

УДК 004.932(045)

П. П. Когут,
В. О. Шевченко,
Ю. Т. Герасименко, канд. фіз.-мат. наук,
В. І. Степура, канд. техн. наук

ОЦІНЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКІВ ІЗ ЗАХИЩЕНИХ ВИДІВ ПАПЕРУ

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: dnepr_30@ukr.net

Розглянуто питання комп'ютерного оброблення сканованих зображень зразків виробів, виготовлених із різних видів захищеного паперу, а також поелементні перетворення зображень та різні методи і алгоритми виділення контурів на зображеннях.

Ключові слова: типи зображень, яскравість зображення, контур зображення, цифрове оброблення зображень.

Постановка завдання. У процесі виготовлення і використання виробів, виготовлених з різних видів захищеного паперу, виникає потреба в контролі геометричних розмірів цих виробів та оцінювання пошкоджених ділянок і ступеня зношеності. Метою цієї роботи є пошук та розроблення методів і алгоритмів, що дозволяють за допомогою оброблення цифрових зображень отримувати інформацію про геометричні розміри сканованих об'єктів, їх межі та структуру. Одним з можливих способів вирішення подібних завдань є сегментація зображення на окремі ділянки за певною ознакою (яскравістю, однорідністю, розмірами). Більшість існуючих алгоритмів сегментації зображень ґрунтуються на таких властивостях сигналу яскравості, як розривність і однорідність. У першому випадку розбиття зображення виконується на підставі різких змін сигналу (перепад яскравості на зображенні). У другому випадку використовують розбиття зображення на однорідні за деякими критеріями ділянки.

Аналіз досліджень і публікацій. Зображення можна визначити як двовимірну функцію $f(x, y)$, де x і y – просторові координати, а амплітуда f для кожної пари координат (x, y) є інтенсивністю або яскравістю зображення в точці з цими координатами [1; 2]. Зображення може мати неперервні x - та y -координати, а також неперервну амплітуду f . Перетворення такого зображення в цифрову форму потребує подання координат і значень амплітуди деякими дискретними значеннями. Подання координат кінцевою множиною значень називається дискретизацією, а подання амплітуди значеннями з кінцевого набору – квантуванням. Результатом дискретизації і квантування є матриця чисел. Аналіз зображення зводиться до оброблення відповідних матриць. Найважливішою ознакою зображення є яскравість. Яскравість можна вимірювати або в окремих точках зображення, або в їх околі.

У випадку переважної більшості процедур оброблення для отримання результату в кожній точці зображення використовують вхідні дані з деякої множини точок зображення, які оточують оброблювану точку. Проте є група процедур, відповідно до яких здійснюється поелементне оброблення. При цьому результат оброблення в будь-якій точці зображення залежить лише від значення вхідного зображення в цій же точці. Перевагою таких процедур є відносна простота.

Завдання оброблення двовимірних масивів даних ширше ніж оброблення зображень. Трактуючи дані залежно від їхньої природи різними способами, можна застосовувати для їх розрахунку математичні методи. Для цього використовують системи інженерних обчислень.

Найбільш потужною з поширених таких систем є Matlab. Головна перевага її використання для роботи із зображеннями полягає у різноманітному наборі функцій оброблення багатовимірних числових масивів, а зображення (двовимірні числові масиви) є важливим окремим випадком таких об'єктів [3; 4]. У пакеті IPT (Image Processing Toolbox)

зібрані функції, що розширюють можливості обчислювального середовища Matlab. Ці функції, а також широкі можливості мови Matlab, дозволяють виконувати складні операції з оброблення зображень.

Мобільнішим, але менш функціональним засобом є пакет MathCad. Він дозволяє виконувати досить складні математичні розрахунки, обробляти і візуалізувати різні числові дані та писати прості програми вбудованою алгоритмічною мовою [5; 6]. Слабкість MathCad у разі застосування для роботи з двовимірними масивами даних полягає в недостатньо зручних засобах візуалізації, низькій швидкості, і, головне, у непристосованості для роботи з великими обсягами інформації.

