

## **СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ МАЛОЗАМЕТНЫХ ЦЕЛЕЙ ПРИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ**

Существующие радиолокационные средства не позволяют качественно осуществлять обнаружение и сопровождение объектов, имеющих малую эффективную площадь отражения. Рассматривается метод обнаружения траекторий, основанный на статистической обработке параметров отметок радиолокационных средств при фиксированном числе обзоров, а также метод стробирования зоны ответственности центра обработки радиолокационной информации

**эффективная площадь отражения, обработка радиолокационной информации, статистическое обнаружение, малозаметные цели, коэффициент перекрытия зоны, статистическая обработка**

### **Постановка проблемы**

Опыт локальных войн и конфликтов [1-3] свидетельствует, что они характеризуются широким применением авиации. При этом она выступает в качестве главной ударной силы. В условиях абсолютного доминирования и отсутствия противовеса военному потенциалу НАТО возникает тенденция трансформирования современной военной стратегии Запада от ориентации на масштабные общевойсковые операции к преимущественному применению воздушно-ракетных ударов. С оборонной точки зрения, расширение роли авиации в современной войне должно сопровождаться адекватным развитием средств радиотехнической разведки, РЭБ и ПВО. При этом особое место занимает борьба с воздушными целями, имеющими малую эффективную площадь отражения (крылатые ракеты, ДПЛА и т.п.). Современные средства обнаружения воздушных целей не всегда позволяют качественно осуществлять сопровождение траекторий таких объектов, поскольку отметки от малозаметных целей появляются нерегулярно и носят вероятностный характер [4]. Таким образом, необходимо разработать методы, позволяющие осуществлять обнаружение траекторий малозаметных целей (МЗЦ) по разовым отметкам РЛС.

Одним из перспективных методов повышения

качества обнаружения и сопровождения МЗЦ может являться статистическая обработка отметок от воздушных объектов, по которым невозможно обнаруживать и сопровождать траектории непосредственно по измерениям РЛС. Эту задачу целесообразно решать в центрах обработки радиолокационной информации (ЦОРИ), которые имеют возможность получения радиолокационной информации одновременно от нескольких РЛС. При этом необходимо решить следующие подзадачи:

- стробирование зоны ответственности ЦОРИ;
- собственно обнаружение траекторий МЗЦ на основе статистического анализа параметров отметок, находящихся в стробе;
- оценка параметров траектории и экстраполяция положения МЗЦ с целью ее перехвата.

### **Анализ известных достижений**

В статье [5] был рассмотрен алгоритм статистического обнаружения траекторий МЗЦ, а в работе [6] - предложена концепция одного из возможных методов стробирования круговой зоны обзора РЛС.

### **Выделение нерешенной проблемы**

Для создания действующей компьютерной модели и полного анализа предлагаемого метода стати-

стического обнаружения МЗЦ необходим четкий алгоритм предложенного метода стробирования зоны ответственности ЦОРИ.

### Цель работы

Так как стробирование зоны обзора является неотъемлемой частью алгоритма статистического обнаружения МЗЦ, определим область применения разрабатываемого метода.

### Основная часть

Предлагаем алгоритм специального программного обеспечения ЦОРИ (рис. 1).

К отметкам, обрабатываемым в алгоритме, относятся:

- отметки, по которым не завязана траектория;
- конечные отметки снимаемых с сопровождения траекторий.

Для начала статистического анализа требуется не менее трех фиксированных временных интервалов функционирования ЦОРИ. Однако, поскольку вероятность обнаружения МЗЦ составляет менее 0.5, число анализируемых интервалов должно находиться в пределах 8 – 16.

Отметки, не принадлежащие ни к одной из сопровождаемых траекторий, накапливаются в отдельном массиве. Размерность массива определяется числом анализируемых интервалов. Содержимое массива накопления данных обновляется при поступлении новых данных. При обнаружении траектории запоминаются ее параметры, а отметки, принадлежащие ей, не рассматриваются при дальнейшем анализе. Это исключает возможность завязывания ложных траекторий по отметкам, принадлежащим ранее обнаруженным траекториям. По окончании анализа зоны ответственности ЦОРИ осуществляется переход к фазе накопления данных следующего интервала.

