

## МЕТОД СОВМЕСТНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ И ОБОБЩЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКЕ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

к.т.н. С.А. Войтович, С.Г. Шило  
(представил проф. Б.Н. Судаков)

*Предлагается метод совместного объединения и обобщения координатных параметров и признаков воздушных объектов от разнотипных источников, с учетом особенностей их функционирования. Использование метода в системах обработки радиолокационной информации позволяет повысить качество информации, выдаваемой потребителям.*

**Постановка проблемы.** Объединение и обобщение информации о воздушной обстановке при поступлении измерений от совокупности разнотипных источников осуществляется в системах обработки радиолокационной информации (СОРЛИ) в сложных условиях радиолокационного наблюдения. Это вызвано большой пространственной плотностью воздушных объектов (ВО), их маневрированием, постановкой ими активных помех, воздействием естественного шумового фона и другими факторами. При этом процесс наблюдаемости ВО характеризуется эпизодичностью (прерывистым характером) и значительной априорной неопределенностью. В этих условиях методы объединения и обобщения информации о воздушной обстановке, которые реализованы в СОРЛИ, не позволяют достичь требуемых показателей полноты точности и достоверности информации о воздушной обстановке.

Для решения этой актуальной задачи необходимо разработать метод совместного объединения и обобщения информации о воздушной обстановке от совокупности разнотипных источников, который позволит учесть особенности их функционирования, определяющие возможности по обработке и содержанию выдаваемой информации, что позволит обеспечить требуемое качество информации о воздушной обстановке.

**Анализ литературы.** Применительно к проблеме оптимизации объединения РЛИ от множества источников, в работах [1, 2, 4] предложены методы и алгоритмы объединения информации от двух и более неравноточных источников, реализованные на основе совместности обработки измерений. Приведенные в [1, 2] оценки эффективности предложенных методов свиде-

тельствуют об улучшении точности оценок координатных параметров траекторий ВО на 10 – 25% и о снижении стоимости обработки информации пропорционально увеличению количества измерителей.

Однако в предлагаемых методах и алгоритмах объединения информации о воздушной обстановке от совокупности источников используется только информация о координатных параметрах ВО. Учет особенностей функционирования разнотипных источников, которые определяют содержание выдаваемой ими координатной информации – в виде первичных измерений (отметок), либо в виде сообщений о параметрах обнаруживаемых и сопровождаемых источниками траекторий, а также содержание признаков информации – в виде множества поведенческих, сигнальных и траекторных признаков ВО, либо в виде результатов предварительного распознавания ВО в алфавитах классов источников, не производится. В процессе проверки статистических гипотез отождествления измерений, при оценивании координатных параметров траекторий и классификации ВО, не производится учет условий априорной неопределенности и эпизодического характера наблюдений, а также особенностей функционирования разнотипных источников. Это приводит к принятию ошибочных решений, что снижает полноту, точность и достоверность информации о воздушной обстановке, выдаваемой потребителям.

Таким образом, вопросы повышения качества информации о воздушной обстановке, выдаваемой СОРЛИ, за счет совместного объединения и обобщения координатной и признаковой информации от совокупности разнотипных источников с учетом особенностей их функционирования, являются актуальными и требуют своего решения.

**Цель статьи.** В статье приводится метод совместного объединения и обобщения информации о воздушной обстановке в СОРЛИ, который позволяет устранить недостатки, присущие существующим методам, и за счет этого повысить качество информации, выдаваемой потребителям.

**Основной раздел.** Согласно [3], под объединением информации подразумеваются последовательно взаимосвязанные процессы пространственно-временного отождествления измерений совокупности разнотипных источников и оценивания координатных параметров траекторий ВО.

Под обобщением информации о воздушной обстановке понимается процесс получения качественно новых характеристик отдельных ВО и их совокупностей (групп) на основе разнородной (координатной, некоординатной) информации, поступающей от совокупности разнотипных источников. Например, определение классов отдельных ВО на основе частных алфавитов классов источников или выявление целевого назначения групп ВО.

