УДК 004.8:621.3

О.В. Шитова

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ПІДХІД ДО РОЗПІЗНАВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЛІТАКІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

В статті представлено підхід до автоматизованого розпізнавання військових літаків на зображеннях. На основі аналізу геометричних ознак військового літака в плані запропоновано набір ознак літаків на зображені для їх класифікації за типами: "винищувач", "штурмовик", "бомбардувальник". Запропоновано алгоритм автоматизованої обробки зображення для розпізнавання літаків. Представлено візуальні результати роботи підходу, реалізованого в системі Matlab 2012.

Ключові слова: *автоматизована обробка, площа крила, розмах крила, розпізнавання зображень, дешифрування аерофотознимків.*

Постановка проблеми

Розвиток сучасної армії базується на впровадженні та розвитку інформаційних технологій, одними з яких є технології комп'ютерної обробки зображень [1].

В останні роки значний інтерес, як теоретичний, так і прикладний, викликає проблема розробки нових методів та алгоритмів дешифрування аерофотознимків. Це обумовлено постійним удосконаленням засобів повітряної розвідки, що приводить до збільшення обсягу та різноманіття інформації, яка потребує дешифрування. **Аналіз останніх досліджень і публікацій** [2-5] дозволив зробити висновок, що найбільш раціональним напрямом підвищення ефективності обробки великої кількості розвідінформації є автоматизація процесу дешифрування, серед задач якого важливе місце займає автоматизоване розпізнавання об'єктів на зображеннях.

В [6 – 8] запропонований метод автоматизованої локалізації областей об'єктів на зображеннях по набору прямих дешифрувальних ознак об'єктів. **Метою статті** є представлення результатів подальших досліджень щодо розробки підходів та методів автоматизованої обробки зображень, а саме підходу до автоматизованого розпізнавання військових літаків на зображенні та їх класифікації за типами "винищувач", "штурмовик", "бомбардувальник".

Основна частина

Під розпізнаванням цілей по їх зображенням розуміється встановлення людиною-оператором належності повітряного об'єкта до вузького класу цілей, наприклад, що об'єкт є літаком або вертольотом, або що об'єкт є літаком конкретного типу [9]. Заміною візуального розпізнавання стають сучасні технології автоматизації обробки зображень, які дозволяють програмно реалізовувати алгоритми класифікації об'єктів по їх типам.

Обґрунтований вибір інформативних ознак об'єктів на зображенні є основним завданням при розробці процедур розпізнавання аерофотознимків, від виконання якого залежить достовірність результатів повітряної розвідки.

Відомо, що візуальне розпізнавання літаків у повітрі проводиться людиною (пілотом, людиною-оператором) головним чином по силуетах літаків та по їх конструктивним особливостям [9]. Але для реалізації процедур автоматизованого розпізнавання на зображенні доцільно використовувати характеристики зображень літаків в плані. Відомо, що найбільш характерною ознакою, за якою можливо визначити призначення військового літака, є форма крила [10].Форма крила в плані характеризується такими параметрами як розмах, площа, подовження, звуження та ін. Аналіз трудомісткості розрахунку кожного з перелічених параметрів дозволив обрати найбільш прості в обчисленнях ознаки військового літака в плані, а саме розмах крила та площа крила.

Слід відзначити, що площа крила літака займає до 70% загальної площі літака в плані, тому при визначенні типу літака доцільно замість площі крила в плані використовувати загальну площу літака в плані.

К літальним апаратам військового призначення відносяться:

– стратегічні бомбардувальники;
– винищувачі-бомбардувальники;
– тактичні винищувачі;
– штурмовики;
– літаки спеціального призначення;
– літаки і вертольоти палубної й армійської авіації [11].

Для проведення досліджень в роботі були обрані літаки трьох родів авіації, а саме бомбардувальної, винищувальної та штурмової авіації.

В табл. 1 представлені значення геометричних ознак крила військових літаків [11].

З метою розрахунку інформативностей обраних ознак для розпізнавання літаків були проведені розрахунки дисперсій між класами та всередині класів літаків. Для розрахунку були обрані по три типи літаків для кожного класу та значення розмаху крила та площі крила. Результати розрахунків представлені в табл. 2.

