УДК 004.942

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ, С.А. КУНГУРЦЕВ, Е.В. БОЛГОВА

E.G. ZHILYAKOV, A.A. CHERNOMORETS, S.A. KUNGURTSEV, E.V. BOLGOVA

**О ГЕОМЕТРИИ ОБЛАСТИ ПОИСКА ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**ON THE GEOMETRY OF THE OBJECT SEARCH AREA BASED ON RADAR MEASUREMENTS**

*В работе исследованы подходы построения области поиска эвакуируемого объекта с помощью радиолокационных средств, позволяющих определять дальность расположения и пеленг искомого объекта, в точку местоположения которого необходимо переместиться поисковым силам. Предложено комбинированное применение результатов определения дальности и пеленгации для построения области поиска. Проанализирована зависимость площади области поиска объекта от погрешности определения дальности и от ширины сектора пеленгации, а также от дальности расположения объекта.*

*Ключевые слова: поиск объектов; радиолокационные измерения; погрешность определения дальности; сектор пеленга; площадь области поиска.*

*In the paper we examine the approaches to constructing the search area for an evacuated object using radar aids that allow you to determine the range and bearing of the desired object to the location of which the search forces need to move. A combined application of the results of determining the range and direction finding for constructing of the search area is proposed. The dependence of the square of the object search area on the error of range determination and the width of the bearing sector, as well as on the object range, is analyzed.*

*Keywords: object searching; radar measurements; error of range determination; bearing sector; square of search area.*

Во многих сферах деятельности человека возникают задачи определения местоположения (поиск) различных объектов, например, в ходе поисковых операций требуется найти на земле и на море людей, корабли, различные предметы и затем переместиться в точку их местоположения для проведения эвакуации. Объекты поиска могут быть неподвижными и могут перемещаться, что требует применения специальных методов поиска с целью минимизации используемых средств и времени проведения поисковых операций [1-6].

Одним из распространенных средств поиска с точки зрения независимости от погодных условий и дальности обнаружения являются радиолокационные устройства. Радиолокационные станции (РЛС) позволяют определить направление на объект поиска (пеленгация) и дальность его расположения. При регистрации направления и дальности с помощью технических средств неизбежно присутствуют некоторые погрешности, что не позволяет точно определить требуемые значения. Поэтому возникает необходимость разработки методов поиска с учетом погрешности регистрации данных, а также разработки методов оценивания результатов поиска.

Далее в работе предполагается, что априори известна достаточно большая область возможного местоположения объекта (область поиска), задача состоит в ее уменьшении.

Рассмотрим поиск одного объекта при известной погрешности  определения дальности его нахождения с помощью РЛС. На рисунке 1 приведены примеры определения области возможного местоположения объекта поиска (область черного цвета на рисунке 1) при одном, двух и трех зондированиях. Ширина дисков на рисунке 1, равная , обусловлена погрешностью определения дальности с помощью применяемой РЛС.

а б

в

Рисунок 1 – Примеры областей поиска, полученных при определении дальности:
а – одно зондирование, б – два зондирования, в – три зондирования

На рисунке 1 видно, что с увеличением количества зондирований площадь области поиска уменьшается. Однако, для существенного уменьшения области поиска необходимо значительное перемещение РЛС наблюдателя в период между зондированиями.

Рассмотрим поиск одного объекта, используя радиопеленгационные средства определения направления на объект. На рисунке 2 приведены примеры построения области поиска при определении одного, двух и трех направлений на объект. Угловая величина сектора обзора определяется углом пеленгации.

а б

в

Рисунок 2 – Примеры областей описка, полученных при пеленгации:
а – одно зондирование, б – два зондирования, в – три зондирования

На рисунке 2 видно, что с увеличением количества зондирований площадь области поиска уменьшается. Однако, для снижения площади области поиска требуется перемещение РЛС между моментами получения пеленгов.

Интерес представляет комбинированное применение обнаружения по дальности и по пеленгу, при котором в результате одного зондирования можно построить достаточно ограниченную область поиска (рисунок 3а). Повторное зондирование (например, при перемещении РЛС в направлении объекта) позволяет дополнительно уменьшить область поиска (рисунок 3б).

а б

Рисунок 3 – Примеры областей описка, полученных при комбинировании обнаружения по дальности и по пеленгу:

а – одно зондирование, б – два зондирования

При оценивании результатов поиска широко применяется понятие эффективности поиска (потенциал обнаружения).

В качестве показателя эффективности поиска объекта (потенциала обнаружения) на основе радиолокационных измерений дальности и пеленга на объект целесообразно использовать величину, обратно пропорциональную площади *S* области поиска, полученной в результате обработки данных РЛС:

. (1)

Для оценивания величины *S* площади области поиска, полученной в результате одного зондирования при комбинированном применении обнаружения по дальности и по пеленгу (рисунок 3а), может быть использовано следующее выражение:

, (2)

где  – погрешность определения дальности ( ширина дисков на рисунке 3, соответствующих погрешности определения дальности), – угловая величина сектора пеленгации, – зарегистрированное значение расстояния до искомого объекта.

В таблице 1 для различных значений погрешности  определения дальности, угловой величины  сектора пеленгации и расстояния  до обнаруженного объекта приведены значения оценки площади поиска (2).

