

УДК 621.3

В.М. Грачев, А.В. Довбня, В.А. Корнеев

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## МЕТОД СОВМЕСТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ-СОПРОВОЖДЕНИЯ-РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИЗЛУЧЕНИЮ ИХ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*В статье рассматривается метод траекторной обработки локационной информации радиолокационного активно-пассивного комплекса как процесс совместного обнаружения – сопровождения – распознавания наблюдаемых объектов.*

**Ключевые слова:** объединение информации, отождествление измерений, источник информации

### Введение

В современных условиях ведения боевых действий противник широко применяет радиоэлектронное подавление средств активной локации; таким образом, сохранение эффективности информационной системы управления невозможно без использования комплексов и средств пассивной локации, интегрированных с комплексами активной локации в активно-пассивные комплексы и системы.

В вооруженных силах Украины и других стран на вооружении состоят следующие средства и комплексы пассивной локации [1, 2]:

комплекс радиотехнической разведки “Рамона–Планшет” (“Тамара”, “Вера”);

станция радиотехнической разведки “Кольчуга” и др.

В настоящее время использовать данные средства пассивной локации в информационной подсистеме АСУ ПВО возможно только после проведения доработок по следующим направлениям:

процесс траекторной обработки информации должен быть полностью автоматизирован;

распознавание типов источников излучения и типа носителя должно проводиться по измерениям частотно-временных параметров излучения с учетом тра-

екторной информации и предыстории наблюдений;

должно проводиться объединение наблюдаемых источников излучения по принадлежности к воздушному объекту и их носителю.

Таким образом, в активно–пассивных радиолокационных комплексах должен быть реализован метод совместного обнаружения–сопровождения–распознавания наблюдаемых источников излучения и их носителей.

**Цель статьи.** Разработка метода объединения информации о воздушных объектах от совокупности разнотипных источников.

### Основной раздел

**Постановка задачи.** Рассмотрим комплекс обзорного типа, который осуществляет поиск и измерение сигнальных параметров (несущей частоты  $f$ , периода повторения  $T_{п}$  и длительности импульсов  $\tau_{и}$ ), а также координатных параметров (дальности  $R$ , азимута  $\beta$  и угла места  $\epsilon$ ) источников излучений бортовых радиоэлектронных средств (БРЭС). По данным многократных измерений за несколько обзоров требуется решить задачу обнаружения–сопровождения–распознавания наблюдаемых БРЭС и их носителей.

На борту каждого воздушного объекта (ВО) могут находиться несколько БРЭС различного типа в соответствии с вариантом оснащения объекта данного типа. Каждый  $k$ -тый тип БРЭС ( $k=1..M_{БРЭС}$ ) может функционировать в различных режимах. Режимы функционирования БРЭС характеризуются видом сигнала, диапазоном возможных значений частотно-временных параметров (ЧВП) излучений и моделями изменения во времени параметров излучений.

Будем рассматривать следующие типовые модели изменения во времени параметров излучений, в частности, несущей частоты сигнала  $f$ , и модели их измерения:

а) модель излучения на постоянной несущей частоте с постоянным периодом повторения и длительностью импульсов на всем интервале наблюдения, при этом однократные измерения параметров характеризуются случайными ошибками, распределенными по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и известной дисперсией.

б) модель излучения с быстрой перестройкой несущей частоты от импульса к импульсу по случайному равномерному закону в известном диапазоне возможных значений ( $f_{\min}, f_{\max}$ ) и с постоянным периодом повторения и длительностью импульсов; модель измерения частоты аналогична введенной ранее.

Для каждого типа БРЭС необходимо также задать модель изменения режимов функционирования во времени. Анализ тактики применения средств воздушного нападения (в частности, ударной авиации) показывает, что БРЭС функционируют (излучают) эпизодически во времени, при этом наблюдается тенденция к максимальному сокращению времени непрерывного излучения. На каждом из интервалов излучения БРЭС может функционировать в одном из режимов, меняя их от интервала к интервалу. Все это существенно усложняет реализацию алгоритмов обработки информации.

Совокупность всех режимов функционирования рассматриваемых типов БРЭС определим как множество “типорежимов БРЭС”. Таким образом, задача распознавания будет сведена к последовательному распознаванию типорежимов БРЭС, типов БРЭС и типов ВО-их носителей.

