

***Тема: Обнаружение объектов по последовательности радиолокационных кадров***

***Цель: исследования состоит в синтезе методов и алгоритмов обнаружения сигналов отраженных от объектов в сложной помеховой обстановке, в условиях априорной неопределенности геометрических параметров этих объектов.***

***Основные решаемые задачи:***

- 1. Обнаружение объектов в сложной помеховой обстановке.***
- 2. Предложить методы оконтуривания отметок от объектов.***
- 3. Разработка программного обеспечения для проведения исследований.***
- 4. Сравнить разработанные методы и вынести рекомендации по их использованию***

***Руководитель работ, к.т.н.***

***Жеребятьев Д.П.***

***Харьков 2008 г.***

Совершенствование радиотехнических систем (РТС) различного назначения, расширение их функциональных возможностей, основанное на развитии микроэлектроники и цифровой техники привело к широкому привлечению для решения задач синтеза и анализа систем обработки нового для них математического аппарата.

Среди радиотехнических средств, применяемых в современных автоматизированных системах управления, радиолокаторы занимают особое положение, поскольку являются основными источниками информации об окружающей обстановке для диспетчеров службы движения. Потребители радиолокационной информации предъявляют к РЛС различные, зачастую противоречивые требования, удовлетворить которые можно только с помощью различных РЛС.

Общим при работе всех этих РЛС является воздействие пассивных помех, представляющих собой отражения от подстилающей поверхности, гидрометеоров (облака, дождь, туман и т.д.) и сосредоточенных местных предметов, как правило, искусственного происхождения (инженерные сооружения, здания, трубы заводов и т.д.).

Пассивные помехи в общем случае нестационарных во времени и неоднородны в пространстве, их мощность может намного превышать мощность полезного сигнала.

Обнаружение движущихся объектов на фоне пассивных помех является одной из важнейших проблем, с которыми приходится сталкиваться при разработке РЛС различного назначения.

Традиционно проблему СДЦ связывали с разработкой устройств режекции пассивной помехи. Однако с появлением высокоэффективных устройств подавления пассивных помех (в первую очередь, цифровых) стало очевидно,

что без обеспечения линейной обработки сигналов в трактах РЛС, предшествующих тракту СДЦ, добиться высокой надёжности обнаружения не удаётся.

Другим существенным моментом, связанным с повышением эффективности РЛС, являются правильная оценка помеховой обстановки и как можно более точное определение статистических характеристик помех. Нельзя не учитывать такой фактор, влияющий на эффективность работы СДЦ, как аппаратные нестабильности различных трактов РЛС.

Устройствами СДЦ называются устройства обработки, осуществляющие разделение сигналов от движущихся целей и от мешающих отражений с учётом различий их спектральных характеристик.

Поэтому перспективным является создание адаптивных РЛС. Адаптивная РЛС должна решать задачу анализа и оценки помеховой обстановки и автоматически реагировать на её изменения.

Для обеспечения такого режима рабочая область РЛС должна разбиваться на отдельные зоны. Информация о помеховой обстановке в каждой из них записывается в карту помех.

Все радиолокационные станции селекции движущихся целей (рис.1) разделяются по принципу работы на две группы: когерентные и некогерентные.

В когерентных РЛС для селекции движущихся целей применяется принцип сравнения на фазе отражённых сигналов с опорным. При когерентности этих колебаний разность фаз сигналов, отражённых от неподвижных целей, с течением времени меняться не будет, а разность фаз сигналов, отражённых от движущихся целей, будет функцией времени. Выявляя эти различия с помощью фазового детектора, можно отселектировать (выделить) полезные сигналы движущихся целей с помощью специального фильтра.

Некогерентные РЛС используют для выделения движущихся целей не фазовую структуру на несущей частоте, а смещение огибающей сигнала за значительный промежуток времени (кадр).

В предлагаемой работе решение этой задачи рассматривается в рамках методов оптимального радиоприёма радиолокационных сигналов. Рассматривается оптимизация обработки принятого сигнала и формирование характеристик обнаружителей ()вер ложной тревоги и правильного обнаружения.