При статистическом анализе отметок, вошедших

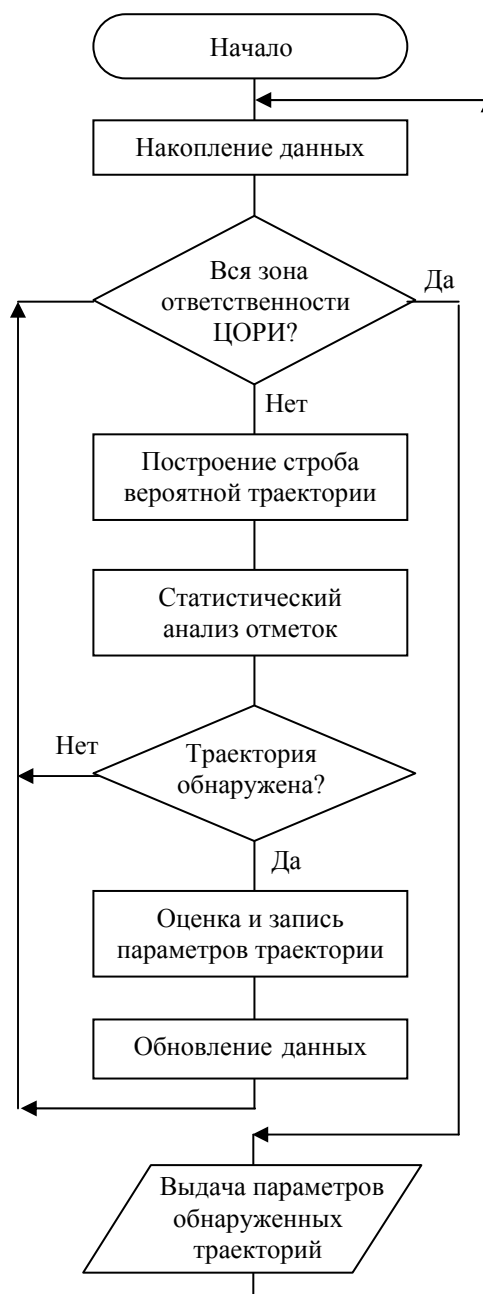


Рис. 1. Алгоритм обнаружения траекторий малозаметных целей

в рассматриваемый строб обнаружения, осуществляется их проверка по критериям наличия траектории. Эти критерии основаны на задаваемых предельных значениях скорости воздушной цели. Дополнительно может быть введен критерий по заданной величине изменения высоты. Собственно статистический анализ реализуется методом наименьших квадратов [7, 8] и позволяет получить сглаженные и экстраполированные параметры обнаруженной траектории.

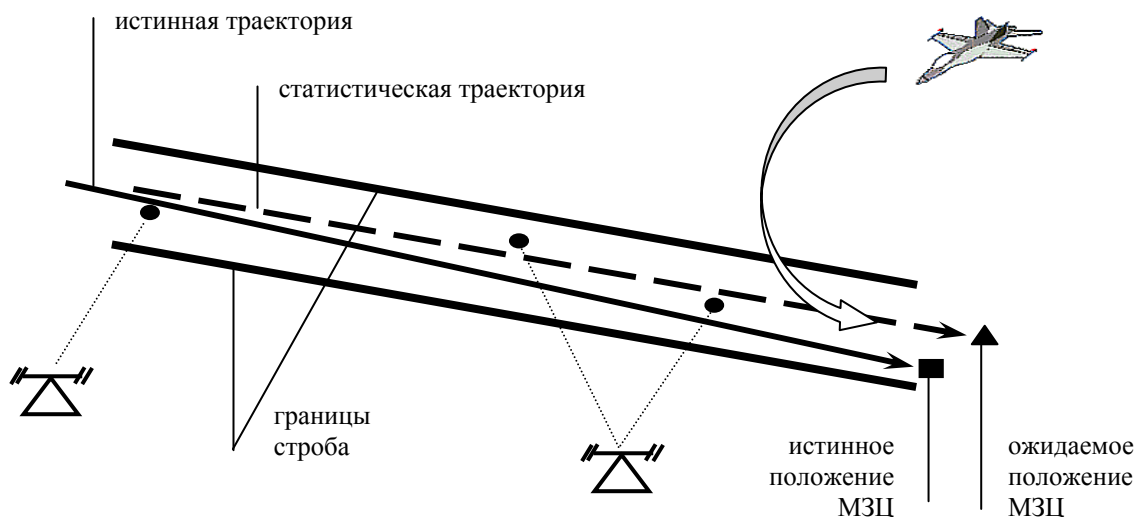


Рис. 2. Обнаружение статистической траектории малозаметной цели

Таким образом, по отметкам от нескольких РЛС (рис. 2) в ЦОРИ посредством предложенного метода может быть обнаружена статистическая траектория МЗЦ. Получаемое экстраполированное положение МЗЦ близко к истинному положению цели и позволит истребителю, находящемуся в зоне дежурства, выйти в ожидаемый район перехвата, обнаружить цель имеющимися бортовыми средствами обзора и уничтожить ее.