Известно, что отдельные типорежимы имеют существенно перекрывающиеся диапазоны возможных значений параметров излучения. Решение задачи распознавания усложняется также достаточно большими случайными ошибками измерений. Таким образом, распознавание по единичному (однократному) измерению частотно-временных параметров излучения будет неэффективно в силу малой различимости типорежимов и типов БРЭС. Необходимо решать задачу распознавания на основе использова-

ния многократных измерений параметров (сигнальных и координатных) на этапе траекторной обработки информации.

**Результаты исследований. Метод совместного обнаружения-сопровождения-распознавания.** Оптимальный алгоритм обнаружения-сопровождения-распознавания объектов реализуется путем последовательной обработки поступающей в каждом цикле обзора информации (отметок).

1. По всем полученным отметкам в каждом цикле обзора выдвигаются гипотезы их поточечного отождествления (с учетом возможных пропусков отметок), образующие множество гипотез совместного отождествления.

2. Для каждой гипотезы поточечного отождествления отметок выдвигается множество гипотез распознавания (их количество определяется используемым алфавитом типов). Мера правдоподобия составной гипотезы отождествления-распознавания по координатным и частотно-временным параметрам рассчитывается как объем соответствующего пика апостериорной плотности распределения вероятностей этих параметров, сформированной по многократным измерениям:

$$V_j = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} P_{\text{апост}}^j(R, \beta, \varepsilon, f, \tau_{\text{и}}, T_{\text{П}}) \cdot dR \cdot d\beta \cdot d\varepsilon \cdot df \cdot d\tau_{\text{и}} \cdot dT_{\text{П}}. \quad (1)$$

Для формирования апостериорной плотности распределения вероятностей (АПРВ) необходимо задать условные для каждого типа БРЭС (типа ВО) априорные распределения частотно-временных параметров. Будем считать, что эти условные распределения задаются в виде нормального закона с известными математическими ожиданиями и дисперсиями, отличающимися для каждого типа БРЭС. Это справедливо для модели излучения с постоянными (или изменяющимися по неслучайному закону) параметрами.

Для модели излучения с быстрой перестройкой рабочей частоты, описываемой равномерным законом распределения, строгое формирование АПРВ с использованием известной формулы Байеса невозможно. В этом случае целесообразно рассчитывать меру правдоподобия путем формирования условной функции правдоподобия многократных измерений несущей частоты. При этом условные плотности измерения задаются в виде композиции двух законов распределения – равномерного в заданном интервале и нормального с заданной дисперсией и нулевым математическим ожиданием ошибок измерений:

$$p_j(f) = \frac{1}{f_{\max}^j - f_{\min}^j} \left( \Phi \left( \frac{f_{\max}^j - f}{\sigma_f} \right) - \Phi \left( \frac{f_{\min}^j - f}{\sigma_f} \right) \right), \quad (2)$$

где  $\Phi(\cdot)$  – интеграл вероятности;  $j$  – номер типорежима БРЭС.

Таким образом, мера правдоподобия гипотезы отождествления–распознавания по многократным измерениям частоты для модели ее случайного изменения от импульса к импульсу будет рассчитана следующим образом:

$$V_j^f = \prod_{i=1}^n P_j(\hat{f}_i) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{f_{\max}^j - f_{\min}^j} \left( \Phi \left( \frac{f_{\max}^j - \hat{f}_i}{\sigma_f} \right) - \Phi \left( \frac{f_{\min}^j - \hat{f}_i}{\sigma_f} \right) \right). \quad (3)$$

В силу независимости измерений координатных и частотно-временных параметров мера правдоподобия может быть представлена в виде произведения составляющих, рассчитанных по координатным параметрам ( $V_j^{кп}$ ) и частотно-временным параметрам ( $V_j^{чвп}$ ):

$$V_j = V_j^{кп} \cdot V_j^{чвп} = V_j^R \cdot V_j^\beta \cdot V_j^\varepsilon \cdot V_j^f \cdot V_j^{\tau_n} \cdot V_j^{T\Pi} \quad (4)$$

Формульное соотношение для расчета меры правдоподобия произвольной гипотезы отождествления–распознавания по измерениям частотно-временных параметров в рекуррентном виде запишется в виде:

$$V_{(i)} = V_{(i-1)} \cdot \Delta V_i, i = 2, 3, \dots, n, \quad (5)$$

где  $V_{(i)}$  – значение меры правдоподобия, найденное по  $(i)$  измерениям параметра;  $V_{(i-1)}$  – значение меры правдоподобия, найденное по  $(i-1)$ -му измерению;  $\Delta V_i$  – мера близости  $i$ -го измерения параметра и оценки параметра, рассчитанной по предыдущим  $(i-1)$  измерениям.

