

УДК 621.396.96

DOI: 10.52531/1682-1696-2023-23-1-13-17

Научная статья

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ГРУППИРОВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ, ОСНОВАННЫЙ НА ИХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СВЯЗИ

Е.В. ФАДЕЕВ

АО «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. АКАДЕМИКА А.И. БЕРГА»

В работе представлен метод автоматического группирования наблюдений, основанный на их пространственно-временной связи, и алгоритм его реализации. На модели радиотехнического наблюдения показано, что при группировании наблюдений непрерывно функционирующих стационарных радиоизлучающих объектов рассмотренный метод характеризуется высокой вероятностью правильных решений, обоснованностью этих решений и наглядностью их отображения. Рассмотрен способ использования данного алгоритма в системах обработки наблюдений источников радиоизлучения.

Ключевые слова: радиотехническое наблюдение, алгоритм обработки информации, разрешение, группирование наблюдений, определение местоположения

ВВЕДЕНИЕ

Группирование наблюдений является необходимым условием вскрытия радиоизлучающих объектов авиационными системами радиотехнического наблюдения. Здесь и далее под наблюдением понимается совокупность параметров, измеренных в момент однократного приема сигнала, а именно:

- момент (время) приема сигнала;
- радиотехнические параметры (РТП) сигнала;
- угол пеленга или пеленг.

Если угол между строительной осью летательного аппарата (ЛА) и направлением приема сигнала – α , то угол пеленга $90-\alpha$. Под линией пеленга понимается геометрическое место точек земной поверхности, в которых мог бы располагаться источник излучения

Original article

RADIO EMISSION SOURCES SURVEYS AUTOMATIC RESOLUTION METHOD BASED ON THEIR SPATIOTEMPORAL CONNECTION

E.V. FADEEV

JSC «CENTRAL RESEARCH INSTITUTE
OF RADIO ENGINEERING NAMED AFTER
ACADEMICIAN A.I. BERG»

Radio emission sources surveys automatic resolution method based on their spatiotemporal connection and algorithm of its implementation have been introduced. Radioelectronic surveillance model has been used to show that surveys resolution by this method has high probability of right decisions, provides visual validity to results and clear data visualization. Using this method in complex systems of surveys processing has been considered.

KEYWORDS: radioelectronic surveillance, the algorithm of information processing, resolution, surveys resolution, location determination

принятого сигнала, с учетом расположения ЛА в момент приема и измеренного угла пеленга.

На практике, как правило, используются методы группирования, основанные на выделении пучков линий пеленга. Однако в условиях увеличения числа функционирующих радиоизлучающих объектов, что характерно для современного района наблюдения, эти методы характеризуются высокой вероятностью ошибочных решений и низкой наглядностью представления наблюдений в качестве средства визуального подтверждения обоснованности группирования.

С целью эффективного группирования наблюдений радиоизлучающих объектов в условиях большого их числа, предлагается использовать метод автоматического группирования наблюдений, основанный на их пространственно-временной связи. В отличие от методов группирования, основанных на анализе линий пеленга, в этом методе используется дополнительная информация о моментах приема сигналов.

ГРУППИРОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Задача группирования наблюдений источников радиоизлучения состоит в выделении из множества всех наблюдений групп, каждая из которых получена от одного источника радиоизлучения.

В настоящее время самыми распространенными методами решения задачи группирования являются методы, основанные на выделении пучков линий пеленга [1]. Такие методы, наряду с несомненными достоинствами, имеют ряд недостатков, а именно:

1. Возможность «перепутывания» наблюдений, заключающуюся в объединении в одну группу наблюдений, относящихся к разным реальным источникам.
2. Невозможность выделения в отдельную группу сигналов от редкоизлучающего объекта.
3. Сложность подтверждения корректности результатов.
4. Сложность использования в интерактивном режиме.
5. Неполное использование результатов наблюдения.

Пространственно-временная связь наблюдений

Пространственная связь между наблюдениями основывается на том, что в процессе полета самолета зависимость истинного угла на объект от времени непрерывна и образует линию углов пеленга.