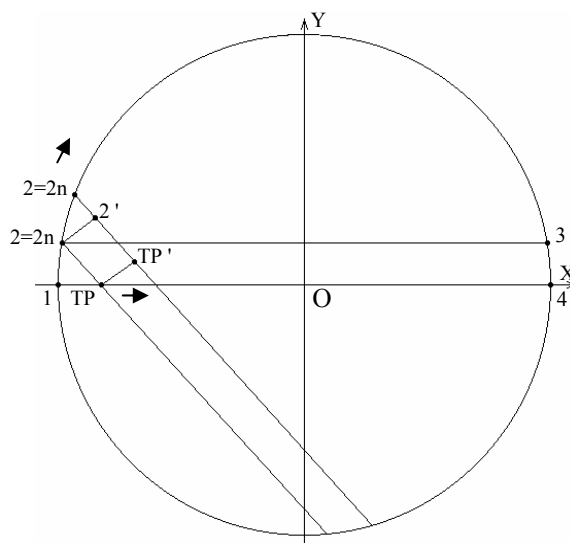
Наиболее трудоемкой при реализации предлагаемого метода является задача построения стробов обнаружения траекторий в зоне ответственности ЦОРИ. Поскольку анализируемые отметки от МЗЦ имеют статистический характер, формируемые стробы должны обеспечить не только перекрытие всей зоны ответственности ЦОРИ, но и учитывать возможность любого направления движения МЗЦ.

Одним из простейших методов стробирования зоны ответственности ЦОРИ является последовательное ее разбиение по осям  $X$  или  $Y$  с циклическим разворотом стробов. По любой из осей осуществляется цикл построений с целью анализа всех возможных направлений движения МЗЦ. Каждый цикл осуществляется относительно точки поворота (ТР), положение которой на оси зависит от ширины строба ( $d$ ) и порядкового номера цикла.

Цикл построения стробов реализуется исходя из

необходимости полного перекрытия зоны ответственности ЦОРИ заданного радиуса ( $R$ ). В рассматриваемом методе это осуществляется следующим образом (рис. 3).

Рис. 3. Стробирование зоны ответственности ЦОРИ



Параллельно рассматриваемой оси координат относительно текущей точки поворота ТР строится первый строб, пересекающий границу зоны ответственности в точках 1-4. Следующий строб строится относительно текущей точки поворота так, чтобы точка пересечения его левой границы с границей зоны ответственности ( $2n$ ) совпала с соответствующей точкой 2 правой границы предыдущего строба. Это исключает пропуски в анализируемой

зоне ответственности.

Все выполняемые действия реализованы с применением известного математического аппарата и состоят из следующих шагов:

Шаг 1. Построение первого строба, параллельно оси OX. Точки 1 и 4 имеют координаты  $(-R, 0)$  и  $(R, 0)$ . Точки 2 и 3 являются решением системы

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R \\ y = d \end{cases} \quad (1)$$

и получают координаты  $(-\sqrt{R^2 - d^2}, d)$  и  $(\sqrt{R^2 - d^2}, d)$ . Первый строб строится только один

раз для всех шагов по оси OX; для следующих положений точек TP первым строится второй строб.

Шаг 2. Построение очередного строба в цикле относительно текущей точки поворота. Точке  $2n$  нового строба присваиваются координаты точки 2 предыдущего строба.

При этом уравнение левой границы нового строба имеет вид

$$y_{л} = \frac{(x - x_{TP}) \cdot (y_{2n} - y_{TP})}{x_{2n} - x_{TP}} + y_{TP}. \quad (2)$$

Для построения правой границы нового строба необходимо определить точки  $2'$  и  $TP'$ :

$$2' = (x_{2n} + \Delta x, y_{2n} + \Delta y), \quad (3)$$

$$TP' = (x_{TP} + \Delta x, y_{TP} + \Delta y), \quad (4)$$

где  $\Delta x$  и  $\Delta y$  – приращения координат по осям.

