

Формування опису текстурних зображень зон зносу різальних інструментів в просторі вейвлет-перетворення з використанням статистичного підходу

О.Ю. Бабілунга, О.Г. Дерев'янченко, А.О. Соценко

Одеський національний політехнічний університет
babilunga@mail.ru, algder2011@mail.ru

Анотація

Досліджено процес формування зон зносу контактної поверхні різального інструменту в ході його експлуатації та характеристики цифрових зображень, отриманих системою технічного зору. Реалізовано формування опису текстурних зображень зон зносу інструменту на базі статистичного підходу з обчисленням ознак текстур за матрицею суміжності та Марковськими випадковими полями. Запропоновано вдосконалення алгоритму формування опису текстурних зображень за рахунок переходу в простір вейвлет-перетворення. Наведено результати комп'ютерного експерименту по розпізнаванню текстурних зображень зон зносу різального інструменту.

1. Вступ

При розробці систем автоматизованого та автоматичного розпізнавання станів різальних інструментів (РІ) прецизійної обробки широке застосування знаходять системи технічного зору (СТЗ), в яких вирішуються дві основні задачі: формування цифрових зображень та їх інтелектуальний аналіз (попередня обробка, сегментація, ідентифікація і класифікація).

Цифрові зображення контактних поверхонь РІ, що реєструються системою формування зображень СТЗ відповідають працездатним станам (різальна частина (РЧ) частково зношена) або станам відмов (граничний знос, множинні викришування, відколи РЧ). В попередніх роботах авторів [1,2] досліджена проблема виділення границь (контурів) зон дефектів, обчислення відповідних ознак та класифікація зон зносу за формою, яка відповідає першому рівню обробки при проведенні інтелектуального аналізу цифрових зображень РЧ РІ.

Слід відмітити, що процеси різання металів і зношування різальних інструментів відбуваються в умовах високих тисків і температур на контактних поверхнях РІ. Різноманіття варіантів поєднань "інструментальний – оброблюваний матеріал" при обробці деталей обумовлює виникнення різних механізмів зношування на тих чи інших ділянках РЧ. В результаті цього на робочих поверхнях РІ формуються текстури різних класів. Приклад наявності таких текстур на поверхнях зношеного різця зображений на рис. 1.

Оцінка типів (класів) текстур поверхонь є невід'ємним елементом процесу багаторівневого інтелектуального аналізу при розпізнаванні станів інструментів. Тому тематика даного дослідження представляється актуальною.

Метою даної роботи є дослідження використання методів статистичного підходу до опису текстурних

зображень дефектних зон різального інструменту в початковому просторі ознак та при переході у простір вейвлет-перетворення.

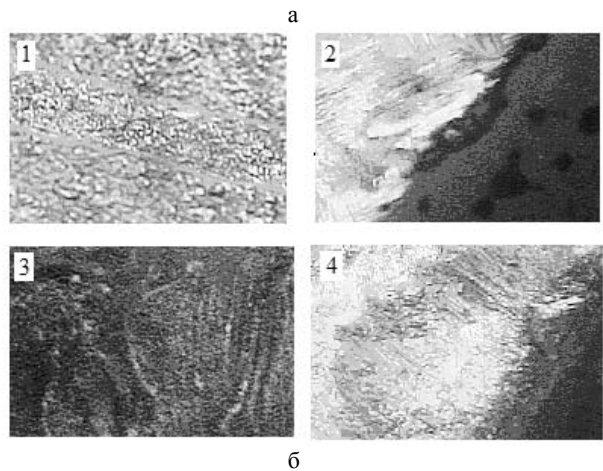
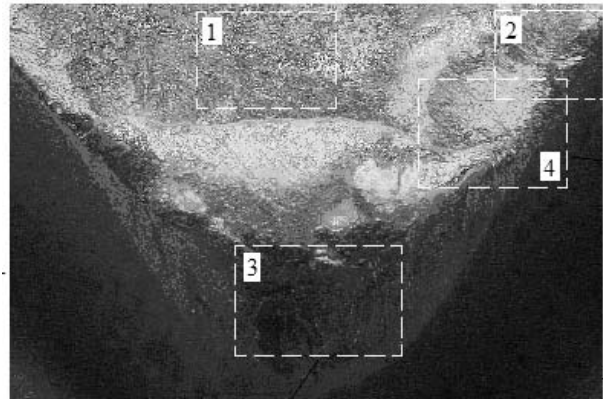


Рисунок 1: Різновиди текстурних зображень, що присутні в зоні зносу контактної поверхні різального інструменту: а – зображення різальної частини РІ, б – приклади текстурних зображень зон зносу

2. Загальна постановка задачі розпізнавання текстурних зображень зон зносу РІ

Для розпізнавання зон зносу РЧ РІ необхідно сформувати навчальну вибірку класів Q_1, Q_2, \dots, Q_q з текстурними зображеннями I_1, I_2, \dots, I_Q РЧ РІ. Загальна схема обробки та розпізнавання складається з декількох етапів.

