой проблемы не обеспечивают потенциально достижимой эффективности устройств обнаружения-распознавания.

Последовательно сформулированы задачи дальнейших исследований, в которых предлагается устранить априорную неопределенность относительно СМЭРФ путем усреднения многомерной плотности вероятности регулярно-коррелированных портретов по априорно-неизвестной разности фаз с сохранением полезной информации, заключенной только в амплитудных флуктуациях.

Во второй главе показано, что предложенная структура МПРЛС, содержащая Q импульсных передающих устройств с многочастотным ЗС, L многоканальных по частоте приемных устройств, настроенных на частоты передатчиков, устройство обработки радиолокационной информации, обеспечивает длительное время наблюдения цели, многочастотное излучение и разнесенность в пространстве, что позволяет выделить радиолокационный портрет (РЛП), в котором заключена информация о геометрических размерах цели, как в картинной плоскости, так и по ее радиальной протяженности.

Длительное время наблюдения позволяет выделять одномерный флуктуационный портрет (ФП), многочастотное излучение – одномерный частотно-коррелированный портрет (ЧКП), а разнесенность приемных позиций в пространстве – одномерный пространственно-коррелированный портрет (ПКП). Комбинация этих трех портретов образует трехмерный комбинированный

портрет, полученный при подсвете цели q -м передающим устройством, и представляющий собой дискретную комплексную выборку аддитивной смеси отраженного от цели сигнала и фона $\xi_q^{g0} = (\xi_{q11}^{g0}, \dots, \xi_{qnw}^{g0}, \dots, \xi_{qNWL}^{g0})^T$, характеризующую отраженный от цели g -го класса сигнал ($g = \overline{1, G}$, G – число распознаваемых классов цели), полученный в различных периодах повторения ($n = \overline{1, N}$), на различных частотах ($w = \overline{1, W}$) от одного передающего устройства, в нескольких разнесенных по пространству пунктах приема ($l = \overline{1, L}$).

Для строгого решения задач синтеза и анализа систем обнаружения-распознавания, для выявления закономерностей, связанных с адаптацией к априорно неизвестным параметрам сигнала, а также для осуществления геометрического моделирования были разработаны математические модели, как одномерных портретов, так и объединяющего их комбинированного портрета. Поэтому во второй главе работы описаны физические основы формирования этих портретов исходя из представления цели набором расположенных определенным образом блестящих точек, облучаемой зондирующим сигналом с определенным законом модуляции. Получено аналитическое выражение, описывающее отраженный от цели сигнал на выходе устройства внутрипериодной обработки

$$\xi_{n,w,l}(t) = \sum_{m=1}^{M_1} v_{m,n,w,l}(t) = \frac{T_0 \sqrt{2K_c}}{D_{u,n}^0 d_{u,n,l}^0} \times \times \sum_{m=1}^{M_1} \left[\sqrt{s_{m,n,l}} C^* \left(t - t_{m,n,l}, \Omega_{m,n,w,l}^{dc} \right) \exp \left(i \Omega_{m,n,w,l}^{dc} t \right) \exp \left(-i 2\pi f_{0w} t_{m,n,l} \right) \right], \quad (1)$$

где T_0 – длительность одиночного зондирующего сигнала, K_c – энергетический коэффициент, зависящий от мощности зондирующего сигнала, длины волны и коэффициентов усиления приемных и передающих антенн, $s_{m,n,l}$ – бистатистическая ЭОП m -й БТ в n -м периоде повторения, $D_{u,n}^0 (d_{u,n,l}^0)$ – дальность от передающего (приемного) устройства до цели, $t_{m,n,l}$ – время запаздывания отраженного от m -й блестящей точки сигнала на выходе ФОС l -го приемника относительно начала n -го периода повторения, $C(t, \Omega)$ – двумерная корреляционная функция (КФ) зондирующего сигнала, f_{0w} – w -я несущая частота зондирующего сигнала, $\Omega_{m,n,w,l}^{dc}$ – циклическая частота Доплера сигнала.

В этой же главе приведено статистическое описание отраженного от цели сигнала и радиолокационного фона в виде многомерного нормального закона распределения, получены корреляционные матрицы (КМ) как одномерных, так и комбинированного РЛП [1-А, 5-А]. При этом было показано, что одномерные РЛП являются регулярно-коррелированными, а их КМ являются теплицевыми матрицами, так как это проиллюстрировано на рисунке 1а.

Кроме того, в этой главе был рассмотрен эффект существенной декорреляции, который происходит с регулярно-коррелированными РЛП при их преобразовании в спектральную область, так как это показано на рисунке 1.б. При этом декорреляции подвержены не только одномерные, но и комбинированные портреты [1-А, 5-А]. Так на рисунках 1.в, 1.г, 1.д и 1.е показан процесс постепенной декорреляции сигнала после каждого этапа спектрального преобразования. Так после первого этапа спектрального преобразования, например, по времени исходная корреляционная матрица (рисунок 1.в) приобретает блочно-диагональный вид (рисунок 1.г), каждый блок которой описывает статистические свойства двумерного комбинированного пространственно-частотно-коррелированного портрета, а сам ФП преобразуется в спектральный портрет (СП). После второго этапа спектрального преобразования, например, по частоте корреляционная матрица преобразованного сигнала сохраняет блочно-диагональный вид, но уже с меньшим размером блока, каждый блок в такой матрице уже описывает статистические свойства одномерного пространственно-коррелированного портрета, а сам ЧКП преобразуется в дальностный портрет (ДП). После третьего этапа спектрального преобразования, например, по пространству корреляционная матрица преобразованного сигнала становится практически диагональной (рисунок 1.е), а сам ПКП преобразуется в картинный портрет (КП). При этом сигнал после такого трехмерного спектрального преобразования становится слабокоррелированным, что позволяет существенно упростить процедуры его обработки.