Разработка метода совместного объединения и обобщения информации

о воздушной обстановке в СОРЛИ осуществляется при следующих допущениях. Разнотипные источники осуществляют равномерный круговой обзор пространства с постоянным (в общем случае несовпадающим) периодом  $T_1$ ; каждое измерение источника (отметка либо частная траектория) порождено не более чем одним ВО, а также отсутствует размножение отметок. Также предполагается, что измерения разнотипных источников (составляющие векторов наблюдения координатных параметров  $\hat{y}_\Sigma$  и признаков  $\hat{x}_\Sigma$ ) характеризуются случайными ошибками, распределенными по нормальному закону с известными СКО –  $\sigma_{\hat{y}_\Sigma}$  и  $\sigma_{\hat{x}_\Sigma}$ .

Таким образом, рассматривается радиолокационная обстановка в зоне обзора гипотетического радиолокатора, накрывающей пересекающиеся зоны обзора разнотипных источников и разрывы между ними. В результате наблюдений источников в очередном  $\alpha$ -м такте обновления информации поступает  $l$  отметок и сообщений о параметрах траекторий в зависимости от содержания информации, выдаваемой каждым из источников, которые характеризуются векторами наблюдения координатных параметров  $\bar{y}_\Sigma = \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_l$  и векторами наблюдения признаков  $\bar{x}_\Sigma = \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_l$ . Необходимо оценить количество ВО  $\hat{n}$ , их вектора состояния  $\hat{\mu}_1, \dots, \hat{\mu}_n$  и классы  $\hat{T}_\Sigma = \hat{T}_1, \dots, \hat{T}_n$ .

Как показано в [3, 4], решение рассматриваемой задачи предполагает последовательное выдвижение и проверку множества статистических гипотез. При этом в процессе выдвижения и проверки гипотез совместного отождествления множества измерений разнотипных источников, целесообразно учитывать особенности функционирования источников, обуславливающие содержание выдаваемой информации о координатных параметрах и признаках ВО.

Для организации процесса совместного объединения и обобщения информации в СОРЛИ необходимо организовать ряд информационных массивов [1], а именно: массив начальных точек обнаруживаемых обобщенных траекторий (ОТ), массив предварительно обнаруженных ОТ, массив сопровождаемых ОТ. Кроме указанных массивов, необходимо организовать массивы для накопления и запоминания информации, поступающей от каждого из источников (об обнаруживаемых и сопровождаемых частных траекториях (ЧТ)), а именно: массив начальных точек ЧТ, массив предварительно обнаруженных ЧТ и массив сопровождаемых ЧТ. Кроме того, по каждой из формируемых обобщенных и частных траекторий ВО, необходимо в каждом такте обновления информации запоминать значения функций правдоподобия классов ВО, сформированных на основании поступающей признакововой информации и результатов предварительного распознавания от источников.

Метод совместного объединения и обобщения информации о воздушной обстановке от совокупности разнотипных источников предполагает выполнение следующих процедур:

а) последовательное формирование гипотез совместного отождествления множества измерений совокупности разнотипных источников к гипотетическим обобщенным траекториям ВО (при этом количество гипотез нарастает с увеличением тактов обновления информации);

б) рекуррентный расчет мер правдоподобия для гипотез совместного отождествления множества измерений совокупности источников;

в) формирование пороговых значений и последовательная проверка правдоподобности рассматриваемых гипотез совместного отождествления множества измерений совокупности источников с обоснованным ограничением количества выдвигаемых и проверяемых гипотез;

г) принятие решений об оценках векторов состояния и классах воздушных объектов.

Формирование гипотез совместного отождествления множества измерений разнотипных источников к гипотетическим обобщенным траекториям осуществляется в соответствии с предположением о принадлежности совокупности полученных измерений (с учетом пропусков и ложных) к совокупности гипотетических ОТ в соответствии с введенной в [3] моделью результирующего потока информации от источников, учитывающей априорную неопределенность и эпизодический характер наблюдаемости ВО.