Временная связь между наблюдениями выражается в том, что наблюдения одного источника происходят в разные моменты времени, промежутки между которыми определяются периодичностью излучения источника и параметрами частотного поиска наблюдателя [2].

Пространственно-временная связь – наблюдения источника радиоизлучения лежат в близкой окрестности линии углов пеленга и регулярно распределены по времени, с возможными прореживаниями. Причины прореживаний: энергетическая недоступность, пространственный поиск радиолокационных станций (вращение, фазирование), радиомаскировка.

МЕТОД ЛИНИЙ УГЛОВ ПЕЛЕНГА

Предлагаемый в настоящей работе метод линий углов пеленга основан на анализе пространственно-временной связи наблюдений. В отличие от методов, выделяющих пучки линий пеленга, метод линий углов пеленга учитывает времена приема сигналов и по ним оценивает непрерывность излучения.

Метод состоит в том, что в области разведки задается сетка точек, для каждой из которых определяется оценочный параметр – коэффициент непрерывности излучения. Объекты выделяются вблизи локальных максимумов этого параметра.

Блок-схема алгоритма, реализующего метод линий углов пеленга, представлена на рис. 1.

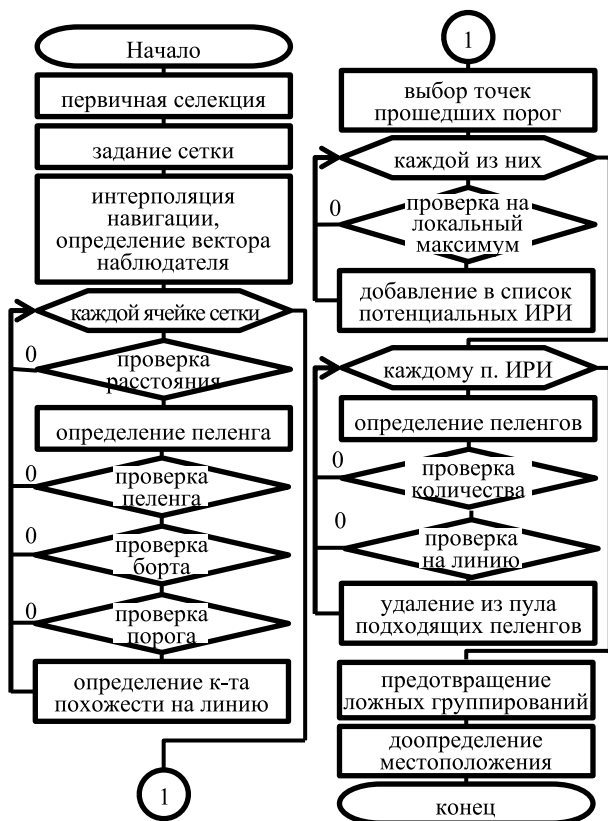


РИС. 1.

Блок-схема алгоритма, реализующего метод линий углов пеленга

АНАЛИЗ МЕТОДА

В ходе анализа метода линий углов пеленга были выявлены следующие его достоинства:

1. Устойчивость к количеству шумов и излучающих объектов.
2. Защищенность от перепутывания наблюдений.
3. Возможность совместного применения в комплексе обработки с другими методами.
4. Наглядность представления и возможность интерактивного применения.
5. Обоснованность получаемых результатов.

Главный недостаток метода, следующий из использования предполагаемой временной связи между наблюдениями, – необнаружение редкоизлучающих объектов определенного типа, которые могли бы быть обнаружены методами, не использующими временную связь. К ним относятся объекты, которые излучают сигналы редкими короткими пачками.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА

Для проверки применимости метода и оценки его эффективности была разработана программа, имитирующая генерацию сигналов условными источниками излучения [3], их прием средствами радиотехнического наблюдения, размещенными на летательном аппара-

рате, обработку результатов приема методом линий углов пеленга и статистическую оценку результатов обработки.

Программа имитирует прием сигналов от $N_{\text{ИРИ}}$ объектов, излучающих непрерывно, но с прореживаниями, учитывающими режим работы наблюдателя и возможный режим работы источника. При этом в каждый момент времени в поле видимости находится в среднем N_t объектов ($N_t \approx 0.8 \times N_{\text{ИРИ}}$).