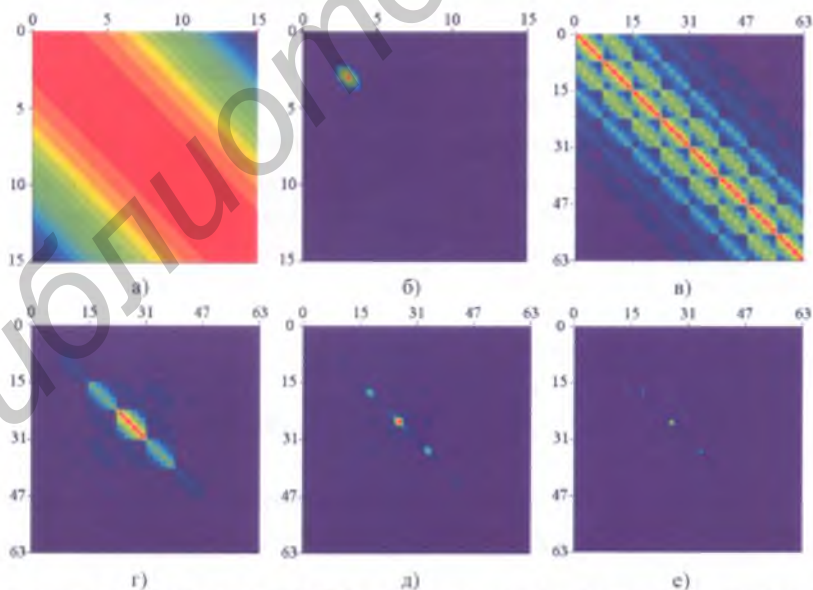


Рисунок 1 – Иллюстрация КМ регулярно-коррелированных сигналов

В третьей главе решалась задача синтеза двух алгоритмов обнаружения-распознавания в многопозиционных РЛС малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом в условиях априорной неопределенности относительно средней межэлементной разности фаз (СМЭРФ). В результате синтеза были получены два квазиоптимальных алгоритма обработки трехмерного регулярно-коррелированного портрета, включающего в себя флукуационный (ФП), частотно-коррелированный (ЧКП) и пространственно-коррелированный портреты (ПКП). Синтез производился в условиях априорной неопределенности относительно средних межэлементных разностей фаз одновременно во всех сечениях комбинированного портрета [1-А, 2-А, 5-А]. Для примера рассматривался конкретный случай, когда в сечении ФП и ЧКП средняя межэлементная разность фаз изменялась регулярно – по линейному закону, а в сечении ПКП средняя межэлементная разность фаз изменялась нерегулярно – по случайному закону.

При регулярном изменении СМЭРФ, априорная неопределенность преодолевалась путем перевода сигнала ξ^{g0} в спектральную область [1-А, 5-А], в которой изменение СМЭРФ приводит к циклическому смещению элементов портрета в спектральной области

$$\eta^{g0} = \overline{M'_{длф}} \cdot M''_{длф} \xi^{g0}, \quad (2)$$

где η^{g0} – комбинированный РЛП после двукратного ДПФ, $M'_{длф}$, ($M''_{длф}$) – матрицы спектрального преобразования первого (второго) этапа в сечении ФП и ЧКП;

После такого преобразования корреляционная матрица портрета η^{g0} , приобретает блочно-диагональный вид, проиллюстрированный рисунком 1.д.

Адаптация к СМЭРФ в сечениях ФП и ЧКП осуществляется в спектральной области при помощи известных процедур.

Блочный вид корреляционной матрицы портрета η^{g0} позволил решать задачу синтеза в условиях непреодолимой априорной неопределенности относительно СМЭРФ отдельно для каждого блока (для каждого сечения ЧКП), неогерентно объединяя сигналы на выходе устройств обработки каждого отдельного блока. Таким образом, в сечении ЧКП априорная неопределенность преодолевалась путем усреднения (интегрирования) закона распределения элементов портрета по межэлементной разности фаз [2-А]

$$p_{n,w}^{g0}(\rho_1, \dots, \rho_L) = \int_{-\pi}^{\pi} \dots \int_{-\pi}^{\pi} p_{n,w}^{g0}(\rho_1, \varphi_1, \dots, \rho_L, \varphi_L) d\varphi_1 \dots d\varphi_L, \quad (3)$$

где $p_{n,w}^{g0}(\rho_1, \varphi_1, \dots, \rho_L, \varphi_L)$ – плотность распределения портрета в пределах одного блока, относящегося к n -у элементу СП, w -у элементу ДП, ρ_i , φ_i – амплитуда и фаза i -го элемента вектора η^{g0} в пределах n , w -го блока, $p_{n,w}^{g0}(\rho_1, \dots, \rho_L)$ –

полученная в результате усреднения по межэлементной разности фаз плотность вероятности амплитудно-коррелированного портрета.

