

УДК 621.396

А.И. Тимочко, С.А. Олизаренко, О.Ю. Лавров

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

## МЕТОД ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРОСНИМКОВ НА ОСНОВЕ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА

*Сформулирован метод дешифрирования аэроснимков, обеспечивающий обработку неоднозначных, неполных, противоречивых данных и знаний. Основу метода составляет двух- или трехступенчатое дешифрирование аэроснимков. Вначале распознаются признаки, затем – элементы объекта, потом – сам объект. Определены признаки, в наибольшей степени влияющие на процесс дешифрирования. Введена классификация признаков – прямые и косвенные, утверждающие и опровергающие, наблюдаемые и ненаблюдаемые. Введены в рассмотрение области толерантности – уверенной (неуверенной) возможности (невозможности). Определена восьмизначная шкала оценки.*

**Ключевые слова:** дешифрирование, признак, элемент объекта дешифрирования, объект дешифрирования, восьмизначная шкала оценки, неопределенность, знание.

### Введение

**Постановка проблемы.** Аэроснимок является основным отчетным документом инструментальной воздушной разведки. Дешифрирование позволяет обнаруживать, распознавать и интерпретировать изображенные на аэроснимках объекты и формы рельефа местности путем определения их количественных и качественных признаков.

Эффективность дешифрирования оценивается вероятностями обнаружения и распознавания объектов разведки, полнотой и достоверностью их интерпретации. Безусловно, по своей сложности дешифрирование относится к интеллектуальным процессам. Поэтому перспективным направлением развития автоматического и/или автоматизированного дешифрирования аэроснимков является применение интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР). Опыт показал, что ИСППР могут эффективно функционировать только при условии выявления признаков, позволяющих опознавать размещение, перемещение и функционирование различных объектов дешифрирования. Для этого необходим подход, реализующий учет множества признаков, влияющих на дешифрирование.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известна работа [1], позволяющая распознавать события и ситуации на основе топологической булевой алгебры. Недостатком метода является фактический переход к двузначной шкале распознавания. Такой подход не всегда адекватен в отношении ситуаций, складывающихся в реальности.

В работе [2] для означивания начальных условий обосновано использование нечеткой логики для формирования множества признаков, непосредственно учитываемых в процессе логического вывода. Метод позволяет обрабатывать неоднозначные, не-

полные и противоречивые данные и знания. Однако его применение ограничено распознаванием ситуаций, складывающейся в конкретной предметной области.

**Цель статьи.** Разработка метода дешифрирования аэроснимков на основе признакового пространства.

### Основной материал

Характерные особенности, позволяющие отличать друг от друга объекты воздушной разведки при их непосредственном наблюдении, называются демаскирующими признаками. Это – форма, размер, детали, цвет и тень объекта; определенный порядок функционирования; следы на поверхности земли, воды и в пространстве и физические поля, образующиеся в результате присутствия, движения и функционирования объекта; вносимые объектами изменения в постоянно существующие природные физические поля и др. Демаскирующие признаки на изображении называются дешифровочными признаками. Демаскирующие и дешифровочные признаки часто объединяются понятием «опознавательные признаки». Опознавательные признаки делятся на прямые и косвенные. Прямые признаки присущи самим объектам и их изображениям – форма, размер, детали, структура, тон или цвет, тень. Косвенные признаки непосредственно к объекту не относятся – относительное расположение объектов, приуроченность одних объектов к другим, следы деятельности. Косвенные признаки указывают на наличие объекта, не определяемого по прямым признакам, устраняя неоднозначность решений по распознаванию. Соотношение прямых и косвенных признаков при дешифрировании – 0,55 к 0,45 [3].

Используем восьмизначную шкалу оценок для дешифрирования аэроснимков [1].

Дешифрирование объекта состоит в выделении некоторого подмножества определяющих его эле-

ментов  $\Psi_{t^*}$ , зафиксированных в момент времени  $t^*$  и требующих определения количественных и качественных значений признаков [3].

Метод двух- (вначале – распознавание опознавательных признаков, затем – объектов) или трех-ступенчатого дешифрирования позволяет однозначно дешифровать объект, описанный большим количеством признаков, в условиях противоречивости и неполноты информации (рис. 1).

