

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ
ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ТРЕТИЧНОЙ
ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ
НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ****А. Хижняк, А. Белоус, А. Шевяков, А. Белый (Минск, Беларусь)**

Анализ развития современных автоматизированных систем управления (АСУ) показывает, что существенно возрастает объем разведывательной информации, в том числе радиолокационной информации о воздушной обстановке. Подсистема радиолокационного обеспечения АСУ ПВО имеет иерархическую структуру, в которой сбор, доведение и обработка радиолокационной информации (РЛИ) о воздушной обстановке от первичных источников осуществляется последовательно от объектов нижестоящего уровня к вышестоящим. Ошибки определения положения воздушных объектов средствами радиолокации, временные задержки, возникающие при доведении РЛИ до потребителей, искажения информации, возникающие в процессе ее обработки в промежуточных комплексах средств автоматизации (КСА), наличие в АСУ объектов разных поколений со значительным разбросом характеристик не позволяют объединить РЛИ с целью достижения единства представления информации о воздушной обстановке в объектах АСУ для эффективного решения боевых задач [1].

Используемый в настоящее время метод статистического группирования [2] основан на предположении, что на этапе третичной обработки поступающие донесения от источников радиолокационной информации о воздушных объектах представлены нормально распределенными случайными величинами. Однако проведенные исследования позволяют утверждать, что данное обстоятельство не всегда соответствует действительности. Это обуславливается наличием на этапе группирования донесений ряда факторов нестохастической природы (неопределенность поведения противника и др.).

В данной работе предлагается способ группирования (кластеризации) донесений о воздушных объектах и имитационная модель для оценки показателей качества радиолокационной системы. В основу предлагаемого способа положены теория распознавания образов и теория нечетких множеств. Отличительной особенностью предлагаемого способа является перенос выборов решений из дискретного метрического пространства в непрерывное, что, в свою очередь, позволяет более информативно описывать понятие «схожести» воздушных объектов.

Структурная схема имитационной модели группирования донесений о воздушных объектах представлена на рис. 1.

Исходными данными для моделирования являются наборы траекторий воздушных объектов, формируемые моделью эталонной обстановки. В блоке управления параметрами воздушной обстановки изменяются характеристики и параметры траекторий объектов и тем самым формируется типовой вариант налета v_l . Сформированные донесения о траекториях воздушных объектов поступают на блоки моделирования пунктов сбора и обработки радиолокационной информации (ПСОИ). Модели ПСОИ позволяют формировать векторы внутренних параметров h_k , включающие совокупности переменных, характеризующих искажения данных о положении и параметрах движения воздушных объектов (точностные характеристики радиолокационных средств, временные задержки выдачи информации, параметры алгоритмов обработки и др.). На выходе моделей ПСОИ формируются траектории воздушных объектов с разбросом параметров положения и движения, которые поступают на блоки моделирования процесса группирования.