Формирование мер правдоподобия для гипотез совместного отождествления множества измерений совокупности разнотипных источников с учетом особенностей их функционирования осуществляется в соответствии с известными выражениями, приведенными в [1, 4]. При этом мера правдоподобия каждой из гипотез совместного отождествления множества измерений совокупности источников может быть представлена амплитудой пика функции правдоподобия выборки координатной и признаковой информации от совокупности разнотипных источников. Каждый пик соответствует одной из гипотез совместного отождествления. Амплитуда пика для гипотезы совместного отождествления может быть рассчитана в рекуррентной форме согласно выражения

$$A_{\alpha} = A_{\alpha-1} \Delta A_{\alpha}, \quad (1)$$

где  $A_{\alpha-1}$  – амплитуда пика функции правдоподобия выборки измерений совокупности источников, соответствующая выбранной гипотезе совместного отождествления в  $\alpha-1$  такте обновления информации;  $\Delta A_{\alpha}$  – приращение амплитуды пика функции правдоподобия выборки измерений совокупности источников в  $\alpha$ -м такте обновления информации.

Меру правдоподобия для каждой гипотезы совместного отождествления множества измерений от совокупности разнотипных источников можно представить в виде произведения двух мер правдоподобия – меры правдоподобия гипотезы совместного отождествления измерений координатных параметров и меры правдоподобия гипотезы совместного отождествления признаков:  $A_{\alpha} = A_{\alpha}^{\hat{y}} A_{\alpha}^{\hat{x}}$ . В силу независимости измерений координатных и признаковых параметров ВО, мера правдоподобия может быть представлена в виде произведения составляющих, рассчитанных по координатным  $A_{\alpha}^{\hat{y}}$  и признаковым  $A_{\alpha}^{\hat{x}}$  параметрам, где, согласно (1),

$$A_{\alpha}^{\hat{y}} = A_{\alpha-1}^{\hat{y}} \Delta A_{\alpha}^{\hat{y}}, \quad A_{\alpha}^{\hat{x}} = A_{\alpha-1}^{\hat{x}} \Delta A_{\alpha}^{\hat{x}}.$$

Одним из наиболее ответственных этапов метода совместного объединения и обобщения информации о воздушной обстановке от совокупности разнотипных источников является формирование пороговых значений для мер правдоподобия рассматриваемых гипотез совместного отождествления множества измерений совокупности источников, что позволяет обоснованно ограничить количество выдвигаемых и проверяемых гипотез, и осуществить практическую реализацию предлагаемого метода в СОРЛИ.

В практическом аспекте проверка соответствия координатных параметров ВО по каждому из поступающих измерений осуществляется со всеми экстраполированными точками ОТ, при этом необходима проверка выполнения условия непротиворечивости наблюдаемых признаков с функциями правдоподобия классов ВО. Измерение считается принадлежащим ОТ при выполнении следующих условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{\hat{y}_{\min}} \leq \frac{(\hat{y}(t_2) - \hat{y}(t_1)) C_y (\hat{y}(t_2) - \hat{y}(t_1))^T}{t_2 - t_1} \leq V_{\hat{y}_{\max}}; \\ R\hat{x}(t_2) \text{ и } R\hat{x}(t_1) \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $t_1$  – время экстраполяции обобщенной точки траектории;  $\hat{y}(t_1)$  – значения составляющих координатных параметров экстраполяционной точки обобщенной траектории;  $t_2$  – время поступления измеряемой отметки;  $\hat{y}(t_2)$  – значения составляющих координатных параметров проверяемого измерения;  $V_{\hat{y}_{\min}}$ ,  $V_{\hat{y}_{\max}}$  – минимальное и максимальное возможные значения скорости изменения координатных параметров воздушных объектов;  $C_y$  – коэффициент, учитывающий ошибки измерения координатных параметров;  $R\hat{x}(t_2)$ ,  $R\hat{x}(t_1)$  – результат непротиворечивости признаковой ин-

формации для проверяемой точки обобщенной траектории и измеряемой отметки.

