

Д.т.н., проф. Н.Б. Парамонов (ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука»),
С.В. Погребан (УПМИ и СП)

N. Paramonov, S. Pogreban

ОПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ КАК ЗАДАЧА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

OBJECT RECOGNITION AS THE TASK OF TECHNICAL DIAGNOSTICS

Рассмотрен вопрос применения методов оценки множества факторов для решения задачи опознавания объектов. Показано, что комплексная обработка информации от нескольких источников позволяет решать задачу опознавания даже тогда, когда на объекте опознавания не предусмотрена система активного ответа. Приводятся методы опознавания по множеству критериев с учетом значимости отдельных источников и достоверности получаемой информации.

This article describes the application of methods to assess the many factors to solve the problem of recognition of objects. Shows that the complex processing of information from multiple sources to address the challenge of identification even when the object recognition system does not provide for an active response. Are the methods of identification on a variety of criteria, taking into account the significance of the sources and the veracity of the information received.

Ключевые слова: опознавание, системы управления, вычислительные средства.

Keywords: recognition, management, computing facilities.

Введение

Одной из важных задач управления сложными системами является задача опознавания взаимодействующих объектов. В простом случае опознавание сводится к выделению из множества наблюдаемых объектов тех, которые могут классифицироваться как «свой» в отличие от остальных – «чужих». В более сложной постановке опознавания формирует-

ся группа объектов, относящихся к определенному классу. В этом случае опознавание будет включать задачу классификации с точностью до принадлежности к некоторому множеству объектов (возможно, к нескольким множествам), обладающему соответствующим набором свойств.

Задачи в подобной постановке могут решаться методами, нашедшими широкое применение в технической диагностике.

Постановка задачи опознавания объектов

Будем считать, что для опознавания объекта $a_i \in A$ можно использовать n признаков. Например, в [1] предлагается считать, что возможно применять комплекс средств выявления государственной принадлежности воздушных судов (рис. 1). Каждое средство анализирует свое множество признаков объекта и может выдавать свои гипотезы о принадлежности объекта к тому или иному классу. Обобщение информации должно учитывать результаты (или их отсутствие) соответствующих измерительных средств.

Для каждого объекта $a_i \in A$ определяют число v_i , являющееся оценкой степени выраженности у объекта a_i свойства, определяемого критерием c_j . После этого нормируют значения v_i и получают относительные показатели w_i объекта по критерию C :

$$w_i = v_i / \sum_{j=1}^k v_i.$$

Если какие-то свойства определяются с достаточной достоверностью и позволяют однозначно определить класс объектов, то задача становится вырожденной, и оценка других свойств может не потребоваться. Примером такой ситуации можно считать случай, когда самолет уже был оборудован специальным ответчиком, мера доверия к которому достаточно велика. Вместе с тем, если информация от разных источников противоречива, то ставится задача принятия решения об опознавании с учетом относительной значимости отдельных источников для определения принадлежности a_i к соответствующему классу.

