

## **ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ**

к.т.н, проф. Ю.П. Пятков, к.т.н. Б.И. Низиенко, О.С. Бодяк  
(представил проф. Б.Н. Судаков)

*Статья посвящена деятельности оператора в системах контроля за порядком использования воздушного пространства. Предложен метод формирования информационных признаков конфликтных ситуаций возникающих при обработке радиолокационной информации, являющийся частью метода построения информационной модели по разрешению конфликтов.*

**Постановка проблемы.** В системе контроля за порядком использования воздушного пространства (СКВП) в интересах повышения достоверности оценки воздушной обстановки неизбежно возникает задача объединения информации о воздушных объектах (ВО), поступающей от разных РЛС. Такое объединение составляет основу третичной обработки радиолокационной информации (РЛИ).

Современные СКВП оснащены комплексами средств автоматизации (КСА), в которых алгоритмы третичной обработки РЛИ (АТОИ) базируются на методах, разработанных, например, в работах [1 – 3]. Вместе с тем, в КСА из-за ошибок оценки характеристик ВО, возможны ситуации, при которых принимается ошибочное решение о том, что два формуляра принадлежат разным ВО. Назовем такие ситуации конфликтными (КС).

Необходимо отметить, что даже при высоком уровне автоматизации решающая роль в разрешении КС отводится человеку. Оператор пункта управления (ПУ) оценивает результаты реализации АТОИ, дополнительные сведения о ВО и принимает окончательное решение об объединении ВО.

При разрешении КС оператор использует информационную модель (ИМ) воздушной обстановки, воспроизводимую с помощью средств отображения индивидуального и коллективного пользования. Следует отметить, что в большинстве случаев при разработке ИМ недостаточно внимания уделяется разработке ее фрагментов, ориентированных на разрешение КС. Например, оператор для селекции отображения ВО по разным параметрам тратит значительное время. Из-за этого снижается оперативность оценки воздушной обстановки в целом.

При разработке ИМ в интересах повышения достоверности и оперативности оценки обстановки и разрешения КС целесообразно решить следующие основные задачи:

- формирование фрагментов ИМ, обеспечивающих оперативность оценки и разрешения возникающих КС;
- автоматизации управления отображением информации на основе распознавания КС и предъявления оператору того фрагмента ИМ, который обеспечивает разрешение этой ситуации.

**Анализ литературы.** Теоретические и методологические вопросы построения ИМ состояния элементов промышленных систем достаточно полно изложены в ряде работ, например, [4, 5]. Формирование ИМ в системе аналогичной СКВП рассмотрены в [6]. Эти и другие работы в рассматриваемой предметной области базируются на предположении, что информационные признаки подлежащие отображению известны. вместе с этим во многих случаях, формирование ИМ приходится начинать с подбора информационных признаков, которые подлежат отображению.

**Цель статьи.** Важнейшим этапом формирования фрагментов ИМ является выбор информационных признаков (ИП), которые характеризуют каждую из КС. Решению этого вопроса посвящена настоящая статья.

**Основной материал.** Для формирования ИП рассмотрим простейший АТОИ, который можно условно разделить на несколько этапов. Кратко рассмотрим их содержание. Для обеспечения анализа содержания алгоритма введем следующие обозначения:  $v_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) – ВО, о котором поступила информация на ПУ;  $v_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) – сопровождаемый ВО. Для обозначения положительного результата отождествления  $v_i$  и  $v_j$  используем знак « $\equiv$ », т.е.  $v_i \equiv v_j$ . В интересах формирования множества ИП кратко проанализируем содержание отдельных этапов варианта АТОИ.

**1 этап.** *Отождествление координат отметок ВО.* Исходные данные:

- множество ВО –  $N_i$ ;
- координаты ( $x, y$ ) и высота ( $h$ )  $v_i$  и  $v_j$ ;
- $\Delta R$  – размер строка по координатам ( $x, y$ );
- $\Delta H$  – размер строка по высоте.

Введем признаки  $k_{ij}$  и  $h_{ij}$ , характеризующие результаты отождествления  $v_i$  и  $v_j$ , которые формируются по следующим правилам:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } (|x_i - x_j| \leq \Delta R) \wedge (|y_i - y_j| \leq \Delta R); \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{при } \exists h_i \wedge \exists h_j \wedge |h_i - h_j| > \Delta H; \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В результате формируется множество  $N_i^K$ , содержащее те  $v_j$ , для которых выполняются условия  $(k_{ij} = 1) \wedge (h_{ij} = 1)$ .

Кроме этого для детального анализа полезны следующие сведения:

1)  $k_i = \sum_j k_{ij} = 0 - v_i \neq v_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Завершение отождествления для  $v_i$ ;

для  $v_i$ ;

2)  $k_i = \sum_j k_{ij} = 1 - v_i \equiv v_j$ . Решение – отметка может принадлежать

данной цели, но необходима дальнейшая проверка;

3)  $k_i = \sum_j k_{ij} \geq 1 -$  отождествление выполнилось более чем для одного из ВО. Какому из  $v_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) принадлежит  $v_i$ ? Решение – переход к следующему этапу отождествления.