Применительно к измерениям частоты эта мера будет представлена в следующем виде:

$$\Delta V_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_f^2 + \sigma_{\tilde{f}_{(i-1)}}^2)}} \exp \left\{ -\frac{(\hat{f}_i - \tilde{f}_{(i-1)})^2}{\sigma_f^2 + \sigma_{\tilde{f}_{(i-1)}}^2} \right\}. \quad (6)$$

Для расчета оценок параметра по  $i$  измерениям и дисперсии этой оценки используются известные рекуррентные соотношения для средневзвешенных оценок и их дисперсий.

Начальное значение меры правдоподобия  $V_{(i-1)}$  при  $i=2$  с учетом априорно заданной плотности распределения частоты для  $j$ -го типорежима  $p_j(f) \sim N(f_0^j, \sigma_{0j}^2)$ , рассчитывается следующим образом:

$$\Delta V_{(1)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_f^2 + \sigma_{0j}^2)}} \exp \left\{ -\frac{(f_0^j - \hat{f}_1)^2}{\sigma_f^2 + \sigma_{0j}^2} \right\}. \quad (7)$$

Для случая, когда параметр изменяется во времени по известному закону (допустим, по полиному 1-й степени) оптимальные рекуррентные соотношения для оценивания параметра могут быть представлены в виде известного фильтра Калмана.

Меру правдоподобия гипотезы отождествления–распознавания, рассчитанную по выборке из  $n$  измерений параметра, можем представить в виде произведения двух мер – меры правдоподобия гипотезы отождествления и меры правдоподобия гипотезы распознавания:

$$V_{(n)} = V_{(n)}^{\text{отож}} \cdot V^{\text{расп}}, \quad (8)$$

где  $V_{(n)}^{\text{отожд}}$  – мера правдоподобия гипотезы отождествления многократных измерений параметра по принадлежности к одному БРЭС;

$$V_{(n)}^{\text{отожд}} = \prod_{i=2}^n \Delta V_i^{\text{отожд}}, \quad (9)$$

где  $V^{\text{расп}}$  – мера правдоподобия гипотезы распознавания (гипотезы о наблюдении БРЭС  $j$ -го типа).

$$V^{\text{расп}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_{\tilde{f}_{(n)}}^2 + \sigma_0^2)}} \exp \left\{ -\frac{(f_0^j - \tilde{f}_{(n)})^2}{2(\sigma_{\tilde{f}_{(n)}}^2 + \sigma_0^2)} \right\}. \quad (10)$$

В данном соотношении используются следующие оценки и величины:

$\tilde{f}_{(n)}$ ,  $\sigma_{\tilde{f}_{(n)}}^2$  – оценка параметра  $f$ , найденная по

$n$  измерениям, и дисперсия этой оценки;

$\Delta V_i^{\text{отожд}}$  – мера близости  $i$ -го измерения  $\hat{f}_i$  и оценки параметра  $\tilde{f}_{(i-1)}$ , найденной по предыдущим  $(i-1)$  измерениям ( $\tilde{f}_{(1)} = \hat{f}_1$ ).

$$\Delta V_i^{\text{отожд}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_f^2 + \sigma_{\tilde{f}_{(i-1)}}^2)}} \cdot \exp \left\{ -\frac{(\tilde{f}_{(i-1)} - \hat{f}_i)^2}{\sigma_f^2 + \sigma_{\tilde{f}_{(i-1)}}^2} \right\}, \quad (1)$$

$i = 2, 3, \dots, n.$

3. Количество составных гипотез отождествления–распознавания с каждым циклом обзора лавинообразно нарастает. Меры правдоподобия этих гипотез, а также соответствующие им оценки координатных и некоординатных параметров пересчитываются по окончании цикла обзора в соответствии с предлагаемыми рекуррентными алгоритмами.

По окончании каждого цикла обзора принимаются решения относительно отождествления–распознавания, при этом возможны два исхода:

принимается окончательное решение о типах БРЭС, соответствующее  $m$  максимально правдоподобным гипотезам (здесь  $m$ -оценка количества на-

блюдаемых БРЭС);

окончательное решение не принимается, делается вывод о необходимости продолжения наблюдений, при этом возможно отклонение маловероятных гипотез (“усечение” процесса проверки гипотез).