Для многоэлементного портрета с экспоненциальной корреляционной функцией удалось получить аналитическое выражение для усредненной по межэлементной разности фаз многомерной плотности вероятности. Кроме этого удалось получить выражение для многомерной плотности вероятности фона и составить отношение правдоподобия, составляющего основу алгоритма обработки амплитудно-коррелированного портрета [3-А, 6-А]:

$$z_g = \sum_{w=1}^W \sum_{n=1}^N \left\{ b_{1,g,n,w} \sum_{l=1}^L (\rho_{n,w,l}^{g0})^2 + b_{2,g,n,w} \sum_{l=2}^{L-1} (\rho_{n,w,l}^{g0})^2 + \sum_{l=1}^{L-1} \ln \left[I_0 \left(b_{3,g,n,w} \rho_{n,w,l}^{g0} \rho_{n,w,l+1}^{g0} \right) \right] \right\} + a_g, \quad (4)$$

где $b_{1,g,n,w} = \frac{1}{2\sigma_{0,n}^2} - \frac{1}{2(1-(r_0^{cx})^2)\sigma_{g,n,w,0}^2}$ – первый весовой коэффициент;

$b_{2,g,n,w} = -(r_0^{cx})^2 / 2(1-(r_0^{cx})^2)\sigma_{g,n,w,0}^2$ – второй весовой коэффициент;

$b_{3,g,n,w} = r_0^{cx} / \left[(1-(r_0^{cx})^2)\sigma_{g,n,w,0}^2 \right]$ – третий весовой коэффициент;

$a_g = L \sum_{w=1}^W \sum_{n=1}^N \ln \left\{ \sigma_{0,n}^2 / \left[\sigma_{g,n,w,0}^2 (1-(r_0^{cx})^2) \right] \right\}$ – смещение;

$\sigma_{g,n,w,0}^2$, $\sigma_{0,n}^2$ – дисперсии принятого сигнала и фона в n , w элементах портрета после двухэтапного преобразования в спектральную область в сечениях ФП и ЧКП, r_0^{cx} – модуль нормированного коэффициента межэлементной корреляции сигнала в сечении ПКП;

$I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Структурная схема устройства, реализующая (4) приведена на рисунке 2.

Схема содержит: устройство двумерного спектрального преобразования в сечениях ФП и ЧКП, устройство вычисления модуля и квадрата модуля сигнала, M каналов обработки, схему принятия решения.

Алгоритм (4), обладая относительной простотой, имеет ограничения, которые касаются, прежде всего, вида корреляционной функции пространственных (временных, частотных) флуктуаций и отношения сигнал/фон. Так корреляционная функция флуктуаций сигнала должна иметь экспоненциальную зависимость, а отношение сигнал/фон должно быть высоким. Необходимость экспоненциального вида КФ и высокого отношения сигнал/фон обусловлена требованием к специальному виду обратной КМ смеси сигнала и фона, которая должна иметь всего три значащие диагонали – главную и две соседние.

Кроме того, средняя межэлементная разность фаз может меняться нерегулярно сразу в двух из трех портретов, входящих в комбинированный РЛП и при дискретизации сигнала должен соблюдаться принцип эквидистантности.

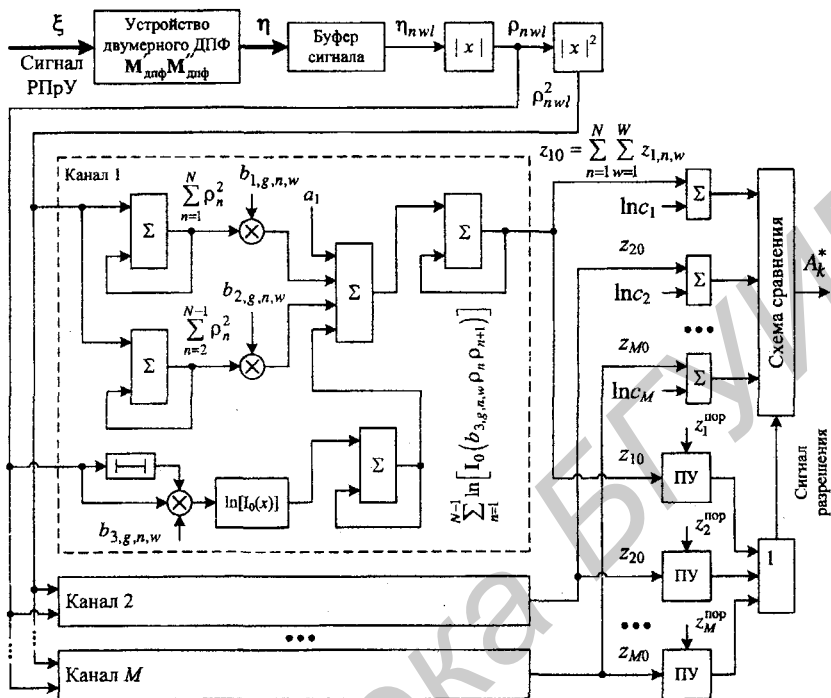


Рисунок 2 – Структурная схема устройства обнаружения-распознавания при априорно неизвестных средних разностях фаз между элементами РЛП при экспоненциальной корреляционной функции