Таблиця 1

Значення ознак військових літаків

Тип літака	Розмах крила, м	Площа крила в плані, м^2
Винищувачі		
МіГ-29	11,36	38,30
МіГ-29М	11,36	38,00
МіГ-29К	11,99	43,00
Штурмовики		
А-10	17,53	47,01
Су-25	14,36	33,7
Су-25Т	14,52	33,7
Бомбардувальники		
F-111	19,20	61,07
B-1B	41,80	181,16
B-2	52,40	465,00

Таблиця 2

Порівняльний аналіз
значень дисперсій ознак літаків

Ознака літака	Значення дисперсії		
	Винищу-вачі	Штурмо-вики	Бомбарду-вальники
Розмах крила	0,13	3,19	287,56
Площа крила	7,86	59,05	43024,37

Аналіз табл. 2 показав, що для кожного типу літаків (винищувачі, штурмовики, бомбардувальники) існує окремий набір значень розмаху крила та площі крила. Дисперсія всередині класів показує, що дані ознаки доцільно використовувати для розпізнавання літаків на зображенні, тому що їх значення лежать в окремих діапазонах для кожного класу літаків.

Для формування діапазону значень ознак об'єктів зображення необхідно враховувати масштаб аерофотознимку. Для перерахування значень ознак літака в плані відповідно з масштабом зображення використовувалась формула масштабу [5]. Значення площі об'єкта на зображенні обчислюється за допомогою виразу (1):

$$\frac{1}{m} = \frac{S_{ob}}{S}, \qquad (1)$$

де $1/m$ – значення масштабу аерофотознимка, S_{ob} – площа об'єкта на зображенні, S – значення площі об'єкта реального розміру (в довідковій системі).

Наприклад, якщо масштаб аерофотознимків становить 1:1000, а значення площі об'єкта в довідковій системі 100 м^2, то на оброблюваному аерофотознимку площа об'єкта дорівнюватиме (2):

$$S_{ob} = \frac{S}{m}, \; S_{ob} = 0{,}1 \; m^2 \qquad (2)$$

Лінійні зміщення точок аерофотознимку, викликані впливом кута нахилу і рельєфу місцевості, призводять до спотворень довжин відрізків, що обмежують площі ділянок зображень.

Позначимо площу області зображення на похилому знімку S_{ob1}, а на горизонтальному S_{ob0}. Спотворення площі Δ_S є різниця площин S_{ob1} и S_{ob0} (3):

$$\Delta_S = S_{ob1} - S_{ob0} \qquad (3)$$

Докладний розрахунок спотворень площ ділянок зображень описаний в [5]. Враховуючи вирази (2) і (3) набір ознак площі об'єкта задаються діапазоном (4):

$$H_{Sob} = \{S_{ob\,min}, S_{ob\,max}\}, \qquad (4)$$

де $S_{ob\,min} = S_{ob} - \Delta_s$, $S_{ob\,max} = S_{ob} + \Delta_s$, $S_{ob\,min}$ і $S_{ob\,max}$ - мінімальне і максимальне значення площі об'єкту після врахування масштабу отримання аерофотознимками і допустимого відхилення спотворення площі. Аналогічно формується набір значень розмаху крила (5):

$$H_{Lobl} = \{L_{ob\,min}, L_{ob\,max}\}, \qquad (5)$$

де $L_{ob\,min} = L_{ob} - \Delta_L$, $L_{ob\,max} = L_{ob} - \Delta_L$, $L_{ob\,min}$ і $L_{ob\,max}$ - мінімальне і максимальне значення розмаху крила об'єкта після врахування масштабу отримання аерофотознимку і допустимого відхилення спотворення.

Враховуючи вирази (2), (3), (4) і (5) набір ознак Н об'єкта з урахуванням умов отримання зображення має вигляд (6):

$$H = \{H_{Lob}; H_{Sob}\} \qquad (6)$$

Таким чином, враховуючі пред'явлені вимоги, на основі відомих геометричних ознак літаків бойового застосування, а саме площі крила та розмаху крила, сформований набір ознак для розпізнавання. Запропонований набір ознак відрізняється простотою обчислень, має властивість інваріантності до масштабу, місцю розташування і змінам орієнтації об'єкта на зображенні, що виключає необхідність заповнення еталонної бази для розпізнавання об'єктів.

Варіювання значеннями відхилень ΔL і ΔS дозволяє підвищувати достовірність розпізнавання об'єктів.

Алгоритм автоматизованої обробки зображення для розпізнавання літаків (рис. 1) складається з таких кроків:

Крок 1. Введення зображення в систему обробки зображень і значень набору ознак об'єктів.

Крок 2. Бінарізація зображення.

Крок 3. Пошук зв'язкових областей (літаків) на зображенні.

