

ОБЪЕДИНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В МНОГОПОЗИЦИОННЫХ АКТИВНО-ПАССИВНЫХ КОМПЛЕКСАХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

к.т.н. В.М. Грачов, А.В. Довбня, С.Н. Анастасенко, Р.В. Сафронов
(представил д.т.н., проф. Х.А. Турсунходжаев)

В статье рассматриваются принципы и алгоритм объединения радиолокационной информации в процессе решения задачи обнаружения - распознавания - сопровождения траекторий в условиях неопределенности наблюдения объектов в многопозиционных активно - пассивных комплексах (МП АПК).

Анализ функционирования систем сбора и обработки информации о воздушной обстановке, основанных только на средствах активной локации в условия радиоэлектронной борьбы (РЭБ), выявляет их неэффективность [1]. Одним из путей решения этой проблемы является широкое использование пассивных источников радиолокационной информации в составе многопозиционных активно - пассивных комплексов (МП АПК). В таких комплексах возникает задача вторичной обработки информации в условиях неопределенности наблюдения воздушных объектов (ВО). Рассмотрим суть неопределенности наблюдения, в основе которой лежат принципы построения и функционирования многопозиционного АПК.

Многопозиционный активно-пассивный комплекс может включать следующие каналы:

- активную радиолокационную станцию (первичный радиолокатор), с которой совмещается пеленгационный канал;
- радиолокационную станцию (РЛС) активного запроса и ответа (вторичный радиолокатор);
- станцию радиотехнической разведки (РТР), обнаруживающую и измеряющую частотно-временные параметры и угловые координаты излучений бортовых радиоэлектронных средств (БРЭС);
- МП комплекс пассивной локации (КПЛ) базово - корреляционного типа, позволяющий обнаруживать и измерять пространственные координаты источников радиоизлучений (ИРИ) импульсного и шумового вида.

Под неопределенностью наблюдения будем понимать:

- наблюдение воздушного объекта одновременно несколькими каналам АПК;

- наблюдение воздушного объекта в одном пассивном канале АПК по излучению нескольких ИРИ на его борту.

Для построения оптимального алгоритма объединения информации в МП АПК необходимо ввести модель потока наблюдаемых воздушных объектов.

Для описания потока воздушных объектов различного класса и типа будем использовать модель случайного потока Пуассона [2]. Количество воздушных объектов (ВО) в налете, их распределение по классам и типам определяется замыслом удара, но для информационной системы он является неизвестным и случайным.

К классам ВО будем относить самолеты стратегической, тактической и палубной авиации, самолетные разведывательно-ударные комплексы, самолеты радиолокационного дозора и наведения, военно - транспортную авиация, стратегические крылатые ракеты и т.п.

Каждый класс ВО включает в свой состав определенные типы средств воздушного нападения. Например, класс самолетов стратегической авиации включает типы В-52, В-1В и т.п.. Для каждого класса и типа ВО известно количество БРЭС (ИРИ), их классы и типы, которые могут находиться и функционировать на его борту. При этом распределение БРЭС по типам ВО определяется как функциональным назначением конкретных типов ВО, так и замыслом удара.

К классам ИРИ будем относить: бортовые РЛС, высотомеры, средства навигации, средства определения государственной принадлежности (ОГП), постановщики пассивных помех (ПАП) и т.д.

Каждый класс ИРИ включает в свой состав несколько типов ИРИ. Для каждого конкретного ИРИ на борту ВО необходимо задать модель эпизодического во времени процесса его функционирования (включенного и выключенного состояний).

Эпизодическая наблюдаемость характеризуется длительностью интервала непрерывного функционирования ИРИ - $\tau_{\text{ф}}$ и длительностью интервала нефункционирования ИРИ - $\tau_{\text{нф}}$. При этом за время удара (налета) конкретные РЭС могут включаться один раз, несколько раз или вообще не включаться. Будем считать, что интервалы времени включенного и выключенного состояний – случайные величины.

Будем считать, что частотно-временные параметры излучения конкретного РЭС практически не изменяются во времени, а одинаковые типы ИРИ на разных бортах в интересах электромагнитной совместимости функционируют на отличающихся значениях несущих частот.

Для каждого типа ВО, с учетом количества и типов РЭС на его борту, необходимо задать модель взаимосвязи процессов их функционирования во времени. Частными случаями этой модели могут быть:

а) модель независимого функционирования различных РЭС на борту ВО;

б) модель детерминированной зависимости функционирования различных РЭС во времени, определяемая алгоритмом применения данного типа ВО в конкретном ударе (разведка, пуск ракет, наведение ракет и т.п.).

Таким образом, можно отметить следующее.