Для преодоления указанных ограничений был разработан второй квази-оптимальный алгоритм обнаружения-распознавания по многомерным амплитудно-коррелированным портретам с попарным комплексированием элементов РЛП [3-А,6-А], отличающаяся от известных разбиением многомерного дискретного сигнала на пары и отказом от учета корреляции между сигналами, принадлежащим разным парам. Такой подход позволил сохранить работоспособность алгоритма при наличии априорно неизвестной разности фаз сразу в нескольких или во всех одновременно сечениях многомерного портрета, а также извлечь дополнительную информацию, содержащуюся в форме корреляционной функции сигнала, снять ограничения на отношение сигнал/шум. Принцип разбиения на пары заключается в представлении многоэлементного портрета совокупностью двухэлементных портретов, составленных из неповторяющихся пар элементов исходного многоэлементного портрета $\rho_{исх} = (\rho_1, \dots, \rho_L)^T$

$$\rho = \left(\left\{ \begin{matrix} \rho_1 \\ \rho_2 \end{matrix} \right\}, \left\{ \begin{matrix} \rho_1 \\ \rho_3 \end{matrix} \right\}, \dots, \left\{ \begin{matrix} \rho_1 \\ \rho_L \end{matrix} \right\}, \left\{ \begin{matrix} \rho_2 \\ \rho_3 \end{matrix} \right\}, \left\{ \begin{matrix} \rho_2 \\ \rho_4 \end{matrix} \right\}, \dots, \left\{ \begin{matrix} \rho_2 \\ \rho_L \end{matrix} \right\}, \left\{ \begin{matrix} \rho_{L-2} \\ \rho_{L-1} \end{matrix} \right\}, \left\{ \begin{matrix} \rho_{L-2} \\ \rho_L \end{matrix} \right\}, \left\{ \begin{matrix} \rho_{L-1} \\ \rho_L \end{matrix} \right\} \right)^T. \quad (5)$$

Представление (5) означает, что каждый из элементов исходного РЛП входит $L-1$ раз в состав нового портрета. Обработка такого портрета предполагает когерентное сложение сигналов только в двух элементах портрета, а на остальном интервале наблюдения по пространству (времени, частоте) предполагается некогерентное накопление сигнала [3-А,6-А]:

$$z_g = \sum_{w=1}^W \sum_{n=1}^N \sum_{l_1=1}^L \sum_{l_2=1}^L b_{1,g,n,w}^{l_1,l_2} \left((\rho_{n,w,l_1}^{g0})^2 + (\rho_{n,w,l_2}^{g0})^2 \right) + \ln \left[I_0 \left(b_{3,g,n,w}^{l_1,l_2} \rho_{n,w,l_1}^{g0} \rho_{n,w,l_2}^{g0} \right) \right] + a_{g,n,w}^{l_1,l_2}, \quad (6)$$

где $b_{1,g,n,w}^{l_1,l_2} = \frac{1}{2\sigma_{0,n}^2} - \frac{1}{2 \left(1 - (r_{0,l_1,l_2}^{cx})^2 \right) \sigma_{g,n,w,0}^2}$ – первый весовой коэффициент;

$b_{3,g,n,w}^{l_1,l_2} = r_{0,l_1,l_2}^{cx} / \left[\left(1 - (r_{0,l_1,l_2}^{cx})^2 \right) \sigma_{g,n,w,0}^2 \right]$ – третий весовой коэффициент;

$a_{g,n,w}^{l_1,l_2} = \ln \left\{ \left(\sigma_{0,n}^2 \right)^2 / \left[\left(\sigma_{g,n,w,0}^2 \right)^2 \left(1 - (r_{0,l_1,l_2}^{cx})^2 \right) \right] \right\}$ – смещение.

Структурная схема устройства, реализующая (6) подобна схеме, приведенной на рисунке 2. Отличия заключаются в структуре канала обработки, которая определяется выражением (6).

В четвертой главе для сравнения эффективности алгоритмов, полученных в результате синтеза, была разработана методика анализа вероятностных характеристик обнаружения-распознавания цели, основанная на статистическом моделировании радиолокационного портрета и устройств его обработки, позволяющая произвести расчет характеристик обнаружения-распознавания для целей [4-А]. Для определенности были выбраны цели следующих типов: 1 – ПРР “Харм” при ракурсах от минус 22,5 до 22,5 градусов относительно нормали к приемной системе МПРЛС, 2 – ПРР “Харм” при ракурсах от 67,5 до 112,5 градусов, 3 – вертолет АН-64 при любых ракурсах.

Для сравнения с вновь полученными алгоритмами, были исследованы характеристики 3-х известных алгоритмов обработки и алгоритма с попарным разбиением при известной СМЭРФ. Таким образом, сравнительному анализу были подвергнуты шесть алгоритмов.

1. Оптимальный алгоритм, при известной СМЭРФ (обозначение – “**Opt**”).
2. Алгоритм некогерентного накопления на всем интервале наблюдения (обозначение на графике – “**NC**”).
3. Алгоритм обработки портрета в спектральной области при известной СМЭРФ (обозначение на графике – “**Spectrum**”).
4. Алгоритм обработки амплитудного регулярно-коррелированного портрета при экспоненциальной корреляционной функции (обозначение – “**Amp**”).
5. Алгоритм обработки амплитудного портрета с попарным комплексированием элементов (обозначение на графике – “**2CA**”).

6. Алгоритм обработки комплексного портрета с попарным комплексированием элементов при известной СМЭРФ (обозначение на графике – “2С”).

Результаты расчетов показали [4-А,6-А], что потери при обработке одномерного 16-и элементного радиолокационного портрета, связанные с переходом в спектральную область, не превышают 1 дБ (рисунок 3). Потери при обработке одномерного РЛП, связанные с отказом от использования информации заключенной в фазовых флуктуациях сигнала, не превышают 5 дБ (рисунок 3), а потери при обработке 64-х элементного комбинированного РЛП не превышают 2.5 дБ (рисунок 4). Предложенные устройства обработки комбинированного РЛП сохраняют свою работоспособность в условиях интенсивных мешающих отражений при отношении помеха/шум 30 дБ, при этом потери в эффективности относительно оптимального алгоритма при полностью известных СМЭРФ составляют всего 1...2 дБ (рисунок 5).