Под результатом непротиворечивости признаковой информации подразумевается, что вектора наблюдения признаков ВО не противоречат (наиболее правдоподобно согласуются) векторам наблюдения признаков, полученным на предыдущих тактах обновления информации.

Таким образом, каждое поступившее измерение от источника (сообщение о частной траектории либо новая отметка от источника без траекторного выхода) проверяется на возможность привязки ее к сопровождаемым ОТ по близости координатных и непротиворечивости (согласованности) признаковых параметров. Выполнение условия непротиворечивости признаков у поступающего измерения и значений функции правдоподобия классов ВО отождествляемой ОТ является обязательным.

Ограничение количества рассматриваемых гипотез также достигается путем введения порогов для принятия наиболее правдоподобных гипотез совместного отождествления множества измерений совокупности источников и исключения из дальнейшего рассмотрения мало правдоподобных гипотез.

Пороговое значение для меры правдоподобия гипотезы совместного отождествления множества измеренных источниками координатных параметров ВО по каждой  $i$ -й ЧТ и  $j$ -й ОТ определяется выражением

$$\left( \hat{y}_{\alpha}^{j\hat{A}} - \hat{y}_{k\alpha}^{i \times \hat{A}\hat{N}\hat{O}} \right) C_{\times \hat{A}\hat{N}\hat{O}}^{-1} C_{\hat{A}}^{-1} \left( \hat{y}_{\alpha}^{j\hat{A}} - \hat{y}_{k\alpha}^{i \times \hat{A}\hat{N}\hat{O}} \right)^T \leq \gamma_{\bar{y}}, \quad (3)$$

где  $\hat{y}_{k\alpha}^{j\hat{A}}$  – оцененные значения координатных параметров ЧТ от  $k$ -го источника, которые рассчитываются по последней обобщенной оценке  $j$ -й ОТ, пересчитанной на момент времени обновления соответствующей ЧТ;  $\hat{y}_{k\alpha}^{i \times \hat{A}\hat{N}\hat{O}}$  – обновленное значение оцененных координатных параметров отождествляемой  $i$ -й ЧТ;  $\gamma_{\bar{y}}$  – пороговое значение меры правдоподобия для координатных параметров;  $C_{\times \hat{A}\hat{N}\hat{O}}, C_{\hat{A}}$  – коэффициенты, учитывающие ошибки определения координатных параметров частной и обобщенной траекторий.

Решение о правдоподобности каждой рассматриваемой гипотезы совместного отождествления признаковой информации значениям функций правдоподобия класса ВО по каждой ОТ принимается при выполнении правила

$$\sum_{k=1}^{\varphi} \hat{x}_{k\alpha}^{i \times \hat{A}\hat{N}\hat{O}} \hat{\pi}_{\hat{A}\hat{N}\hat{O}} \hat{\pi}_{\hat{A}} \hat{T}_{(\alpha-1)}^{j\hat{A}}, \quad (4)$$

где  $\hat{T}_\alpha^{j\hat{A}}$  – оцененное значение функции правдоподобия класса ВО j-й ОТ в  $(\alpha - 1)$ -м такте обновления информации;  $\hat{x}_k^{i \times \hat{A} \hat{N} \hat{O}}$  – оцененные значения составляющих вектора наблюдения признаков по i-м ЧТ, формируемым по измерениям k источников, являющихся кандидатами на отождествление с j-й ОТ в  $\alpha$ -м такте обновления информации;  $k = \overline{1, \varphi}$  – число источников.

Таким образом, в ходе совместного отождествления множества измерений совокупности разнотипных источников, гипотезы, для которых не выполняется неравенство (3) и правило (4), из дальнейшей обработки исключаются, что позволяет значительно сократить объем требуемых вычислительных затрат. При этом первичным условием является необходимость выполнения неравенства (3).

