

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЙ ЗАВАД НА РЕЦЕПТОРНОМУ ПОЛІ ПРИ РОЗПІЗНАВАННІ ЗОБРАЖЕНЬ

У даній роботі розглянуто підхід обробки рецепторного поля за допомогою керуючої програми, яка дозволяє здійснювати відновлення зображень в системах розпізнавання і класифікацію зображень, що надходять з безпілотних літальних апаратів в режимі реального часу. В даний час широкого поширення набули методи розпізнавання об'єктів за допомогою засобів обчислювальної техніки в умовах дії активних і пасивних завад при застосуванні безпілотних літальних апаратів. На практиці необхідно обробляти складні зображення на рецепторному полі (які надходять з безпілотного літального апарату), що складаються із зображень об'єктів різних контурів. Рішення задач теорії розпізнавання класифікації об'єктів грає важливу роль в практичному застосуванні систем розпізнавання. При побудові систем для БпЛА необхідно враховувати можливість ефективної роботи їх в умовах впливу завад. В останні роки інтенсивно розвиваються методи аналізу, синтезу та обробки інформації за допомогою засобів обчислювальної техніки. Автоматизація процесу розпізнавання великої кількості інформації, яка швидко надходить, при дії завад в реальному часі обумовлена вимогами практики, і в цьому сенсі дуже перспективне застосування спеціалізованих мультипроцесорних систем. Один із перспективних напрямів в побудові таких систем - дослідження адаптивних систем, розпізнавання, систем, здатних до навчання. У зв'язку з цим актуальною є задача відновлення зображень об'єктів на тлі інших об'єктів і на тлі завад для розпізнавання.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, рецепторне поле, завади, зображення, системи розпізнавання об'єктів.

Хорошко В.А., Бобок И.И., Калантаевская С.В. Моделирование действия помех на рецепторном поле при распознавании видеоизображений. В данной работе рассмотрен подход обработки рецепторного поля с помощью управляющей программы, которая позволяет осуществлять восстановление изображений в системах распознавания и классификации изображений, поступающих с беспилотных летательных аппаратов в режиме реального времени. В настоящее время широкое распространение получили методы распознавания объектов с помощью средств вычислительной техники в условиях действия активных и пассивных помех при применении беспилотных летательных аппаратов. На практике необходимо обрабатывать сложные изображения на рецепторном поле (которые поступают с беспилотного летательного аппарата), состоящие из изображений объектов различных контуров. Решение задач теории распознавания классификации объектов играет важную роль в практическом применении систем распознавания. При построении систем для БпЛА необходимо учитывать возможность эффективной работы в условиях воздействия помех. В последние годы интенсивно развиваются методы анализа, синтеза и обработки информации с помощью средств вычислительной техники. Автоматизация процесса распознавания большого количества быстро поступающей информации при действии помех в реальном времени обусловлена требованиями практики, и в этом смысле очень перспективное применение специализированных мультипроцессорных систем. Одно из перспективных направлений в построении таких систем – исследование адаптивных систем распознавания, систем, способных к обучению. В связи с этим актуальной является задача восстановления изображений объектов на фоне других объектов и на фоне помех для распознавания.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, рецепторное поле, помехи, изображения, системы распознавания объектов.

V.Khoroshko, I.Bobok, S Kalantaievska. Modeling actions on the receptor field for video recognition. In this paper, we consider the approach of processing the receptor field using a control program that allows the recovery of images in recognition systems and classification of images coming from unmanned aerial vehicles in real time. Currently, widespread methods of object recognition using computer technology in the action of active and passive interference in the application of unmanned aerial vehicles. In practice, it is necessary to process complex images on the receptor field (which comes from an unmanned aerial vehicle), consisting of images of objects of different contours. Solving the problems of object classification recognition theory plays an important role in the practical application of recognition systems. When building systems for UAVs, it is necessary to take into account the possibility of effective work under the influence of interference. In recent years, the methods of analysis, synthesis and processing of information with the help of computer technology have been intensively developed. Automation of the process of recognition of a large number of rapidly incoming information under the action of interference in real time due to the requirements of practice, and in this sense, a very promising application of specialized multiprocessor systems. One of the promising directions in the construction of such systems is the study of adaptive recognition systems, systems capable of learning. In this regard, the task of restoring images of objects against the background of other objects and against the background of interference for recognition is urgent.

