

УДК 621.396.96

МЕТОДИКА ДИНАМИЧЕСКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ТРАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.В. ХИЖНЯК, А.А. БЕЛОУС, А.В. ШЕВЯКОВ, А.С. БЕЛЫЙ

Военная академия Республики Беларусь
Минск, 220057, Беларусь

Поступила в редакцию 12 мая 2010

Предложена методика определения количества трасс воздушных объектов при решении задачи отождествления трассовой информации на основе анализа координат их положения, поступающих от нескольких разнотипных радиолокационных источников.

Ключевые слова: цифровая обработка радиолокационной информации, объединение трассовой информации, третичная обработка радиолокационной информации, кластеризация объектов радиолокационного наблюдения.

Введение

В настоящее время существующая автоматизированная система управления (АСУ) воздушным движением представляет собой сложную, территориально распределенную систему, одной из основных задач которой является задача представления воздушной обстановки, формируемой на основе информации, получаемой от обеспечивающих радиолокационных источников. Как правило, сложность получения оценки реальной воздушной обстановки в АСУ возникает в случае наличия перекрытия зон источников информации, а также в случае отсутствия информации о воздушных объектах, позволяющей однозначно их идентифицировать, что особенно характерно для АСУ воздушным движением и контроля использования воздушного пространства военного назначения.

Наличие перекрывающихся зон радиолокационного наблюдения источников информации приводит к необходимости решения задачи отождествления трасс воздушных объектов, одновременно находящихся в зонах нескольких источников информации. Дополнительная сложность при решении указанной задачи возникает в случае сложной воздушной обстановки, при одновременном наличии в воздухе большого числа воздушных объектов, а также при наличии в системе радиолокационного наблюдения разнотипных источников информации.

Качество решения задачи отождествления трассовой информации, одной из подзадач которой является задача определения числа воздушных объектов, оказывает существенное влияние на эффективность функционирования информационной подсистемы АСУ [1], вследствие чего повышение качества решения задачи определения количества воздушных объектов является актуальным.

В статье предлагается способ решения задачи определения количества воздушных объектов как задачи динамической кластеризации их трасс на основе анализа координатной информации.

Постановка задачи

В общем случае задача объединения трассовой информации в комплексах средств автоматизации (КСА) представляет собой задачу классификации на заданное число классов [2]. В соответствии с этим, данную задачу можно условно разделить на следующие подзадачи:

- 1) задача определения количества отождествляемых трасс, информация о которых поступает от нескольких источников;
- 2) задача отождествления трасс;
- 3) задача определения параметров отождествленных трасс.

В данной статье предлагается методика определения числа трасс воздушных объектов в задаче отождествления трассовой информации.

Для решения указанной задачи наиболее широко используется способ, основанный на анализе признаков принадлежности донесений о воздушных объектах (трассах) к источникам информации [3]. В соответствии с данным способом количество трасс определяется в выделенной области пространства (размеры которой зависят от качества координатной информации) в процессе логического анализа следующих правил:

- 1) все сообщения поступили от одного источника информации — количество трасс соответствует количеству поступивших сообщений;
- 2) все сообщения о трассах поступили от различных источников информации — все сообщения относятся к одной трассе;
- 3) от нескольких источников поступило одинаковое число сообщений — количество трасс соответствует количеству поступивших сообщений от любого источника информации;
- 4) от нескольких источников поступило неодинаковое число сообщений — количество трасс соответствует количеству поступивших сообщений от источника информации, от которого поступило максимальное число сообщений.

В данном случае из перечисленных правил безусловным является лишь первое, в соответствии с которым можно однозначно принять решение о количестве воздушных объектов. Для правил 2–4 принятие решения сопряжено с определенным риском, который обуславливается выбором размеров выделенной области пространства (многомерного stroba), в пределах которой принимается решение.

В общем случае, условная вероятность $P_{\text{поп}}$ попадания в strob пары сообщений (трасс), принадлежащих одному и тому же воздушному объекту, поступивших от пары источников информации, определяется в соответствии с выражением (1).

$$P_{\text{поп}}(\Delta U_{ir} \leq \Delta U_{\text{стр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(U_i) \left[\int_{-\Delta U_{\text{стр}}}^{\Delta U_{\text{стр}}} \omega(\Delta U_{ir}) d\Delta U_{ir} \right] dU_i, \quad (1)$$

где $\Delta U_{\text{стр}}$ — размеры stroba, в пределах которого решается задача определения числа воздушных объектов; i, r — номера источников информации, выдающих сообщения о воздушных объектах; $\omega(U_i)$ — плотность вероятности стробируемых параметров; $\omega(\Delta U_{ir})$ — плотность вероятности разности параметров воздушных объектов, полученных от i, r -го источников информации.