Уравнение наблюдения (модель сигнала на выходе антенны) запишем в виде

$$\vec{u}(t) = \text{Re} \vec{S}(t, \vec{\lambda}(\vec{r})) \exp(j\omega_0 t) + \vec{n}(t);$$

где  $\vec{S}(t, \cdot)$  - комплексная амплитуда полезного сигнала, отраженного от поверхности и принятого антенной

$$\vec{S}(t, \vec{\lambda}(\vec{r})) = \int_D \vec{F}(\vec{r}) \dot{S}_0(t, \vec{r}) d\vec{r},$$

$\vec{F}(\vec{r})$  - комплексный коэффициент рассеяния элемента поверхности  $d\vec{r} = dx dy$ ,  $\dot{S}_{0k}(t, \vec{r})$  - комплексная огибающая единичного сигнала, рассеянного элементом  $d\vec{r}$  с коэффициентом рассеяния  $\vec{F}(\cdot) = 1$  (совпадает со структурой опорного сигнала);  $n_k(t)$  - совокупность независимых между собой белых шумов (помех);

Оптимальная оценка при отсутствии априорных сведений о изображении поверхности по методу максимального правдоподобия (при условии, что аддитивный шум - нормальная стационарная дельта-коррелированная помеха с равномерной спектральной интенсивностью  $N_0$  в полосе частот, занимаемых принимаемым сигналом) находится по максимуму функционала:

$$p[u(t) / \vec{F}(\vec{r})] = C \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \int_0^T [u(t) - \text{Re} \int_D \vec{F}(\vec{r}) \dot{S}_R(t, \vec{r}) d\vec{r}]^2 dt \right\}$$

Решение находится из вариационного уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \ln p[u(t) / \hat{F}(\vec{r}) + \alpha \dot{\gamma}(\vec{r})] \Big|_{\alpha=0} = 0 ,$$

где  $\dot{\gamma}(\vec{r})$  - некоторая произвольная функция;  $\hat{F}(\vec{r})$  - оптимальная оценка в рамках данного метода. Максимум функционала **Ошибка! Источник ссылки не найден.** соответствует минимуму функционала

$$Q = \int_0^T [u(t) - \operatorname{Re} \{ \int_D \hat{F}(\vec{r}) \dot{S}_R(t, \vec{r}) d\vec{r} \}]^2 dt .$$

То есть решения **Ошибка! Источник ссылки не найден.** эквивалентны решениям:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} Q[u(t) / \hat{F}(\vec{r}) + \alpha \dot{\gamma}(\vec{r})] \Big|_{\alpha=0} = 0 .$$

Решая последнее уравнение, получим, что

В качестве первичных изображений поверхности обычно принимают либо действительную и мнимую часть комплексного выходного эффекта РЛС, т.е.  $\operatorname{Re} \dot{Y}(\mathbf{r})$  и  $\operatorname{Im} \dot{Y}(\mathbf{r})$ , либо модуль этой функции

$$|\dot{Y}(\mathbf{r})| = \sqrt{[\operatorname{Re} \dot{Y}(\mathbf{r})]^2 + [\operatorname{Im} \dot{Y}(\mathbf{r})]^2} , \quad (0.1)$$

либо квадрат модуля  $|\dot{Y}(\mathbf{r})|^2$

изображениях. Формируется радиолокационное изображение (РЛИ) на основании алгоритма описанного во втором разделе дипломной работы. Требуется обнаружить и распознать на нем объекты вид которых не известен, более яркие, чем подстилающая поверхность. Такая задача возникает, например, при решении задач регулирования движением с помощью диспетчерских пунктов, охраны территории и других задач. Разрешение РЛИ таково, что объекты имеют размер в несколько пикселей.

Распознавание отдельных объектов при таких размерах затруднено, поэтому в качестве выбираются объекты, встречающиеся группами с некоторой структурой, т.е. занимающий несколько смежных элементов разрешения как по дальности так и по азимуту. При этом задачу можно разбить на три этапа: обнаружение точечных объектов (ТО), группирование обнаруженных ТО в групповые объекты (ГО) и распознавание полученных ГО.

