

УДК 004.932

О. Г. Дерев'янченко, д-р техн. наук,

О. Ю. Бабілунга, канд. техн. наук

КОМПЛЕКСНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕКСТУРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОВЕРХОНЬ ЗНОШЕНИХ ТА ПОШКОДЖЕНИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Проведено порівняльний аналіз алгоритмів реалізації статистичного і спектрального підходів до формування описів текстурних зображень при розпізнаванні поверхонь зношених і пошкоджених ріжучих інструментів, заснованих на побудові матриць суміжності, аналізі енергетичних спектрів Фур'є і Марковських випадкових полів. Дано рекомендації по завданню параметрів і спільного застосування розглянутих алгоритмів для підвищення достовірності розпізнавання.

Ключові слова: текстура, розпізнавання, ідентифікація, обробка зображень, різальний інструмент, зона зносу.

A. G. Derevianchenko, ScD.,

O. Yu. Babilunga, PhD.

INTEGRATED RECOGNITION OF TEXTURE'S IMAGES OF WORN SURFACES AND DAMAGED CUTTING TOOLS

Algorithms to the formation of descriptions of texture images, based on the construction of co-occurrence matrices, Fourier analysis of the energy spectrum and Markov random fields were considered. A comparative analysis of algorithms for the implementation of statistical and spectral approaches with the recognition of surfaces worn or damaged cutting tools was performed. Recommendations for parameter setting and the joint application of the considered algorithms were given. Accuracy of recognition was improved.

Keywords: texture, pattern recognition, identification, image processing, cutting tools, wear zone.

A. Г. Дерев'янченко, д-р техн. наук,

О. Ю. Бабілунга, канд. техн. наук

КОМПЛЕКСНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗНОШЕННЫХ И ПОВРЕЖДЕННЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Проведен сравнительный анализ алгоритмов реализации статистического и спектрального подходов к формированию описаний текстурных изображений при распознавании поверхностей изношенных и поврежденных режущих инструментов, основанных на построении матриц смежности, анализе энергетических спектров Фурье и Марковских случайных полей. Даны рекомендации по заданию параметров и совместному применению рассмотренных алгоритмов для повышения достоверности распознавания.

Ключевые слова: текстура, распознавание, идентификация, обработка изображений, режущий инструмент, зона износа.

Сучасне металооброблювальне виробництво характерне безперервним зростанням швидкостей процесів різання на фоні високих вимог до їх надійності та якості поверхонь деталей. З іншого боку гнучкі виробничі модулі (ГВМ) працюють у автоматизованому чи автоматичному режимах, що обумовлює необхідність створення інтелектуальних систем контролю, розпізнавання станів та прогнозування залишкового ресурсу (ІС КРП) основних елементів ГВМ [3].

За даними ряду фірм відмови ГВМ, що обумовлені відмовами різальних інструментів (РІ), складають близько 50 % від загальної кількості відмов. Це обумовлює потребу створення ІС КРП різальних інструментів. Серед варіантів ІС КРП РІ, що пропонуються розробниками, чільне місце займають системи тех-

нічного зору, що працюють з цифровими зображеннями.

Процеси різання металів і зношування різальних інструментів відбуваються в умовах високого тиску і значних температур на контактних поверхнях РІ. Зображення поверхні різальної частини (РЧ) РІ до начала обробки має рівномірну текстуру з однаковим розподілом значень інтенсивності (рис. 1).

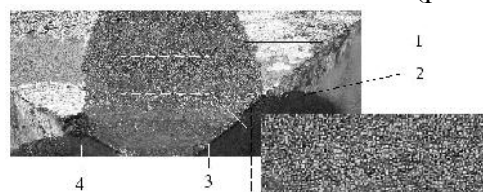


Рис. 1. Зображення робочої частини різця з кубічного нітриду бору та текстура його передньої поверхні: 1 – передня поверхня; 2 – головна задня поверхня; 3 – головна різальна кромка; 4 – допоміжна задня поверхня

© Дерев'янченко О.Г., Бабілунга О.Ю., 2012

Варіанти поєднань “інструментальний – оброблюваний матеріал” при обробці деталей, а також різні умови обробки (фізичні, хімічні, температурні та інш.) обумовлюють виникнення механізмів зношування (абразивного, адгезійного, дифузійного та інш.) та пошкодження (викрошування, сколу та інш.) поверхні на ділянках різальної частини РІ. В результаті цього на поверхнях РІ безперервно виникають сліди цих процесів – тобто текстури різних класів (рисунки 2, 3).