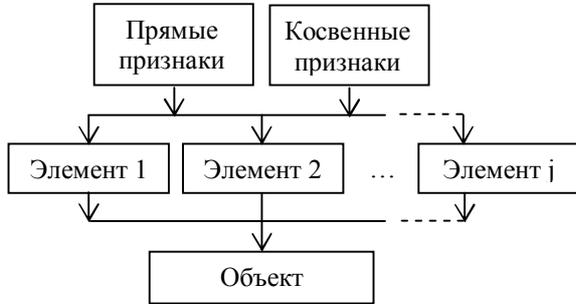


Рис. 1. Процесс дешифрирования объекта

Установим отношение частичного порядка по правилу  $\psi_1 \leq \psi_2$ . Во множестве  $\{\psi_x\}$  выделим внутренность  $I_x \in \psi_x$  – наибольшее подмножество, элементы которого однозначно определяют присутствие объекта  $h_a^t$ ,  $\psi \Rightarrow (x \equiv S)$ . Аналогично замыкание  $S_x$  – наименьшее подмножество, которое не обладает данным свойством,  $x \Rightarrow (\psi \equiv S)$  [4].

Конкретный состав признаков, определяющих внутренность и замыкание определения наличия объекта, формируется по информации экспертов.

Однозначное распознавание объекта  $h_a^t$  возможно только по внутренности его присутствия  $Ih_a^t$  или отсутствия  $I-h_a^t$ , описанных прямыми и косвенными признаками. Если часть признаков ненаблюдаема, то  $Ih_a^t$  и  $I-h_a^t$  примет значение  $N$  «отсутствует». Однако замыкание наличия  $Ch_a^t$  или отсутствия  $C-h_a^t$  объекта может иметь значение  $S$  «присутствует». Это позволяет ввести вектор наличия объекта на аэроснимке [4]:

$$\bar{h}_a^t = \langle Ih_a^t, C-h_a^t, I-h_a^t, Ch_a^t \rangle. \quad (1)$$

Если  $Ih_a^t$  и  $I-h_a^t$  в (1) имеют противоположные значения из  $\{S, N\}$ , то объект  $h_a^t$  однозначно распознается. При  $Ih_a^t = S$ ;  $I-h_a^t = S$  возможно противоречие, а при  $Ih_a^t = N$ ;  $I-h_a^t = N$  – неопределенность в дешифрировании объекта.

Разделим прямые и косвенные признаки на утверждающие и опровергающие, наблюдаемые и ненаблюдаемые.

По значениям  $Ih_a^t$  и  $I-h_a^t$  объект  $h_a^t$  однозначно дешифрируется по присутствию хотя бы одного прямого или совокупности косвенных признаков. Для раскрытия неопределенности при дешифрировании выделим внутри формул  $Ch_a^t$  и  $C-h_a^t$  области уверенной возможности (ОУВ), неуверенной возможности (ОНВ), уверенной невозможности (ОУН), неуверенной невозможности (ОНН).

В ОУВ объект дешифрируется по прямым утверждающим признакам  $\Phi_{in}^t$ :

$$C^I h_a^t \equiv \begin{cases} \bigcup_{i=1}^I \left( \bigcap_{n=0}^{N_i} \Phi_{in}^t \right), & \text{если } V = \{i/N_i = 0\} \neq \emptyset, \\ N, & \text{если } V = \emptyset. \end{cases} \quad (2)$$

В ОНВ объект дешифрируется по косвенным утверждающим признакам  $\Gamma_{iu}^t$ :

$$C^C h_a^t \equiv \begin{cases} \bigcup_{i \in P} \left( \bigcap_{u=0}^{U_i} \Gamma_{iu}^t \right), & \text{если } P = \{i/D_i = 0\} \neq \emptyset, \\ S, & \text{если } P = \emptyset. \end{cases} \quad (3)$$