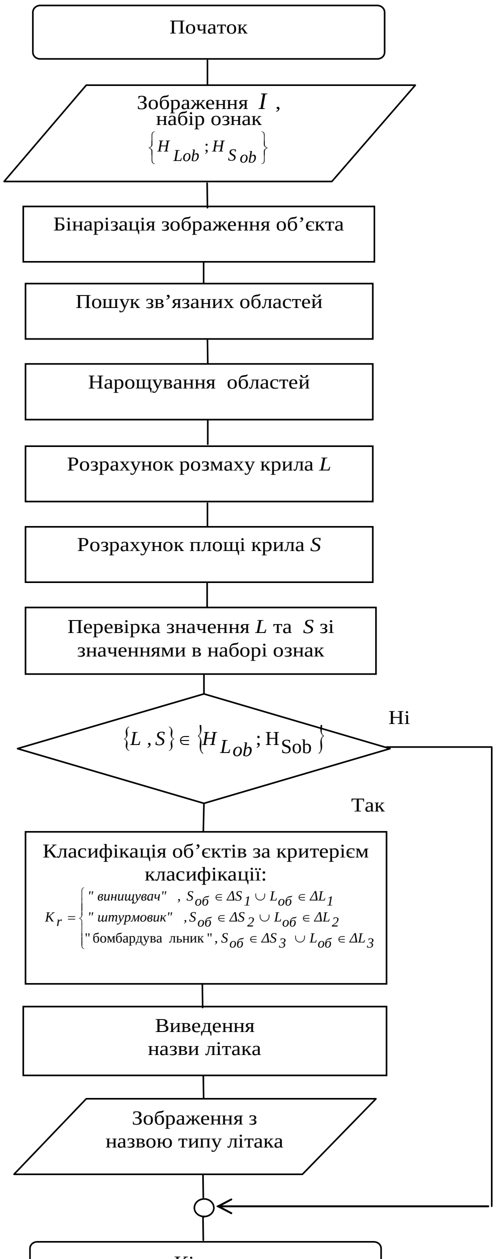

Рис. 2. Алгоритм розпізнавання літаків

Крок 4. Нарощування областей об'єктів.

Крок 5. Розрахунок ознаки розмаху крила об'єктів.

Крок 6. Розрахунок площі крила об'єктів.

Крок 7. Перевірка знайдених областей за значеннями ознак - чи потрапляють значення ознак, знайдених на кроці 4 та 5, в заданий діапазон значень ознак. Області із заданим значенням ознак виводяться в окреме вікно.

Критерій класифікації об'єктів має вигляд:

$$K_r = \begin{cases} \text{"винищувач"}, S_{об} \in H_{S1} \cup L_{об} \in H_{L1}; \\ \text{"штурмовик"}, S_{об} \in H_{S2} \cup L_{об} \in H_{L2}; \\ \text{"бомбардувальник"}, S_{об} \in H_{S3} \cup L_{об} \in H_{L3}, \end{cases} \qquad (7)$$

де $S_{об}$ – площа літака на зображенні, H_{S1}, H_{S2}, H_{S3} - значення площ літаків "винищувач", "штурмовик", "бомбардувальник" відповідно у довідкових матеріалах з урахуванням відхилень; $L_{об}$ – розмах крила літака на зображенні, H_{L1}, H_{L2}, H_{L3} - значення розмаху крила літаків "винищувач", "штурмовик", "бомбардувальник" відповідно у довідкових матеріалах з урахуванням відхилень.

Крок 8. Розпізнавання знайдених об'єктів.

Крок 9. Підпис об'єктів.

Крок 10. Виведення зображення з розпізнаними об'єктами.

Класифікація літаків здійснюється таким чином: програма перевіряє чи підпадає значення ознак об'єкта в заданий діапазон і відповідно відносить об'єкт до того чи іншого класу. Програма розроблена та реалізована в середовищі Matlab R2012a [12].

На рис. 1 представлено вихідне зображення для обробки. На зображенні присутні три літаки, назви яких невідомі. Проміжні етапи обробки зображення – бінарізація та етап зв'язування та об'єднання областей представлені на рис. 2.

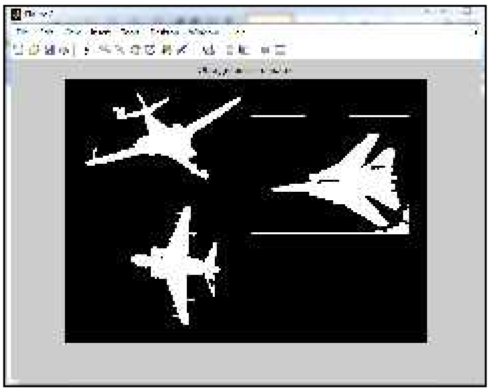

Рис. 1. Вихідне зображення.