Каждый конкретный ВО может (в одном цикле обзора) наблюдаться одновременно:

- активной (первичной) РЛС по отраженному сигналу или ее пеленгационным каналом по излучению ПАП на борту этого ВО;
- РЛС активного запроса и ответа;
- станцией РТР (по излучениям одного или нескольких РЭС разного класса и типа, одновременно функционирующих на борту);
- многопозиционным комплексом пассивной локации (МП КПЛ).

Каждый конкретный ВО на интервале времени налета может эпизодически наблюдаться каждым из каналов МП АПК; при этом возможны следующие интервалы наблюдения:

- только активной РЛС (первичной РЛС);
- только пеленгационным каналом активной РЛС по излучению ПАП и МП КПЛ по излучению ПАП;
- активной РЛС и МП КПЛ по излучению ПАП;
- станцией РТР и МП КПЛ по излучению одного типа БРЭС (одного ИРИ);
- станцией РТР и МП КПЛ по излучениям нескольких типов БРЭС одновременно (нескольких ИРИ);

Все возможные ситуации наблюдаемости ВО на различных интервалах времени необходимо описать с указанием меры их возможности и невозможности (пример невозможной ситуации: наблюдения ВО одновременно активной РЛС и ее пеленгационным каналом по излучению ПАП, подавляющей эту РЛС).

Каждый из каналов МП АПК является по отношению к конкретному воздушному объекту:

- каналом однозначной наблюдаемости ВО (активная РЛС, пеленгационный канал активной РЛС, станция запроса - ответа). Эти каналы наблюдают ВО по отраженному излучению, либо по излучению "запрос - ответ", либо по излучению одного ПАП на борту, подавляющего активную РЛС;
- каналом неоднозначной (множественной) наблюдаемости ВО по излучениям различных типов БРЭС на его борту (станция РТР и сопряженный с ней МП КПЛ).

Следовательно, можно отметить следующее.

1. Активные каналы (активные РЛС и РЛС "запрос - ответ") являются каналами однозначной наблюдаемости ВО.

2. Пассивные каналы (станция РТР, МП КПЛ) являются каналами множественной наблюдаемости ВО по излучениям каждой из БРЭС на его борту.

3. Пассивный пеленгационный канал активной РЛС является, как и сама РЛС, каналом однозначной наблюдаемости, так как для подавления конкретной РЛС на борту ВО назначается только один постановщик активных помех.

Введем модель потока измерений ("отметок") на выходе систем первичной обработки информации МП АПК. Эта модель определяется:

- моделью потока ВО;
- заданием количества и типов БРЭС на борту каждого ВО;
- моделью процесса эпизодического функционирования БРЭС во времени;
- характеристиками каналов наблюдения (вероятностью правильного обнаружения, вероятностью ложной тревоги в интервале разрешения и т.п.).

Суммарный поток "отметок" представим в виде суперпозиции частных потоков истинных отметок и потоков ложных отметок [2], получаемых от каждого канала АПК и по каждому ИРИ на борту ВО.

Апостериорная многомерная плотность распределения вероятности потока наблюдаемых ВО (с учетом их типа, количества и типов ИРИ на борту, эпизодического функционирования ИРИ во времени) определяется с использованием формулы Байеса применительно к случайным потокам путем объединения и нормирования априорной плотности потока наблюдаемых объектов (с учетом заданных их характеристик) и суперпозиции плотностей потока отметок разных каналов [2].

Оптимальный алгоритм обнаружения - распознавания - сопровождения наблюдаемых ИРИ и ВО должен реализовывать выдвижение и проверку множества гипотез относительно следующих ситуаций и факторов:

- гипотез о количестве наблюдаемых ВО на данном интервале времени, их классах и типах;
- гипотез о длительности подинтервалов времени наблюдения и ненаблюдения каждого из ВО;
- гипотез о количестве размещенных и функционировавших ИРИ на борту каждого из ВО, их классах и типах (в том числе и о значениях частотно-временных параметров излучения);
- гипотез о длительности подинтервалов времени функционирования и нефункционирования каждого из ИРИ на борту каждого из ВО;
- гипотез совместного отождествления "отметок" различных каналов по принадлежности к наблюдаемым ВО и ИРИ;
- гипотез поточечного отождествления отметок различных каналов по принадлежности к одному ВО и каждому ИРИ на его борту.

Следует отдельно рассматривать множественную наблюдаемость ВО в многоканальном МП АПК и множественную наблюдаемость ВО в отдельном пассивном канале, в частности, в станции РТР или в связанном с ней МП КПЛ.

Рассмотрим более детально процесс множественной наблюдаемости ВО в одном пассивном канале – в станции РТР. Как известно, станция РТР осуществляет обзор пространства и поиск ИРИ одновременно по двум параметрам:

- по азимуту за счет сканирования диаграммы направленности антенны (ДНА) по азимуту;
- по частоте излучения ИРИ в диапазоне ($f_{\min} \div f_{\max}$) путем разделения всего частотного диапазона на N поддиапазонов с шириной полосы Δf и последовательного анализа принимаемых сигналов в каждом из поддиапазонов в течении интервала времени Δt_a .