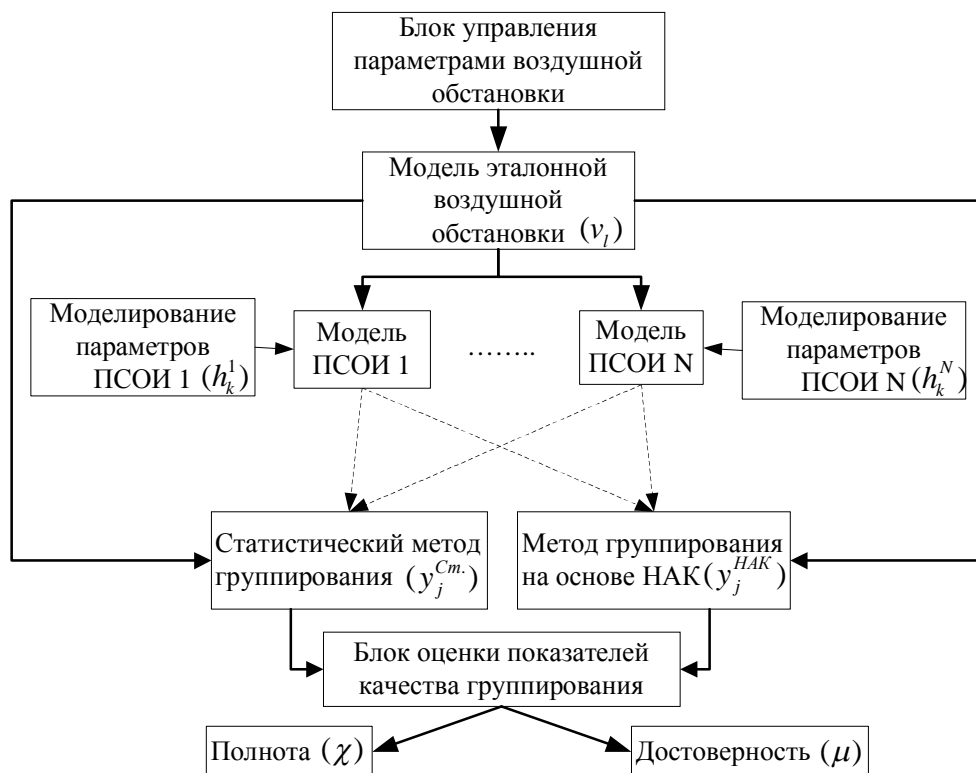


Рис. 1. Схема имитационной модели группирования донесений о воздушных объектах

Задачей группирования является преобразование экзогенных переменных v_i и h_k в эндогенные $(y_j^{Cm.})$ и (y_j^{HAK}) в соответствии с некоторым алгоритмом F_s :

$$\vec{y}(t) = F_s(\vec{v}, \vec{h}, t). \quad (1)$$

Сущность статистического метода состоит в анализе плотностей вероятности евклидовых расстояний между величинами значений элементов признакового пространства.

При выдаче донесения об одном воздушном объекте двумя источниками, в состав которого входят два признака, плотность вероятности примет следующий вид:

$$W_k(R) = \frac{1}{\left[4\pi(\sigma_{P_i^1}^2 + \sigma_{P_j^1}^2)(\sigma_{P_i^2}^2 + \sigma_{P_j^2}^2)\right]^2} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{(P_i^1 - P_j^1)^2}{\sigma_{P_i^1}^2 + \sigma_{P_j^1}^2} + \frac{(P_i^2 - P_j^2)^2}{\sigma_{P_i^2}^2 + \sigma_{P_j^2}^2}\right)\right], \quad (2)$$

где P_i^k, P_j^k – некоторые n -е признаки, входящие в состав донесения о воздушном объекте; $\sigma_{P_i^k}^2, \sigma_{P_j^k}^2$ – дисперсия k -го признака воздушного объекта, полученного в составе донесения от первого и второго источника соответственно.

В данном случае плотность вероятности (2) одновременно является функцией правдоподобия.

В дальнейшем по всей совокупности донесений происходит вычисление функций правдоподобия. Принятие решения на оптимальное группирование осуществляется на основе максимума значения функции правдоподобия.

Недостатком указанного способа является тот факт, что для его реализации значения признаков, входящих в состав донесений о воздушных объектах, должны быть

представлены в виде нормально распределенных величин, что не всегда соответствует действительности.

Метод, основанный на применении теории нечетких множеств и используемый для решения задачи группирования донесений о воздушных объектах, позволяет осуществлять кластеризацию донесений о воздушных объектах, не привязываясь к законам распределения их признаков.

В настоящее время в мировой практике наиболее перспективным подходом к анализу многомерных явлений и процессов являются методы автоматической классификации [3, 4]. В качестве одного из подходов, при решении задачи группирования донесений о воздушных объектах на основе теории нечетких множеств, предлагается использование методов нечеткой автоматической классификации (НАК).