Візуалізацію двовимірних масивів експериментальних даних часто розглядають як окреме завдання. Такі дані зазвичай подають у вигляді зображень або поверхонь у перспективній проекції. Описані вище програми дозволяють з певними обмеженнями виконувати таку візуалізацію. Проте в деяких випадках кориснішими і зручнішими виявляються інші системи. Наприклад, часто виникає завдання побудови цифрової моделі тієї або іншої поверхні, заданої лише в декількох точках. За допомогою методів інтерполяції такі дані переводяться в двовимірні масиви чисел – будується цифрова модель поверхні. Візуально таку поверхню часто подають у вигляді або тривимірного зображення, або ліній рівнів. Для оброблення і візуалізації двовимірних масивів даних використовують такі програми, як Surfer, 3DField, TecPlot та ін. Ці програми надають широкі можливості візуалізації різних даних, дозволяють будувати цифрові моделі поверхонь та виконувати ряд допоміжних операцій з цими моделями.

Експериментальна частина. В роботі виконано дослідження зразків виробів із спеціального паперу для визначення їхньої площі, довжини периметра, технічного стану та можливих пошкоджень. За допомогою повнокольорового планшетного сканера Epson Perfection V700 Photo отримано цифрові зображення зразків з роздільною здатністю від 600 до 4800 dpi. Для підвищення точності експериментальних результатів сканування проводилося у відбитих променях на білому і чорному фонах та у прохідних променях із застосуванням слайд-модуля.

Скановані цифрові зображення (файли растрової графіки) мають великий розмір. Тому під час оброблення цифрових зображень їх потрібно стискати. Відомі два методи стиснення цифрових зображень – стиснення без втрат і стиснення зі втратами. Методи, що допускають втрати даних, значно ефективніші. У зображеннях, призначених для фотометричних досліджень, стиснення не повинно спричиняти втрати фотометричних даних.

Перевірено ступінь спотворення фотометричних даних під час зберігання цифрових зображень, у поширеному форматі JPG, основою якого є дискретно-косинусне перетворення.

Аналіз результатів дослідження вказує на можливість застосування цифрового графічного формату JPG для збереження зображень. При цьому:

- повністю зберігаються фотометричні дані;
- не спотворюється просторова картина зображення;
- розмір файлу зображення зменшується до 7 разів порівняно з файлом формату BMP.

Отже, можна зробити висновок, що цифровий формат запису JPG можна застосовувати для зберігання растрових зображень за обов'язкової умови відсутності втрат фотометричних і просторових даних, якщо виконано умову максимальної якості та мінімального стиснення.

Скановані зображення зразка захищеного паперу, збережені в JPG-форматі, показано на рис. 1.

Розглянемо можливість оцінювання геометричних параметрів досліджуваного зразка під час оброблення зображень за допомогою пакета Image Processing Toolbox (IPT) системи Matlab. Процедура комп'ютерного аналізу зображень зводиться до виконання ряду операцій для перетворення зображення у форму, зручнішу для візуального або машинного аналізу.

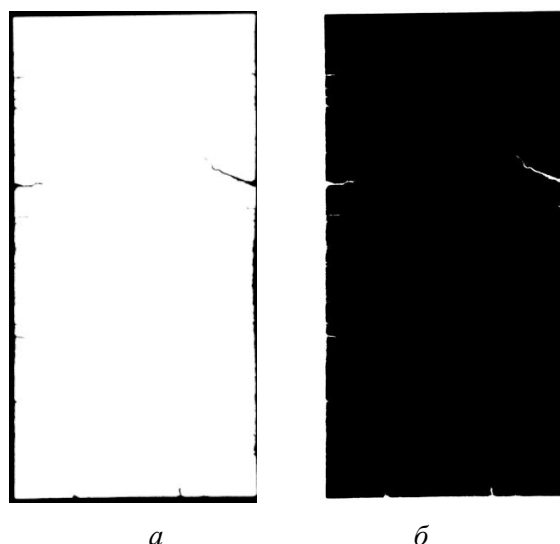


Рис. 1. Скановані зображення зразка, отримані за допомогою відбитих променів: *a* – на чорному фоні; *б* – прохідних променів

Під час аналізу сканованого зображення потрібно розділити піксели зображення на групи, які відповідають досліджуваному зразку і фону, тобто виконати сегментацію зображення. Найбільш відомими є два види сегментації – сегментація за яскравістю для бінарних зображень і сегментація за кольорними координатами для кольорових зображень. Методи сегментації можна розглядати як формалізацію поняття виділення об'єкта з фону або понять, пов'язаних із градієнтом яскравості. Алгоритми сегментації характеризуються деякими параметрами надійності і достовірності оброблення. Вони залежать від того, наскільки повно враховуються додаткові характеристики розподілу яскравості в ділянках об'єктів або фону.