В делее в работе рассматривается этап – обнаружение на основании. Если рассматривать сигнал, отраженный от объектов как полезный, а от подстилающей поверхности - как помеху, то получим классическую задачу обнаружения сигнала на фоне помех. У РЛИ есть особенности, затрудняющие обнаружение. Это наличие спекл-шума (мультипликативного шума) и сильная неоднородность подстилающей поверхности, т.е. изменение ее статистических характеристик на различных участках РЛИ. При этом отношение сигнал/шум для многих объектов составляет всего 10-20 дБ. В настоящей работе рассматривается схема обработки РЛИ (рис. 3.1), позволяющая в указанных условиях обнаруживать объекты с высоким качеством. Из литературы (например, [12]) известно множество алгоритмов как и собственно обнаружения, так и фильтрации. Однако многие разрабатывались для оптических изображений и не все пригодны для решения имеющейся задачи. В работе рассмотрены варианты алгоритмов для получения оптимальной схемы обработки.

Модель поверхности задается в виде зависимости удельной ЭПР от пространственных координат (азимут-дальность); число дискрет соответствует Greyscale-BMP (256 отсчетов) и задается файлом Image.bmp (в программе соответствующая матрица ЦЭПР обозначена PovD); эта модель показана ниже на рисунке 1; аналогично задаются модели кораблей (файл Targets. bmp), – в программе соответствующая матрица ЦЭПР обозначена Targets, – показанная на рисунке.

При моделировании полагалось, что поверхность состоит из совокупности независимых отражателей со случайными коэффициентами отражения. Размеры отражателей полагались значительно меньше интервала разрешения РЛС. Это позволило, по крайней мере, для визуального анализа эффективности работы различных алгоритмов обработки сигналов представить коэффициент отражения

$\dot{F}(\vec{r})$  поверхности в виде двух дискретных последовательностей случайных независимых отсчетов, соответствующих квадратурным компонентам  $\text{Re } \dot{F}$  и  $\text{Im } \dot{F}$ . Сигнал получен в виде свертки этих последовательностей с сигналом, имеющим форму зондирующих импульсов.

ЭМП, отраженное от объектов в случае отсутствия гидрометеоров представляет собой детерминированный сигнал; при наличии гидрометеоров – случайный процесс, первый статистический момент которого изменяется в соответствии с изменением УЭПР корабля, второй статистический момент – в соответствии с изменениями УЭПР гидрометеоров.

На рис. 3.6. представлена усредненная оценка удельной ЭПР поверхности, без кораблей, полученная путем статистического усреднения по ансамблю реализаций (рассматривается круговая РЛС).

Традиционно задача обнаружения решается с помощью порогового обнаружения по критерию Неймана-Пирсона. При этом оцениваются параметры распределения подстилающей поверхности и порог выбирается таким образом, чтобы при отсутствии полезного сигнала вероятность ЛТ не превышала заданного малого уровня. Для учета локальных особенностей параметры оцениваются в пределах некоторого окна, согласованного по размерам с искомыми объектами. Все изображение обрабатывается путем последовательного движения окна по изображению и сравнения с порогом.

Выбор порога на этапе адаптации, учет информации о подстилающей поверхности, позволил повысить качественные показатели обнаружителя, вероятность правильно обнаружения и ложной тревоги:

Наличие гидрометеоров существенно усложняет задачи обнаружения объектов, для их обнаружения необходимо использовать алгоритмы с учетом характера отражения от водной поверхности и гидрометеоров. При обработке входного сигнала желательно применять как внутрипериодную, так и межпериодную обработку (что соответствует двумерным окнам операторов обработки изображений). Именно такая обработка позволяет использовать полученную информацию наиболее полно и, в частности, производить операции обнаружения объектов с учетом их положения и ориентации.

Хорошие результаты оконтуривания объектов дает алгоритм вычисления квадратов градиента сглаженных изображений так как при достаточно малом объеме вычислений обеспечивается оконтуривание всех кораблей, находящихся в пределах зоны обзора радиолокатора. Однако при использовании этого алгоритма для обнаружения объектов желательно предусмотреть систему ВАРУ, так как в противном случае объекты, расположены дальше от радиолокатора будут видны хуже, чем объекты, расположенные ближе к нему.