Існує ряд методів та алгоритмів, що дозволяють обчислити ознаки текстури в початковому просторі (статистичні) або в просторі перетворення Фур'є (спектральні) [2]. Однак, різноманіття структури та складність топографії текстурних зображень РЧ РІ (рис. 4) визначає необхідність обчислення ознак, як за спектральними так і за статистичними методами опису текстур [6], що потребує проведення додаткових досліджень, розробки методики комплексного формування вектору ознак за декількома алгоритмами для забезпечення більш високої вірогідності розпізнавання зображень та вдосконалення структури ІС КРП РІ для проведення попереднього моделювання процесу обробки та розпізнавання зображень з метою визначення більш раціональних параметрів роботи модуля ідентифікації (формування опису текстурних зображень) та системи в цілому.

Метою статті є порівняння різних підходів до формування векторів ознак текстурних зображень поверхонь інструментів заснованих на алгоритмах побудови матриць суміжності, аналізу енергетичних спектрів Фур'є та обчислення Марковських полів для визначення рекомендацій з використання цих алгоритмів при комплексному розпізнаванні текстурних зображень поверхонь зношених і пошкоджених інструментів.

Розробка та реалізація структури ІС КРП РІ та дослідження, що проводяться з її використанням передбачають виконання наступних завдань: реєстрація, накопичення та обробка цифрових зображень, проведення контурної сегментації, текстурного аналізу зон зносу РІ, класифікації стану РЧ РІ і прогнозування остаточного ресурсу та інш. В даній роботі основна увага приділена питанням текстурного аналізу цифрових зображень.

При реалізації текстурного аналізу в ІС КРП РІ вирішуються такі основні задачі:

попередня обробка зображень з використанням методів поліпшення якості зображень (фільтрації завад, регулювання інтенсивності, контрастності та інших параметрів зображення) [2];

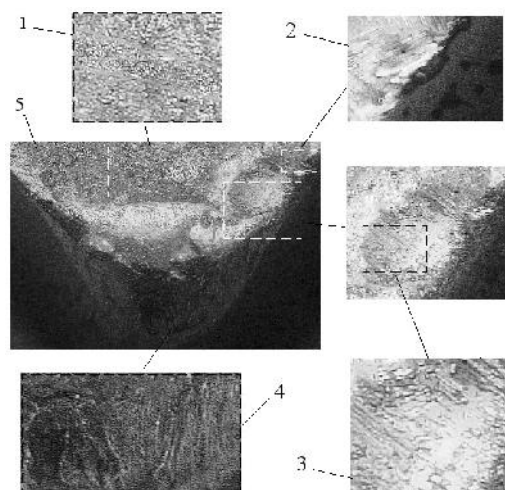


Рис. 2. Представлення різних класів текстур зон різальної частини зношеного різця (матеріал – Т15К6), обумовлених проявом різних механізмів зношування контактних поверхонь:

1 – зона незношеної ділянки передньої поверхні; 2 – зона незношеної ділянки різальної кромки; 3 – зона лункоутворення на передній поверхні різця; 4 – зона зносу по задній поверхні; 5 – загальний вигляд робочої частини різця

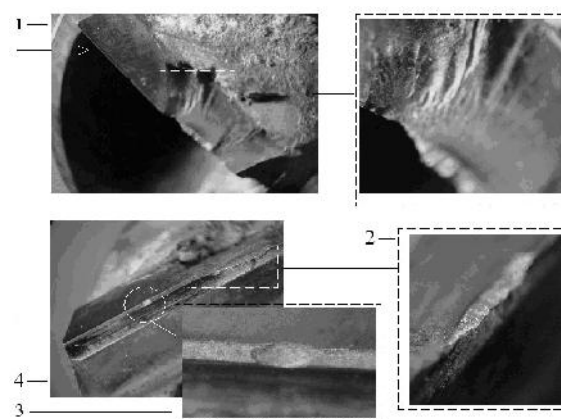


Рис. 3. Представлення різних класів текстур зон різальної частини одного з робочих елементів голівки свердла у стані відмови:

1 – вигляд з боку задньої поверхні; 2 – зона сколу; 3 – зона викрошування на різальній кромці; 4 – вигляд з боку передньої поверхні



Рис. 4. Загальна класифікація текстурних зображень зон зношування та пошкодження різальної частини різального інструменту.

ідентифікація текстурних зображень з використанням різних підходів (спектрального, статистичного) [2] до формування опису текстурних зображень, які формують вектор ознак для кожного з класів текстур;

класифікація текстурних зображень з використанням нейромережових методів класифікації [5].