Key words: unmanned aerial vehicles, receptor field, interference, images, object recognition systems.

Постановка завдання. В сучасних умовах всі армії провідних країн світу не обходяться без застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Враховуючи досвід проведення антитерористичної операції на території Донецької і Луганської областей, вже ні в кого не викликає сумніву, що Збройні сили України потребують прийняття на озброєння сучасних БПЛА, які можуть вести інструментальну повітряну розвідку в оперативнотактичній, тактичній глибині, розвідку поля бою з метою отримання розвідувальних даних, що дуже важливо для планування військових операцій, навчань і тренувань.

Під час бойових дій на сході України БПЛА найбільш активно використовуються для проведення розвідувальних операцій.

При цьому слід враховувати, що важливим фактором при застосуванні БПЛА є розпізнавання об'єктів, за якими здійснюється розвідка.

Крім того, в даний час широке поширення одержали методи розпізнавання об'єктів за допомогою засобів обчислювальної техніки в умовах дій активних і пасивних завад при застосуванні безпілотних літальних апаратів.

Аналіз останніх публікацій. Запропоновані і розроблені різні методи розпізнавання окремих класів об'єктів (зображень) в системах реального часу. На практиці необхідно обробляти зображення на рецепторному полі (що надходять з безпілотного літального апарату), що складається із зображень об'єктів різних контурів. У зв'язку з цим актуальним є завдання відновлення зображень об'єктів на тлі інших об'єктів і на тлі завад для розпізнавання. Авторами статті проведено аналіз публікацій різних авторів, що включають в себе теоретичні знання з класифікації об'єктів, методів обробки зображень, та аналізу впливу завад на зображення, що надходять з БПЛА в системах реального часу.

У публікаціях таких авторів, як Аркад'єв А.Г., Васил'єв В.І., Переверзев-Орлов В.С., Шибанов Ю.П. [1 – 4] рішення завдань теорії розпізнавання класифікації об'єктів відіграє важливу роль у практичному застосуванні систем розпізнавання, але при побудові систем для БПЛА доводиться враховувати можливість ефективної роботи їх в умовах впливу завад, це відображається у публікаціях таких авторів, як Васил'єв В.А., Хорошко В.О., Калінкіна Д.А., Ватолін Д.С., Камінський Р.М. [5 – 8]. Одним з перспективних напрямків у побудові таких систем - дослідження адаптивних систем розпізнавання здатних до навчання.

Завдання попередньої обробки зображень - фільтрації, виділення об'єктів на тлі шуму вимагають аналізу завад різної структури. Тому необхідно моделювати завади з різними законами розподілу, інтенсивністю і законами дії їх на зображення об'єктів, це відображається у публікаціях таких авторів, як Грицик В.В., Кисель Б.В., Полянчик Р.М. [9]. В останні роки інтенсивно розвиваються методи аналізу, синтезу та обробки інформації за допомогою засобів обчислювальної техніки. Автоматизація процесу розпізнавання великої кількості інформації, яка швидко поступає при дії завад в реальному часі, обумовлена вимогами практики, і в цьому відношенні, вельми перспективно застосування спеціалізованих мультипроцесорних систем [10, 11].

З цією метою в зазначеній статті авторами пропонується розглянути підхід моделювання обробки рецепторного поля за допомогою керуючої програми, яка дозволяє здійснювати відновлення зображень в системах розпізнавання і класифікацію зображень, що надходять з безпілотних літальних апаратів в режимі реального часу.

Мета роботи. Метою даної роботи є розгляд підходу моделювання попередньої обробки зображень в системах розпізнавання, а також класифікації зображень у реальному часі, яке надходить з БПЛА.

Виклад основного матеріалу. Рецепторне поле представимо матрицею [9]:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2n} \end{pmatrix},$$

де r – елемент матриці R .