Однією з причин, що ускладнюють оброблення сканованих зображень, може бути слабкий контраст зображення. Тому потрібно оцінити кількість пікселів різного рівня яскравості на зображенні. Для цього можна побудувати гістограму зображення, кількість рівнів якої відповідає кількості градацій яскравості.

За допомогою функцій **imhist** (I, n) і **imhist** (BW, n) у поточному вікні можна побудувати гістограми яскравостей пікселів відповідно півтонового (I) і бінарного (BW) зображень. Гістограма складається з n стовпців. Значення n при виклику функції можна не вказувати, в цьому випадку будуть використані значення $n = 256$ для півтонового зображення і $n = 2$ для бінарного зображення. Під рисунком гістограми виводиться шкала яскравостей.

Для півтонового зображення досліджуваного зразка, отриманого під час сканування у відбитих променях на чорному фоні, побудовано гістограму яскравостей пікселів (рис. 2, *a*) та обвідну гістограми в логарифмічному масштабі (рис. 2, *б*). З рис. 1, *a* та 2 видно, що зображення складається з одного об'єкта і фону, яскравості яких мають строго обмежені діапазони і не перетинаються між собою. Тобто зображення досліджуваного об'єкта має досить однорідну структуру і різко виділяються від фону.

В цьому випадку можна скористатися найбільш простим видом сегментації – пороговою сегментацією. Для сегментації необхідно виявити межі об'єкта – ділянки зображення, на яких є перепад яскравості.

Якщо яскравості точок об'єкта різко відрізняються від яскравостей точок фону, то встановити поріг не складно; можна визначити деяку характеристичну функцію, яка дорівнює одиниці для всіх точок об'єкта і нулю для всіх точок фону. На практиці досліджуване зображення піддається дії шуму і на ньому допускається деякий розкид значень яскравості.

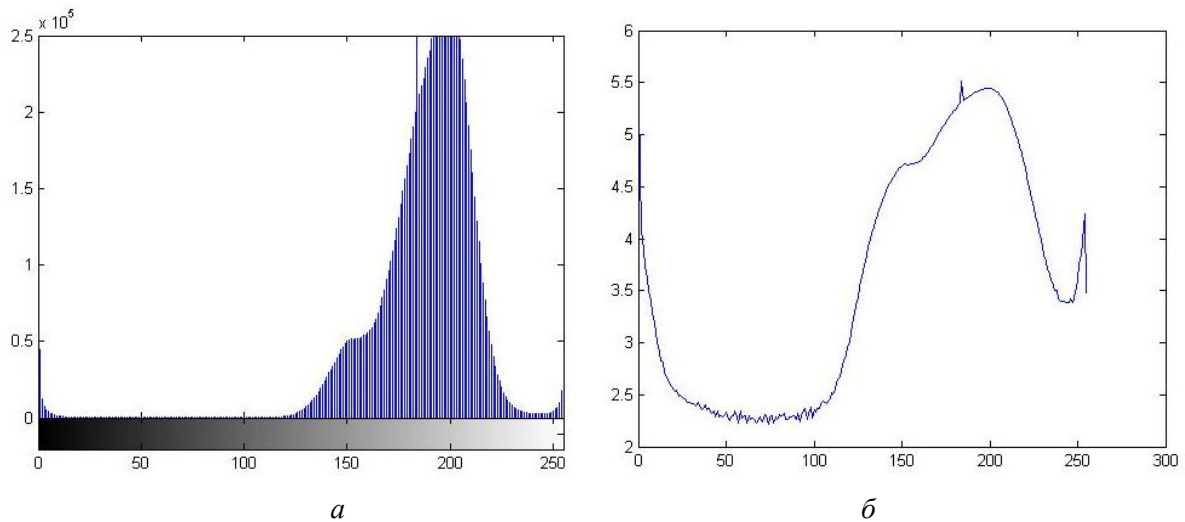


Рис. 2. Гістограма яскравостей пікселів: *а* – сканованого півтонового зображення; *б* – обв'їдні гістограми в логарифмічному масштабі

