

Пеленгация объектов многопозиционной радиосистемой

В. К. Клочко

*Рязанский государственный радиотехнический университет
E-mail: klochkovk@mail.ru*

Рассмотрены методические вопросы построения многопозиционной радиосистемы пеленгации воздушных объектов на ближних рубежах дальности. Задача заключается в обнаружении объектов и оценивании их пространственных координат и векторов скорости вместе с траекторными параметрами движения. Дается обзор авторских подходов к решению задачи. Ключевые слова: многопозиционная радиосистема, пеленгация, воздушные объекты

Direction finding of objects by a multi-position radio system

V. K. Klochko

*Ryazan State Radio Engineering University
E-mail: klochkovk@mail.ru*

Methodical issues of construction of multi-position radio direction finding system of air objects at near range lines are considered. The task is to detect objects and evaluate their spatial coordinates and velocity vectors together with the trajectory parameters of motion. Provides an overview of authorial approaches to solving the problem. Keywords: multi-position radio system, direction finding, aerial objects

Введение

В последние несколько десятилетий в области радиосистем развивается новое направление, основанное на использовании сигналов телевизионного вещания и радиосвязи в интересах изучения сигналов отражения от объектов, находящихся в радиополе действия телевизионных станций или станции радиосвязи. В результате воздействия радиополя на объекты возникают сигналы отражения, которые принимаются радиоприемниками, удаленными от радиопередающих станций, и обрабатываются в них. По результатам измерения параметров принятых сигналов находятся координаты положения объектов в пассивном режиме наблюдения системой приемников, отличающихся своей скрытностью, и, как следствие, неуязвимостью. Также разрабатываются полуактивные радиосистемы приема сигналов отражения от внешнего передатчика.

Особенность существующих пассивных радиосистем состоит в том, что они рассчитаны на большую дальность действия (сотни километров), что обусловлено как способом обработки радиосигналов, так и задачей, стоящей перед ними. Что касается полуактивных систем, применяемых преимущественно для летательных аппаратов, то отсутствует в литературе подробное описание математических моделей и алгоритмов, лежащих в основе их работы, что затрудняет внедрение подобных систем в другие области применения.

В настоящее время ставится новая задача перед разработчиками пассивных и полуактивных радиосистем – определение параметров принимаемых радиоприемниками сигналов при наблюдении за движущимися объектами на малой дальности (сотни метров и несколько километров) с меняющихся наземных позиций. Решение этой задачи представляет большой интерес при создании различного рода охранных систем, систем контроля, противодействия терроризму и т.д. Обзору авторских решений данной задачи посвящена настоящая статья.

Постановка задачи

Многопозиционная полуактивная система наблюдения за группой m малоразмерных объектов ($m \geq 1$) состоит из n приемников ($n \geq 2$), принимающих сигналы отражения от объектов в радиодиапазоне длин волн. Приемники ориентированы в единой системе координат и контролируют общую зону обзора (рисунок 1).

Радиопередатчик, расположенный отдельно от приемников и ориентированный в единой системе координат, излучает периодический радиосигнал. Сигнал, отраженный от m объектов и принимаемый q -м приемным элементом антенной решетки – АР ($q = \overline{1, Q}$, Q – число приемных элементов) каждого k -го приемника ($k = \overline{1, n}$) проходит тракт первичной обработки в Q измерительных каналах.

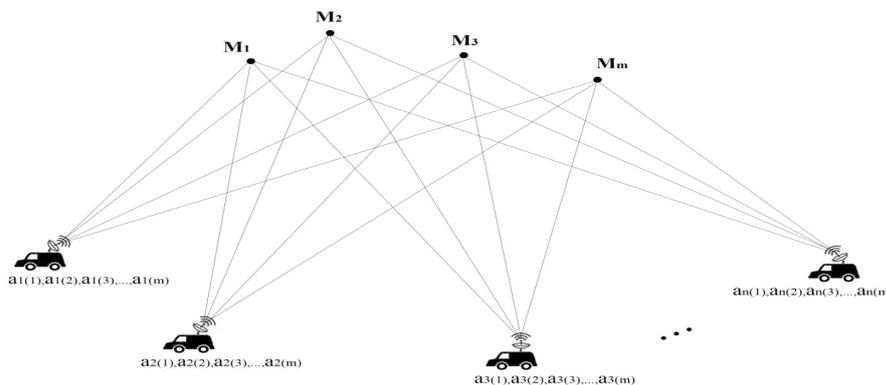


Рис. 1. Xxx

Приемники могут работать в двух режимах:

- 1) прием сигналов от неподвижных и медленно движущихся объектов при сканировании антенны в телевизионном (растровом) режиме узкой ДНА (порядка 1^0) по угломерному пространству азимута и угла места;
- 2) прием сигналов от быстро движущихся объектов широкой ДНА (порядка 30^0) при фиксированном положении антенны с последующей узкополосной фильтрацией в спектре доплеровских частот.