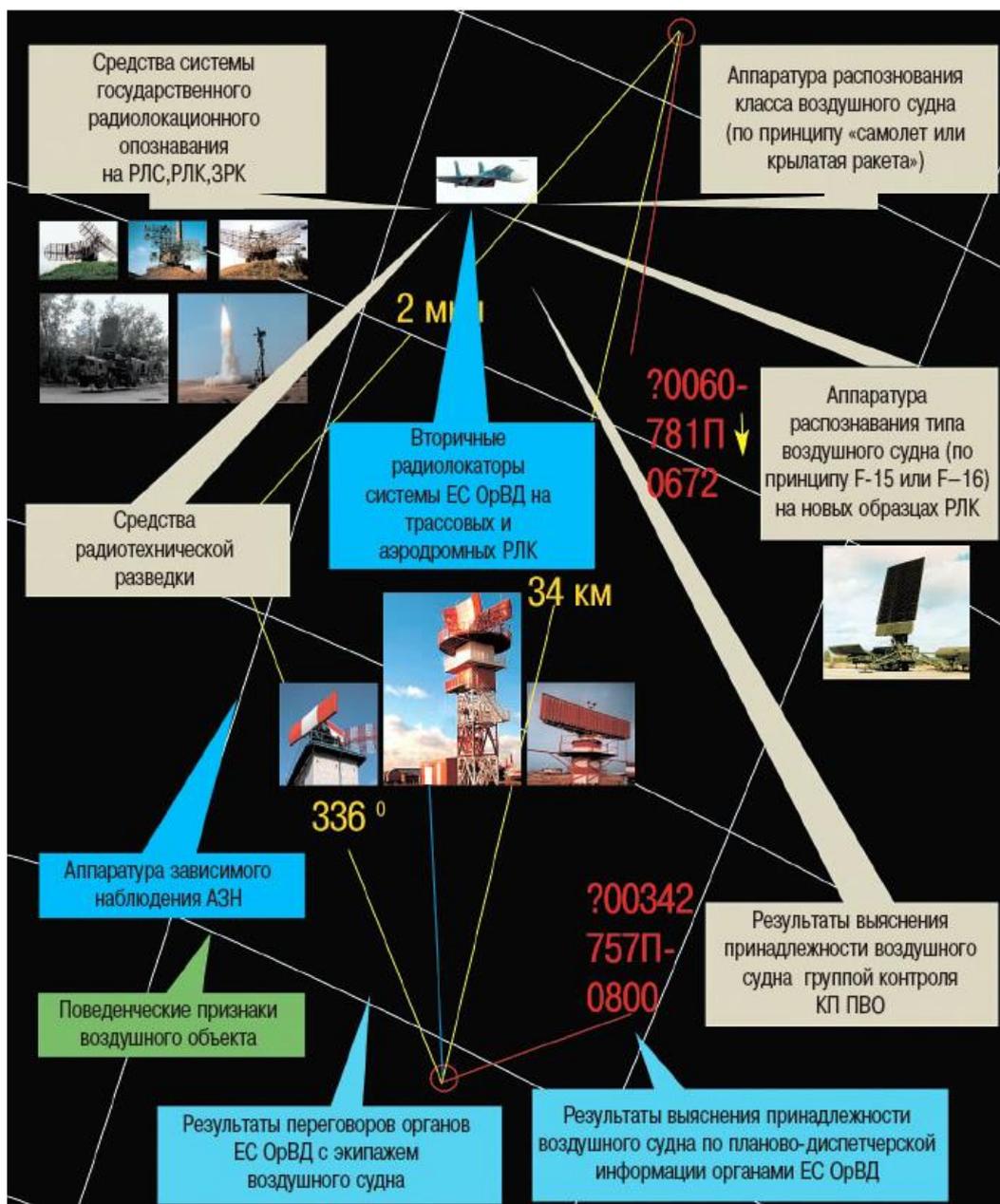


Рис. 1. Комплекс средств выявления государственной принадлежности воздушных судов

Задача формулируется следующим образом [2]. Дано:

- множество $A = \{a_i\}, i = (1, n)$ объектов;
- множество $K = \{k_j\}, j = (1, r)$ критериев их оценки;
- множество $V = \{v_j\}$ коэффициентов относительной важности критериев оценки;
- множество $C = \{c_i\}, i = (1, m)$ коэффициентов принадлежности к соответствующему

J классу объектов.

Найти: ранжирование $R = \{r_i\}$ альтернатив $a_i \in A$ по множеству K критериев с учетом их относительной значимости.

Опираясь на полученные оценки, можно определить, какой из кортежей более предпочтителен, и выбрать ответ из следующего множества вариантов:

- объект с кортежем оценок r_i предпочтительнее, чем с кортежем r_j ;
- объект с кортежем оценок r_j предпочтительнее, чем с кортежем r_i ;
- объекты равноценны.

Ввиду того что значения оценок по каждому критерию ранжированы, т.е. образуют шкалу, результат сравнения объектов с кортежами (r_i, r_j) позволяет построить единую шкалу для представления оценок по критериям c_i, c_j .

С целью построения единой шкалы для представления оценок по всем μ критериям предусматривается сравнить у опорных ситуаций $\mu(\mu - 1)/2$ пар кортежей. Такое количество сравнений является избыточным, т.к. шкалы по некоторым парам критериев можно построить, используя результаты сравнений для других пар критериев (например, при $\mu = 3$ шкалу для оценок по критериям c_1, c_3 в ряде случаев можно построить, используя результаты сравнений оценок по парам критериев $(c_1, c_2), (c_2, c_3)$).