Шаг 4. Последовательное смещение точки поворота по оси на величину, соответствующую ширине строба; переход на шаг 2. Полный цикл построения стробов по анализируемой оси (рис. 5) завершается при достижении последнего положения точки поворота на оси.

Знак  $\Delta x$  и  $\Delta y$  определяется в зависимости от текущей координатной четверти. Приращения выражаются через ширину строба и определяются по

формулам:

$$\Delta x = \frac{|y_{2n}| \cdot d}{\sqrt{y_{2n}^2 + (x_{2n} - x_{TP})^2}},$$

$$\Delta y = \frac{|x_{2n} - x_{TP}| \cdot d}{\sqrt{y_{2n}^2 + (x_{2n} - x_{TP})^2}}. \quad (5)$$

Уравнение правой границы нового строба имеет вид:

$$y_{пр} = \frac{(x - x'_{TP}) \cdot (y'_2 - y'_{TP})}{x'_2 - x'_{TP}} + y'_{TP}. \quad (6)$$

Нахождение координат точки 2 текущего строба определяется решением системы уравнений:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R \\ y_{пр} = \frac{(x - x'_{TP}) \cdot (y'_2 - y'_{TP})}{x'_2 - x'_{TP}} + y'_{TP} \end{cases}. \quad (7)$$

Координата X точки 2 выражается как

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (8)$$

где соответствующие коэффициенты определяются по формулам:

$$a = k^2 + 1; \quad (9)$$

$$b = 2k \cdot y_{TP'} - 2k^2 \cdot x_{TP'}; \quad (10)$$

$$c = k^2 \cdot x_{TP'}^2 - 2k \cdot y_{TP'} \cdot x_{TP'} + y_{TP'}^2 - R^2; \quad (11)$$

$$k = \frac{y'_2 - y_{TP'}}{x'_2 - x_{TP'}}. \quad (12)$$

Координата Y точки 2 находится подстановкой найденных решений в уравнение (6) и в общем виде определяется как  $y_{1,2} = R^2 - x_{1,2}^2$ .

При этом из полученных решений за точку 2 принимается та, расстояние от которой до точки  $2n$  текущего строба наименьшее.

Шаг 3. Цикл построения относительно текущей точки поворота завершается после полного просмотра анализируемой зоны (рис. 4), т.е. когда очередная полученная точка 2 попадает в промежуток

значений между точками 1 и 2 первого шага. Иначе осуществляется переход к построению очередного строба (шаг 2).

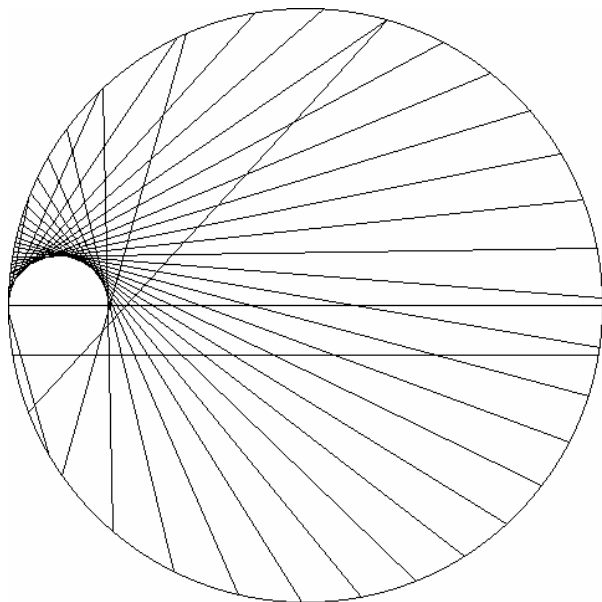


Рис. 4. Цикл построения стробов относительно текущей точки поворота

Шаг 4. Последовательное смещение точки поворота по оси на величину, соответствующую ширине строба; переход на шаг 2. Полный цикл построения стробов по анализируемой оси (рис. 5) завершается при достижении последнего положения точки поворота на оси.

Проведенное моделирование для зон ответственности различного радиуса ( $R$ ) позволяет оценить характеристики рассматриваемого метода и указывает на значительную избыточность стробирования как по суммарному количеству стробов (рис. 6), так и по коэффициенту перекрытия зоны ответственности (рис. 7).