Генерируемые помехи представляя собой ложные наблюдения, не имеющие реального источника, а вызванные шумами или ошибками приема. Для анализа зависимости результата от количества объектов введен новый параметр – интенсивность потока помех ИПП – среднее количество получаемых помеховых наблюдений в секунду:

$$\text{ИПП} = \frac{\text{Помехи}}{\text{сек}} = \frac{N_{\text{ИРИ}}}{S N R} \times \frac{\bar{K}_1}{t}$$

где: SNR (signal-to-noise ratio) – отношение количества сигналов, принятых от $N_{\text{ИРИ}}$ объектов к количеству помеховых сигналов, t – все время сессии наблюдений, \bar{K}_1 – среднее количество пеленгов, полученное от одного объекта.

В результате моделирования установлено, что при $N_t < 20$ вероятность возникновения ошибок обнаружения объектов слабо зависит от количества объектов. Зависимость вероятностей ошибок обнаружения от интенсивности потока помех при различных значениях $N_t \in [1:20]$ отображена на рис. 2. При определенной интенсивности потока помех метод обнаруживает множество артефактов, при этом продолжая правильно обнаруживать реальные объекты. Вероятность ложной тревоги становится выше 10% при $\text{ИПП} = 1.2 \text{ с}^{-1}$ или при получении примерно 6–12 ложных наблюдений в каждом цикле частотного поиска, что соответствует сильно зашумленным данным. Для сравнения, в примере в пункте 3.4. используется $\text{ИПП} = 0.198$.

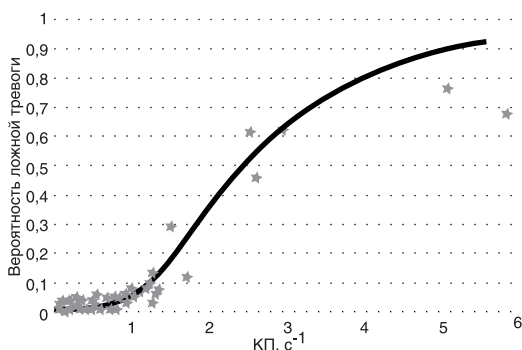


РИС. 2.

Зависимость вероятностей ошибок обнаружения от концентрации помех при различных значениях $N_t \in [1:20]$

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕПУТЫВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

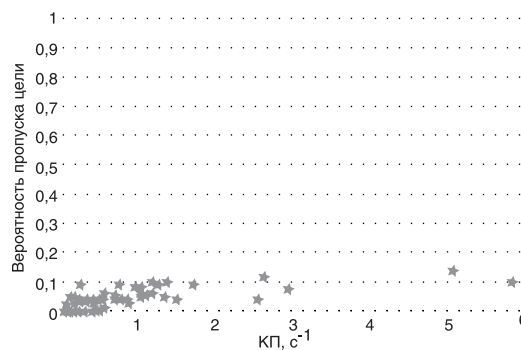
Как отмечалось выше, под перепутыванием наблюдений понимается объединение в одну группу наблюдений, относящихся к разным реальным источникам. Для предупреждения перепутывания необходимо отличать пеленги реальных источников от шума и друг от друга.

Предлагается следующий способ устранения перепутывания – алгоритм распутывания. После первичного обнаружения объектов среди всех наблюдений выделяются те, что с большой вероятностью принадлежат одному из обнаруженных объектов – «чьи-то» наблюдения. Для каждого объекта выделяется группа наблюдений, на которые не претендуют другие объекты – «личные» наблюдения. Чтобы выделить сигналы на фоне помех, попавших в «личные» наблюдения, близость времени приема к моментам приема других сигналов используется как вес (по уменьшению: к «личным», к «чьим-то» и к остальным пеленгам) при определении первичной оценки параметров излучателя по «личным» наблюдениям. Первичная оценка параметров излучателя позволяет отличать наблюдения источников от шума и друг от друга. Далее, умея отличать принадлежность наблюдений, необходимо разделить «чьи-то» наблюдения между объектами, удалить из групп наблюдений выбивающиеся шумы наблюдения и добавить в группу наблюдения из расширенных окрестностей ожидаемого угла.