Для формализации рассматриваемой в статье задачи введем следующие обозначения:

$X = \{X_i, i = \overline{1, n_t}\}$ – множество воздушных объектов, наблюдаемых в текущий момент времени t ;

$P = \{P_k, k = \overline{1, m}\}$ – множество признаков, характеризующих положение и параметры движения воздушного объекта;

$C = \{C_i \{C_j\}\}$ – нечеткое множество нечетких подмножеств воздушных объектов, принадлежащих одной группе.

Задача кластеризации состоит в том, чтобы найти такое распределение C_i множества объектов X_i по группам, которое обеспечивало бы максимизацию значения выбранного показателя эффективности.

Анализ наиболее часто применяемых алгоритмов нечеткой автоматической классификации (FCM, FCM-CV, AP и др.) показывает, что наиболее приемлемым алгоритмом для решения задачи кластеризации донесений о воздушных объектах является алгоритм D-AFC-TC [5].

Выбор указанного алгоритма обусловлен следующими факторами:
отсутствием необходимости наличия априорной информации о числе классов;
возможностью автоматического определения значения порога сходства объектов.

Исходные данные для кластеризации представляются в виде матрицы нечеткой толерантности («объект–объект») (таблица), характеризующей степень близости объектов.

Отношение нечеткой толерантности

| | | | | |
|-------|----------------|----------------|-----|----------------|
| T | x_1 | x_2 | ... | x_n |
| x_1 | $\mu_{A_{11}}$ | $\mu_{A_{12}}$ | ... | $\mu_{A_{1n}}$ |
| x_2 | $\mu_{A_{21}}$ | $\mu_{A_{22}}$ | ... | $\mu_{A_{2n}}$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| x_n | $\mu_{A_{n1}}$ | $\mu_{A_{n2}}$ | ... | $\mu_{A_{nn}}$ |

При поступлении донесений от источников информации данные на этапе группирования представлены в виде матрицы «объект–признак». Переход от матрицы «объект–признак» к матрице «объект–объект» осуществляется путем определения степеней близости объектов $\mu_{A_{mn}}$ как пересечения функций принадлежности объектов по соответствующим признакам:

$$\mu_{A_m} = \min \left[\mu_{ij}^{x,y}, \mu_{ij}^H, \mu_{ij}^{V_x, V_y} \right], \quad (3)$$

где $\mu_{ij}^{x,y}$ – характеризует степень сходства воздушных объектов по плоскостным координатам; μ_{ij}^H – характеризует степень сходства воздушных объектов по высоте; $\mu_{ij}^{V_x, V_y}$ – характеризует степень сходства воздушных объектов по скорости.

С учетом введенных функций принадлежности и выбранного алгоритма нечеткой автоматической классификации D-AFC-TC была разработана схема модели кластеризации донесений о воздушных объектах (рис. 2).