В алгоритме не фиксируются следующие ситуации:

В алгоритме не фиксируются следующие ситуации:

1)  $k_{ij} = 0, h_{ij} = 1$  ;

2)  $k_{ij} = \begin{cases} 0x, & \text{при } (|x_i - x_j| \leq \Delta R) \wedge (|y_i - y_j| > \Delta R); \\ 0y, & \text{при } (|x_i - x_j| > \Delta R) \wedge (|y_i - y_j| \leq \Delta R); \end{cases} h_{ij} = 1;$

3)  $k_{ij} = 1, h_{ij} = 0$ .

Таким образом, из-за большой ошибки оценки одного из параметров ВО ( $x, y$  или  $h$ ) возможно решение  $v_i \neq v_j$ , что может быть одной из причин КС.

**II этап.** Отождествление курса и скорости ВО. Исходные данные:

– множество  $N_i^K$ , полученное на предыдущем шаге;

–  $q_i, q_j$  – курс  $v_i$  и  $v_j$ ;

–  $v_i, v_j$  – скорость  $v_i$  и  $v_j$ ;

–  $\Delta Q$  – размер строга по курсу;

–  $\Delta V$  – размер строга по скорости.

Правила отождествления:

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } \exists q_i \wedge \exists q_j \wedge |q_i - q_j| \leq \Delta Q; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } \exists v_i \wedge \exists v_j \wedge |v_i - v_j| \leq \Delta V; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В результате формируется множество ВО –  $N_i^{\Pi}$  ( $N_i^{\Pi} \subset N_i^K$ ), для которых выполняется условие  $(q_{ij} = 1) \wedge (v_{ij} = 1)$ .

Таким образом, вследствие неточных измерений  $v$ ,  $q$  и неверного определения маневра  $\mu$  возможны следующие ситуации:  $q_{ij} = 0$ ;  $v_{ij} = 0$ . Это алгоритм не фиксирует.

**III этап.** Отождествление признаков государственной принадлежности (ГП) ВО. Исходные данные:

– множество  $N_i^{\text{П}}$ ;

–  $\rho_i, \rho_j$  – признаки государственной принадлежности  $v_i$  и  $v_j$ , принимающие значения из множества  $\{00(\text{не определен}), 01(\text{чужой}), 10(\text{свой}), 11(\text{«беда»})\}$ .

В этом случае ИП имеет следующие значения:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } (\rho_i, \rho_j) \notin [(10,01), (01,10), (01,11), (11,01)]; \\ 0, & \text{при } (\rho_i, \rho_j) \in [(10,01), (01,10), (01,11), (11,01)]. \end{cases}$$

В результате формируется множество ВО –  $N_i^{\rho} (N_i^{\text{ГП}} \subset N_i^{\text{П}})$ , для которых  $g_{ij} = 1$ .

По результатам III этапа возможны следующие ситуации:

1)  $g_i = \sum_j g_{ij} = 0 - v_i \neq v_j$ .

2)  $g_i = \sum_j g_{ij} \geq 1 - v_i \equiv v_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Решение – переход к IV этапу.

В данном случае причиной возникновения КС может быть ошибочная информация о  $\rho_i, \rho_j$ .

**IV этап.** Отождествление по номерам источников РЛИ. Исходные данные:

– множество  $N_i^{\text{ГП}}$ ;

–  $\eta_i, \eta_j$  – номера источников, сопровождающих  $v_i$  и  $v_j$ .

Формирование признака отождествления по номерам источников  $u_{ij}$ :

$$u_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } \eta_i \neq \eta_j; \\ 0, & \text{при } \eta_i = \eta_j. \end{cases}$$

В результате формируется множество ВО –  $N_i^{\text{H}} (N_i^{\text{H}} \subset N_i^{\text{ГП}})$ , для которых  $u_{ij} = 1$ .

**V этап.** Отождествление по критерию минимального расстояния. Исходные данные:

– множество  $N_i^{\text{H}}$ ;

– плоскостные координаты  $(x, y)$   $v_i$  и  $v_j$ .

Правило отождествления на данном этапе можно представить в виде:

$$l_{ij} = \begin{cases} \text{при } (L_{\min_i} \leq R1) \vee \\ \left[ (L_{\min_i} > R1) \wedge (L_{\min_i} \leq R2) \wedge \left( (N_i^n = 1) \vee \left( (N_i^n > 1) \wedge ("2\text{из}4") \right) \right) \right] \vee \\ \left[ (L_{\min_i} > R2) \wedge ("2\text{ из } 4") \right]; \\ 0, \quad \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $L_{\min_i}$  – минимальное расстояние до  $v_i$ , вычисляемое по формуле

$L_{\min_i} = \min_j (R_{ij})$ ;  $R1$  и  $R2$  – некоторые константы ( $R1 < R2$ );  $R_{ij}$  – расстояние

между  $v_i$  и  $v_j$ ,  $\left( R_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)$ ; «2 из 4» – правило: выполнение

заданного неравенства в двух из четырех последовательных донесений.