Зображення Z на рецепторному полі представимо матрицею:

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & \dots \\ & z_{1n} & & \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} & \dots \\ & z_{2n} & & \end{pmatrix},$$

де $Z_{ij} \in L = \{l_0, l_1, l_2, \dots, l_{n-1}\}$ – деякий алфавіт.

Заваду будемо описувати матрицею:

$$\pi = \begin{pmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{13} & \dots \\ & \pi_{1n} & & \\ \pi_{21} & \pi_{22} & \pi_{23} & \dots \\ & \pi_{2n} & & \end{pmatrix},$$

де $\pi_{ij} = |g_l| \in L$.

Нехай F деяка функція, $F: \pi \times z \rightarrow R$, яку будемо називати функцією дії завади π на зображення Z , а пара (π, F) характеризує заваду.

Таким чином, задача моделювання дії завод на зображення, представлене на рецепторному полі полягає в конструктивному визначенні пари (π, F) .

При статистичній перевірці розподілу завод на рецепторному полі зображення саму перевірку розіб'ємо на три етапи: загальний підхід, тести для перевірки рівномірності розподілу завади на рецепторному полі зображення і моделювання дії завод на зображення.

Перший етап. Загальний підхід до моделювання випадкових величин.

При моделюванні випадкових величин на ЕОМ доводиться зустрічатися з такими поняттями, як період послідовності випадкових величин, „добра” послідовність і т. д. При будь-якому моделюванні, насамперед, необхідно задатися метою.

Досягнення мети перш за все, залежить як від методу моделювання, так і від реалізації процесу моделювання.

Випадкові числа, отримані при моделюванні, необхідно перевіряти [12].

Але навіть отримання „доброї” послідовності випадкових величин не може дати гарантії, що поле завод, яке моделюється за допомогою цієї послідовності, буде „добрим”.

В цьому випадку може діяти помилка моделювання поля, тому доводиться здійснювати перевірку завод полів.

Розглянемо загальний підхід до методів перевірки статистичних гіпотез про розподіл випадкових величин. Вихідним пунктом для неї буде теорема Пірсона [12].

Виберемо довільну випадкову величину δ , яка може бути як одновимірною, так і багатовимірною, як дискретною, так і безперервною.

Нехай x -безліч можливих значень. Зафіксуємо якесь розбиття безлічі x на r попарно пересічних множин $x_1, x_2, x_3, \dots, x_r$, таких що:

$$P(\delta \in x_i) = P_i > 0, (i = \overline{1, r}). \quad (1)$$

Вочевидь, що

$$\sum_{i=1}^r P_i = P(\delta \in x_i) = 1.$$

Виберемо N незалежних значень $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N$ величини δ і нехай v_j – число значень δ , належать x_j , математичне очікування $Mv_j = NP_j$.

В якості міри відхилення „справжніх” значень v_j від „теоретичних” NP_j вибирають величину

$$\Lambda_{N-1}^2 = \sum_{j=1}^r \frac{(v_j - NP_j)^2}{NP_j}. \quad (2)$$

Сформулюємо теорему Пірсона щодо нашого завдання. Які б не були вихідна випадкова величина δ і розбиття $x = x_1 + x_2 + \dots + x_r$ (таке, що всі $P_i > 0$), при кожному

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(\Lambda^2 < x) = \int_0^x K_{r-1}(x) dx \quad (3)$$

де щільність $K_m(x)$, називається щільністю розподілу Λ^2 з m ступенями свободи, виражається формулою:

$$K_m(x) = [2^{m/2} \Gamma(m/2)]^{-1} x^{m/2-1} e^{-x/2}. \quad (4)$$

Критерій згоди Λ^2 .

Теорему Пірсона використовують [10] в статистиці для перевірки гіпотез про закон розподілу випадкових величин.

Фіксуємо досить велику ймовірність β , яку називають довірчою ймовірністю або коефіцієнтом довіри. Ймовірність $1-\beta$, зазвичай, називають рівнем значущості.

Практично вибір β означає, що у розглянутому завданні ми вважаємо подію з ймовірністю $\geq \beta$ достовірною, а подія з ймовірністю $\leq 1-\beta$ – неможливою при одиничному випробуванні.