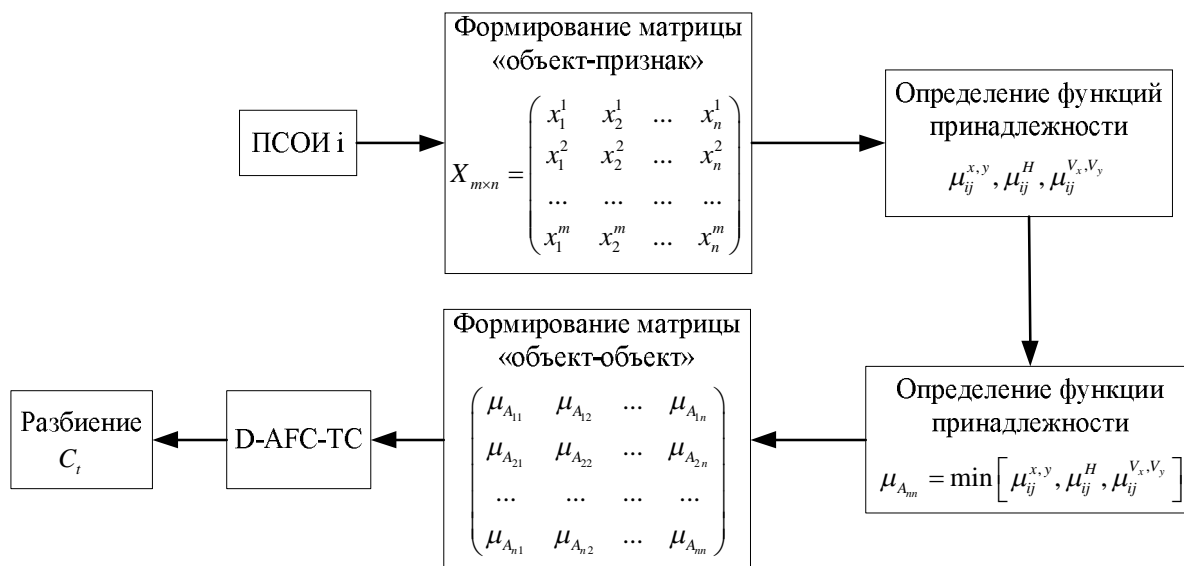


Рис.2. Схема модели кластеризации донесений о воздушных объектах

Анализ результатов решения задачи кластеризации воздушных объектов будем проводить на основе показателей качества функционирования радиолокационных систем [6]:

- показатель достоверности информации λ , характеризующий число ложных объектов, возникающих на этапе кластеризации донесений;
- показатель полноты отображения информации о воздушных объектах χ , характеризующий полноту отображения воздушных объектов на выходе алгоритма группирования по отношению к эталонной воздушной обстановке.

Достоверность и полнота информации определяются выражениями

$$\lambda = M_0 - M, \quad (4)$$

$$\chi = \frac{M_0}{M}, \quad (5)$$

где M_0 – общее количество воздушных объектов, полученных после решения задачи кластеризации; M – количество воздушных объектов в эталонной воздушной обстановке.

В ходе моделирования были исследованы зависимости достоверности и полноты информации (λ) от количества воздушных объектов, поступающих на вход алгоритмов группирования, а также от расстояния между воздушными объектами в налете и величинами ошибок определения их координат.

Результаты моделирования показывают, что при одинаковых исходных данных способ группирования донесений о воздушных объектах, основанный на использовании методов нечеткой автоматической классификации, позволяет снизить количество ложных объектов на 15–20% по сравнению с методом статистического группирования. При этом показатель полноты отображения информации предлагаемого метода не намного ниже (не более 2–3%) по сравнению с методом статистического группирования.

Таким образом, при использовании методов нечеткой автоматической классификации для решения задачи третичной обработки радиолокационной информации результаты кластеризации, как минимум, не хуже, чем при использовании метода статистического группирования.

Литература

1. Средства юстировки радиолокационных средств УВД, ВВС и войск ПВО государства./ **В. А. Апорович, Л. Ф. Васковская, В. И. Глобач, Ю. И. Мосиенко, В. И. Ольшанский**// 2-я Международная научная конференция по военнотехническим проблемам безопасности, использованию технологий двойного применения: тез. докл. Минск: ГУ «БелИСА», 2005.
2. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации/ **Кузьмин С. З.** / М: Советское радио, 1974.
3. **Duda R. O., Hart P. E.** Pattern Classification and Scene Analysis. New York: John Wiley & Sons; 1974.
4. **Жук Е. Е., Харин Ю. С.** Устойчивость в кластер-анализе многомерных наблюдений. Мн.: Белгосуниверситет, 1998.
5. **Вятчин Д. А.** Нечеткие методы автоматической классификации: Монография. Мн.: Технопринт, 2004.
6. Введение в радиолокационную системотехнику/ **Конторов Д. С., Голубев-Новожилов Ю. С.** М: Советское радио, 1971.