В случае  $l_{ij} = 0$  принимается решение о завязке новой трассы для ПУ. Первый источник, обнаруживший цель, назначается приоритетным.

В случае  $l_{ij} = 1$  принимается решение, что  $v_i \equiv v_j$ , и выполняется операция обобщения данных по одной и той же цели (трассе) от разных источников. Обобщение производится для определения возможности использования координат и характеристик вновь поступившей информации для дальнейшего сопровождения.

На данном этапе возможны следующие КС, связанные с неточностями измерения координат: 1)  $l_{ij} = 1$  и  $N_i^n > 1$ ; 2)  $l_{ij} = 0$ .

По результатам реализации всех этапов можно представить признак отождествления двух ВО:  $O_{ij} = k_{ij} \wedge h_{ij} \wedge k_{ij}^T \wedge v_{ij} \wedge q_{ij} \wedge g_{ij} \wedge i_{ij} \wedge l_{ij}$ ; при этом  $v_i \equiv v_j$ , если  $O_{ij} = 1$ .

На практике из-за ошибок измерения координат, недостоверности и неполноты информации о ВО, а также из-за несовершенства АТОИ нередко возникают ситуации, при которых  $v_i \equiv v_j$ , несмотря на то, что  $O_{ij} = 0$ . Такие ситуации относятся к конфликтным ситуациям.

Классифицируем ИП по признаку причины возникновения КС, к которым относятся следующие:

1) ошибки оценки координат ВО:

–  $k_{ij} = 0(0x, 0y)$ ,  $h_{ij} \wedge v_{ij} \wedge q_{ij} \wedge g_{ij} \wedge i_{ij} = 1$ ;

–  $l_{ij} = 0$ ,  $k_{ij} \wedge h_{ij} \wedge v_{ij} \wedge q_{ij} \wedge g_{ij} \wedge i_{ij} = 1$ ;

2) несоответствие высоты ВО:  $h_{ij} = 0$ ,  $k_{ij} \wedge v_{ij} \wedge q_{ij} \wedge g_{ij} \wedge i_{ij} \wedge l_{ij} = 1$ ;

- 3) несовпадение курса и скорости ВО:  
 $- q_{ij} = 0, k_{ij} \wedge h_{ij} \wedge v_{ij} \wedge g_{ij} \wedge i_{ij} \wedge l_{ij} = 1;$   
 $- v_{ij} = 0, k_{ij} \wedge h_{ij} \wedge q_{ij} \wedge g_{ij} \wedge i_{ij} \wedge l_{ij} = 1;$   
 $- q_{ij} = 0, v_{ij} = 0, k_{ij} \wedge h_{ij} \wedge g_{ij} \wedge i_{ij} \wedge l_{ij} = 1;$

- 4) противоречивость признаков ГП:  
 $g_{ij} = 0, k_{ij} \wedge h_{ij} \wedge v_{ij} \wedge q_{ij} \wedge i_{ij} \wedge l_{ij} = 1;$

- 5) наличие более одного ВО, для которых  $O_{ij} = 1: l_{ij} = 1$  и  $N_1^n > 1$ .

**Выводы.** 1. В статье предложен метод формирования информационных признаков, обеспечивающих выявление и разрешение операторами ПУ конфликтных ситуаций, возникающих при реализации АТОИ.

Основу этого метода составляет последовательный функциональный анализ основных этапов обработки РЛИ с целью выявления причин конфликтных ситуаций.

2. Сформированы информационные признаки, характеризующие конфликтные ситуации при использовании одного из известных алгоритмов отождествления РЛИ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
2. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. – К.: КВИЦ, 2000. – 428 с.
3. Розробка методів та алгоритмів вторинної та третинної обробки інформації про повітряну обстановку для комплексів засобів автоматизації "Ореанда". Звіт про НДР.–. – Х.: НЦ ВППО, 2003. – 101 с.
4. Ванда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. – М.: Машиностроение, 1975. – 396 с.
5. Ванда В.Ф. Видеотерминалы в информационном взаимодействии (инженерно-психологические аспекты). – М.: Энергия, 1980. – 200 с.
6. Борозенец И.А. Метод формирования информационной модели воздушной обстановки // Вісник МСУ. Технічні науки. – Х., 2002. – Т. 5. – № 7. – С. 9 – 12.

Поступила 23.11.2004

**ПЯТКОВ Юрий Павлович**, канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры Харьковского университета Воздушных Сил. В 1964 году окончил АРТА. Область научных интересов – промышленный дизайн и эргономика.

**НИЗИЕНКО Борис Иванович**, канд. техн. наук, доцент, начальник управления Объединенного научно-исследовательского института ВС. В 1992 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – искусственный интеллект.

**БОДЯК Олег Станиславович**, старший научный сотрудник Объединенного научно-исследовательского института ВС. В 1994 году окончил Харьковский военный универси-

*тет. Область научных интересов – автоматизация процессов принятия решений.*