

ПОСТАНОВКА И МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СОПРОВОЖДЕНИЕМ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО ТИПА

к.т.н. В.М. Грачёв, С.М. Анастасенко
(представил д.т.н., проф. Х.А. Турсунходжаев)

Рассматривается система пассивной локации, состоящая из нескольких пеленгаторов, в которой реализован триангуляционный метод определения координат и сопровождения воздушных объектов. Проводится постановка задачи выбора пеленгаторов для сопровождения воздушных объектов, анализируются известные методы ее решения. Предлагается критерий оптимальности и методы решения задачи, в основе которых лежит обеспечение максимальной информативности системы.

Постановка проблемы. Рассматривается система пассивной локации триангуляционного типа, включающая в свой состав n разнесенных на местности пеленгаторов (станций радиотехнической разведки обзорного типа) и пункт обработки информации (ПОИ).

Каждый пеленгатор решает следующие задачи:

- обнаружение воздушных объектов (ВО) по излучению их бортовых радиоэлектронных средств (БРЭС);
- измерение пеленгов (направлений) на ВО и сопровождение пеленговых траекторий;
- измерение частотно-временных параметров излучений (ЧВПИ), определение вида излучения, распознавание типа БРЭС и типа ВО;
- выдача координатной и признаковой информации на ПОИ.

На пункте обработки информации решаются следующие задачи:

- отождествление (объединение) данных от отдельных пеленгаторов по принадлежности к ВО;
- определение пространственных координат ВО триангуляционным методом и их сопровождение;
- окончательное распознавание типа и класса сопровождаемых воздушных объектов;
- управление сбором и обработкой информации в системе и сопровождением ВО.

Под задачами управления сопровождением воздушных объектов в

системе будем понимать:

- управление назначением пеленгаторов на сопровождение пеленговых траекторий обнаруженных объектов;
- управление назначением двоек или троек пеленгаторов на сопровождение объектов триангуляционным методом (сопровождение триангуляционных траекторий).

Рассматриваемые задачи должны решаться как единая задача, хотя ввиду их сложности следует рассмотреть вариант последовательного решения двух задач. При этом целесообразно в качестве критерия оптимальности их решения выбрать критерий максимума информативности системы.

Анализ литературы. При решении задач управления сбором и обработкой данных и сопровождением воздушных объектов следует учитывать известные факторы:

а) каждый пеленгатор в процессе обзора пространства по азимуту и последовательного просмотра частотного диапазона работает в режимах обнаружения и сопровождения воздушных объектов. При этом пропускная способность канала сопровождения ограничена предельным количеством одновременно сопровождаемых воздушных объектов – $N_{пр}$;

б) пеленгаторы работают в условиях неполноты и эпизодичности наблюдения объектов [1], т.е. воздушный объект может не наблюдаться, наблюдается по излучениям одной или более БРЭС одновременно, при этом БРЭС изменяют режимы функционирования, включают и выключают излучение.

В этих условиях задачи управления сбором и обработкой информации в системе существенно усложняются и от качества их решения во многом зависит эффективность всей системы.

Существующие системы пассивной локации используют в основном, для обнаружения и сопровождения воздушных объектов их помеховые излучения, при этом триангуляционная обработка реализуется с применением двух вариантов алгоритмов обработки информации, получаемой от пеленгаторов. Первым является алгоритм обнаружения и сопровождения по нумерованным пеленгам, а вторым алгоритм обнаружения и сопровождения по ненумерованным пеленгам. Управление назначением пеленгаторов для сопровождения воздушных объектов на пунктах управления системы не осуществляется, что существенно снижает ее эффективность.

Цель статьи: оптимизация решения задачи управления сопровождением воздушных объектов в системе пассивной локации триангуляционного типа для обеспечения ее максимальной информативности.

Основной раздел. Под информативностью системы будем понимать количество информации о воздушных объектах, которая может быть получена в процессе функционирования. Если в зоне информации Ω системы находится N объектов и пространственные координаты каждого из них определяются с ошибками, характеризующимися ковариационной матрицей ошибок $K_{\text{ош } j}$ ($j = \overline{1, N}$), то полученное количество информации можно определить через количество снятой энтропии (неопределенности) [2]:

$$I = \sum_{j=1}^N (V_{\Omega} - V_{\text{ош } j}) = N \times V_{\Omega} - \sum_{j=1}^N V_{\text{ош } j},$$

где V_{Ω} – объем (или площадь) зоны информации системы; $V_{\text{ош } j}$ – объем (площадь) эллипсоида (эллипса) ошибок определения координат объектов.

Если j -й ВО не сопровождается (его пространственные координаты не определяются), то $V_{\text{ош } j} = V_{\Omega}$. Таким образом, критерий максимума информации может быть сведен к критерию минимума суммарных ошибок определения координат ВО – $\min \sum_{j=1}^N V_{\text{ош } j}$.