Для оценки влияния на характеристики обнаружения-распознавания конструктивных особенностей целей разных типов, вращающихся и вибрирующих элементов конструкций цели и влияния турбулентной атмосферы на основе известной программы моделирования сигнала, созданной учеными Харьковской и Минской школ радиолокации для однопозиционной РЛС, была разработана методика геометрического моделирования устройства обработки многомерных регулярно-коррелированных портретов для многопозиционной РЛС. Данная методика подтвердила работоспособность полученных алгоритмов и позволила исследовать влияние ошибок адаптации к априорно неизвестным параметрам на характеристики обнаружения-распознавания.

Приведенные выше вероятностные характеристики для известных алгоритмов обработки РЛП были получены при отсутствии априорной неопределенности относительно СМЭРФ. В тоже время, вероятностные характеристики синтезированных в работе алгоритмов рассчитывались при наличии такой априорной неопределенности. Это позволило оценить потери в синтезированных алгоритмах. Эти потери являются “платой” за преодоление априорной неопределенности относительно СМЭРФ.

Для сравнения выигрыша предложенных в работе алгоритмов обработки портрета по сравнению с известными алгоритмами были проведены расчеты характеристик обнаружения-распознавания в условиях, когда все алгоритмы работали в условиях априорной неопределенности относительно СМЭРФ. В этих расчетах число элементов комбинированного РЛП, для которых априорная неопределенность относительно СМЭРФ отсутствует, было выбрано равным числу элементов РЛП, для которых такая неопределенность не устранена.

Результаты этих расчетов, проведенные в условиях непреодолимой априорной неопределенности относительно СМЭРФ (рисунок 6), показали, что:

асимптотически оптимальный алгоритм обработки (алгоритм 4) амплитудного регулярно-коррелированного портрета обеспечивает на 10...15% более

высокие потенциально достижимые средние вероятности правильных решений при уменьшении в 4...20 раз средней вероятности ложных решений;

квазиоптимальный алгоритм обработки (алгоритм 5) амплитудного портрета с попарным комплексированием элементов обеспечивает на 9...12% более высокие потенциально достижимые средние вероятности правильных решений при уменьшении в 3...11 раз средней вероятности ложных решений.

Вероятностные характеристики обнаружения-распознавания, рассчитанные методом геометрического моделирования, несколько ниже соответствующих характеристик, полученных методом статистического моделирования, из-за ошибок адаптации к априорно неизвестным параметрам сигнала и фона, проигрыш составил 1.5...3 дБ.

В пятой главе работы были рассмотрены вопросы практической реализации устройств на основе синтезированных в работе алгоритмов.

При решении задач синтеза алгоритмов обнаружения-распознавания по комбинированным портретам рассматривался единственный априорно-неизвестный параметр – средняя межэлементная разность фаз по одному из трех возможных сечений комбинированного портрета. Однако на практике существует еще целый ряд априорно-неизвестных параметров сигнала, к которым необходимо применять процедуры адаптации. Это случайная разность фаз ЗС и сигнала гетеродина при автономной работе передающего и приемного устройств, параметры радиолокационного фона, средняя межэлементная разность фазы отраженного сигнала в одном или двух сечениях комбинированного портрета, мощность отраженного от цели сигнала.

Для обеспечения работоспособности в состав устройства обнаружения-распознавания был включен целый ряд схем и алгоритмов адаптации

Так, например, введение устройства фазирования в составе многоканального устройства позволяет исключить непосредственную электрическую связь между передающим и приемным устройствами для обеспечения когерентности многочастотного сигнала, а устройства оценки параметров радиолокационного фона обеспечивают не только формирование корреляционных матриц эталонных портретов, но и могут формировать так называемую радиолокационную карту мешающих отражений, обеспечивающую формирование адаптивного порога обнаружения, что позволит стабилизировать уровень ложных тревог в многопозиционной РЛС.

Кроме этого, в целях сокращения вычислительных затрат в состав устройства было введен отдельный канал обнаружения сигнала.

В приложении приведены расчеты средней мощности передатчика для МПРЛС различного назначения, алгоритм моделирования принятого сигнала, характеристики ЗС, процесс декорреляции сигнала при его спектральном преобразовании, матрица преобразования комбинированного РЛП в спектральную область, акт о практическом использовании результатов исследования.

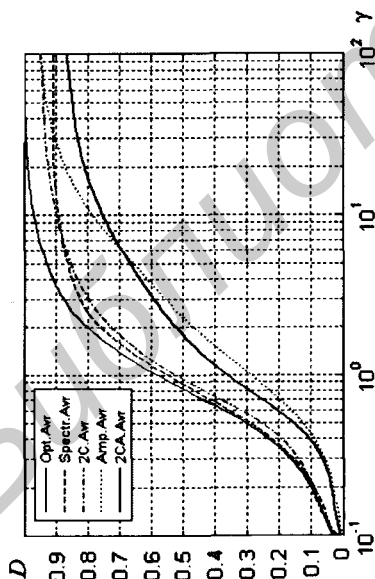


Рисунок 3 – Средние вероятности обнаружения-распознавания при обработке одномерного портрета

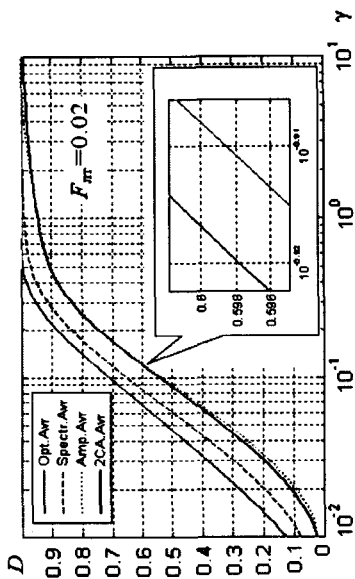


Рисунок 4 – Средние вероятности обнаружения-распознавания при обработке комбинированного портрета