В 1-м режиме наблюдения объекты разрешаются по угломерному пространству с помощью известных алгоритмов сверхрэлеевского разрешения. Во 2-м режиме сверхразрешение объектов осуществляется по частоте в спектре доплеровских частот. Результатом наблюдения являются угловые координаты азимута и угла места направленных на источники сигналов, которые пересчитываются в прямоугольные координаты ортов векторов направлений на источники.

Задача заключается в обнаружении объектов и оценивании их пространственных координат вместе с траекторными параметрами движения. В радиосистемах для определения пространственных координат объектов используются различные методы. Для системы ближнего зондирования эффективен метод стереопары, который обычно применяется для двух оптических приемников. Метод стереопары берется за основу для реализации в системе радиотехнических приемников совместно с радиотехническими методами определения угловых координат.

Обзор подходов к решению задачи

Проблема при оценивании координат объектов возникает в том случае, когда матрица H поворота осей и базовый вектор b неизвестны или требуют уточнения из-за сбоя навигационной системы. Предложены способы оценивания параметров матрицы H ,

вектора b и оценок дальностей до объектов, основанные на МНК-решении матричных уравнений. Они отличаются тем, что позволяют находить параметры матрицы H и оценки дальности одновременно с поиском сопряженных пар векторов направлений на объекты по критерию сопряжения. Алгоритм реализуется для двух ($n = 2$) приемников при наличии m контрольных объектов ($m \geq 3$).

Задача обнаружения объектов в сканирующей радиосистеме позиционирования решается на основе двух подходов. Первый подход позволяет по данным одного периода сканирования находить алгебраически оценки пространственного положения объектов и скорости изменения их координат в системе трех приемников. Второй – по данным двух и большего числа периодов сканирования находить те же оценки в системе двух радиоприемников и дополнительно строить траектории их движения.

В доплеровской радиосистеме позиционирования для решения задачи обнаружения объектов реализованы два подхода: алгебраический, основанный на решении системы уравнений с учетом проекции вектора скорости как на направления приемников, так и на направление передатчика, и алгоритмический, основанный на выделении наиболее правдоподобных групп векторов в последовательности периодов обзора. Особенность доплеровской системы заключается в возможности обнаружения нескольких движущихся объектов, различимых по доплеровской частоте, в пределах широкой ДНА без сканирования за короткий промежуток времени, длительность которого определяется скоростью работы вычислительного процессора.

Для увеличения точности и надежности работы системы приемников предложены два подхода к организации структуры системы. При первом подходе параллельно работают N схем взаимодействия приемников по числу приемников. В каждой k -й схеме ($k = \overline{1, N}$) k -й приемник является основным и составляет $N - 1$ стереопар с остальными приемниками. По результатам обработки данных в стереопарах определяется избыточное количество векторов пространственных координат объектов, которое подвергается операциям кластеризации. Надежность такой организации системы определяется вероятностью p_N того, что при вероятности p безотказной работы каждого приемника хотя бы 2 из N приемников будут работать надежно:

$$p_N = \sum_{k=2}^n p_N(k) = 1 - p_N(0) - p_N(1) = 1 - (1 - p)^N - Np(1 - p)^{N-1}. \quad (1)$$

Во втором подходе близкий эффект достигается за счет выполнения операций в единой системе координат и предварительного распределения приемников по n парам ($n \leq N$) с учетом ортогональности направлений на объекты в парах. Если происходит отказ в работе отдельного приемника в какой-либо паре, то продолжают работать остальные пары. Оставшийся в неработающей паре второй приемник соединяется с другим приемником с учетом ортогональности направлений на объекты. Тем самым образуется новая пара.

Дополнительно надежность и точность работы системы пеленгации повышается при использовании нескольких передатчиков, работающих в общем случае на нескольких частотах.