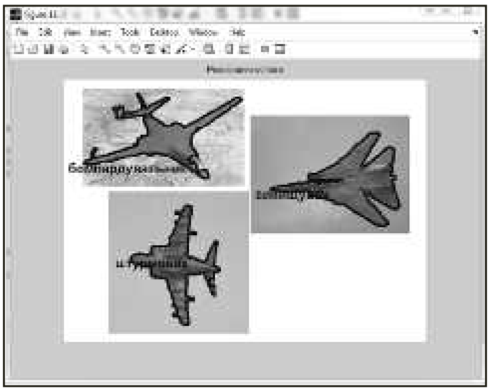

Рис. 2. Зображення після виконання проміжних етапів – бінарізації, нарощування та зв'язування областей об'єктів

На рис. 3 представлено результат розпізнавання літаків типу "штурмовик", "винищувач" та "бомбардувальник".

Рис. 3. Зображення після розпізнавання літаків

Критеріями ефективності функціонування алгоритму розпізнавання об'єктів зображення являються значення наступних показників: коефіцієнт достовірності розпізнавання, коефіцієнт пропущених ("нерозпізнаних") об'єктів та коефіцієнт помилкових об'єктів. Сума коефіцієнтів пропущених і помилкових об'єктів дає коефіцієнт сумарної помилки роботи алгоритму, проте оскільки фізичні причини виникнення пропуску області і вибору помилкового об'єкту сильно відрізняються, необхідно оцінювати обидві помилки окремо.

В роботі коефіцієнт достовірності D оцінювався у відповідності с виразом (8):

$$D = O_{\text{ïð ðîçï}} / O_{\text{ðîçï}}, \qquad (8)$$

де $O_{\text{пр розп}}$ – кількість "правильно розпізнаних" об'єктів, $O_{\text{розп}}$ – загальна кількість розпізнаних об'єктів.

Коефіцієнт пропущених об'єктів $K_{\text{пропущ}}$ в роботі оцінювався у відповідності з виразом (9):

$$\hat{E}_{\text{ïðîïóù}} = O_{\text{ïðîïóù}} / O_{\text{ðîçï}}, \qquad (9)$$

де $O_{\text{пропущ}}$ – кількість пропущених об'єктів.

Коефіцієнт хибних об'єктів $K_{\text{хибн}}$ в роботі оцінювався у відповідності з виразом (10):

$$\hat{E}_{\text{õèáí}} = O_{\text{õèáí}} / O_{\text{ïð ðîçï}}, \qquad (10)$$

де $O_{\text{хибн}}$ - кількість хибних об'єктів.

Відповідно, чим більше буде значення D та чим менше значення $K_{\text{пропущ}}$ і $K_{\text{хибн}}$, тим ефективність алгоритму Ef вище (11).

$$Ef = (D; K_{\text{ïðîïóù}}; \hat{E}_{\text{õèáí}}) \qquad (11)$$

Оцінка показника швидкодії алгоритму визначається як час, що витрачається ЕОМ на процес розпізнавання об'єктів.

Отримання кількісних значень коефіцієнту достовірності залежить від характеристик зображень, що обробляються. На контрастних зображеннях значення коефіцієнту достовірності буде вищим. Тому в подальшому планується розробка методів та алгоритмів передобробки зображення з метою отримання більш високих показників ефективності розпізнавання.

Висновки

Застосування запропонованого підходу розпізнавання зображень дозволяє скоротити час аналізу зображення людиною-оператором для ухвалення раціонального рішення практично без помилок.

Запропонований набір ознак для розпізнавання об'єктів є варіативним. В залежності від зміни об'єкту розпізнавання існує можливість зміни набору його ознак, або додавання більшої кількості ознак, а також варіювання значеннями відхилень ΔL і ΔS дозволяє підвищувати достовірність розпізнавання об'єктів. Розпізнавання об'єктів на зображенні по заданому набору ознак замість пошуку за еталонами є стійким до зміни положення об'єкта на зображенні, що скасовує необхідність "перебирання" еталонів об'єктів в базі даних.

Комп'ютерний експеримент підтвердив ефективність запропонованого підходу до розпізнавання військових літаків на зображенні.