Для оцінювання площі досліджуваного зразка було встановлено його межі, тобто виділено на сканованому зображенні точки, які належать зразку, та підраховано загальну кількість цих точок. Знаючи площу, яку займає один піксел зображення, і кількість пікселів, з яких складається зображення зразка, можна розрахувати площу зразка. Аналіз отриманих результатів показав, що розбіжність отриманих даних за різних умов сканування одного й того ж об'єкта не перевищує 1 %.

Для знаходження зовнішнього контуру зображення досліджуваного зразка та визначення довжини його периметра можна використати традиційні способи аналізу контурів, які полягають у фільтрації зображення для придушення шумів, побудові градієнта зображення і відсіканні за порогом, що дозволяє побудувати бінарну межу і визначити контур з точністю, порівнянню з розмірами пікселя.

Якщо зображення межі об'єкта має розмитий характер, положення контуру залежить від способу відсікання «зайвих» пікселів. Для порогового відсікання використовують відкидання пікселів за рівнем інтенсивності або самого зображення, або його градієнта. Поріг задається як параметр алгоритму оброблення зображення і забезпечує досить ефективну побудову пікселів, що належать контуру (рис. 3).

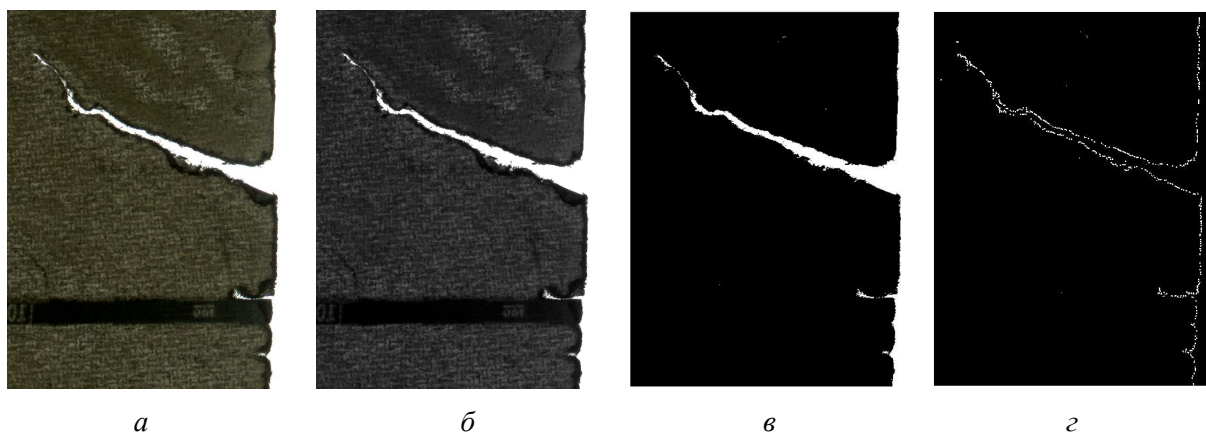


Рис. 3. Фрагмент сканованого в прохідних променях зразка: *а* – до оброблення в системі Matlab; *б, в* – після оброблення в системі Matlab; *г* – результат оброблення зображення за допомогою оператора Собела

Фрагмент сканованого в прохідних променях зразка з пошкодженим зовнішнім контуром показано на рис. 3. *а*.

Оцінимо можливості оброблення такого зображення в системі Matlab. Оскільки для аналізу зображення, в першу чергу, нас цікавить яскравість зображення, перетворимо вхідне кольорове зображення (рис. 3, *a*) у півтонове (рис. 3, *б*) і бінарне (рис. 3, *в*) зображення. Для цього використаємо відповідні функції **rgb2gray** та **im2bw**. Півтонове зображення (що має багато градацій яскравості) перетворюється у бінарне (двоградаційне) для того, щоб скоротити надмірну інформаційну ємність зображення, залишивши лише ту інформацію, яка потрібна для вирішення конкретного завдання, і виключивши неістотні особливості (фон).