Нехай ϵ конкретна гіпотеза про закон розподілу випадкової величини δ . В результаті здійснення N незалежних експериментів, були отримані N значень $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N$ цієї випадкової величини (N досить велике). Перевіримо чи не суперечать ці значення нашій гіпотезі?

Вибиремо яке-небудь число r і розбиття безлічі можливих значень x випадкової величини δ на r попарно непересічних множин $x = x_1 + x_2 + \dots + x_r$. Виходячи з нашої гіпотези, можна обчислити ймовірності $P_i = P(\delta \in x_i)$.

Припустимо, розбиття вибрано так, що всі $P_i > 0$. Тоді за значеннями $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N$ можна обчислити величини v_1, v_2, \dots, v_r (цей етап в статистиці називають угрупованням значень), а за формулою (2) – величину Λ^2 . Якщо наша гіпотеза справедлива, то (при досить великому N) ця величина досить добре підпорядковується закону розподілу Λ^2 з $(r-1)$ -й ступенем свободи.

З виразу:

$$\int_{\Lambda^2(r-1, 1-\beta)}^{\infty} K_{r-1}(x) dx = 1 - \beta$$

можна знайти значення $\Lambda^2(r-1, 1-\beta)$, що відповідає фіксованому рівню значущості $1-\beta$.

Якщо значення $\Lambda_N^2 < \Lambda^2(r-1, 1-\beta)$, то цей результат не суперечить нашій гіпотезі, якщо ж $\Lambda_N^2 \geq \Lambda^2(r-1, 1-\beta)$, то у відповідності зі зробленим значенням це означає, що настала неможлива подія і гіпотеза повинна бути відкинута, так як вона призвела до протиріччя.

Цей висновок залежить від обраної довірчої ймовірності і тому не має абсолютного характеру. Частіше за інших використовуються довірчі ймовірності β , які можуть бути рівними 0,95; 0,99; 0,999.

Відповідні рівні значущості $1-\beta$, рівні 0,05; 0,01; 0,001, називають 5 %, 1 % і 0,1 % – ним рівнями. Якщо $\Lambda_N^2 \geq \Lambda^2(r-1, 1-\beta)$, то при $\beta = 0,95$ значення Λ_N^2 називають майже значущим, при $\beta = 0,99$ – значущим, а при $\beta = 0,999$ – високо значущим.

У деяких випадках гіпотетичний розподіл величини містить невідомі параметри $a_1, a_2, a_3, \dots, a_s$, які оцінюються за результатами тих самих n випробувань (тобто за значеннями $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_N$). Тоді можна використовувати критерій Λ^2 для перевірки згоди між значеннями $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_N$ і гіпотетичним розподілом з підібраними параметрами. Однак граничне розподіл слід розглядати з $m = r - s - 1$ ступенями свободи.

На практиці широко використовуються таблиці розподілу Λ^2 , в яких наведені значення $\Lambda^2 = \Lambda^2(m, p)$, коріння рівняння

$$\int_{\Lambda^2}^{\infty} K_m(x) dx = P, \quad (5)$$

де $P = 1 - \beta$.

Для прийняття рішення ЕОМ в її пам'ять потрібно внести таблицю Λ^2 , а в наведених таблицях число ступенів свободи m зазвичай не перевищує 30.

Тому доцільно знаходити корінь рівняння (5) Λ^2 , не використовуючи таблиць.

Розподіл величини $\delta = \sqrt{2x^2} - \sqrt{2m}$ близько до нормального закону, тому

$$P = \int_{\Lambda^2}^{\infty} K_m(x) dx \approx \frac{1}{2} [1 - \Phi(z)], \quad (6)$$

де $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ и $z = \sqrt{2\Lambda^2} - \sqrt{2m}$, z – зображення на рецепторному полі, а π – завада.

Другий етап. Тести для перевірки рівномірності розподілу завади на рецепторному полі.

Нехай в нашому розпорядженні є рецепторне поле. Інтенсивність зашумлення поля заводою π однакова. Стоїть завдання – оцінити ймовірність гіпотези про рівномірний розподіл завод на поле.