Из (1) видно, что с увеличением размеров stroba $\Delta U_{\text{стр}}$ вероятность попадания в strob трасс, полученных от различных источников, но принадлежащих одним и тем же воздушным объектам увеличивается. Однако с увеличением размеров stroba также возрастает вероятность $P_{\text{пер}}$ попадания в него трасс, принадлежащих другим воздушным объектам. В общем случае, вероятность $P_{\text{пер}}$ может быть определена по выражению (2):

$$P_{\text{пер}}(\Delta U_{ir} \leq \Delta U_{\text{стр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(U_i) \left[\int_{-\Delta U_{\text{стр}}}^{\Delta U_{\text{стр}}} \omega(\Delta U_{ir} + \Delta S) d\Delta U_{ir} \right] dU_i, \quad (2)$$

где ΔS — расстояние между трассами.

Ошибки определения координат воздушных объектов средствами радиолокации, ошибки, возникающие в процессе обработки и доведения информации до потребителя, задержки при выдаче информации, а также маневренные возможности воздушных объектов приводят к тому, что для достижения заданной вероятности $P_{\text{поп}}$ на этапе отождествления трассовой информации размеры strobov должны составлять от единиц до десятков километров, что, в свою очередь, ведет к увеличению вероятности $P_{\text{пер}}$. На рис. 1 представлены зависимости вероятностей $P_{\text{поп}}$ и

$P_{\text{пер}}$ от размеров стробов $\Delta U_{\text{стр}}$ при фиксированном значении ошибок определения координат трасс.

Из рис. 1 видно, что при заданной вероятности $P_{\text{поп}}=0,95$; вероятность $P_{\text{пер}}=0,185$. Увеличение $P_{\text{пер}}$ приводит к возникновению ошибок определения числа трасс и, как следствие этого, к снижению качества отождествления трассовой информации.

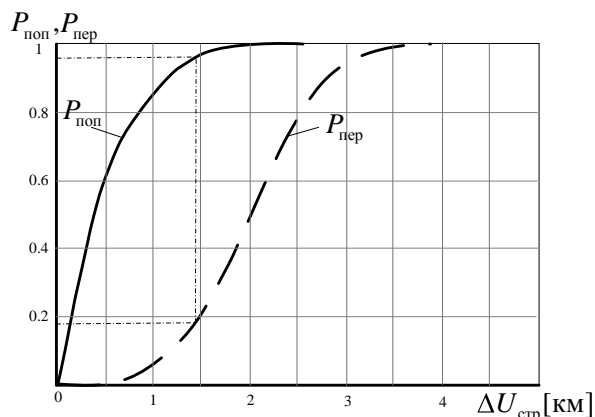


Рис. 1. Зависимости вероятностей $P_{\text{поп}}$ и $P_{\text{пер}}$ от размеров стробов $\Delta U_{\text{стр}}$

Методика динамической кластеризации воздушных объектов

Для решения обозначенной выше задачи предлагается методика, включающая следующие этапы:

- 1) формирование пространственных стробов с целью выделения участка пространства для решения предварительной задачи определения количества воздушных объектов;
- 2) определение количества воздушных объектов в выделенных стробах в соответствии с приведенными выше правилами;
- 3) определение локальных плотностей распределения полученных отметок в окрестности выделенного строба;
- 4) определение компактности распределения полученных отметок, а также средней компактности отметок в пределах выделенных стробов;
- 5) выбор порогового значения для выявления "нетипичных" трасс.

На основе предложенной методики предлагается решить задачу определения количества трасс на основе анализа координатной информации о воздушных объектах.

Для двумерного случая определение размеров строба осуществляется в соответствии выражением (3):

$$\Delta U_{\text{стр}} = 3\sqrt{(\sigma_{x_{\text{ст}}}^2 + \sigma_{x_{\text{дин}}}^2) + (\sigma_{y_{\text{ст}}}^2 + \sigma_{y_{\text{дин}}}^2)}, \quad (3)$$

где $\sigma_{x_{\text{ст}}}^2$, $\sigma_{y_{\text{ст}}}^2$ — величины статических ошибок определения положения воздушного объекта по координатам x и y соответственно; $\sigma_{x_{\text{дин}}}^2$, $\sigma_{y_{\text{дин}}}^2$ — величины динамических ошибок определения положения воздушного объекта.