Список літератури

1. *Мосов С.П. Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах: [монография] / Мосов С.П. – К.: Изд. Дом «Румб», 2008. – 248 с.*

2. *Èâàíåö Ì.Ã. Àíàëèç âîçìîæíîñòåé, ïîñòðîéåíèÿ è ïåðñïåêòèâ ðàçâèòèÿ ìàëîðàçìåðíûõ âîçäóøíûõ ñðåäñòâ íàáëþäåíèÿ, ðàçâåäêè è íàâåäåíèÿ / Ì.Ã. Èâàíåö, Ä.Ì. Ëèòâèí÷åíêî, Â.Â. Âîëêîâ. Ã.Â. Åðìàêîâ // Ñèñòåìè îáðîáêè ³íôîðìàö³¿. – Õ.: ÕÓÏÑ, 2008. – Âèï. 6(73). – Ñ. 50–53.*

3. *Àôèíîãåíîâ Å. È. / Ìåòîä ñèñòåìíîãî àíàëèçà êîìïëåêñíîãî àýðîôîòîðàçâåäêè / Å. È. Àôèíîãåíîâ, Ò. Ì. Âîëîñàòîâà, Í. È.Ñåëüâåñòðê, Í. Â. ×è÷âàðèí // Íàóêà è îáðàçîâàíèå. - ÌÃÒÓ èì.*

ÍÝ. Áàóìàíà, ÂÂÈÀ èì. ïðîô. Í.Å. Æóêîâñêîãî è Þ.À. Ãàãàðèíà. – 2001. - ¹12. – Ñ. 1-36.

4. Павлова В.А. Автоматическое компьютерное распознавание наземных и морских объектов / В. А. Павлова, С.Н. Крюков и др. // Известия ЮФУ. Технические науки. – СПб.: Научно-производственная корпорация «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» – С. 73-77.

5. Вельцер В. Аэроснимки в военном деле [Пер. с нем. Л.А. Молчановой] / В. Вельцер – М.: «Воениздат», 1990. 288 – с.

6. Рубан І.В. Алгоритм локалізації інформативних областей зображення / І.В. Рубан, О.В. Шитова // Новітні технології на захисту повітряного простору: Шоста наук. конф. Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, 14-15 квітня 2010 р. – С. 130.

7. Рубан И.В. Метод локализации объектов в системах обработки изображений дистанционного зондирования Земли / И.В. Рубан, К.О. Вельчев, О.В. Шитова // Системи управління, навігації та зв’язку. – К.: Центральний НДІ навігації і управління. – 2008. – Вип. 1(5) – С. 35–37.

8. Рубан И.В. Формирование набора признаков информативных областей для их локализации на цветных цифровых изображениях в системах технического зрения / И.В. Рубан, О.В. Шитова // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: наук.-практ. конф. Академія Внутрішніх Військ України, м. Харків, 17-18 березня 2011 р. – С. 77–78.

9. Єрмошин М.О. Аеродинамічні цілі зенітних ракетних військ / М.О. Єрмошин, В.М. Федай. – Х.: ХВУ, 2003. – 284 с.

10. Проектирование самолетов / [Егер С.М., Мишин В.Ф., Лисейцев Н.К. и др.]; под ред. С.М. Егера. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.

11. Информационный программный продукт «Справочник военной авиации». [Электронный ресурс]. – Волгоград: Студия «Korax», 2001. – Режим доступа: http://www.korax.narod.ru.

12. Гонсалес Р. Обработка изображений в среде Matlab/ Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с

Надійшла до редколегії 9.01.2012

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

ПОДХОД К РАСПОЗНАВАНИЮ ВОЕННЫХ САМОЛЕТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

О. В. Шитова

В статье представлен подход к автоматизированному распознавания военных самолетов на изображениях. На основе анализа геометрических признаков военного самолета в плане предложен набор признаков самолетов на изображении для их классификации по типам: “истребитель”, “штурмовик”, “бомбардировщик”. Предложен алгоритм автоматизированной обработки изображений для распознавания самолетов. Представлены визуальные результаты работы подхода, реализованного в системе Matlab 2012.

Ключевые слова: *автоматизированная обработка, площадь крыла, размах крыла, распознавание изображений, дешифрирование аэрофотоизображений.*

APPROACH FOR RECOGNITION OF A MILITARY AIRCRAFT FROM IMAGES

O. V. Shitova

Approach is presented in article to automated recognitions of military planes on images. On the basis of the analysis of geometrical signs of the military plane in the plan the feature set of planes on the image for their classification by types is offered: “fighter plane”, “attack plane”, “bomber plane”. The algorithm of the automated processing of images for recognition of planes is offered. Visual results of work of the approach realized in Matlab 2012 system are presented.

Keywords: *the automated processing, area of a wing, scope of a wing, recognition of images, deshifrirovaniye of aerial photographs.*