Решение задачи опознавания объектов как оценки события

Будем считать, что в задачах опознавания, как частного случая задачи оценки событий, множество осей (компонент) n -мерного метрического пространства R может быть отображено множеством $\Omega\{x_{i,j}\}$, элементы которого $x_{i,j} \in \Omega$ интерпретируют показатели, где: $i = 1, r; j = 1, s; r$ – число методов исследования, s_i – число регистрируемых факторов в каждом методе. Рассматриваемые показатели в силу своей природы содержат случайные составляющие, интерпретируемые множеством $\Omega\{\varepsilon(x_{i,j})\}$. Множество $\Omega\{x_{i,j}\}$ образует пространство варьируемых параметров R_Ω , или метрическое пространство состояний с размерностью, равной числу показателей.

В случае, когда все компоненты пространства можно считать независимыми, т.е. условно изменение каждого показателя x не связано функциональной связью с любым другим показателем, оси пространства образуют ортогональный базис.

Широко используется вероятностный подход, в котором неопределенные параметры $V_i, i = 1, \bar{p}$ характеризуются функциями плотности распределения $P_i(V_i), i = 1, \bar{p}$. Математические модели, в состав которых входят такие параметры, имеют названия вероятностных. В этом случае функции распределения $P_i(V_i), i = 1, \bar{p}$ строятся на основании накопленных статистических данных о поведении стохастических параметров $V_i, i = 1, \bar{p}$.

При вероятностных методах опознавания можно воспользоваться диагностической постановкой задачи, где определение класса объекта трактуется как распознавание состояния системы. Причем все возможные сочетания состояний объектов опознавания составляют мощность множества состояний системы, по отношению к которым производится диагностирование. Вероятность постановки диагноза $D_i = P(D_i) = \frac{N_i}{N}$, где N_i – число состояний объекта из общего числа состояний N , у которых имел место диагноз D_i , а $P(k_j/D_i)$ – вероятность появления диагностического признака k_j у объекта с диагнозом D_i .

Если среди N_i состояний объектов, имеющих диагноз D_i , у N_{ij} появился признак k_j , то

$$P(k_j/D_i) = \frac{N_{ij}}{N_i}.$$

Вероятность появления диагностического признака k_j во всех состояниях объекта N независимо от их диагноза с учетом того, что k_j появляется только в N_j состояниях объекта, равна:

$$P(k_j) = \frac{N_j}{N}.$$

Из изложенного выше вытекает, что вероятность совместного появления двух событий: наличия у объекта диагноза D_i и диагностического признака k_j – равна:

$$P(D_i/k_j) = P(D_i) \cdot P(k_j/D_i) = P(k_j) \cdot P(D_i/k_j).$$

Отсюда:
$$P(D_i/k_j) = P(D_i) \cdot \frac{P(k_j/D_i)}{P(k_j)} - \text{формула Байеса.}$$

Формула Байеса неточно отражает реальное положение при постановке диагноза D_i при наличии диагностического признака k_j . Дело в том, что в этой формуле априорно (без доказательства, заранее) принято, что все диагностические признаки имеют равную вероятность появления в реальных условиях работы системы, при этом не учитывается информационная ценность того или иного диагностического признака.

Информационная ценность диагностического признака определяется количеством информации, которое вносит данный диагностический признак в описание технического состояния объекта. Количество информации связано с энтропией (степенью неопределенности) состояния системы – чем выше определенность состояния системы (меньше энтропия), тем меньше информации мы получим, изучая (диагностируя) эту систему (о ней и так почти все известно).

Сравнить диагностические свойства отдельных признаков можно методом ELECTRE [2], нашедшим применение в системах групповой экспертной оценки. Сущность метода ELECTRE заключается в следующем. Критериям c_1, c_2, \dots, c_μ оценки объектов присваиваются коэффициенты важности v_1, v_2, \dots, v_μ . Для каждой пары объектов (A_i, A_j) вычисляются индекс несогласия $d(A_i, A_j)$ и индекс согласия $\nu(A_i, A_j)$, который определяется так:

$$\nu(A_i, A_j) = \sum_{c_h \in C_{ij}^+} w_h / \sum_{u=1}^{\mu} w_u,$$

где C_{ij}^+ – подмножество критериев, по которым объект A_i не уступает объекту A_j .