ОУН позволяет определить отсутствие объекта по прямым опровергающим признакам  $e_{ih}^t$ :

$$C^I -h_a^t \equiv \begin{cases} \bigcup_{i=1}^I \left( \bigcap_{n=0}^{H_i} e_{ih}^t \right), & \text{если } K = \{i/H_i \neq 0\} \neq \emptyset, \\ N, & \text{если } K = \emptyset. \end{cases} \quad (4)$$

ОНН называется область, определяющая невозможность дешифрирования объекта по косвенным опровергающим признакам  $\partial_{ig}^t$ :

$$C^C -h_a^t \equiv \begin{cases} \bigcup_{i \in l} \left( \bigcap_{f=0}^{F_i} \partial_{ig}^t \right), & \text{если } l = \{i/G_i \neq 0\} \neq \emptyset, \\ S, & \text{если } l = \emptyset. \end{cases} \quad (5)$$

Наличие полярных признаков для  $C^I h_a^t$ ,  $C^C h_a^t$ ,  $C^I -h_a^t$ ,  $C^C -h_a^t$  определяет выражения:

$$Ch_a^t \equiv C^I h_a^t \cup C^C h_a^t; \quad C-h_a^t \equiv C^I -h_a^t \cup C^C -h_a^t. \quad (6)$$

Пусть вектор уверенности дешифрирования объекта ( $\bar{x}_h$ ) со значениями истинности (табл. 1):

$$\bar{x}_h = \langle C^I h_a^t, C^C h_a^t, C^I -h_a^t, C^C -h_a^t \rangle. \quad (7)$$

Значение (ПР) требует контроля корректности формальной теории. Значение (НП) означает, что формальная теория не полна и необходима дополнительная информация для дешифрирования [4].

При дешифрировании объекта на множестве признаков введем отношение строгого порядка по правилу «большее доверие прямым признакам, чем косвенным»  $\{\Phi_{in}^t\} > \{\Gamma_{iu}^t\}$ ,  $\{e_{is}^t\} > \{\partial_{if}^t\}$ .

Противоречие в оценке  $\bar{x}_h$  возникает из-за несоответствия значений выражений (6) системе аксиом логики присутствия [4]:

$$Ch_a^t \equiv -Ih_a^t; \quad I-h_a^t \equiv -Ch_a^t. \quad (8)$$

Таблица 1

Значения истинности векторов уверенности распознавания объекта  $\bar{x}_h$  и его элемента  $\bar{x}_r$

№ п/п	Значения составляющих $\zeta_i, i = 1, 2$				Семантическая интерпретация $x_h, x_r$	Обозначения
	$\zeta_1 = h_a^t; \zeta_2 = Y_{t^*}$					
	$C^I \zeta_i$	$C^I \neg \zeta_i$	$C^C \zeta_i$	$C^C \neg \zeta_i$		
1.	S	S	S	N	Косвенно возможно $h_a^t (Y_{t^*})$	KB
2.	N	N	S	N	Косвенно возможно $h_a^t (Y_{t^*})$	KB
3.	S	N	S	S	Существенно возможно $h_a^t (Y_{t^*})$	CB
4.	S	N	N	S	Существенно возможно $h_a^t (Y_{t^*})$	CB
5.	S	N	N	N	Существенно возможно $h_a^t (Y_{t^*})$	CB
6.	S	N	S	N	Присутствует $h_a^t (Y_{t^*})$	S
7.	S	S	N	N	Неопределенность	НП
8.	N	N	N	N	Неопределенность	НП
9.	N	N	S	S	Неопределенность	НП
10.	S	S	N	S	Косвенно невозможно $h_a^t (Y_{t^*})$	KN
11.	N	N	N	S	Косвенно невозможно $h_a^t (Y_{t^*})$	KN
12.	N	S	S	N	Существенно невозможно $h_a^t (Y_{t^*})$	CH
13.	N	S	N	N	Существенно невозможно $h_a^t (Y_{t^*})$	CH
14.	N	S	S	S	Существенно невозможно $h_a^t (Y_{t^*})$	CH
15.	N	S	N	S	Отсутствует $h_a^t (Y_{t^*})$	N
16.	S	S	S	S	Противоречие	ПР

Приведенные соотношения полностью определяют восьмизначную шкалу оценки: «присутствует» (S), «существенно возможно» (CB), «косвенно возможно» (KB), «косвенно невозможно» (KN), «существенно невозможно» (CH), «отсутствует» (N), «неопределено» (НП), «противоречиво» (ПР).

Если объект является сложным, например, аэродром, который включает ВПП, рулежные дорожки, склады горюче-смазочных материалов и т.д., то представляется необходимым использовать трехступенчатый метод дешифрирования. Тогда аналогично приведенным выше выкладкам вначале распознаются элементы объектов. А далее аналогично по оценкам присутствия элементов получаем значения оценок дешифрирования объектов (см. табл. 1)).

Разработанный подход позволяет с некоторой степенью доверия определять значение прагматической истинности объектов в условиях неопределенности исходной информации. Поэтому результаты дешифрирования объектов будут находиться в диапазоне предложенной восьмизначной шкалы.

Для реализации гарантирующей стратегии в условиях целенаправленного противодействия необходимо однозначно распознавать дешифровочные признаки и соответствующие элементы, определяющие факт наличия объекта разведки.

Для принятия решения о присутствии элемента объекта и самого объекта вся шкала оценок разделена на два класса:

IS – «элемент (объект) присутствует»,

NO – «элемент (объект) отсутствует»:

$$IS = \{S, CB, KB\}, \tag{9}$$

$$NO = \{N, CH, KN\}. \tag{10}$$

Граница между ними определяет порог принятия решения о наличии объекта дешифрирования.

Таким образом, метод дешифрирования аэроснимков (рис. 2), состоит из таких шагов.

1. Разделение признаков и элементов на прямые и косвенные, утверждающие и опровергающие.

2. Описание объекта через введенную систему признаков и элементов.

3. Определение множества наблюдаемых и ненаблюдаемых признаков и значений их истинности.

4. Определение значений присутствия областей толерантности: (ОУВ)  $C^I h_a^t$ , (ОНВ)  $C^C h_a^t$ , (ОУН)  $C^I \neg h_a^t$ , (ОНН)  $C^C \neg h_a^t$  элемента объекта.

5. Определение значения присутствия элемента объекта.

6. Отнесение элемента к классам IS, NO.

7. Определение значений присутствия областей толерантности  $C^I \gamma_{t^*}, C^C \gamma_{t^*}, C^I \neg \gamma_{t^*}, C^C \neg \gamma_{t^*}$  объекта дешифрирования.

8. Определение значения присутствия объекта дешифрирования.

9. Отнесение объекта дешифрирования к классам IS, NO и принятие решения о его наличии.

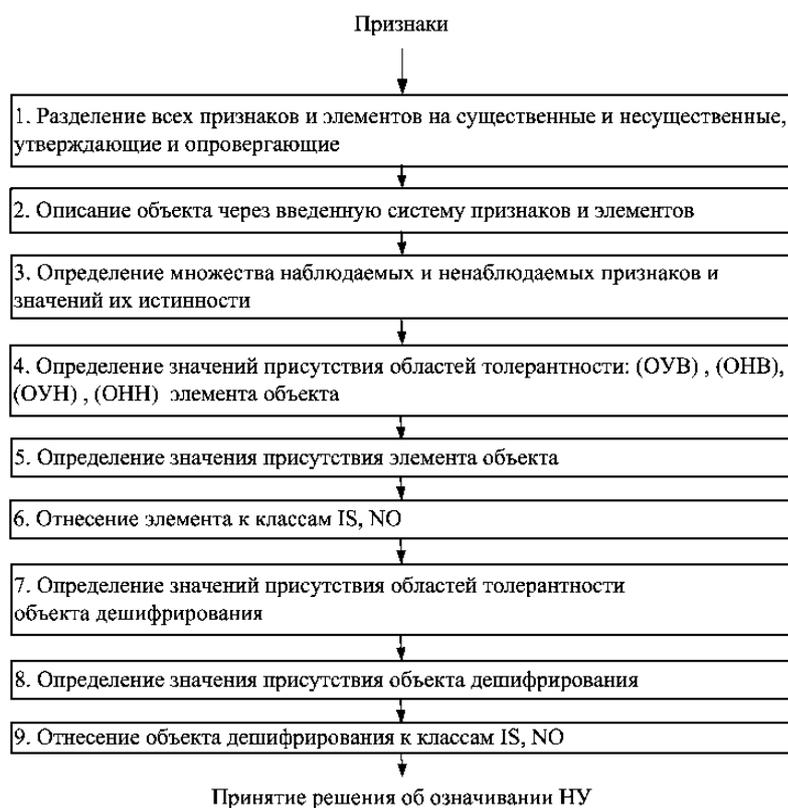


Рис. 2. Содержание метода дешифрирования аэроснимков

## Выводы

Разработанный метод обеспечивает обработку неоднозначных, неполных, противоречивых данных и знаний о процессах дешифрирования. Процедура обработки противоречивых и разнородных знаний на формализованных структурах позволяет автоматизировать процесс дешифрирования аэроснимков.

В предложенном методе дешифрирования отсутствуют процедуры ранжирования признаков и элементов объектов по степени доверия. Для открытых экспертных систем такое ранжирование затруд-

нительно из-за значительного времени экспертных опросов, а сама процедура сложна, субъективна и неоднозначна. Предложенная классификация признаков и элементов объектов разведки позволяет сравнительно легко их дешифрировать при неполной и противоречивой исходной информации.

Возможным путем развития метода является переход к использованию нечеткой логики в процессе дешифрирования объектов.

Таким образом, цель работы достигнута.

## Список литературы

1. Тимочко А.И. Методика означивания начальных условий для процедуры логического вывода / А.И. Тимочко // Научно-техническая конференция Харьковского военного университета: тез. докл., 23-24 апреля 1995 г. – Х.: ХВУ, 1995. – С. 98-99.
2. Ушань В.Н. Метод означивания начальных условий на основе нечеткой логики / В.Н. Ушань // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2014. – Вип.4 (28). – С. 114-118.
3. Моисеев В.Л. Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэроснимков. Часть 2 // В.Л. Моисеев, М.А. Попов. – К.: КВВАИУ, 1991. – 337 с.
4. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, Б.Н. Судаков, А.В. Мишин. – Х.: ХВУ, 1993. – 446 с.

Поступила в редколлегию 12.12.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент М.А. Павленко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## МЕТОД ДЕШИФРУВАННЯ АЕРОЗНІМКІВ НА ОСНОВІ ОЗНАКОВОГО ПРОСТОРУ

О.І. Тимочко, С.А. Олізаренко, О.Ю. Лавров

*Сформульований метод дешифрування аерознімків, що забезпечує обробку неоднозначних, неповних, суперечливих даних і знань. Основу методу складає дво- або тріступінчатє дешифрування аерознімків. Спочатку розпізнаються ознаки, потім – елементи об'єкту, потім – сам об'єкт. Визначені ознаки, що найбільшою мірою впливають на процес дешифрування. Введена класифікація ознак – прями і непрямі, затверджувальні і спростувальні, спостережувані і неспостережувані. Введені в розгляд області толерантності – впевненої (невпевненої) можливості (неможливості). Визначена восьмизначна шкала оцінки.*

**Ключові слова:** дешифрування, ознака, елемент об'єкту дешифрування, об'єкт дешифрування, восьмизначна шкала оцінки, невизначеність, знання.

## AEROPICTURES DECODING METHOD BASED OF SIGN'S SPACE

O.I. Tymochko, S.A. Olizarenko, O.Y. Lavrov

*Aerophotogrammetric decoding method, providing processing of ambiguous, incomplete, contradictory data and knowledges, is formulated. Basis of method is made by two- or three-stage decoding of aerophotogrammetric pictures. In the beginning signs are recognized, after – elements of object, then – an object. Signs, in a most degree influencing on the process of decoding, are certain. Classification of signs is entered – direct and indirect, asserting and refuting, looked after and unlooked after. Entered in consideration of area of tolerance of – certain (uncertain) possibility (impossibility). The eight-value scale of estimation is certain.*

**Keywords:** decoding, sign, element of object of decoding, object of decoding, eight-value scale of estimation, vagueness, knowledge.