Розглянемо алгоритми реалізації різних підходів до опису текстурних зображень РЧ РІ:

а) спектральний підхід до опису текстурних зображень оснований на обчисленні енергетичного спектра Фур'є [2].

Пряме двовимірне дискретне Фур'є перетворення функції $f(x, y)$ (зображення) розмірами $M \times N$ задається рівнянням:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cdot e^{-2j\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)},$$

де $f(x, y)$ – зображення; $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ та $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

Енергетичний спектр зображення визначається за формулою :

$$Spec(u, v) = |F(u, v)|^2 = R^2(u, v) + I^2(u, v),$$

де $R(u, v)$ – дійсна частина величини $F(u, v)$; $I(u, v)$ – уявна частина величини $F(u, v)$.

Для реалізації спектрального підходу до опису зображень текстур зон зносу РІ в роботі запропоновано використовувати наступний алгоритм [4]:

обчислення енергетичного спектру зобра-

ження;

медіанна фільтрація зображення;

побудова гістограми енергетичного спектру Фур'є зображення і визначення порогу бінаризації P_{bin} ;

бінаризація зображення спектру;

контурна обробка зображення бінаризованого енергетичного спектру, та простеження контуру з метою формуванням масиву координат точок контуру;

формування вектора ознак форми зображення за координатами точок контуру з обчисленням геометричних моментів ознак [1];

б) статистичний підхід до опису текстурних зображень з обчисленням ознак за матрицею суміжності (МС).

В роботі [9] запропоновано використання матриць суміжності інтенсивності зображення для розрахунку ознак текстури. Нехай $D: \{\theta, d\}$ – оператор позиціонування та A – матриця розміром $L \times L$, що складається із елементів a_{ij} , кожний з яких показує, скільки раз піксель зображення з інтенсивністю f_i зустрівся на визначеній оператором D позиції відносно елемента з інтенсивністю f_j де $1 \leq i, j \leq L$. Порядок матриці A визначається кількістю L різних градацій інтенсивності у вхідному зображенні.

Якщо побудувати матрицю P шляхом ділення всіх елементів A на r – суму елементів матриці A , то p_{ij} буде оцінкою ймовірності тієї події, що пара пікселів зі взаємним розта-

шуванням згідно правилу D буде мати значення (f_i, f_j) . Така матриця P являється матрицею суміжності інтенсивності зображення. Оскільки вона залежить від D , то присутні в зображенні ділянки з заданою текстурою можливо виявити, вибираючи належний оператор позиціонування.

Алгоритм реалізації статистичного підходу до опису текстурних зображень на основі побудови матриці суміжності:

квантування значень інтенсивності полутонового зображення;

побудова матриці суміжності:

1) визначення напрямку обробки зображення θ ; 2) визначення відстані d між пікселями зображення, що розглядаються при побудові МС; 3) обчислення значень матриці A ; 4) приведення матриці до симетричності; 5) транспонування отриманої матриці A^T ; 6) додавання матриць $A = A + A^T$; 7) нормалізація матриці

$$P = \frac{A(i, j)}{r}, \quad i = 0 \dots L, \quad j = 0 \dots L.$$

обчислення ознак за матрицею суміжності.

З науково-технічних джерел [8] визначено набір основних ознак, що обчислюються за МС та використовуються для опису текстурних зображень: другий кутовий момент, контраст, коефіцієнт кореляції, момент зворотної різниці, сумарне середнє, сумарна ентропія, інформаційна міра кореляції та інші.

Ознаки текстурного зображення, що обчислені за матрицею суміжності, є інваріантними до монотонних перетворень інтенсивності та повороту зображення. В роботі [8] проведено оцінку інформативності ознак текстурних зображень РЧ РІ, обчислених за МС, та визначено склад вектору інформативних ознак;

в) статистичний підхід до опису текстурних зображень з обчисленням ознак за Марковськими випадковими полями (МВП). Нехай $I(x, y)$ – текстурне зображення розміром $M \times N$, яке будемо розглядати як двовимірне Марковське випадкове поле, в якому випадкова величина представляє собою інтенсивність зображення [7].

Область сусідів – множинна Ω k -го порядку розміром $2n$, де n – кількість сусідів. Піксель $I(x, y)$ – центральний піксель, який

не належить області сусідів, та піксель $I(v, w) \neq I(x, y)$ і $I(v, w) \in \Omega$, який належить до області сусідів.