Нетрудно заметить, что индекс согласия $\nu(A_i, A_j)$ обладает следующими свойствами:

- равен 1, если объект A_i не уступает объекту A_j по каждому критерию;
- равен 0, если объект A_i уступает объекту A_j по каждому критерию;

– не изменяется при замене любого i -го критерия с коэффициентом важности v_i подмножеством других критериев, по которым объекты (A_i, A_j) оцениваются так же, как по i -му критерию, а сумма коэффициентов важности равна v_i .

Индекс несогласия [3] имеет менее очевидный смысл и вычисляется с помощью выражения:

$$d(A_i, A_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } C_{ij}^- = \emptyset, \\ \text{Max}[w_h | e_h(A_i) - e_h(A_j) |] / d_h, & \text{если } C_{ij}^- \neq \emptyset, \\ c_h \in C_{ij}^- \end{cases}$$

где: C_{ij}^- – подмножество критериев, по которым объект A_i уступает объекту A_j ;

$e_h(A_i), e_h(A_j)$ – оценки объектов A_i, A_j по критерию C_h соответственно;

$$d_h = \text{Max}_{A_i, A_j \in A} [w_h | e_h(A_i) - e_h(A_j) |].$$

Коэффициент несогласия $d(A_i, A_j)$ имеет следующие свойства:

– равен 0, если и только если объект A_i не уступает объекту A_j ни по одному критерию;

– равен 1, если и только если взвешенная разность оценок объектов A_i и A_j по некоторому критерию – наибольшая для всех пар и критериев;

– сохраняет свое значение при введении в шкалы оценок по критериям дополнительных градаций путем помещения промежуточных оценок между старыми при условии, что новая система реперов сохраняет неизменными имеющиеся значения старых реперов.

Под реперами понимаются специально подобранные числа, позволяющие свести задачу сравнения оценок пар объектов по различным критериям к задаче определения разности реперов их оценок. Определение реперов заключается в построении согласованных между собой количественных шкал оценок по различным критериям, что предполагает введение единой количественной шкалы, построенной на множестве μ -мерных кортежей оценок. Эта идея использует замещение оценок по разным критериям, осуществляемое на основе результатов сравнения объектов в опорных ситуациях.

Множество значений индексов согласия и несогласия дает основания получить итоговое ранжирование объектов. Предлагается следующее правило сравнения: объект A_i превосходит объект A_j , если $v(A_i, A_j) \geq p$, а $d(A_i, A_j) \leq q$, где p, q – пороговые значения, определяемые различными классами объектов опознавания и их реальными свойствами.

На содержательном уровне это правило означает, что объект A_i превосходит объект A_j , если и только если:

– совокупность критериев с учетом их относительной важности, по которым объект A_i , по крайней мере, не хуже объекта A_j , достаточно представительна, о чем свидетельствует превышение индекса согласия порога p ;

– оценки по другим критериям не дают достаточных оснований считать объект A_i уступающим объекту A_j , о чем свидетельствует то, что индекс несогласия меньше порога q .

Приведенные выше методы реализуемы в перспективных системах управления воздушным движением. Вычислительная сложность рассматриваемых алгоритмов позволяет сказать, что они могут быть реализованы на современных отечественных вычислительных комплексах ряда «Эльбрус».

Заключение

В статье рассмотрен вопрос применения методов оценки множества факторов для решения задачи опознавания объектов. Показано, что комплексная обработка информации от нескольких источников позволяет решать задачу опознавания даже тогда, когда на объекте опознавания не предусмотрена система активного ответа.

Приводятся методы опознавания по множеству критериев с учетом значимости отдельных источников и достоверности получаемой информации. Приведенные методы базируются на математическом аппарате, нашедшем свое применение в ходе решения задач технической диагностики.

Литература

1. Бендерский Г., Кореньков В., Бондарев С. Настоящее и будущее опознавания – Электронный ресурс <http://adsbradar.ru/nastoyashchee-i-budushchee-opoznavaniya>, доступ 01.12.2014.
2. Быков И.А., Карпов Е.А., Ласковенко А.Г., Тоценко В.Г. Научные основы и методы проведения независимых экспертиз – М.: Издательство МГУ им. Ломоносова, 2005.
3. Парамонов Н.Б. Испытания при замене вычислительных средств сложных технических систем. – «Вопросы радиоэлектроники», сер. ЭВТ, 2011, вып. 3, с. 161-172.