Если измерение, поступившее от источника, не привязалось ни к одной из сопровождаемых ОТ, то рассматривается возможность его привязки к одной из предварительно обнаруживаемых (завязываемых) ОТ аналогичным методом. Если измерение не привязалось ни к одной из предварительно обнаруживаемых ОТ, то проверяется возможность его привязки к одной из начальных точек ОТ. В случае невозможности его привязки ни к одной из начальных точек ОТ, в соответствии с выбранными критериями отождествления, измерение записывается в массив начальных точек ЧТ соответствующего источника и является кандидатом для завязки (при поступлении второй точки) новых частной и обобщенной траекторий, сопровождаемых СОРЛИ.

В качестве оценок векторов состояния координатных параметров ОТ и классов ВО, согласно [3] принимаются значения векторов состояния и классов ВО, соответствующие гипотезе совместного отождествления множества измерений совокупности источников с максимальным значением меры правдоподобия, в рассматриваемом случае – с максимальной амплитудой пика функции правдоподобия выборки измерений координатной и признаковой информации от совокупности разнотипных источников и определяются выражением

$$\max_{n^*, \bar{\mu}_\Sigma, T_\Sigma} L(n, \bar{\mu}_\Sigma, T_\Sigma / l, \bar{y}_\Sigma, \bar{x}_\Sigma) \rightarrow \hat{\mu}_\Sigma, \hat{T}_\Sigma,$$

где  $L(n, \bar{\mu}_\Sigma, T_\Sigma / l, \bar{y}_\Sigma, \bar{x}_\Sigma)$  – отношение правдоподобия, характеризующее правдоподобность выборки координатной и признаковой информации от совокупности разнотипных источников при выбранной гипотезе совместного отождествления множества измерений совокупности источников к параметрам ОТ и их типов для числа ВО, равного  $n^*$ .

Результаты проведенных статистических испытаний с помощью разработанной имитационной математической модели свидетельствуют, что в за-

висимости от сложности условий радиолокационного наблюдения, использование предлагаемого метода позволяет повысить качество информации о воздушной обстановке, выдаваемой СОРЛИ, а именно: достоверность информации повышается на 12 – 30%, полнота на 5 – 17 %, точность на 18 – 33% при приемлемом росте требований к производительности вычислительных средств и объемам оперативной памяти.

**Выводы.** В результате проведенного исследования разработан метод совместного объединения и обобщения информации о воздушной обстановке от совокупности разнотипных источников в СОРЛИ, который отличается от известных совместным решением задачи объединения и обобщения координатной и признаковой информации; использованием правил совместного объединения и обобщения отметок и сообщений о параметрах траекторий, основанных на близости координатных параметров при непротиворечивости признаковой информации и результатов предварительного распознавания; учетом особенностей функционирования разнотипных источников по наблюдению воздушных объектов, обработке и содержанию выдаваемой информации, что обеспечивает требуемое качество информации о воздушной обстановке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин С.З. *Цифровая радиолокация. Введение в теорию.* – К.: Изд-во КВИЦ, 2000. – 428 с.
2. H. Chen, T. Kirubarjan and Y. Bar-Shalom, *Centralized vs. Distributed Tracking Algorithms for Air to Air Scenarios // Proc. of SPIE Conf. on Signal and Data Processing of Small Targets/ – Vol. 4048. – April 2000. – P. 318 – 324.*
3. Шило С.Г. *Метод статистического синтеза алгоритмов комбинированного объединения и обобщения радиолокационной информации // Вісник МСУ. Технічні науки.* – Х.: МСУ, 2002. – Т. 5. – № 7. – С. 9 – 12.
4. Бакут П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. *Обнаружение движущихся объектов.* – М.: Сов. радио, 1980. – 287 с.

Поступила 7.11.2003

**ВОЙТОВИЧ Сергей Антонович**, канд. техн. наук, доцент, зам. нач. кафедры АСУ Харьковского военного университета. В 1993 году окончил Харьковский военный университет (оперативно-тактический уровень). Область научных интересов – процессы траекторной обработки радиолокационной информации в СОРЛИ.

**ШИЛО Сергей Георгиевич**, преподаватель Харьковского военного университета. В 1992 году окончил Харьковское ВВАУРЭ. Область научных интересов – процессы траекторной обработки радиолокационной информации в СОРЛИ.