При этом производится оценка координатных (азимут β , угол места - ε) и частотно - временных параметров (несущей частоты f_n , длительности импульса - τ_n , периода повторения - T_n , девиации периода повторения - δT_n) обнаруженных излучений.

Анализ всего частотного диапазона проводится за время $N \cdot \Delta t_a$. За это время луч диаграммы направленности антенны (ДНА) смещается по азимуту на величину $\omega \cdot N \cdot \Delta t_a$, где ω - угловая скорость вращения антенны. При круговом обзоре величина $\omega = \frac{2\pi}{T_0}$, где T_0 – длительность цикла обзора $T_0 = 2..10$ с.

Чтобы не пропустить отдельные ИРИ при одновременном обзоре по азимуту и частоте ширина ДНА по азимуту $\Delta\beta_{\text{ДНА}}$ должна быть не меньше величины $\omega \cdot N \cdot \Delta t_a$, т.е. должно соблюдаться условие

$$\Delta\beta_{\text{ДНА}} \geq \frac{2\pi}{T_0} \cdot N \cdot \Delta t_a . \quad (1)$$

Если принять, что $T_0 = 2$ с, $N = 30$, $\Delta t_a = 5$ мс, то требуемая ширина ДНА $\Delta\beta_{\text{ДНА}} \geq 27$ угл.град. При этом наряду с требованием не пропустить ИРИ должно соблюдаться требование исключить повторное наблюдение одного и того же ИРИ в одном цикле обзора. Для выполнения последнего требования ширина ДНА не должна существенно превышать величину $\omega \cdot N \cdot \Delta t_a$.

В дальнейшем будем считать, что оба вышеуказанных условия соблюдены и каждый ИРИ наблюдается в цикле обзора только один раз. При одновременном функционировании на борту ВО нескольких типов БРЭС на отличающихся частотах каждая из них наблюдается станцией РТР в цикле обзора с разнесом во времени, пропорциональным разнесу несущих частот ИРИ. Этим самым обеспечивается множественная

наблюдаемость конкретного ВО одним каналом пассивной локации (станцией РТР).

Под множественной наблюдаемостью ВО и (или) его траектории следует понимать не только процесс его наблюдения при одновременном функционировании двух и более ИРИ на его борту, а и процесс наблюдения траектории ВО при эпизодическом во времени функционировании нескольких типов ИРИ на его борту. При этом интервалы времени функционирования отдельных ИРИ не обязательно перекрываются, возможно ненаблюдение ВО, приводящее к разрывам в сопровождении.

Множественная наблюдаемость воздушного объекта каналом РТР приводит к необходимости объединения измерений, полученных по отдельным ИРИ, по принадлежности к траектории одного воздушного объекта. Это необходимо сделать для исключения дублирования траекторных данных о ВО, повышения их полноты, точности и достоверности. Учитывая, что измерения по отдельным ИРИ на одном ВО получают, в общем случае, в отличающиеся моменты времени, процесс их объединения будем называть процессом временного объединения.

Предлагается следующий двухэтапный алгоритм траекторной обработки информации на станции РТР:

а) на первом этапе реализуется процесс обнаружения - распознавания - сопровождения пеленговых траекторий отдельных наблюдаемых ИРИ (без учета их возможного размещения на борту одного ВО);

б) на втором этапе реализуется объединение отдельных пеленговых траекторий ИРИ по принадлежности к наблюдаемым ВО и сопровождение пеленговых траекторий ВО.

Рассмотрим кратко содержание двух этапов обработки информации.

В процессе обнаружения – распознавания – сопровождения пеленговых траекторий РЭС решаются задачи:

- идентификации измерений частотно-временных (f_n , τ_n , T_n , δT_n) и координатных параметров (β , ϵ) излучений, полученных в различных циклах обзора, по принадлежности к отдельным ИРИ, движущимся по определенным пеленговым траекториям;

- оценивания вектора параметров пеленговых траекторий – значений азимута β , угла места ϵ , скорости их изменения $\dot{\beta}$, $\dot{\epsilon}$ и (возможно) ускорений их изменения $\ddot{\beta}$, $\ddot{\epsilon}$ на каждый очередной момент обновления информации и, при необходимости, в экстраполированных точках. Дополнительно в состав вектора оцениваемых параметров необходимо включить оценку частотно – временных параметров излучения – несущей частоты f_n , длительности импульса - τ_n , периода повторения - T_n , девиации периода повторения - δT_n и тенденции их изменения во времени;

- предварительного распознавания типа и класса сопровождаемого ИРИ. При этом результат распознавания может быть как однознач-

ным, так и неоднозначным в зависимости от информативности процесса наблюдения. Под неоднозначным распознаванием ИРИ будем понимать решение об отнесении его к двум и более типам с определёнными степенями предпочтения (мерами вероятности или возможности [3]).