Етап 1. Попередня обробка зображень. Реальні текстурні зображення, які отримані системою формування за допомогою оптичних пристроїв, спотворені дією перешкод, мають нерівномірну освітленість та слабу

контрастність, що ускладнює подальший аналіз. Для вирішення цієї задачі використовуються методи поліпшення якості зображень (фільтрація завад, регулювання інтенсивності, контрастності та інших параметрів зображення) [3].

Етап 2. Ідентифікація текстурних зображень. Для вирішення цієї задачі використовуються методи формування опису текстурних зображень (спектральні, структурні, статистичні) [3], які формують m -вимірний простір ознак, в якому кожний вектор ознак $V_{ie} = (v_1, v_2, \dots, v_m)$ $i = 1, \dots, q$ відповідає одному з класів текстурних зображень.

Тобто під формуванням опису текстурного зображення розуміється одержання геометричних та атрибутивних ідентифікаційних даних про об'єкт розпізнавання (зону зносу РЧ РІ) з метою скорочення обсягу оброблюваної інформації та забезпечення інваріантності до перетворень подібності. На даному етапі здійснюється процедура мінімізації та ортогоналізації простору ознак. Оптимальний вибір вектора ознак істотно підвищує міру доцільності інформації, визначає структуру класифікатора і якість його роботи в цілому.

Етап 3. Класифікація текстурних зображень. Здійснюється порівняння вектору ознак невідомого класу V_x з еталонними векторами ознак класів зображень $V_{ie}, i = 1, \dots, q$. Рішення про приналежність зображення до одного з класів ухвалюється на підставі мінімуму наперед заданої міри про відмінність вектору ознак від еталону. В даній роботі обрано класифікатор на основі ймовірнісної нейронної мережі [4]. Однією з переваг ймовірнісної мережі є те, що вихідне значення має сенс ймовірності, тобто його легше інтерпретувати, і в тому, що мережа швидко навчається.

В даному дослідженні основна увага приділена реалізації другого етапу загальної схеми обробки та розпізнавання текстурних зображень зон зносу РЧ РІ. Раніше авторами [5] розглянуто використання спектрального підходу до формування опису текстурних зображень. Але слід відмітити, що він більше підходить для опису текстурних зображень, в яких присутні періодичні або квазіперіодичні двовимірні структури, що не є характерними для зон зносу РЧ РІ.

Застосування статистичного підходу до опису текстур враховує випадковий характер розподілу інтенсивності текстурного зображення та дозволяє охарактеризувати просторові залежності усередині сукупності значень інтенсивності зображення. Тому в даній роботі, в якості базового, обрано статистичний підхід до формування опису текстурних зображень.

3. Реалізація статистичного підходу до формування опису текстурних зображень

Статистичний підхід використовує для опису текстурних зображень методи, що основані на обчисленні ознак за гістограмами інтенсивності першого та другого порядку та інші, які враховують параметри розподілу інтенсивності зображення. Розглянемо два з них – обчислення ознак за матрицею суміжності (МС) та Марковськими випадковими полями (МВП).

3.1. Алгоритм формування опису текстурного зображення за матрицею суміжності

Харалік запропонував використання матриць суміжності інтенсивності зображення для розрахунку ознак текстури [6]. 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 цієї події, що пара пікселів зі взаємним розташуванням 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.

Крок 1. Квантування значень інтенсивності полутонового зображення.

Крок 2. Побудова матриці суміжності:

- 1) визначення напрямку обробки зображення $\theta = (0^0, 45^0, 90^0, 135^0)$;
- 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

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

Крок 3. Обчислення ознак за матрицею суміжності.

З науково-технічних джерел [3,6,7] 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 [2] проведено оцінку інформативності ознак текстурних зображень РЧ РІ, обчислених за МС, та визначено склад вектору інформативних ознак.

3.2. Алгоритм формування опису текстурного зображення за Марковськими випадковими полями

Нехай $I(x, y)$ – текстурне зображення розміром $M \times N$, яке будемо розглядати як двовимірне Марковське випадкове поле (МВП), в якому випадкова величина

представляє собою інтенсивність зображення [8].

Область сусідів – множинна Ω k -го порядку розміром $2n$, де n – кількість сусідів. Елементами якої є пікселі зображення, де 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 [18].

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

Крок 1. Квантування значень інтенсивності полу тонового зображення.