Таблица 1 – Площадь области поиска при одном зондировании

|  |  |
| --- | --- |
| Дальность до объекта *r*, м | Площадь , м2 |
| 4 м,  |
| 2000 | 698,58 |
| 5000 | 1 746,44 |
| 10000 | 3 492,88 |
| 20000 | 6 985,75 |
| 30000 | 10 478,63 |
|  4 м,  |
| 2000 | 279,28 |
| 5000 | 698,20 |
| 10000 | 1 396,41 |
| 20000 | 2 792,81 |
| 30000 | 4 189,22 |
|  10 м,  |
| 2000 | 698,20 |
| 5000 | 1 745,51 |
| 10000 | 3 491,01 |
| 20000 | 6 982,03 |
| 30000 | 10 473,04 |

Предположим, что при величине площади области поиска  м2 искомый объект может быть визуально обнаружен поисковыми средствами и эвакуирован.

Представляет интерес оценивание дальности расположения поисковых средств от объекта поиска, при котором может быть достигнута указанная величина площади области поиска. Данное значение площади области поиска  может быть получено, например, при заданных значениях  и  в случае применения одного комбинированного зондирования на следующей дальности  объекта от наблюдателя:

, (3)

Например, при  м,  площадь области поиска  м2 может быть достигнута при одном комбинированном зондировании на расстояния 286,3 м от наблюдателя до объекта.

Рассмотрим случай построения области поиска при использовании двух РЛС, находящихся на одинаковом расстоянии *r* от объекта и биссектрисы секторов пеленгов которых перпендикулярны (рисунок 4). На рисунке 4 для наглядности изображения использованы значения  м и .



Рисунок 4 – Построение области поиска при использовании двух РЛС

При м,  и указанном взаимном расположении двух РЛС площадь области поиска составляет 15,3 м2 и практически не зависит от дальности расположения объекта поиска от каждой РЛС. Оценивание площади области поиска выполнено графически (на основе количества пикселей, образующих область пересечения дисков обнаружения по дальности и секторов пеленга на изображении рисунок 4).

Исследуем зависимость площади области поиска от дальности расположения объекта до двух РЛС (объект находится на одинаковой дальности от двух РЛС), биссектрисы секторов пеленга которых на объект образуют заданный угол , например,  (рисунок 5).



Рисунок 5 – Область поиска при использовании двух РЛС ()

При  м, , расположении двух РЛС на одинаковой дальности от объекта и заданном угле  (угол между пеленгами двух РЛС) оценки площади  области поиска имеют значения, приведенные в таблице 2. Следует отметить, что приведенные в таблице 2 величины практически не зависят от дальности расположения объекта поиска от каждой РЛС.

Таблица 2 – Площадь области поиска при применении двух РЛС ( м, )

|  |  |
| --- | --- |
| Угол между пеленгами , град. | Площадь , м2 |
| 10 | 107,2 |
| 15 | 72,3 |
| 30 | 37,9 |
| 45 | 25,7 |
| 60 | 22,1 |
| 90 | 15,3 |

На основании данных, приведенных в таблице 2, на рисунке 6 построены графики зависимости площади  от угла между секторами пеленга.



Рисунок 6 – Площадь области поиска 

Результаты, приведенные в таблице 2 и на рисунке 6, показывают, что в исследованных случаях наименьшая площадь области поиска достигается при угле  между пеленгами на объект. При этом следует отметить, что при угле  и более достигается достаточно небольшая величина площади области поиска.

Таким образом, в работе исследованы подходы построения области поиска объектов с целью перемещения поисковых средств в точку местоположения искомого объекта на основе радиолокационных измерений, позволяющих определять дальность расположения и пеленг объекта. Предложено комбинированное применение результатов определения дальности и пеленгации для построения области поиска и уменьшения ее площади. Проанализирована зависимость площади области поиска объекта от погрешности определения дальности и от ширины сектора пеленгации, а также от дальности расположения искомого объекта.

Результаты, полученные в ходе проведения вычислительных экспериментов, являются основой для разработки алгоритмов поиска объектов, позволяющих уменьшить время поиска и снизить количество зондирований.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б., Тихонов В.Ю. Планирование операций в задачах пространственного поиска объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – №2(187). – С. 185-197.

2. Строцев А.А. Оптимальный поиск неподвижной цели многопозиционной информационной системой // Журнал радиоэлектроники. – 2004. – № 4. – С. 1.

3. Ким Д.П. Методы поиска и преследования подвижных объектов. - М.: Наука, 1989.

4. Маркушин Н.А. Использование имитационного моделирования для поиска морских подвижных объектов // Сб. докл. Третьей всеросс. науч.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика». Т. II. – СПб.: ЦНИИ технологии судостроения, 2007. – С. 124-129.

5. Абдулов Р.Н., Абдуллаев Н.А., Асадов Х.Г. Вопросы оптимизации применения БПЛА для поиска и слежения объектов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 1 (83). – С. 45-49.

6. Подлипьян П.Е., Максимов Н.А. Многофазный алгоритм решения задачи планирования полета группы беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. – 2011. – Вып. 43. – С. 1-16.

7. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. – М.: Сов. радио, 1977. – 334 с.

**Жиляков Евгений Георгиевич**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: +7(4722) 301392

E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

**Черноморец Андрей Алексеевич**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Д.т.н., доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Тел.: +7(4722) 301300 \* 2027

E-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

**Кунгурцев Сергей Анатольевич**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Начальник отдела средств дистанционного зондирования ФРЦ Аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов

Тел.: +7(4722) 301371

E-mail: kungurtsev@bsu.edu.ru

**Болгова Евгения Витальевна**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

К.т.н., доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Тел.: +7(4722) 301300 \* 2027

E-mail: bolgova\_e@bsu.edu.ru