Фактически $\Delta U_{\text{стр}}$ представляет собой максимальное отклонение от центра строба, на которое могут быть удалены трассы, полученные от источников радиолокационной информации.

На следующем этапе осуществляется определение количества трасс в соответствии с приведенными выше правилами, а также осуществляется определение локальных плотностей распределений.

Вычисление локальных плотностей распределений осуществляется на основе метода парзеновского окна [4], в соответствии с которым для каждой отметки в пределах строба определяется плотность вида (4):

$$\bar{\mu}_j(\mu_{ij}) = \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m \exp\left(-\frac{\mu_{ij}}{\Delta U_{\text{стр}}}\right) \right), \quad (4)$$

где m — число отметок, попавших в строб по данным всех источников информации; μ_{ij} — степень принадлежности i -го и j -го воздушных объектов, определяемая по выражению (5):

$$\mu_{ij} = 1 - \frac{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\Delta U_{\text{стр}}}. \quad (5)$$

Степень принадлежности μ_{ij} фактически определяет степень близости отождествляемых трасс в пространстве выбранной метрики (в данном случае в Евклидовом).

Определение компактности распределения отметок, а также средней компактности отметок, осуществляется с использованием выражения (6):

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{ij}}{\bar{\mu}_j} \quad K_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i}{n}, \quad (6)$$

где n определяется в зависимости от варианта распределения отметок внутри строга по данным от источников информации, а именно:

1) если все сообщения поступили от различных источников, то n считается равным сумме отметок от всех источников;

2) если от нескольких источников поступило одинаковое число сообщений, то n считается равным количеству сообщений, поступивших от любого источника;

3) если от нескольких источников поступило неодинаковое число сообщений, то n считается равным количеству сообщений, поступивших от источника, выдающего максимальное число сообщений.

Выявление "нетипичных" трасс — трасс, по которым принято неверное решение в соответствии с правилами 1–4, осуществляется из анализа условия (7):

$$K_j \leq DK_{\text{ср}}, \quad (7)$$

где D — значение порога, в соответствии с которым принимается решение об обнаружении трассы, которая не смогла быть обнаружена с использованием правил 2–4.

На рис. 2 представлена качественная зависимость вероятности обнаружения трассы ($P_{\text{обн.во}}$) от среднего расстояния между трассами ($L_{\text{сред}}$) и удаленностью отождествляемой трассы ($D_{\text{во}}$) в пределах двумерного пространственного строга, при одинаковых значениях ошибок измерения координат трасс и фиксированном значении порога D .

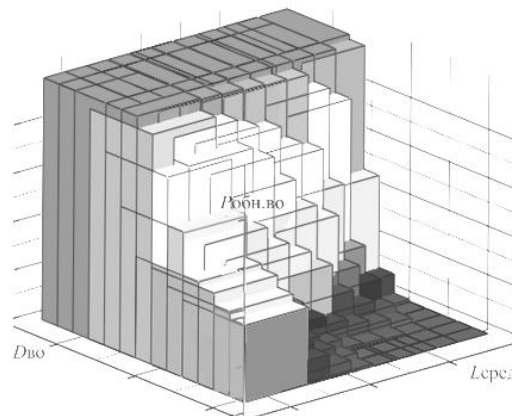


Рис. 2. Зависимость вероятности обнаружения трассы

На рис. 3 представлены два варианта распределения трасс на плоскости, полученных от двух источников информации, а также значения вероятностей обнаружения трасс, полученных методом статистического моделирования с уровнем статистической значимости не хуже 0,01 и погрешностью измерения не более 10%. При этом предполагалось, что параметры трасс имеют нормальные распределения с нулевыми математическими ожиданиями и одинаковыми дисперсиями, равными 0,5.