На втором этапе в процессе отождествления пеленговых траекторий отдельных ИРИ по принадлежности к наблюдаемым ВО решаются задачи:

- идентификации пеленговых траекторий отдельных ИРИ по принадлежности к одному ВО;
- оценивания траекторных параметров объединенных траекторий ВО;
- окончательного распознавания типов и классов ИРИ, отнесенных к одному ВО, а также типа и класса ВО.

Процесс идентификации (отождествления) пеленговых траекторий ИРИ по принадлежности к одному ВО может быть реализован:

а) проверкой близости значений координатных и траекторных параметров отождествляемых пеленговых траекторий (угловых координат, скоростей и ускорений их изменения);

б) проверкой непротиворечивости (согласованности) результатов предварительного распознавания типов РЭС, пеленговые траектории которых отождествляются по принадлежности к одному ВО.

Суть проверки непротиворечивости результатов предварительного распознавания типов объединяемых РЭС заключается в следующем. Для каждого типа ВО заранее должны быть определены и внесены в базу данных несколько базовых вариантов его оснащения бортовыми РЭС. В процессе объединения пеленговых траекторий должна решаться задача проверки соответствия типов объединяемых РЭС одному из вариантов оснащения каждого из гипотетических типов ВО и выбор наиболее правдоподобного типа ВО и варианта его оснащения.

Таким образом, задачи объединения пеленговых траекторий РЭС и распознавания типа ВО должны решаться совместно на основе использования единой базы данных.

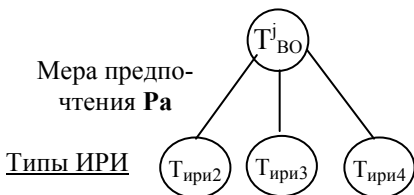
На основании рассмотренных принципов сформулируем предложения по структуре базы данных и предложим алгоритм решения задачи обнаружения - распознавания - сопровождения. Пусть каждому конкретному типу ВО соответствует несколько возможных вариантов оснащения его бортовыми РЭС и известны значения мер правдоподобия этих вариантов (рис.1).

Данные по каждому из типов ВО и варианту его возможного оснащения типами БРЭС заносятся в базу данных в виде матрицы соответствия (табл.1). В соответствующих клетках на пересечении строк и столбцов матрицы хранятся значения типа ВО ($T_{ВО}$) и типа ИРИ ($T_{ИРИ}$) (0 или 1). В процессе решения задачи по значениям объединяемых типов ИРИ находится наиболее правдоподобный тип ВО и вариант его оснащения бортовыми РЭС. Если такого варианта найти не удастся, то дан-

ная гипотеза отождествления отвергается.

Естественно, что на момент принятия решения не все ИРИ из находящихся на борту ВО функционируют или функционировали. Поэтому принимаемый вариант оснащения ВО будет неполным и в процессе дальнейшего наблюдения при получении новой информации он должен уточняться. При этом возможен и пересмотр решения о типе наблюдаемого воздушного объекта.

вариант а)



вариант б)

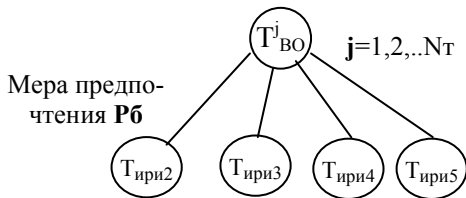


Рис. 1. Предложения по структуре базы данных

Таблица 1

Матрица соответствия

		$T^1_{ири}$	$T^2_{ири}$	$T^3_{ири}$	$T^4_{ири}$	$T^5_{ири}$	$T^6_{ири}$	$T^7_{ири}$
$T^1_{во}$	а	0	1	1	1	0	0	0
	б	0	1	1	1	1	0	0
$T^2_{во}$	а	1	1	0	0	0	0	0
	б	0	0	1	1	1	1	0
	в	1	1	0	0	0	0	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-
$T^N_{во}$		0	1	1	1	1	0	0

Таким образом, применение рассмотренного алгоритма обнаружения - распознавания - сопровождения воздушных объектов позволит автоматизировать соответствующие этапы обработки информации в МП АПК для случая неопределенности наблюдения воздушных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слипченко В. Анализ военной кампании НАТО против Югославии весной 1999 года. – <http://www.nvo.ng.ru>.
2. Бакут П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. Обнаружение движущихся объектов.

щихся объектов. – М.: Сов. радио, 1980. – 211с.

3. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. – К.: Квіц, 2000. – 360 с.

Поступила в редколлегию 20.08.2001