У пакеті IPT системи Matlab для виділення меж на вхідному півтоновому зображенні *I* використовується спеціальна функція **BW = edge(I, method)**. Ця функція повертає бінарне зображення BW такого ж розміру, що й початкового *I*. Піксел зображення BW дорівнює одиниці, якщо відповідний піксел зображення *I* належить межі. Для виявлення меж може використовуватися декілька методів. Використовуваний метод задається в параметрі *method* у вигляді одного з таких рядків: 'sobel', 'prewitt', 'roberts', 'log', 'zerocross', 'canny'. Результат оброблення зображення за допомогою оператора Собела показано на рис. 3, *г*.

На рис. 4 наведено частину матриці, яка відповідає інвертованому бінарному зображенню, показаному на рис. 3, *в* (вибрані значення точок зображення з кроком 40 пікселів). Значення «1» відповідають зразку, значення «0» – фону.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Рис. 4. Частина матриці, яка відповідає інвертованому бінарному зображенню, показаному на рис. 3, *в* (крок між сусідніми елементами матриці – 40 пікселів)

Якщо крок між сусідніми елементами матриці становить 1 піксел, матриця набуває вигляду, який зображено на рис. 5.

У випадку цифрових зображень отримати необхідну характеристику передачі рівнів відносно просто. Проте при пошуку нелінійного оператора слід враховувати помилки квантування. Якщо в діапазоні яскравостей вихідного зображення деякі рівні не використовуються, то окремі перепади яскравості вихідного зображення можуть перевищувати відповідні перепади вхідного (початкового) зображення. Внаслідок цього можуть виникнути помітні помилкові контури. Якщо вихідне зображення квантувати з більшою кількістю рівнів, ніж вхідне, то можна отримати рівномірне розміщення вихідних рівнів і завдяки цьому зменшити ефект появи помилкових контурів.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 5. Частина матриці, яка відповідає інвертованому бінарному зображенню, показаному на рис. 3, в та 4 (відмічено прямокутником). Крок між сусідніми елементами матриці – 1 піксел

Висновки. У результаті виконання роботи підтверджено можливість виконувати контроль геометричних параметрів зразків, виготовлених із захищених видів паперу, за допомогою цифрового оброблення сканованих зображень.

Запропоновані математичні алгоритми оброблення даних дають змогу автоматизувати процес контролю якості зразків на програмно-апаратному рівні.

Список літератури

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
2. Эммануил С. Айфичер Цифровая обработка сигналов: практический подход / Эммануил С. Айфичер, Барри У. Джервис. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992 с.
3. Ануфриев И. Е. MATLAB 7 / И. Е. Ануфриев, А. Б. Смирнов, Е. Н. Смирнова – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.
4. Кетков Ю. Л. MATLAB 7 / Ю. Л. Кетков, А. Ю. Кетков, М. М. Шульц – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.
5. Макаров Е. Г. Mathcad: учеб. курс / Е. Г. Макаров – СПб.: Питер, 2009. – 384 с.
6. Кирьянов Д. В. Mathcad 14 / Д. В. Кирьянов – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 704 с.

П. П. Когут, В. А. Шевченко, Ю. Т. Герасименко, В. И. Степура

Оценка геометрических параметров образцов из защищенных видов бумаги

Рассмотрены вопросы компьютерной обработки сканированных изображений образцов изделий, изготовленных из различных видов защищенной бумаги, а также поэлементные преобразования изображений, различные методы и алгоритмы выделения контуров на изображениях.

P. P. Kogut, V. O. Shevchenko, U. T. Gerasimenko, V. I. Stepura

Estimation geometric parameter sample from protected type of the paper

In article are considered questions of the computer processing the scanned scenes sample product, made from different type of the protected paper. They are considered termwise transformations of the scenes and different methods and algorithms of the separation sidebar on scenes.