Алгоритм реалізації статистичного підходу до опису текстурних зображень на основі МВП:

квантування значень інтенсивності полутонового зображення;

обчислення параметрів:

1) визначення порядку області $k = 1, 2, 3, \dots$;

2) обчислення вектору сум сусідів S в кожній області сусідів k -го порядку у заданому вікні; 3) обчислення вектору параметрів α :

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_n \end{pmatrix} = \left[\sum_{l=0}^M \sum_{m=0}^N S(l, m) \cdot S(l, m)^T \right]^{-1} \times \sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N I(x, y) \cdot \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{pmatrix}.$$

Параметр α характеризує вплив значень сусідніх пікселів зображення по всім напрямкам на значення центрального пікселя;

1) обчислення параметра σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N (I(x, y) - \sum_{l=1}^n \alpha_l \cdot S_l)^2}{MN}}.$$

Величина $\alpha_l \cdot S_l$ характеризує математичне очікування інтенсивності в заданому пікселі на зображенні. Параметр σ характеризує дисперсію значення центрального пікселя відносно його сусідів;

формування вектору ознак:

$$V = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \sigma).$$

Алгоритми формування опису текстурних зображень в ІС КРП РІ, що розглянуті вище, реалізовані програмно в середовищі розробки *Microsoft Visual Studio C#*. Проведено аналіз інформативності ознак обчислених за енергетичним спектром Фур'є, матрицею суміжності та Марковськими полями. Виконано тестування роботи системи обробки та розпізнавання основних класів текстурних зображень зон зносу різальної частини різального інструменту: рівномірного, адгезійного, абразивного, концентрованого.

В ході проведення комп'ютерного експерименту визначено рекомендації з використання кожного з розглянутих алгоритмів формування опису текстурних зображень та значення основних параметрів, які оказують вплив на вірогідність розпізнавання текстурних зображень (процент вірного розпізнавання (ПВР)):

при діагностуванні стану РЧ РІ важливо розпізнати та виділити ділянки зон зносу з локально-орієнтованими текстурами до яких, наприклад, відносяться текстури зі слідами концентрованого зносу. Спектральний підхід до опису текстурних зображень оснований на обчисленні енергетичного спектру Фур'є ідеально підходить для опису направленості присутніх в зображенні періодичних або квазіперіодичних двовимірних структур. Ці глобальні текстурні образи легко розрізняються на спектрі у вигляді імпульсів з високою енергією [2]. Однак результати розпізнавання вельми залежать від заданого порогу бінарізації енергетичного спектра зображення. Поріг бінарізації P_{bin} алгоритму реалізації спектрального підходу до опису текстурних зображень оснований на обчисленні енергетичного спектра Фур'є дає кращі результати при $P_{bin} = 0,2 - 0,3$;

застосування статистичного підходу до опису текстур з обчисленням ознак за матрицею суміжності враховує випадковий характер розподілу інтенсивності текстурного зображення та дозволяє охарактеризувати просторові залежності усередині сукупності значень інтенсивності зображення. Оператор позиціонування $D: \{\theta, d\}$ в алгоритмі реалізації статистичного підходу до опису текстурних зображень оснований на обчисленні МС слід визначати таким чином: напрямком обробки зображення $\theta = 0^0, 45^0, 90^0, 135^0$, що забезпечує інваріантність ознак до зміни кута повороту зображення, відстань між пікселями-сусідами $d = 3$ або 4 (рис. 5);

застосування статистичного підходу до опису текстур з обчисленням ознак за Марковськими випадковими полями дозволяє аналізувати локальні властивості текстурних зображень. Порядок МВП на рівні $d = 3$

забезпечує зростання проценту вірного розпізнавання текстурних зображень РЧ РІ до 83 %, при помилці другого роду – 7 % (рис. 6). Основна перевага застосування МВП до опису текстурних зображень полягає в тому, що введення нової текстури або видалення існуючої, не потребує суттєвих додаткових обчислень, що дозволяє легко модифікувати систему обробки та розпізнавання текстурних зображень.

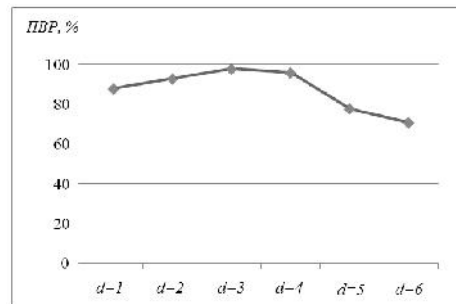


Рис. 5. Залежність вірогідності розпізнавання текстурних зображень РЧ РІ від відстані між сусідніми пікселями при обчисленні МС



Рис. 6. Залежність вірогідності розпізнавання текстурних зображень РЧ РІ від заданого порядку МВП

В результаті дослідження встановлено, що складність структури зон зносу поверхні різальної частини РІ потребує розробки комплексного підходу до опису текстурних зображень при розпізнаванні. Комп'ютерне моделювання процесу обробки та розпізнавання різних класів текстур зон зносу РІ з застосуванням різних алгоритмів формування опису текстурних зображень дозволило визначити значення параметрів алгоритмів та забезпечити вірогідність вірного розпізнавання на рівні 95 %. Отримані результати можуть бути корисними при розробці багаторівневих або гібридних алгоритмів розпізнавання текстурних зображень.

Список використаної літератури

1. Анисимов Б. В. Распознавание и цифровая обработка изображений / Б. В. Анисимов, В. Д. Курганов, В. К. Злобин. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Дерев'янченко О. Г. Діагностування станів різальних інструментів при прецизійній обробці / О. Г. Дерев'янченко, В. Д. Павленко, А. В. Андреев. – Одеса: Астропрінт, 1999. – 184 с.
4. Система оброблення та розпізнавання текстурних зображень дефектних зон різальних інструментів на основі аналізу їх енергетичних спектрів / О. Г. Дерев'янченко, О. Ю. Бабілуंगा, А. О. Соценко, Р. Г. Долищинський // Праці X Всеукр. міжнарод. конф. «УкрОбраз». – К.: 2010. – С. 97–100.
5. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан. – М.: Изд. дом. Вильямс, 2001. – 291 с.
6. Полякова М. Текстура сегментация изображений зон износа режущих инструментов амплитудно-детекторным методом / М. Полякова, В. Крылов, Н. Волкова // Компьютинг, 2009, т. 8, вып. 3. – С. 22–31.
7. Chellappa R. Model based texture segmentation and classification / R. Chellappa, R. L. Kashyap // World Scientific. – Singapore, 1992. – P. 277–310.
8. Gotlieb C. Texture descriptors based on Co-occurrence Matrices / C. Gotlieb, H. Kreyszig // Computer Vision Graphics Image Processing – 1990. – Vol. 51. – № 1. – 70 p.
9. Haralick R. M. Statistical and Structural Approaches to Texture / R. M. Haralick // Proceeding of the IEEE. – 1979. – Vol. 67. – P. 786–804.

Отримано 02.07.2012

References

1. Anisimov B. V. Detection and digital image processing / B. V. Anisimov, V. D. Kurganov, V. K. Zlobin. – Moscow: High School, 1983. – 295 p. [in Russian].
2. Gonzalez R. Digital Image Processing / R. Gonzalez, R. Woods. – Moscow: Technosphere, 2005. – 1072 p. [in Russian].

3. Derevyanchenko O. G. Diagnostics of cutting tools with precision handling / O. G. Derevyanchenko, V. D. Pavlenko, A. Andreyev. – Odessa: Astroprint, 1999. – 184 p. [in Ukrainian].

4. The system processing and recognition of texture images defective zones cutting tools by analyzing their energy spectrum / O. G. Derevyanchenko, O. Yu. Babilunga, A. O. Sotsenko, R. G. Dolischynskyy // Proceedings of X All-Ukrainian. intl. conf. "UkrOBRAZ." – Kyiv: – 2010. – P. 97–100 [in Ukrainian].

5. Callan R. Basic concepts it-electronic networks / P. Callan. – Moscow: Izd. house. Williams, 2001. – 291 p. [in Russian].

6. Polyakova M. Texture segmentation of images of wear zones of cutting tools by amplitude rectifying method / M. Polyakova, V. Krylov, N. Volkova // Computing, 2009, vol. 8, № 3. – P. 22–31 [in Ukrainian].

7. Chellappa R. Model based texture segmentation and classification/ R. Chellappa, R. L. Kashyap // World Scientific. – Singapore. – 1992. – P.277–310 [in English].

8. Gotlieb C. Texture descriptors based on Co-occurrence Matrices / C. Gotlieb, H. Kreyszig // Computer Vision Graphics Image Processing, – 1990. – Vol. 51. – № 1. – 70 p. [in English].

9. Haralick R. M. Statistical and Structural Approaches to Texture / R. M. Haralick // Proceeding of the IEEE. – 1979. – Vol. 67. – P.786–804 [in English].



Дерев'янченко
Олександр Георгійович,
д-р техн. наук, зав. каф. тех-
нол. констр. матер. і матеріа-
лознавства Одеського нац.
політехн. ун-ту,
тел. 8-067-943-0996
e-mail: algder2011@mail.ru,



Бабілуंगा
Оксана Юріївна,
канд.техн.наук, доц.
каф. інформац. систем Оде-
ського нац. політехн. ун-ту,
тел. 7348-356
e-mail: babilunga@mail.ru