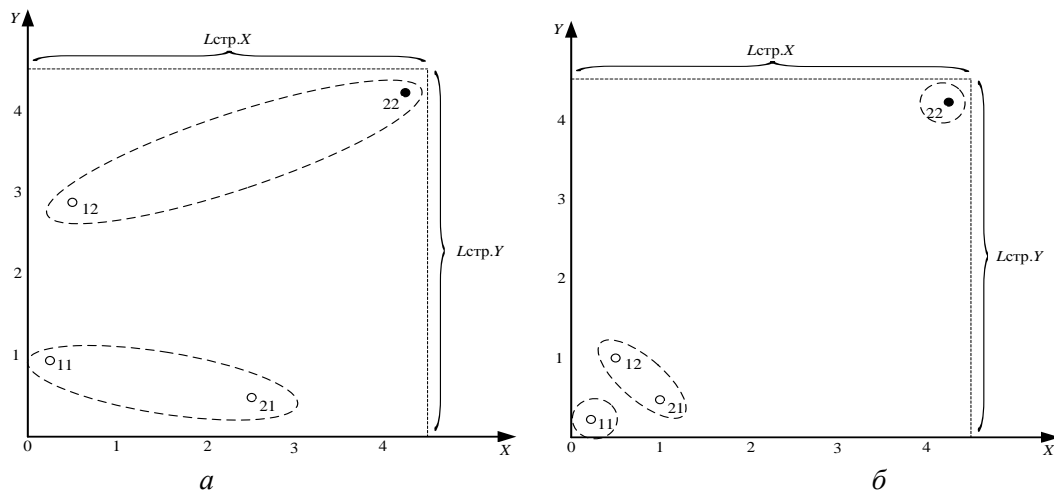


Рис. 3. Вероятность выявления нового объекта: a — 0,09; b — 0,33

Заключение

Результаты моделирования показали, что использование предложенной методики позволяет снизить вероятность обнаружения трасс, принадлежащих другим воздушным объектам ($P_{пер}$) на этапе отождествления трассовой информации, что в свою очередь позволило повысить качество принятия решения о количестве воздушных объектов внутри выделенного строба.

На рис. 4 представлена зависимость вероятностей $P_{поп}$, $P_{пер}$, а также вероятности ($P_{пер}^*$), рассчитанной по предложенной методике для двумерного строба. Анализ зависимостей показал, что использование предложенной методики позволяет снизить вероятность принятия ошибочного решения на 15–17%.

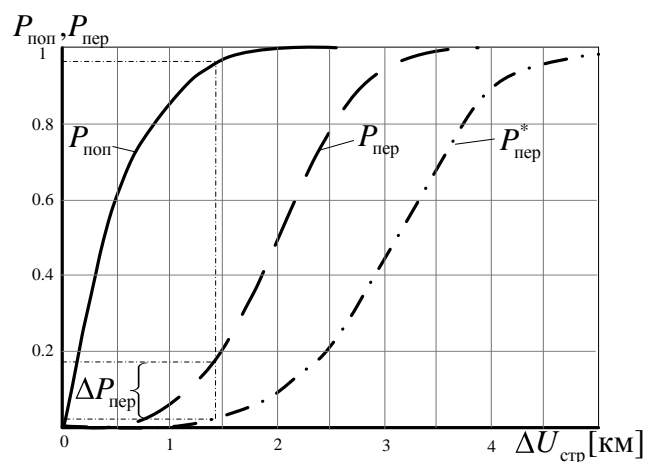


Рис. 4. Зависимости вероятностей $P_{поп}$, $P_{пер}$ и $P_{пер}^*$ от размеров стробов

THE METHOD OF DYNAMIC CLUSTERING OF OBJECTS IN THE AIR EN-ROUTE PROBLEM OF IDENTIFYING INFORMATION.

A.V. KHIZHNIAK, A.A. BELOUS, A.V. SHEVIAKOU, A.S. BELY

Abstract

The method of determining the number of tracks air objects to solve the problem of identifying en-route information based on the analysis of the coordinates of their position, coming from several different types of radar sources, is offered.

Литература

1. *Апорович В.А., Васковская Л.Ф., Глобаж В.И. и др.* // Тез. докл. Междунар. науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения. 18–19 мая 2005 г. Минск, 2005. С. 76–77.
2. *Радзиевский В.Г., Сирота А.А.* Теоретические основы радиоэлектронной разведки. М., 2004.
3. *Кузьмин С.З.* Основы цифровой обработки радиолокационной информации. М., 1974.
4. *Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. изд. / Под ред. С.А. Айвазяна. М., 1989.