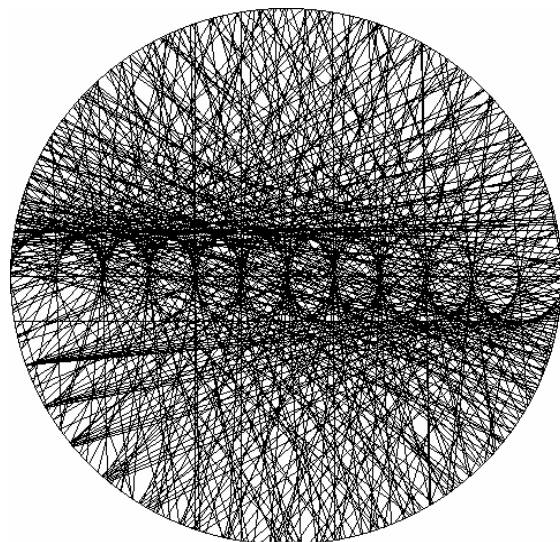


Рис. 5. Полный цикл построения стробов по анализируемой оси

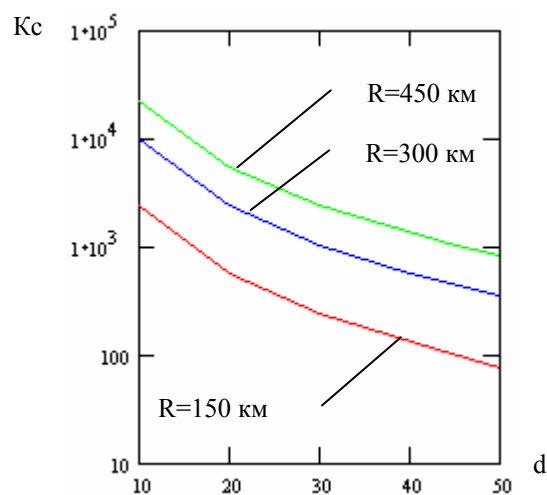


Рис. 6. Зависимость суммарного количества стробов ( $K_c$ ) от их ширины ( $d$ )

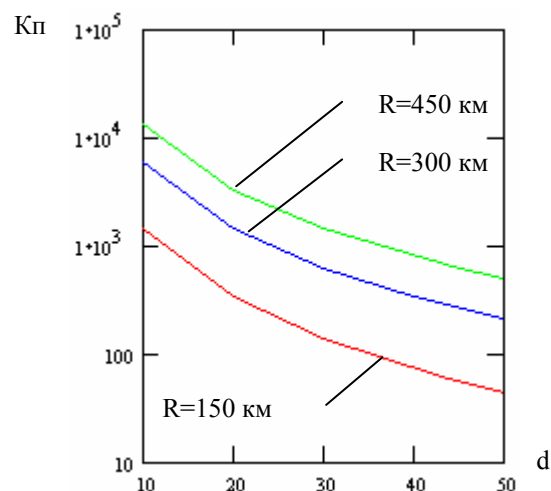


Рис. 7. Зависимость коэффициента перекрытия зоны ответственности ЦОРИ ( $K_p$ ) от ширины стробов ( $d$ )

## Выводы

Предлагаемый метод стробирования позволяет проводить обнаружение и статистический анализ траекторий МЗЦ. Дальнейшие исследования в данной области определяются необходимостью разработки более эффективных методов построения стробов, которые должны обеспечить полное перекрытие зоны ответственности с меньшей избыточностью.

## Литература

1. Персидский залив // Зарубежное военное обозрение – 1998, – №3.
2. Косово // Зарубежное военное обозрение – 1998, – №4.
3. Югославия // Зарубежное военное обозрение – 1999, – №4.
4. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. В 2-х томах. Т. 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 528 с., ил.
5. Алексеев С.В., Прозоров А.М. Статистическое обнаружение траекторий при нерегулярных наблюдениях // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. Вип. 22. – Харків: Нац.

аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”. – 2001. – С. 247-249.

6. Алексеев С.В., Прозоров А.М. Стробирование зон обзора радиолокационных средств при статистическом обнаружении траекторий малозаметных целей // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. Вип. 22. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “Харк. авіац. ін-т”. – 2001. – С. 226-228.

7. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд./С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

8. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. - 640 с.

*Поступила в редакцию 08.10.03*

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор Барышев И.В., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков