

УДК 621.3

О.В. Шитова

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ФОРМИРОВАНИЕ НАБОРА КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Статья посвящена формированию набора классификационных признаков объектов для решения задачи обнаружения объектов на изображениях. Приведен набор признаков объектов, сформированный на основе дешифровочных признаков объектов на аэрофотоснимках. Приведены результаты экспериментальной оценки информативности признаков формы объектов на изображениях.

**Ключевые слова:** обнаружение, классификационный признак, информативность.

### Введение

**Постановка задачи.** Задача обнаружения является предварительным этапом при решении задач дешифрирования и распознавания объектов на цифровых статических изображениях [1]. Существующие методы обработки изображений позволяют реализовать автоматизированное распознавание объектов, которое основано на использовании данных об объектах, взятых из базы эталонов, заполнение которой является достаточно трудоемким процессом. Чрезмерная трудоемкость процедуры построения эталонов объектов вызывает необходимость проведения предварительного выбора признаков в зависимости от их эффективности при решении задач обнаружения (расознавания, дешифрирования) объектов [2].

Комплексное дешифрирование, которое предлагается в [3], предусматривает выделение и распознавание разноплановых объектов и участков изображения с разнородной структурой по набору их уникальных признаков. На данном этапе исследований предложен набор признаков для обнаружения объектов техники по значениям интенсивности цвета и параметрам формы.

**Анализ литературы** [2, 4, 5] показал, что, несмотря на значительные фундаментальные исследования в таких областях математики как статистика, теория информации, теория вероятностей, теория формальных грамматик, а также активное развитие практической цифровой обработки изображений, до сих пор не выработано четких определений и терминов для выбора признаков объектов изображений. Строго говоря, общей теории формализованного определения признаков не существует, как правило, выбор набора признаков часто определяется интуицией и опытом эксперта [4]. Однако при автоматизированном решении многих задач трудно использовать те признаки, которые визуальным образом являются наиболее информативными для различения объектов [4].

В данной работе под набором классификационных признаков понимается минимальный набор

признаков, характеризующих искомые области изображения, который позволяет решать задачу обнаружения объектов на изображении с заданной достоверностью за минимальное время [5, 6].

**Целью статьи** является формирование набора классификационных признаков объектов для решения задачи обнаружения объектов на изображениях.

### Основная часть

Растровые изображения земной поверхности представляют собой совокупность объектов и фона, имеющих различные яркость, цвет, текстурные, топологические, геометрические и т.п. характеристики.

Так как известно, что основными дешифровочными признаками являются тон, размеры и форма объекта [7], в качестве признаков для обнаружения объектов выбраны соответственно, цвет, площадь и параметры формы объектов. Исходя из этого, предложенный набор классификационных признаков имеет вид (1):

$$(I, S_{ob}, D_{ob}, K_{ob}), \quad (1)$$

где  $I$  – конечное множество значений интенсивностей цвета объекта;  $S_{ob}$  – площадь объекта;  $D_{ob}$  – эквивалентный диаметр объекта;  $K_{ob}$  – коэффициент заполнения объекта.

Приведенная в [1] модель цветного цифрового изображения позволяет представить конечное множество значений интенсивностей  $I$  пикселей в виде (2):

$$I = \{I_R, I_G, I_B\}, \quad (2)$$

где  $I_R$  – конечное множество значений интенсивностей канала  $R$  объекта;  $I_G$  – конечное множество значений интенсивностей канала  $G$  объекта;  $I_B$  – конечное множество значений интенсивностей канала  $B$  объекта.

Площадь объекта цифрового изображения определяется в соответствии с выражением (3):

$$S_{ob} = \sum_i \sum_j S(i, j), \quad (3)$$

$$\text{где } S(i, j) = \begin{cases} 1, S(i, j) \in A \\ 0, S(i, j) \notin A \end{cases},$$

где  $A$  – множество пикселей массива  $S(i, j)$ , принадлежащих объекту изображения.

Площадь объекта учитывает как пиксели, находящиеся внутри контура, так и пиксели, составляющие контур.

Эквивалентный диаметр объекта изображения равен диаметру окружности, в которую вписан объект (4):

$$D_{obl} = \sqrt{4 \times S_0 / \pi}, \quad (4)$$

где  $S_0$  – площадь окружности, в которую вписан объект.

Коэффициент заполнения равен отношению площади объекта к площади ограничивающего ее прямоугольника (5):

$$K_{obl} = S_{obl} / S_{pr}, \quad (5)$$

где  $S_{pr}$  – площадь ограничивающего прямоугольника, содержащего объект изображения.

В процессе получения изображения возникает ряд факторов, влияющих на его качество. К основным таким факторам относятся метеорологические условия получения изображения и навигационно-технические условия получения [7]. На значения интенсивностей цвета влияют погодные условия и освещение при съемке.

Пусть  $\{W\}$  – метеорологические условия, влияющих на качество получаемого изображения, а  $\{\Delta W\}$  – значения искажений цвета изображения, возникающих при влиянии метеорологических условий во время получения изображения.

Тогда множество значений интенсивностей объекта принимает вид (6):

$$H_{Iob} = \left\{ I + \{\Delta W\} \right\}, \quad (6)$$

где  $H_{Iob}$  – набор значений интенсивностей цвета объекта с учетом влияния метеорологических условий.

Для формирования диапазона значений площадей объектов изображения учитываются такие параметры:

- масштаб изображения;
- коэффициент прореживания входного изображения в результате применения кратномасштабной обработки (КМО) входного изображения на этапе предобработки;
- допустимые отклонения значения площади, при которых значение ошибки обнаружения ложных объектов является минимальным.

Подробный расчет искажений площадей участков изображений описан в [7]. С учетом искажений, набор признаков площади имеет следующий вид (7):

$$H_{Sob} = \{S_{obkmomin}, S_{obkmax}\}, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{где } S_{obkmomin} &= S_{obkmo} - \Delta_s, \\ S_{obkmax} &= S_{obkmo} + \Delta_s, \end{aligned}$$

$S_{obkmomin}$  и  $S_{obkmax}$  – минимальное и максимальное значения площади объекта после учета масштаба получения аэроснимка, коэффициента КМО и допустимого отклонения искажения площади.

Аналогично формируется набор значений диаметра  $H_{Dob}$  (8) и коэффициента заполнения  $H_{Kob}$  объекта (9):

$$H_{Dob} = \{D_{obkmomin}, D_{obkmax}\}, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{где } D_{obkmomin} &= D_{obkmo} - \Delta_D, \\ D_{obkmax} &= D_{obkmo} + \Delta_D, \end{aligned}$$

$D_{obkmomin}$  и  $D_{obkmax}$  – минимальное и максимальное значения диаметра информативной области после учета масштаба получения аэроснимка, коэффициента КМО и допустимого отклонения искажения диаметра.

$$H_{Kob} = \{K_{obkmomin}, K_{obkmax}\}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{где } K_{obkmomin} &= K_{obkmo} - \Delta_K, \\ K_{obkmax} &= K_{obkmo} + \Delta_K, \end{aligned}$$

где  $K_{obkmomin}$  и  $K_{obkmax}$  – минимальное и максимальное значения коэффициента заполнения искомого объекта после учета масштаба получения аэроснимка, коэффициента КМО и допустимого отклонения искажения коэффициента заполнения области.

Учитывая выражения (2), (7), (8) и (9) набор классификационных признаков  $H$  объекта с учетом условий получения изображения имеет вид (10):

$$H = \{H_{Iob}; H_{Sob}; H_{Dob}; H_{Kob}\}. \quad (10)$$

Для практического подтверждения целесообразности применения предложенных признаков были разработаны следующие программы:

- две программы поиска и обнаружения областей цветного изображения по критериям цвета: для поиска областей по значениям одного канала цвета и для поиска областей по значениям среднего значения трех каналов цвета, в зависимости от цветового описания искомого объекта;
- программа поиска объектов по значениям коэффициентов формы.

Программы запускались с входным параметром в виде тестового изображения и выводили результат обработки на экран. После этого пользователь визуально сравнивал полученный результат с ожидаемым (который не формализован и находится в виде визуального образа в сознании тестирующего).

Тестовая выборка состояла из 100 изображений одинакового качества. Изображение, поступающее на вход системы обработки, должно быть полно-

цветным, представленным в цветовой системе RGB, иметь разрешение не менее  $640 \times 480$  пикс/дюйм. Вид съемки (плановая или перспективная) влияет на форму искомых объектов. Если угол отклонения оси аэрофотоаппарата будет превышать  $25^\circ$ , то признаки формы искомых объектов не будут информативными, поэтому для обработки изображения должны быть получены в результате плановой съемки. Изображение должно быть освещено достаточно равномерно, так как резкие тени, затрудняющие визуальную локализацию объектов, недопустимы [7]. Чем более условия съемки приближены к требуемым, тем более информативным будет полученное изображение, и соответственно, тем более достоверным будет обнаружение объектов.

Рис. 1 демонстрирует результат обнаружения объектов по значениям интенсивностей цвета. Задача обнаружения состояла в нахождении программой областей, содержащих «искомый объект №1» и «искомый объект №2». Обработка изображения производилась в системе Matlab [8].

Как видно из рисунка, поиск объектов по значениям интенсивностей пикселей приводит к обнаружению всех пикселей изображения, цвет которых совпадает с цветом искомых объектов.

Однако кроме искомых объектов, на изображении присутствуют ложные объекты, что вызывает появление ошибки второго рода.

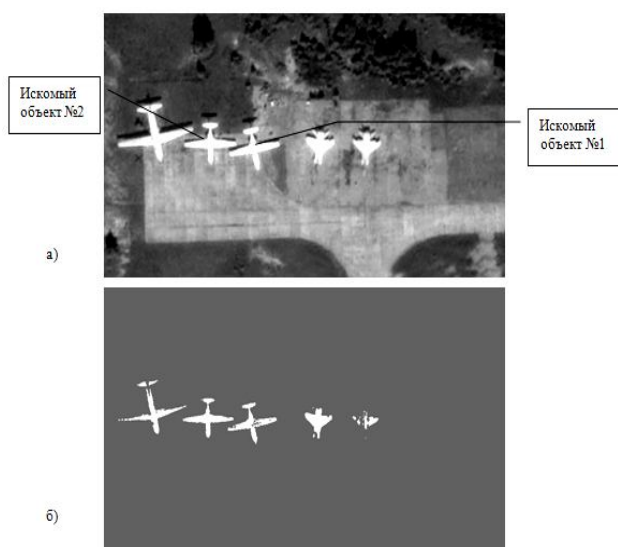


Рис. 1. а – аэрофотоизображение, сделанное с высоты 260 м, (изображение получено с помощью программы Google Earth Plus 5.2.1.1588); б – аэрофотоизображение с найденными объектами по значениям интенсивностей пикселей. Найденные объекты обозначены белым цветом, остальные объекты, отнесенные к фону, обозначены серым цветом

Для удаления ложных объектов в работе предложено использовать признаки формы объектов на изображении. Для выбора признаков формы был проведен ряд экспериментов, суть которых состояла

в следующем. Было взято изображение с объектами разных классов. Для каждого объекта между классами и внутри классов были рассчитаны значения признаков средствами программного пакета Matlab. После чего были проведены расчеты информативностей признаков формы [4, 9] в соответствии с формулами (11) – (13).

После расчета математического ожидания и дисперсии признаков, определяются признаки с минимальным колебанием значения внутри класса и наибольшим разбросом значений от класса к классу. Информативность признаков определяется выражением (11) [4]:

$$F = D_d / D_m, \quad (11)$$

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^k (M_m - M_i)^2}{k-1}, \quad (12)$$

$$M_m = \frac{\sum_{i=1}^k M_i}{k},$$

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^k (M_d - D_i)^2}{k-1}, \quad (13)$$

$$M_d = \frac{\sum_{i=1}^k D_i}{k}.$$

Выражение (11) имеет следующий физический смысл. Чем больше для данного признака дисперсия величин  $M_i$ , тем шире диапазон колебания признака при описании различных объектов, следовательно, тем выше ценность данного признака для их различения. Чем меньше дисперсия величин  $D_i$ , тем меньше колебания признака для одного и того же объекта, т.е. тем кучнее будут располагаться в признаковом пространстве элементы одного кластера. В предельном случае величина  $F$  стремится к нулю.

Такая оценка признака не зависит от значений других признаков и от изменения размерности признакового пространства, т.е. любой признак, претендующий на включение в итоговый набор, может быть оценен один раз и сравнен с остальными признаками без пересчета их оценок.

На рис. 2 приведена диаграмма значений информативности признаков формы, полученных в результате экспериментальных расчетов.

Анализ рис. 2 показывает, что наиболее информативными признаками формы для поиска и локализации объектов на изображении являются площадь объекта – значение информативности 0,29, эквивалентный диаметр – значение информативности 0,25 и коэффициент заполнения области – значение информативности 0,37. Исходя из этого, можно сделать вывод, что остальные параметры формы не яв-

ляются информативными для локализации областей изображения.

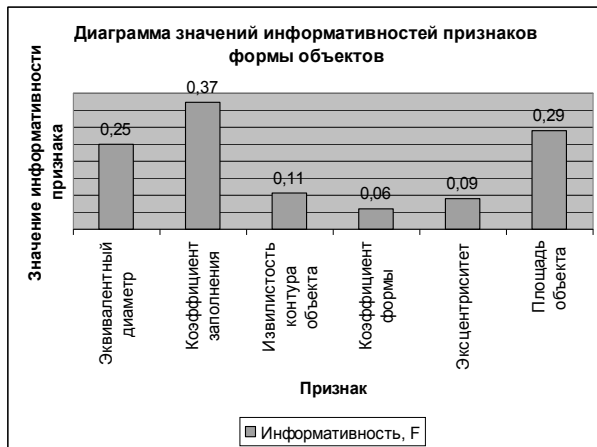


Рис. 2. Диаграмма значений информативностей признаков формы объектов

На рис. 3 представлен результат поиска областей изображения по значениям площади и эквивалентного диаметра.

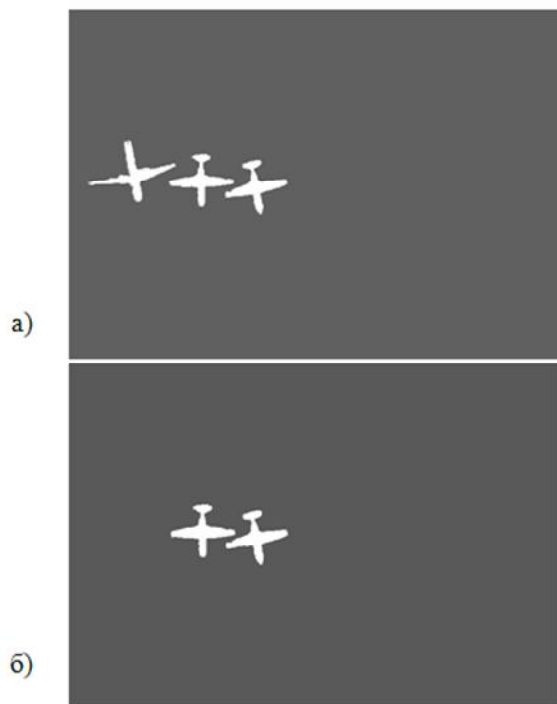


Рис. 3. Результат поиска областей изображения: а – объекты, найденные по признаку «площадь»; б – объекты, найденные по признакам «эквивалентный диаметр» и «коэффициент заполнения»

Как видно из рис. 1 – 3, в результате поиска по четырем признакам искомые объекты обнаружены.

Выбранные признаки соответствуют основным требованиям, предъявляемым к признакам объектов изображений для решения задач обнаружения и распознавания объектов на изображениях, таким как:

- инвариантность к яркостным искажениям (изменению яркости и контраста);

- инвариантность к изменению местоположения объекта;

- инвариантность к изменению ориентации объекта (к повороту объекта в плоскости изображения).

Проведенный ряд экспериментов выбора признаков объектов для решения задачи обнаружения показал, что количество признаков поиска влияет не только на точность обнаружения, но и на величину ошибки обнаружения ложных объектов вместо искомого.

В табл. 1 представлены значения ошибки обнаружения ложных объектов в зависимости от количества признаков поиска. На рис. 4 эта зависимость представлена в виде гистограммы. Как видно из рис. 4, количество ложно обнаруженных объектов уменьшается после увеличения признаков поиска.

Таблица 1

Значения ошибки обнаружения ложных объектов в зависимости от количества признаков поиска

Признаки поиска	Кол-во признаков	Кол-во иск. объектов	Кол-во ложн. объектов	Ошибка обнаруж. ложн. объектов, %
Интенсивность цвета пикселей	1	50	10	20
Интенсивность+площадь	2	50	8	16
Интенсивность+площадь+диаметр	3	50	3	6
Интенсивность+площадь+диаметр+коэффициент заполнения	4	50	1	2

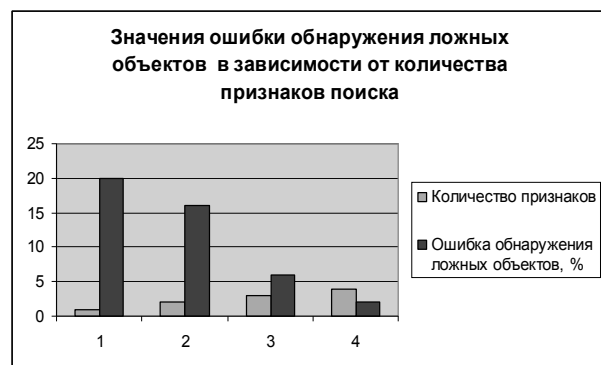


Рис. 4. Диаграмма зависимости ошибки обнаружения ложных объектов от количества используемых признаков объектов

Значение ошибки пропуска искомого объекта зависит от значений отклонений заданных признаков поиска объекта. Большая ошибка в отклонении при задании диапазона значений признаков приведет к пропуску искомого объекта, а также к обнаружению ложных. Соответственно при задании диапазонов значений признаков необходимо добиваться максимальной точности.

График (рис. 5) показывает, что варьируя значением отклонений, можно добиваться высоких показателей достоверности локализации.

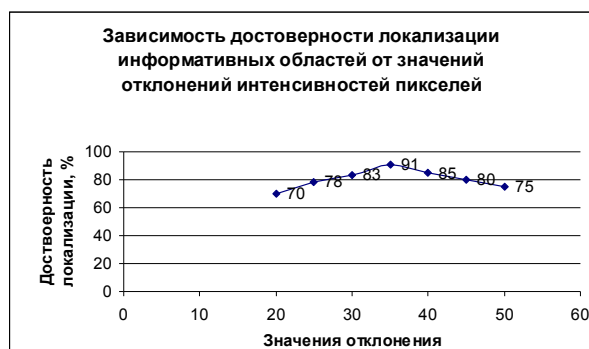


Рис. 5. Діаграма залежності достовірності локалізації інформативних областей від значень відхилень інтенсивностей пікселів об'єктів

При цьому помилка другого роду не є критичною при аналізі результатів виявлення, т.к. знайдені ложні об'єкти можна просто відкинути. Помилка першого роду повинна бути мінімальною, т.к. пропуск іскомих об'єктів впливає на прийняття рішення при оцінці обстановки.

## Висновки

1. Чисельна оцінка інформативності ознак форми об'єктів на зображеннях, найбільш часто застосовуваних в ознакових методах виявлення і розпізнавання об'єктів на зображеннях показала, що найбільш інформативними є такі ознаки об'єктів як площа, еквівалентний діаметр і коефіцієнт заповнення.

2. Проведений ряд експериментів вибору ознак об'єктів на зображенні показав, що кількість ознак впливає не тільки на точність виявлення, але і на величину помилки виявлення ложних об'єктів замість іскомих. В залежності від застосування кількості вибраних ознак помилка виявлення ложних областей становить при пошуку областей тільки за значеннями інтенсивностей 20%, при пошуку за інтенсивністю і площею – 16%, при пошуку за інтенсивністю, площею і діаметром – 6%, при пошуку за всіма чотирма ознаками – 2%. Це дозволило зробити висновок, що запропонований в роботі набір ознак дозволяє вирішувати поставлену задачу з мінімальною помилкою виявлення ложних об'єктів.

## ФОРМУВАННЯ НАБОРУ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ ОЗНАК ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

О.В. Шитова

Стаття присвячена формуванню набору класифікаційних ознак об'єктів для розв'язання задачі виявлення об'єктів на зображеннях. Наведено набір ознак об'єктів, сформований на основі дешифрувальних ознак об'єктів на аерофото-знімках. Наведено результати експериментальної оцінки інформативності ознак форми об'єктів на зображеннях.

**Ключові слова:** виявлення, класифікаційна ознака, інформативність.

## THE FORMING A SET OF QUALIFICATION SIGNS OF OBJECTS FOR SOLVING TASKS OF DETECTION OBJECTS ON THE IMAGES

O.V. Shtyova

The article is about the forming a set of qualification signs of objects for solving tasks of detection objects on the images. The set of signs of objects which is formed using decryption signs of objects on aerial photographs has been showed. The results of experimental estimate of informational content of object's shape signs on the pictures have been showed.

**Keywords:** detection, qualification sign, informational content.

3. В подальшій роботі планується дослідження і виявлення інформативних ознак топографічних об'єктів для рішення задачі комплексного автоматизованого дешифрування аерофото знімків.

## Список літератури

1. Рубан І.В. Метод обробки цифрового зображення для локалізації інформативних областей / І.В. Рубан, О.В. Шитова, Д.П. Пашиков // Збірник наукових праць Національної академії наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Моделювання та інформаційні технології. – К., 2010. – Вип. 55. – С. 225-229.
2. Епифанцев Б.Н. Підхід до вибору ознак об'єкта в задачах виявлення і розпізнавання образів / Б.Н. Епифанцев // Вестник СибАДИ. – Сиб.: СибАДИ, 2008. – Вип. 4 (10). – С. 60-65.
3. Шитова О.В. Комплексне дешифрування зображень аероторазвідки цифровими методами / О.В. Шитова // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – Х.: ХУПС, 2014. – №1(14). – С. 78-82.
4. Казаков Я.В. Покращення якості кіннозображення засобами вичисельної техніки. Частина друга: методи ознакового описання статичного зображення [Електронний ресурс] / Я.В. Казаков. – СПб.: Санкт-Петербурзький державний університет кіно і телебачення, 2003. – Режим доступу к статті: <http://www.scieclibrary.ru/rus/catalog/pages/5026.html>.
5. Глузов Н.І. Метод вибору інформативних ознак на цифрових зображеннях / Н.І. Глузов, Е.В. Мясников // Комп'ютерна оптика. – 2007. – Т. 31. – № 3. – С. 73-76.
6. Шитова О.В. Підхід до розпізнавання військових літаків на зображеннях / О.В. Шитова // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2013. – Вип. 1(25). – С. 74-78.
7. Назаров А.С. Фотограмметрія: [учеб. посібник для студентів вузів] / А.С. Назаров. – Мн.: Тетра-Системс, 2006. – 368 с.
8. Гонсалес Р. Обробка зображень в середовищі Matlab / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Еддінс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
9. Рубан І.В. Дослідження інформативності ознак текстурних областей маскування мереж / І.В. Рубан, О.В. Шитова, А.Н. Пухляк, С.І. Хмельський, Ю.В. Данюк // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 9(107). – С. 76-80.

Поступила в редакцію 11.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.