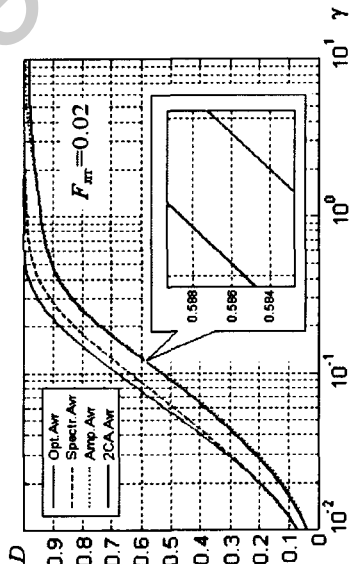


Рисунок 5 – Средние вероятности обнаружения-распознавания при обработке комбинированного портрета при наличии мешающих отражений

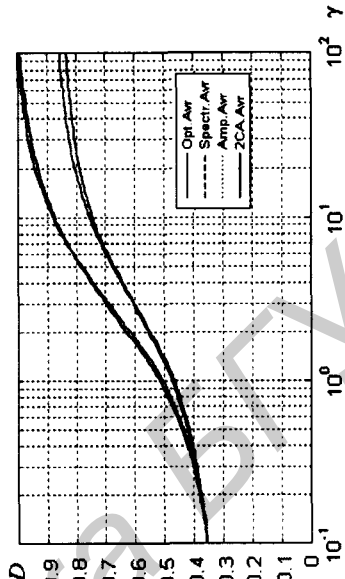


Рисунок 6 – Средние вероятности правильного распознавания при обработке комбинированного портрета в условиях априорной неопределенности относительно СМЭРФ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана математическая модель отраженного от цели сигнала [1-А, 5-А], которая описывает многомерную плотность вероятности и корреляционные матрицы отраженного от цели сигнала как в исходных координатах: времени, пространстве и несущей частоте ЗС, так и в координатах: доплеровская частота, дальность и угловые координаты, в которых может быть представлен отраженный сигнал после многомерного спектрального преобразования. Данная модель позволила вскрыть закономерности, связанные с эффектом существенной декорреляции регулярно-коррелированного сигнала при его спектральном преобразовании, и использовать данный эффект для существенного упрощения решения задачи синтеза устройства обработки сигнала в тех сечениях радиолокационного портрета, в которых априорная неопределенность относительно СМЭРФ может быть преодолена.

С другой стороны, модель [2-А, 5-А] описывает многомерную плотность вероятности дискретной выборки сигнала, каждый элемент которой подвергся процедуре амплитудного детектирования. Данная модель позволила описать корреляционные взаимосвязи различных элементов амплитудного радиолокационного портрета, положенные в основу синтеза алгоритма обработки портрета в тех сечениях радиолокационного портрета, в которых априорная неопределенность относительно СМЭРФ не может быть преодолена.

2. На основе математической модели сигнала впервые была получена методика синтеза асимптотически оптимального алгоритма обнаружения-распознавания цели по многомерным регулярным амплитудно-коррелированным портретам в условиях неустранимой априорной неопределенности относительно СМЭРФ [3-А, 6-А], отличающаяся от известных усреднением многомерной плотности распределения вероятностей комплексных амплитуд комбинированного радиолокационного портрета по априорно-неизвестной СМЭРФ.

Сочетание когерентной и некогерентной обработки сигнала обеспечило высокую эффективность подавления коррелированных по времени пассивных помех при применении многочастотного зондирующего сигнала.

Рассмотренная выше задача синтеза была решена при следующих ограничениях [3-А]: корреляционная функция флуктуаций сигнала в сечении радиолокационного портрета с неустранимой априорной неопределенностью относительно СМЭРФ должна описываться экспоненциальной зависимостью, при дискретизации сигнала в данном сечении портрета должен соблюдаться принцип эквидистантности, априорная неопределенность допускается только в одном сечении комбинированного портрета.

3. Для преодоления указанных выше ограничений была решена задача синтеза квазиоптимального алгоритма обнаружения-распознавания по многомерным амплитудно-коррелированным портретам с попарным комплексирова-

нием элементов радиолокационного портрета [3-А], отличающаяся от известных разбиением многомерного дискретного радиолокационного сигнала на пары и отказом от учета корреляции между сигналами, принадлежащим разным парам. Это позволяет сохранить работоспособность устройства в условиях одновременного отсутствия пространственной и частотной когерентности между разнесенными приемными позициями.

4. Для сравнения эффективности синтезированных устройств с известными устройствами, была разработана методика статистического анализа характеристик обнаружения-распознавания цели в МПРЛС с многочастотным зондирующим сигналом [4-А, 6-А], основанная на статистическом моделировании РЛП и устройств его обработки. Результаты расчетов, проведенные в условиях непреодолимой априорной неопределенности относительно СМЭРФ, показали, что в сравнении с известными алгоритмами:

асимптотически оптимальный алгоритм обработки амплитудного регулярно-коррелированного портрета обеспечивает на 10...15% более высокие потенциально достижимые средние вероятности правильных решений при уменьшении в 4...20 раз средней вероятности ложных решений;

квазиоптимальный алгоритм обработки амплитудного портрета с попарным комплексированием элементов обеспечивает на 9...12% более высокие потенциально достижимые средние вероятности правильных решений при уменьшении в 3...11 раз средней вероятности ложных решений.