Розглянемо загальний підхід до цього завдання, тобто перевірку на випадковість чисел, рівномірно розподілених на інтервалі $(0, 1)$. Нехай є $\alpha_{01}, \alpha_{02}, \dots, \alpha_{0n}$ – послідовність „справжніх” вибірових значень для рівномірного рапределения на інтервалі $(0, 1)$.

Побудуємо вектори $\delta_i^{(k)}$ наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1^{(k)} &= \alpha_{01}, \alpha_{02}, \dots, \alpha_{0k}; \\ \delta_2^{(k)} &= \alpha_{0, k+1}, \alpha_{0, k+2}, \dots, \alpha_{0, 2k}; \\ &\vdots \\ \delta_n^{(k)} &= \alpha_{0, (n-1) \cdot k+1}, \dots \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

З ймовірністю 1 такі вектори рівномірно заповнюють одиничний k -мірний куб. Це означає, що частота потрапляння вектора в будь-яку «прямокутну» область куба прагне до обсягу цієї області при $n \rightarrow \infty$. Нескінченні послідовності чисел, що володіють такою властивістю, називають k -рівномірними. Процедура перевірки чисел на k -рівномірність реалізується наступним чином.

Розбиваємо одиничний n -мірний куб на $s = r^k$ однакові куби з об'ємом r^{-k} .

Нехай m_1, m_2, \dots, m_s – число точок послідовності $\delta_1^{(k)}, \delta_2^{(k)}, \dots, \delta_n^{(k)}$, що потрапили у відповідні частини ($\sum_{i=1}^s m_i = N$). Згідно з виразом (1) у нашому випадку маємо:

$$\tilde{\Lambda}_{s-1}^2 = \sum_{i=1}^s (m_i - N_s^{-1})^2 / N_s^{-1}. \quad (8)$$

Якщо $\tilde{\Lambda}_{s-1}^2 > \Lambda_{s-1}^2(P)$, то гіпотезу про k -рівномірності можна поставити під сумнів. Величину $\Lambda_{s-1}^2(P)$ іноді називають довірчої кордоном з рівнем значущості.

Третій етап. Моделювання дії завод на зображення.

Перед тим як почати моделювання впливу завад на зображення, які знаходяться на рецепторному полі, необхідно оцінити моделюючу програму. Так як весь процес моделювання знаходиться під управлінням керуючої діалогової програми, користувач має можливість безпосередньо через керуючу програму здійснювати управління процесом моделювання і отримувати результати.

Програма забезпечує наступні функції:

1. Отримання послідовності випадкових чисел (довжина послідовності визначається користувачем, за законами розподілу:

а) рівномірний на проміжку $(0, 1)$;

б) нормальний зі срезним $m = 0$ і дисперсією $\sigma = 1$;

в) дискретні закони розподілу;

г) при завданні функції $f(x)$ випадкові величини з щільністю розподілу $f(x)$.

2. Знаходження поля завад розмірністю 64×64 , 128×128 (розмірність і інтенсивність дії завад задається користувачем) за законами розподілу, які наведені в пункті 1. Для цього випадку необхідно задати двомірну функцію розподілу.

3. Отже, тепер можна приступити до моделювання дії завад на зображення. Параметрами програми-процедури отримання поля завад на рецепторному полі з рівномірним законом розподілу є: s – інтенсивність дії завад, $s = \frac{K}{N^2}$, де K – число точок на поле, N – розмірність поля, IP – ознака, що визначає інтенсивність поля, $IP = 1-s$ сприймається як інтенсивність генератора завад, $IP = 2 - s$ – інтенсивність поля (приймача) завад.

Тепер, розглянемо підпрограму-процедуру отримання поля завад з дискретними законами розподілу.

Якщо $IK = 2$, підпрограма генерує постійні завади, тобто кожна сторона поля вважається каналом, в якому діє шум.

При $IK = 1$, каналом вважається все поле (двомірний канал). Якщо заданий параметр $IP = 1$, то інтенсивність завади вважається як сумарна інтенсивність «точкових» завад (як для випадку рівномірного розподілу).