Для формализации рассматриваемой задачи введем параметры управления:

а) признак обнаружения (наблюдения) j -го ВО i -м пеленгатором:

$$\Pi_{ij}^o = \begin{cases} 1 - \text{если } j\text{-й ВО обнаружен } i\text{-м пеленгатором;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

б) признак сопровождения j -го ВО i -м пеленгатором

$$\Pi_{ij}^c = \begin{cases} 1 - \text{если } j\text{-й ВО сопровождается } i\text{-м пеленгатором;} \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Естественно, что $\Pi_{ij}^c = 1$ только при условии $\Pi_{ij}^o = 1$.

Введем показатель качества управления (ПКУ) для задачи назначения пеленгаторов на сопровождение пеленговых траекторий. Очевидно, что для обеспечения максимума информативности системы следует обеспечить максимум количества сопровождаемых воздушных объектов максимумом пеленгаторов, т.е. соответствующий показатель качества управления можно представить в виде

$$\max .N_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N \Pi_{ij}^0 \Pi_{ij}^c$$

при ограничениях

$$N_i^c = \sum_{j=1}^N \Pi_{ij}^c \leq N_{пр}, \quad i = \overline{1, n},$$

где N_i^c – количество воздушных объектов, сопровождаемых i -м пеленгатором.

ПКУ в виде максимума информативности системы представим в следующем виде:

$$\max I = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N \Pi_{ij}^0 \Pi_{ij}^c (V_{\Omega} - V_{ошиj}),$$

где V_{Ω} – размер зоны информации (в данном случае при измерении только азимута $V_{\Omega} = 360$ град.); $V_{ошиj}$ – размер зоны ошибок (в данном случае $V_{ошиj} = 6\sigma_{\beta}$; здесь σ_{β} – СКО измерения азимута).

Таким образом, задача управления назначением пеленгаторов на сопровождение пеленговых траекторий ВО формализуется, как задача линейного программирования при ограничениях на ресурсы. Ее решение может быть проведено как оптимальным, так и упрощенными методами.

Введем ПКУ для задачи управления назначением двоек пеленгаторов для триангуляционного сопровождения объектов, при условии, что задача назначения пеленгаторов на сопровождение пеленговых траекторий уже решена, и каждый из пеленгаторов сопровождает определенное количество пеленгов. В рассматриваемом случае задачу оптимального выбора двоек пеленгаторов для триангуляционного сопровождения совокупности ВО можно свести к независимому решению задачи выбора двоек для каждого j -го ВО.

Введем следующие параметры:

$i_j^1 = \overline{1, N_j^c}$ – номер первого пеленгатора двойки, назначенной для триангуляционного сопровождения j -го ВО;

$i_j^2 = \overline{1, N_j^c}$ – номер второго пеленгатора двойки, назначенной для триангуляционного сопровождения j -го ВО.

Тогда ПКУ для j -го ВО можно представить в следующем виде:

$$\min_{\substack{i_j^1, i_j^2 \\ i_j^1 > i_j^2}} V_{\text{ош}j} = \sum_{i_j^1=1}^{N_j^c} \sum_{i_j^2=1}^{N_j^c} V_{\text{ош}i_j^1, i_j^2, j},$$

где $V_{\text{ош}i_j^1, i_j^2, j}$ – объем (площадь) эллипса ошибок определения пространственных координат j -го ВО двойкой пеленгаторов с номерами i_j^1 и i_j^2 .

Данная задача может быть решена прямым перебором, при этом объем (площадь) эллипсоида ошибок определения координат объекта триангуляционным методом целесообразно рассчитывать путем определения потенциальных точностей с использованием информационной матрицы Фишера [3, 4].

Выводы. Предлагаемые методы решения задач управления сопровождением объектов в триангуляционной системе пассивной локации могут быть реализованы на современных вычислительных средствах и обеспечить требуемую информативность системы в реальных условиях наблюдения воздушных объектов по эпизодическому излучению их бортовых РЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грачёв В.М., Довбня А.В., Анастасенко С.Н., Сафронов Р.В. Объединение радиолокационной информации в многопозиционных активно-пассивных комплексах в условиях неопределенности наблюдения // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 5(15). – С. 42 – 49.
2. Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушкин Ф.Ф. Введение в информационную теорию систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
3. Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применение. – М.: Наука, 1968. – 548 с.
4. Кульбак С. Теория информации и статистика. – М.: Наука, 1967. – 408 с.

Поступила 28.02.2003

ГРАЧЁВ Виктор Михайлович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научного центра при ХВУ. Окончил ВИРТА ПВО в 1975 г. Область научных интересов – автоматизированные системы управления и обработки информации.

АНАСТАСЕНКО Сергей Николаевич, адъюнкт научного центра при ХВУ. Окончил ХВУ в 1997 г. Область научных интересов – автоматизированные системы управления и обработки информации.