Из-за отказа от использования информации, заключенной в фазовых флуктуациях сигнала, снижается эффективность предложенных алгоритмов обнаружения-распознавания. Потери эффективности определяются увеличением требуемого отношения сигнал/фон, при котором достигаются характеристики оптимального алгоритма при отсутствии априорной неопределенности относительно СМЭРФ.

При обработке 16-и элементного одномерного РЛП потери не превышают 5 дБ (3 раза), а при обработке 64-х элементного комбинированного портрета не превышают 2.5 дБ (1.8 раз). Предложенные устройства обработки комбинированного портрета сохраняют свою работоспособность в условиях интенсивных мешающих отражений при отношении помеха/шум 30 дБ (1000 раз), при этом потери в эффективности составляют всего 1...2 дБ (1.2...1.6 раз).

Для оценки влияния на характеристики обнаружения-распознавания атмосферы и конструктивных особенностей реальных целей была разработана методика геометрического моделирования устройства обработки многомерных регулярно-коррелированных портретов для МПРЛС, которая подтвердила работоспособность полученных алгоритмов при наличии ошибок адаптации к априорно неизвестным параметрам сигнала и радиолокационного фона. Расхождение результатов, полученных методами статистического и геометрического моделирования, не превышает 3 дБ (2 раза).

5. Разработаны практические рекомендации по структуре устройства обнаружения-распознавания в многопозиционной РЛС малой дальности.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные в диссертации алгоритмы могут быть использованы при разработке устройств обнаружения-распознавания: в однопозиционной РЛС с многочастотным сигналом, в многопозиционных РЛС с одночастотным сигналом и в многопозиционных РЛС с многочастотным сигналом.

В работе показано, что при практическом применении полученных в диссертации алгоритмов, в состав устройства необходимо включить целый ряд устройств и схем, производящих оценку априорно неизвестных параметров сигнала и фона для адаптивного формирования корреляционных матриц, описывающих эталонные радиолокационные портреты.

Полученные результаты использовались в ОКР по модернизации РЛС точного измерения координат, шифр «Печора-2М», выполняемой предприятием «АЛЕВКУРП», по заданию МФПГ «Оборонительные системы».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1-А АльМуаз, Адхам С. Модель радиолокационного портрета цели в РЛС малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом / Адхам С. АльМуаз., С.В. Шаляпин // Доклады БГУИР. – 2007.- №1(17). – С. 61 – 66.

2-А АльМуаз, Адхам С. Модель регулярно-коррелированного радиолокационного портрета при неизвестной межэлементной разности фаз / Адхам С. Аль Муаз., С.В. Шаляпин // Доклады БГУИР. – 2007. – №2(18). – С. 64–68.

3-А Аль Муаз, Адхам С. Устройства обработки амплитудных регулярно-коррелированных сигналов / Адхам С. Аль Муаз., С.В. Шаляпин // Доклады БГУИР. – 2007. – №3(19). – С. 43–49.

4-А АльМуаз, Адхам С. Анализ характеристик алгоритмов обнаружения-распознавания амплитудно-коррелированных сигналов / Адхам С. Аль Муаз, С.В. Шаляпин // Доклады БГУИР. – 2008. – №1(20). – С. 72–79.

Статьи в сборниках материалов конференций

5-А АльМуаз, Адхам С. Модель радиолокационного портрета цели в многопозиционных радиолокационных системах малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом / С.В. Шаляпин, Адхам С. Аль Муаз, А.А. Фирсаков // Радиолокация, навигация, связь: материалы XII междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 18–20 апреля 2006 г. – Воронеж, 2006. – С. 1507–1518.

6-А АльМуаз, Адхам С. Синтез и анализ алгоритмов обнаружения-распознавания амплитудно-коррелированных сигналов / С.В. Шаляпин, Адхам С. Аль Муаз // Радиолокация, навигация, связь: материалы XIII междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 17–19 апреля 2007 г., – Воронеж, 2007. – С. 39–50.

Выяўленне – распазнаванне паветраных мэт у мнагапазіцыйных радыёлакацыйных сістэмах малой далёкасці з мнагачастотным заздзіраваным сігналам

Ключавыя словы: алгарытм, апрыёрная нявызначанасць, імавернасць, канал апрацоўкі, радыёлакацыйны партрэт, размеркаванне, сінтэз, сістэма радыёлакацыйнага выяўлення – распазнаванне, характарыстыкі.

Мэта даследвання: Павышэнне эфектыўнасці працы ўстройстваў выяўлення – распазнавання ў мнагапазіцыйных РЛС малой далёкасці, якія апрацоўваюць рэгулярна-карэліраваныя радыёлакацыйныя партрэты, ва ўмовах адсутнасці прасторава-частотнай кагерэнтнасці.

Асноўныя навуковыя вынікі працы заключаюцца ў рашэнні задач сінтэза ўстройстваў выяўлення – распазнавання мнагамерных рэгулярна-карэліраваных сігналаў, якія працуюць ва ўмовах параметрычнай апрыёрнай нявызначанасці адносна сярэдняй міжэлементнай рознасці фаз. Рашэнне задачы ажыццяўляецца шляхам сінтэзу сістэмы выяўлення – распазнавання па крытэрыі Нэймана-Пірсана і баеўскім крытэрыям аптымальнасці. Апрыёрная нявызначанасць пераадоўвалася шляхам асераднення шматмернай шчыльнасці верагоднасці па міжэлементнай рознасці фаз.