При $IP = 2$ „елементарною” завадою вважається t поспіль наступних точкових завад.

Параметр IN задає інтенсивність генератора ($IN = 1$) або ($IN = 2$).

Поворотний параметр M – рецепторне поле завад.

Розглянемо параметри підпрограми, що моделює дію завад на зображення.

Надані параметри для реалізації підпрограми:

Z – матриця рецепторного поля зображення; P – матриця рецепторного поля завад, R – матриця результуючого рецепторного поля, що представляє собою результат дії завади на зображення.

Значення параметра IR визначає функцію дії завади на зображення відповідно: $R_1 - 1$, $R_2 - 2$, $R_3 - 3$, $R_4 - 4$. Якщо задано значення $IR = 5$, то можливе підключення додаткової функції дії, що не входить в стандартний набір.

Крім того можна також використовувати і алгоритм відновлення зображення [13, 14].

Висновок

В результаті обробки рецепторного поля за запропонованою керуючою програмою на кожен з об'єктів поширюється своя узагальнена ознака, причому вона поширюється одночасно на всі об'єкти.

Таким чином можна легко відновити і окремо виділити будь-яку кількість представлених зображень на рецепторному полі, побудувати алгоритм, що дає можливість аналізувати кожне окремо взяте зображення, і тим самим відновлювати і виділяти зображення, що нас цікавлять та об'єкти від зображень, які є завадами.

Цей підхід може бути ефективно використаний для попередньої обробки зображень в системах розпізнавання і класифікації зображень у реальному часі, які надходять з БпЛА.

Подальші теоретичні дослідження авторів будуть спрямовані на вибір оптимального алгоритму розпізнавання зображень у реальному часі, які надходять з БПЛА.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аркадьев А.Г. Обучение машины распознаванию образов. Изд. 2-е / А.Г. Аркадьев, Э.М. Браверман. – М.: Наука, 2004. – 112 с.
2. Васильев В.И. Распознающие системы. Изд. 2-е / В.И. Васильев. – К.: Наук. думка, 1998. – 292 с.
3. Переверзев-Орлов В.С. Модели и методы автоматического чтения / В.С. Переверзев-Орлов. – М.: Наука, 2006. – 716 с.
4. Шибанов Ю.П. Распознавание в системе автоконтроля / Ю.П. Шибанов. – М.: Машиностроение, 2003. – 424 с.
5. Васильев В.А. Обучение автоматов распознаванию изображений / В.А. Васильев, Л.Н. Романов. – М.: Энергия, 1993. – 73 с.
6. Хорошко В.О. Метод корекції зображення, отриманого з БПЛА при наявності шумів і завад/ В.О. Хорошко, С.В. Калантаєвська // Збірник наукових праць ВІТІ № 3, 2018. – С. 123 – 131.
7. Калинкина Д.А., Ватолин Д.С. Проблема подавления шума на изображениях и видео и подходы к ее решению. // Интернет-публикация 22.05.2005. – <http://cgm.graphicon.ru/obzoryi>
8. Камінський Р.М. Вплив завад на розпізнавальні властивості об'єктів / Р.М. Камінський // Відбір і обробка інформації, вип. 20 (96), 2004. – С. 102 – 108.
9. Грицык В.В. Математическое моделирование фонов и их взаимодействие с локальными объектами / В.В. Грицык, Б.В. Кисель, Р.М. Поляничка. – Львов: Физ.-мех. ин-т НАНУ, 2000. – 52 с.
10. Graham R.L. Bounds on multiprocessing timing anomalies / R.L. Graham // SIAM J. Appl. Math. – 2009. – №2. – P. 416 – 429.
11. Attneave F. Some informational aspects in visual perception / F. Attneave // Psychol. Rev. – 2000. – P. 23 – 29.
12. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло / И.М. Соболев. – М.: Наука, 1993. – 311 с.
13. Дуксенко Н.А. Алгоритм восстановления изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов // Н.А. Дуксенко, В.А. Хорошко // Информатика та математичні методи в моделюванні, Т.6, №1, 2016. – С. 5 – 11.
14. Хуанг Т.С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.; Под ред. Т.С. Хуанга: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.