Составные гипотезы отождествления-распознавания можно выдвигать и проверять либо совместно, либо поэтапно – сначала проверяются гипотезы отождествления, затем для принятых гипотез выдвигаются и проверяются гипотезы распознавания. В первом случае сохраняется оптимальность принятия решения. Во втором случае – не сохраняется, однако существенно сокращаются вычисления. Если в двух смежных обзорах было получено  $n_1$  и  $n_2$  отметок соответственно и алфавит типорежимов БРЭС имеет размерность  $K$ , то число проверяемых гипотез уменьшается с  $(n_1 \cdot n_2 \cdot K)$  до  $(n_1 \cdot n_2 + K)$ .

Высокие требования к производительности вычислительных средств обуславливают необходимость ограничения количества рассматриваемых гипотез. Основными методами ограничения являются:

ограничение на время принятия решения об обнаружении траектории БРЭС и распознавании типорежима, типа БРЭС и типа ВО в этом случае, по истечению заданного времени принимается решение в соответствии с максимально правдоподобной гипотезой совместного отождествления-распознавания;

использование метода последовательного анализа, при этом значения мер правдоподобия гипотез после каждого цикла обзора сравниваются с двумя пороговыми, при превышении верхнего порога соответствующие гипотезы принимаются; гипотеза отклоняется если ее мера меньше нижнего порога; в противном случае наблюдение продолжается.

отказ от выдвижения и проверки гипотез совместного отождествления в пользу проверки только гипотез поточечного отождествления-распознавания.

4. Решение об обнаружении траекторий и распознавании типов воздушных объектов по сопровождаемым траекториям БРЭС принимается на основании априорной информации о возможных вариантах

оснащения воздушных объектов различных типов и решений о распознавании типов (типорежимов) БРЭС.

## Вывод

Таким образом, применение предлагаемых алгоритмов обнаружения-сопровождения-распознавания БРЭС и воздушных объектов – их носителей обеспечит повышение полноты, достоверности и оперативности информации, выдаваемой комплексами активно-пассивной локации, за счет наиболее рационального использования их информационных возможностей. Это, в свою очередь, позволит использовать активно-пассивные комплексы в информационной подсистеме АСУ ПВО с целью сохранения (повышения) ее эффективности в сложных условиях обстановки.

## Список литературы

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: КВІЦ, 2000. – 428 с.
2. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах / Бар Шалом Я. и др.: под ред. К.Т. Леондеса и др. – М.: Мир, 1980. – 407 с.
3. R.K. Saha Track – to – Track Fusion with Dissimilar Sensors // IEEE Trans on AES. – 1996. – Vol. 32, № 3. – P. 1021-1028.
4. Chang K.C. On Optimal Track-to-Track Fusion / K.C. Chang, R.K. Saha, and Y. Bar-Shalom // IEEE Trans. Aero. Elec. Syst. – 1997. – Vol. 33, № 4, – P. 271-276.
5. Войтович С.А. Метод об'єднання інформації в системах обробки радіолокаційної інформації з врахуванням часу надходження даних від джерел / С.А. Войтович, С.Б. Клімов, С.Г. Шило // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХВПС, 2006. – № 3(6). – С. 3-8.
6. Войтович С.А. Анализ алгоритмов третичной обработки радиолокационной информации в комплексах средств автоматизации командных пунктов радиотехнических войск ПВО и направления их усовершенствования / С.А. Войтович, С.Г. Шило // Збірник наукових праць ХВУ. – Х., 2002. – Вип. №4(42). – С. 28-33.

Поступила в редколлегию 13.12.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.Н. Седышев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## МЕТОД СПІЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ-СУПРОВОДУ-РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ ПО ВИПРОМІНЮВАННЮ ЇХ БОРТОВИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

В.М. Грачев, О.В. Довбня, В.О. Корнеев

У статті розглядається метод траєкторної обробки локаційної інформації радіолокаційного активно-пасивного комплексу як процес спільного виявлення- супроводу-розпізнавання спостережуваних об'єктів.

**Ключові слова:** об'єднання інформації, ототожнення вимірів, джерело інформації.

## METHOD OF THE JOINT FINDING-AN ACCOMPANIMENTS-A RECOGNITIONS AIR OBJECT ON RADIATION THEIR ON-BOARD RADIOELEKTRONNYH FACILITIES

V.M. Grachev, A.V. Dovbnya, V.O. Korneev

In article is considered method trajectory processing information radar actively-passive complex as process of the joint finding-an accompaniments-a recognitions observed object.

**Keywords:** association to information, identification of the measurements, source to information.