У выніку рашэння задачы сінтэза атрыманы два алгарытмы апрацоўкі рэгулярна-карэліраваных сігналаў, якія выкарыстоўваюцца для прыняцця рашэння аб наяўнасці і класе мэты толькі інфармацыю, якая змяшчаецца ў амплітудных флуктуацыях сігнала. У сілу адказу ад інфармацыі, якая змяшчаецца ў фазавых флуктуацыях, дадзеныя алгарытмы захоўваюць сваю эфектыўнасць пры наяўнасці неадольнай апрыёрнай нявызначанасці адносна міжэлементнай рознасці фаз, тады як вядомыя алгарытмы поўнасцю яе страцілі.

Акрамя гэтага, у выніку праведзеных даследванняў прапанавана метадыка аналітычнага даследвання характарыстык выяўлення – распазнавання заснаваная на статыстычным і геаметрычным мадэліраванні рэгулярна-карэліраванага сігнала і ўстройстваў яго апрацоўкі. Праведзены разлік статыстычных характарыстык выяўлення і распазнавання. Распрацаваны прапановы па тэхнічнай рэалізацыі ўстройстваў на аснове сінтэзаваных у працы алгарытмаў. Прапануючыя структуры сістэм выяўлення – распазнавання могуць быць адносна проста рэалізаваны і ўкаранены ў сучасныя радыёлакацыйныя сродкі.

РЕЗЮМЕ

Адхам Салим АЛЬМУАЗ

Обнаружение – распознавание воздушных целей в многопозиционных радиолокационных системах малой дальности с многочастотным зондирующим сигналом

Ключевые слова: алгоритм, априорная неопределенность, вероятность, канал обработки, радиолокационный портрет, распределение, синтез, система радиолокационного обнаружения-распознавания, характеристики

Цель исследования. Повышение эффективности работы устройств обнаружения-распознавания в многопозиционных РЛС малой дальности, обрабатывающих регулярно-коррелированные радиолокационные портреты, в условиях отсутствия пространственно-частотной когерентности.

Основные научные результаты работы заключаются в решении задач синтеза устройств обнаружения-распознавания многомерных регулярно-коррелированных сигналов, работающих в условиях параметрической априорной неопределенности относительно средней межэлементной разности фаз. Решение задачи осуществляется путем синтеза системы обнаружения-распознавания по критерию Неймана-Пирсона и байесовским критериям оптимальности. Априорная неопределенность преодолевалась путем усреднения многомерной плотности вероятности по межэлементной разности фаз.

В результате решения задачи синтеза получены два алгоритма обработки регулярно-коррелированных сигналов, использующих для принятия решения о наличии и классе цели только информацию, которая содержится в амплитудных флуктуациях сигнала. В силу отказа от информации, которая содержится в фазовых флуктуациях, данные алгоритмы сохраняют свою эффективность при наличии непреодолимой априорной неопределенности относительно межэлементной разности фаз, тогда как известные алгоритмы полностью ее теряли.

Кроме этого, в результате проведенных исследований предложена методика аналитического исследования характеристик обнаружения-распознавания основанная на статистическом и геометрическом моделировании регулярно-коррелированного сигнала и устройств его обработки. Проведен расчет статистических характеристик обнаружения и распознавания. Разработаны предложения по технической реализации устройств на основе синтезированных в работе алгоритмов. Предлагаемые структуры систем обнаружения-распознавания могут быть относительно просто реализованы и внедрены в современные радиолокационные средства.

SUMMARY

Adham Salim Mouaz

Aerial target detection-recognition in multiposition short range radar systems with multifrequency probing signal

Key words: Algorithm, aprioristic uncertainty, probability, processing channel, radar portrait, distribution, synthesis, radar detection-recognition system, characteristics.

Primary purpose of research: Operation efficiency increasing of detection-recognition devices, processing regular-correlated radar portrait in conditions of spatial-frequency coherence absence in multiposition (multistatic) short range radar systems.

The basic scientific results of work consist in a problem solving of a synthesis of devices of detection-recognition of the multidimensional regular-correlated signals working in conditions of parametric aprioristic uncertainty of an average interelement phase difference.

The solution of a problem is carried out by a system synthesis of detection-recognition by Neumann-Пирсона and Bayes optimization criterion. Aprioristic uncertainty was overcome by averaging multidimensional probability density on an interelement phase difference.

As a result of the solution of a synthesis problem, two processing algorithms of regular-correlated signals, which are using only the information in amplitude fluctuations of signal for decision making about presence and the target's class, are gained.

Owing to refusal of the information which contains in the phase fluctuations, the given algorithms keep their efficiency at presence of insuperable aprioristic uncertainty of interelement difference of phases whereas known algorithms completely lost it.

In addition, as a result of the lead researches the technique of analytical research of characteristics of detection-recognition based on statistical and geometrical modeling of the regular-correlated signal and their processing devices is offered.

Calculation of statistical characteristics of detection and recognition is lead.

Offers of technical realization of devices on the basis of the synthesized algorithms in work are developed.

Offered structures of detection-recognition systems can be rather simply realized and introduced in modern radar means.

Научное издание

АДХАМ САЛИМ АЛЬМУАЗ

**ОБНАРУЖЕНИЕ – РАСПОЗНАВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ В
МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ С МНОГОЧАСТОТНЫМ ЗОНДИРУЮЩИМ
СИГНАЛОМ**

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**по специальности 05.12.04- радиотехника, в том числе
системы и устройства радиолокации, радионавигации и телевидения**

Подписано в печать 23.04.2008.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,3.

Формат 60×84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 60 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,4.
Заказ 241.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6