Таким образом, по наиболее вероятно принадлежащим конкретному объекту наблюдениям и временной связи между ними (и другими подходящими наблюдениями) определяется уточненный состав группы наблюдений объекта, значительно уменьшая риск перепутывания.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА В КОМПЛЕКСЕ ОБРАБОТКИ

Метод линий угла пеленга позволяет обнаруживать непрерывно излучающие объекты и выделять их пеленги при большом количестве принятых сигналов. Как было отмечено ранее, есть редкоизлучающие объекты,



которые не обнаруживаются методом линий углов пленга, но могут быть определены методом выделения пучков линий пленга. Также есть объекты, наблюдения которых принимаются недолго, но непрерывно. Из-за малого количества пленгов методы выделения пучков линий пленга пропускают такие объекты, в то время как метод линий углов пленга обнаружит их, используя временную связь наблюдений.

Наибольшая эффективность решения задачи группирования наблюдений достигается при использовании метода линий углов пленга после первичной обработки (фильтрация входных данных, если требуется) и до методов выделения пучков линий пленга. Совместимость применения связана с разделением зоны ответственности методов, а очередность – с тем, что метод линий углов пленга лучше работает при большом количестве наблюдений, будучи защищенным от перепутывания.

НАГЛЯДНОСТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОБОСНОВАННОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Фактически, в методе линий углов пленга, описанном в данной работе, по отношению к методам, выделяющим пучки линий пленга, используется два новых решения – анализ линий пленга и учет временной связи наблюдений.

Анализ линий пленга без временной связи наблюдений использует столько же информации о наблюдениях, сколько и другие методы группирования. Различия между ними характеризуют качество или спецификацию реализации метода, так как обрабатывается одно и то же количество входной информации при одинаковых условиях наблюдения. Однако из-за наличия временной связи представление информации в виде линий углов пленга выгодно отличается от пучков линий пленга или скоплений точек их пересечения. Из-за временной распределенности наблюдений линии пленга источников радиоизлучения обнаруживаются визуально. Этот факт обеспечивает представлению данных наглядность, а получаемым результатам – обоснованность.

На рис. 3 отображено множество наблюдений сигналов от десяти объектов с шумом, представленное в виде концентрации точек пересечения линий пленгов, концентрации линий пленгов и зависимости угла пленга от времени. Концентрации точек пересечения при большом количестве линий пленгов имеют значительное количество ложных скоплений в «ближней» зоне наблюдения. Концентрации линий пленгов имеют ложные пучки пересечений линий пленгов наблюдений объектов, шумовых наблюдений и наблюдений редкоизлучающих источников. На отображении 3(В), показывающем зависимость угла пленга от времени, видны выделяющиеся на фоне шума точки, лежащие в близкой окрестности непрерывных

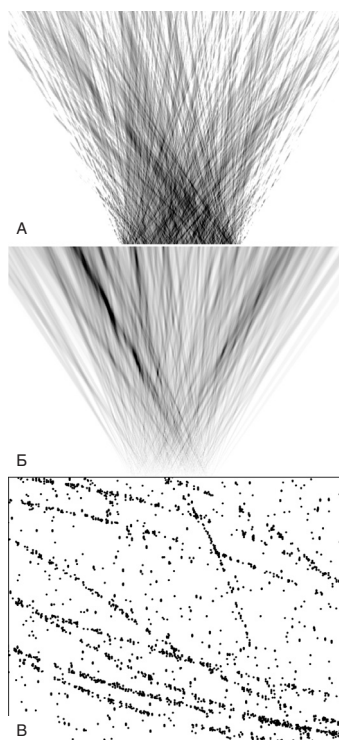


РИС. 3.

Наблюдения десяти объектов с шумом, представленные как концентрации точек пересечения линий пленгов (А), концентрации линий пленгов (Б) и зависимость угла пленга от времени (В)

линий. Наблюдатель может разглядеть следы 9–10 линий, причем наблюдатель будет уверен, что эти линии соответствуют реальным объектам. Это позволяет использовать данный метод в интерактивном режиме, учитывающем визуальную оценку произведенных наблюдений пользователем системы.