Крок 2. 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 :

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

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

4) обчислення параметру 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. Тобто МВП дозволяють аналізувати локальні властивості текстурних зображень.

Крок 3. Формування вектору ознак $V = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \sigma)$.

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.

4. Перехід в простір вейвлет-перетворення при реалізації статистичного підходу до опису текстурних зображень

В реальних текстурних зображеннях зазвичай присутні не зв'язані області різної структури, інтенсивності та контрасту, які необхідно аналізувати на різних масштабах. Використання безперервного вейвлет-перетворення з заданими масштабами дозволяє аналізувати текстурне зображення на різних рівнях деталізації. При цьому від вибору типу вейвлет-функції (ВФ) залежить виявлення та підкреслення тих або інших властивостей текстурного зображення, що аналізується, оскільки кожна ВФ володіє характерними особливостями в просторовому та частотному просторі [3,9].

В даній роботі розглянуто використання одновимірного безперервного вейвлет-перетворення з ВФ Хаара та гіперболічною ВФ (ГВФ) [9].

Для обробки обирається рядок з координатою x або стовбець з координатою y двовимірного зображення $I(x, y)$ розміром $M \times N$ та виконується наступний алгоритм:

Крок 1. Квантування значень інтенсивності зображення.

Крок 2. Обчислення коефіцієнтів вейвлет-функції $h(i)$, $i = 0..n$ де n –кількість коефіцієнтів ВФ.

Крок 3. Обчислення одновимірного вейвлет-перетворення з заданою ВФ по рядкам зображення:

$$C = \sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N C(x, y), \quad C(x, y) = \sum_{j=0}^n I(x, y + j) \otimes h(j).$$

Крок 4. Обчислення одновимірного вейвлет-перетворення з заданою ВФ по стовбцям зображення:

$$B = \sum_{y=0}^N \sum_{x=0}^M B(x, y), \quad B(x, y) = \sum_{j=0}^n I(x + j, y) \otimes h(j).$$

Крок 5. Нормалізація отриманих значень:

$$C = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M \frac{C(x, y)}{\max(C)}, \quad B = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M \frac{B(x, y)}{\max(B)}.$$

Крок 6. Об'єднання результатів обробки в єдиний масив:

$$D(x, y) = \begin{cases} C(x, y), & \text{якщо } C(x, y) > B(x, y) \\ B(x, y), & \text{якщо } C(x, y) < B(x, y) \end{cases}.$$

В результаті переходу до простору вейвлет-перетворення отримано нові текстурні зображення (рис. 2), котрі підлягають аналізу з застосуванням статистичного підходу до формування опису текстур на основі побудови МС та обчисленні параметрів МВП.

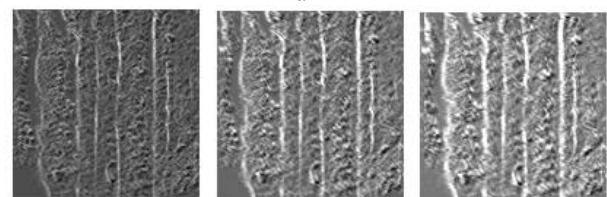
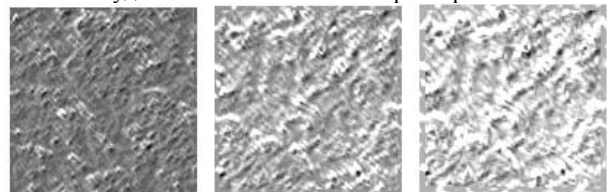


Рисунок 2: Текстурні зображення після вейвлет-перетворення: а – ВФ Хаара; б – ГВФ ($n = 3, 5, 7$)

5. Проведення експерименту та порівняння отриманих результатів

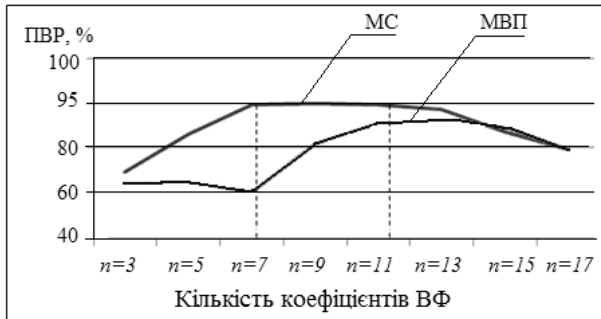
Для визначення достовірності розпізнавання текстурних зображень зон зносу РЧ РІ було проведено

комп'ютерне моделювання процесу розпізнавання зображень різних класів текстур в початковому просторі і в просторі вейвлет-перетворення (обчислювався процент вірного розпізнавання (ПВР)). Результат тестування наведено в табл. 1.

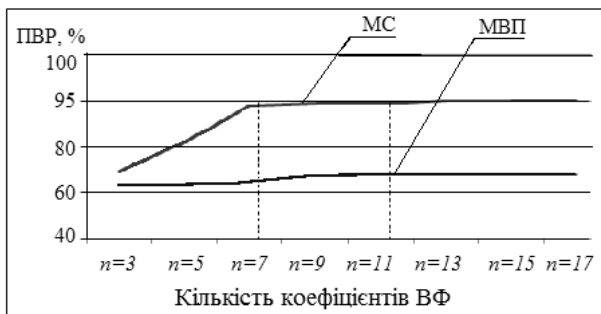
Таблиця 1: Результати розпізнавання текстурних зображень зон зносу РЧ РІ

Реалізація статистичного підходу з обчисленням ознак за	Достовірність розпізнавання зображень (ПВР, %) при формуванні опису текстурних зображень		
	у початковому просторі	у просторі вейвлет-перетворення з	
		ВФ Хаара	ГВФ
МС ($d = 1$)	0,90	0,95	0,97
МВП 3-го порядку	0,62	0,85	0,75

Відомо, що кількість коефіцієнтів ВФ, яка обрана для реалізації вейвлет-перетворення впливає на рівень деталізації зображення. У випадку текстурного зображення, це дозволяє посилити значення інтенсивності в певному порядку, що змінює розподіл інтенсивності всього зображення та значення ознак, обчислених з використанням статистичного підходу до опису зображень. Проведено аналіз впливу кількості коефіцієнтів ВФ на достовірність розпізнавання класів текстурних зображень РЧ РІ (рис. 3).



а



б

Рисунок 3: Залежність достовірності розпізнавання текстурних зображень від кількості коефіцієнтів ВФ вейвлет-перетворення з використанням: а – ВФ Хаара; б – гіперболічної ВФ

6. Висновки

В результаті аналізу процесу діагностики стану різального інструменту встановлено доцільність проведення текстурного аналізу зображень зон зносу РІ з використанням статистичного підходу до формування опису зображень.

Розроблено та програмно реалізовано алгоритми формування опису текстурних зображень на основі побудови матриці суміжності та обчисленні параметрів Марковських випадкових полів.

Запропоновано здійснити при розпізнаванні текстурних зображень, на етапі попередньої обробки, перехід в простір вейвлет-перетворення для реалізації аналізу зображень з різним рівнем деталізації.

Досліджено вплив кількості коефіцієнтів ВФ на достовірність розпізнавання класів текстурних зображень РЧ РІ. Встановлено, що при виборі кількості коефіцієнтів ВП з інтервалу 7-11, достовірність розпізнавання підвищується: для підходу з використанням МС на 5-7 %, з використанням МВП – в середньому на 18 %.

7. Література

- [1] Бабилунга О.Ю. Информационное обеспечение системы поддержания работоспособности режущих инструментов / О.Ю. Бабилунга, А.Г. Дерев'яченко, Д.А. Крилицын // *Електромашинобуд. та електрооблад.* – 2009. – Вип. 74 – С. 100-104.
- [2] Дерев'яченко А.Г. Система інтелектуального аналізу зображень зон износа режущих инструментов / А.Г. Дерев'яченко, О.Ю. Бабилунга, Д.А. Крилицын // *Резание и инструмент в технологических системах.* – Харьков: НТУ “ХПИ”. 2010. – Вып. 78. – С. 34 – 41.
- [3] Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
- [4] Калан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Калан. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 291 с.
- [5] Дерев'яченко О.Г. Система оброблення та розпізнавання текстурних зображень дефектних зон різальних інструментів на основі аналізу їх енергетичних спектрів / О.Г. Дерев'яченко, О.Ю. Бабилунга, А.О. Соценко, Р.Г. Доліщинський // *Праці X Всеукр. міжнарод. конф. «УкрОБРАЗ».* – Київ: вид. МНВЦІТС, 2010. – С. 97-100.
- [6] Haralick R.M. Statistical and Structural Approaches to Texture / R.M. Haralick // *Proceeding of the IEEE.* – 1979. – Vol. 67. – P. 786-804.
- [7] Gotlieb C. Texture descriptors based on Co-occurrence Matrices / C.Gotlieb, H.Kreyszig // *Computer Vision Graphics Image Processing* – 1990. –V. 51. – №1. – P. 70.
- [8] Chellappa R. Model based texture segmentation and classification / R. Chellappa., R.L. Kashyap // *World Scientific.* – Singapore, 1992 – P. 277-310.
- [9] Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И.Добеши. – М.: Ижевск: РХД, 2001. – 406 с.