Тенденцией развития современных систем обнаружения объектов является комплексирование результатов обработки сигналов в разных спектральных диапазонах: оптического, инфракрасного и радиотехнического. Это обеспечивает многофункциональность системы пеленгации объектов при универсальности используемых алгоритмов. На вход алгоритмов пеленгации во всех спектральных диапазонах поступают орты векторов направлений: на источники сигналов отражения в радиодиапазоне, на изображения объектов в оптическом и инфракрасном диапазонах. В радиосистеме орты находятся на основе измеренных угловых координат азимута φ и угла места θ как

$$\vec{a} = (a_x, a_y, a_z) = (\cos \theta \sin \varphi, \cos \theta \cos \varphi, \sin \theta) \quad (2)$$

в антенной системе координат $OXYZ$, где ось OZ направлена в сторону объектов, плоскость OXZ расположена горизонтально, а плоскость OXY – вертикально, угол φ отсчитывается от оси OZ в горизонтальной плоскости, угол θ отсчитывается от плоскости OXZ . В оптической системе орты находятся на основе измеренных в плоском видеокадре координат x, y точечного объекта при известном фокусном расстоянии f оптической линзы как

$$\vec{a} = (a_x, a_y, a_z) = (-x, -y, f) / \sqrt{x^2 + y^2 + f^2}. \quad (3)$$

Дополнительную информацию об объектах в виде радиояркостной температуры позволяют обеспечить радиометры, работающие в миллиметровом диапазоне волн. Для этого осуществляется наведение с упреждением линии визирования антенны радиометра на направление обнаруженных объектов. Необходимость упреждения, которое делается с учетом найденных траекторных параметров обнаруженных объектов, объясняется большим временем накопления сигналов в радиометре (от 0,1 до 1 с). Учет радиометрической информации позволяет повысить вероятность правильной классификации объектов.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Разработанная математическая модель сигналов в полуактивной многопозиционной системе радиоприемников позволяет синтезировать новые способы оценивания пространственных координат и скоростей нескольких наблюдаемых объектов.

2. Способ взаимной ориентации радиоприемников [1] отличается поиском сопряженных векторов направлений на контрольные объекты по критерию достаточного условия сопряжения и позволяет за счет более точной взаимной ориентации приемников снизить погрешность определения пространственных координат объектов наблюдения в 2 раза по сравнению алгоритмом нахождения параметров ориентации по критерию компланарности векторов.

3. Способы оценивания пространственных координат нескольких объектов на основе измеряемых параметров сигналов, принимаемых многопозиционными сканирующей, а также не сканирующей доплеровской радиосистемами [2, 3], отличаются соединением радиотехнического метода определения угловых координат объектов и алгебраического метода сопряжения векторов направлений на объекты в стереопарах приемников и позволяют снизить погрешность определения пространственного положения объектов за счет учета скорости движения объектов не менее чем в 2 раза, а также снизить погрешность не менее чем в 2 раза за счет ортогонального расположения линий визирования приемников.

4. Способы оценивания скоростей нескольких объектов на основе измеряемых параметров сигналов [4], принимаемых многопозиционной доплеровской радиосистемой, отличаются алгебраическим методом учета проекций векторов скоростей как на направления приемников, так и на направление передатчика, а также увеличением числа передатчиков, что позволяет снизить в 2 - 3 раза погрешность оценки вектора скорости за счет учета проекции и во столько же раз снизить погрешность за счет увеличения числа передатчиков.

5. Способ построения структуры многопозиционной системы радиоприемников [5] отличается организацией взаимосвязей приемников, которая позволяет при вероятности отказа каждого приемника от 0,1 до 0,5 обеспечить вероятность обнаружения всех нескольких объектов от 0,99 до 0,95, тем самым поддерживая высокую надежность системы.

Литература

1. Патент RU 2682382. Способ ориентации систем координат наблюдателей в пассивной системе видения.
2. Патент RU 2719631. Способ определения пространственных координат движущегося объекта пассивной радиосистемой.
3. Патент RU 2726 321. Способ определения пространственного положения и скорости в группе объектов системой доплеровских приемников.
4. Патент RU 2743896. Способ определения вектора скорости объекта многопозиционной доплеровской системой.
5. Патент RU 2729511. Способ повышения надежности и точности пассивной системы видения.