На рис. 4 отображены десять объектов в виде точек «+» на фоне концентрации точек пересечения линий пленгов, концентрации линий пленгов и в виде непрерывных линий угла пленга на фоне отображения наблюдений в координатах «время-угол пленга». Только 2–3 объекта на рисунке 4(А) и 2–4 объекта на рис. 4(Б) выглядят обоснованно расположенными по отношению к другим скоплениям/пучкам в других местах. Линии зависимости угла пленга от времени обосновывают выбор этих объектов – каждая из них достаточно населена пленгами и нет других пленгов, которые можно было бы выделить в более или менее «населенную» линию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены трудности, возникающие при решении задачи группирования наблюдений источников радиоизлучения методами, основанными на анализе линий пленга. Отмечено наличие пространственно-временной связи между наблюдениями, информация о которой не используется данными методами.

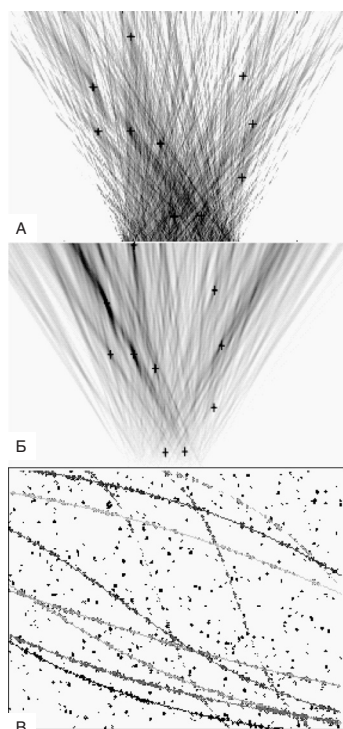


Рис. 4.

Десять объектов, изображенные в виде точек «+» на фоне концентрации точек пересечения линий пеленга (А), на фоне концентрации линий пеленгов (Б) и в виде линий угла пеленга, на фоне отображения наблюдений в координатах «время-угол пеленга» (В)

Представлен метод автоматического группирования наблюдений источников радиоизлучения, использующий пространственно-временную связь между наблюдениями - метод линий углов пеленга. Изображена блок-схема алгоритма, реализующего метод линий углов пеленга.

На основе имитационной модели процесса формирования и обработки потока наблюдений оценена эффективность метода линий углов пеленга. Доказана шумозащищенность метода и устойчивое вскрытие объектов при большом их количестве. Разработана и описана технология предотвращения возможности объединения в одну группу наблюдений от разных источников при решении задачи группирования наблюдений. Определено место метода в комплексе обработки – в качестве первичного этапа обработки, предшествующего применению методов выделения пучков линий пеленга, что обеспечивает максимальную эффективность группирования.

На примере продемонстрирована наглядность представления входных данных в виде линий углов пеленга и возможность визуального подтверждения получаемых результатов, что выгодно отличает метод линий углов пеленга в сравнении с другими методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Ю.П. Воздушная радиотехническая разведка (методы оценки эффективности). М.: Радиотехника, 2005. 304 с.
2. Радзиевский В.Г. Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. 2-е изд., исп. и доп. М.: Радиотехника, 2004. 432 с.
3. Фадеев Е.В. Метод группирования наблюдений источников радиоизлучения // Сборник научных статей VI МНПК «Радиоинфоком-2022». С. 159–162.

REFERENCES

1. MELNIKOV YU.P. Airborne radio reconnaissance (methods for evaluating effectiveness). Moscow: Radiotekhnika, 2005:304. (In Russian).
2. RADZIEVSKIY V.G. Sirota AA Theoretical foundations of electronic intelligence. 2nd ed., Spanish. and additional. Moscow: Radiotekhnika, 2004:432. (In Russian).
3. FADEEV E.V. Method for grouping observations of radio emission sources // Collection of scientific articles VI MNPК "Radioinfocom-2022". 159–162. (In Russian).

Фадеев Евгений Васильевич, инженер-программист АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»

☎ 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 20, стр. 9,
107078, Moscow, st. New Basmannaya, b. 20, p. 9,
тел.: +7 (499) 267-43-93, e-mail: ds4@cnirti.ru