

МАШИНОЗНАВСТВО. ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 004.932. 001.57

С.Г. Антошук, д.т.н., проф.

О.В. Бабілуंगा, ст. викл.

О.Г. Дерев'янченко, д.т.н., проф.

Одеський національний політехнічний університет

КОНТУРНА СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ КОНТРОЛІ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Розглянуто метод візуального контролю різальних інструментів, який дозволяє здійснювати аналіз зображень з різним рівнем деталізації. Використання такого підходу підвищить надійність та ефективність контролю.

Постановка задачі. У сучасному машинобудівному виробництві все частіше переходять до використання автоматизованих і автоматичних верстатних систем і комплексів, які є дорогими й досить складними технічними системами. У такому виробництві велике значення має розробка методів контролю й пристроїв, що дозволяють одержувати інформацію про ступінь зношування різальних інструментів (РІ). Надійність РІ значною мірою визначає працездатність технологічної системи, продуктивність і якість обробки. В умовах автоматизованого виробництва, при обмеженій участі оператора в керуванні процесом обробки, забезпечення ефективності РІ стає особливо важливим. При відсутності на верстаті систем контролю й діагностування станів РІ зазвичай використовується практика примусової зміни інструмента (поза залежністю від ступеня використання індивідуального ресурсу різальної частини РІ) – для попередження появи його відмови. Це значно знижує економічну ефективність процесу обробки. Оснащення верстатів для прецизійної обробки системами діагностики РІ переслідує наступні завдання: своєчасне виявлення тенденції появи усувних відмов РІ і їх попередження; ідентифікація (на початковій стадії експлуатації інструмента) індивідуальної моделі накопичення дефектів і формування неусувної відмови РІ, послідовне уточнення й прогнозування залишкового ресурсу інструмента. Все це в комплексі забезпечує підвищення якості обробки, ступеня використання індивідуального ресурсу РІ. Таким чином, проблема контролю й діагностування станів РІ в автоматизованому або автоматичному режимах є досить актуальною. Відповідні дослідження зосереджені на створенні моделей зношування РІ та розробці методів контролю та діагностування станів інструментів [1].

В статті пропонується новий підхід до вирішення задачі оптичного контролю різальних інструментів, заснований на ієрархічному представленні зображення на різних етапах обробки.

Викладення основного матеріалу. Автоматизована система обробки зображень здійснює наступні процедури [2, 3]: попередню обробку зображень, виділення та аналіз контурів; розрахунок ознак форми дефектів, класифікацію, стиск та зберігання. При цьому одним з відповідальних етапів є виділення та аналіз контурів зображення РІ.

Слід зазначити, що в останні роки основою методології обробки є акумулювання локальних властивостей зображення та побудова на його основі глобальних властивостей. Динаміка процесу розпізнавання в більшості випадків адекватно описується законом перцепції Н.Н. Ланге: спочатку виділяються лише загальні, дифузійні відомості про предмет, які змінюються більш певним і детальним його сприйняттям. Такий підхід моделює людське сприйняття візуальної інформації, побудоване на виділенні спочатку грубих, а потім більш тонких властивостей зображення. Однак дифузійне представлення (низькочастотна фільтрація) призводить до розмиття контуру об'єкта на зображеннях, що за необхідності аналізу геометричної форми є неприпустимим.

Ефект розмивання контурів може бути істотно знижений при використанні рангових фільтрів [2, 3]. Рангова обробка знаходить застосування при фільтрації та відновленні сигналів, препаруванні зображень, виділенні ділянок заданої геометрії, аналізі статистичних характеристик зображень та ін. Рангові фільтри реалізують обробку "ковзаючим вікном":

$$g(n_1, n_2) = \Phi \{ \{ f(n_1 + k_1, n_2 + k_2) \}, (k_1, k_2) \in D \},$$

де Φ – оператор перетворення відліків вхідного сигналу $\{f\}$;

D – вікно, визначене відносно початку координат.

Принцип дії (та ідея) рангової обробки полягає в тому, що для кожного розташування вікна будується й аналізується варіаційний ряд за відліками, які потрапляють у вікно. Варіаційним рядом сукупності з N чисел

$\{f\}$ називається послідовність $\{f_r\}$, у якій ці числа впорядковані. Значення індексу r (порядковий номер числа f у варіаційному ряді називається рангом, а число f – порядковою статистикою.). Таким чином, для рангових алгоритмів нелінійний оператор перетворення Φ будується через варіаційний ряд відліків у вікні D :

$$g(n_1, n_2) = \Phi \left\{ \left\{ f(n_1, n_2) \right\}_{r=1}^N \right\},$$

де $\{f(n_1, n_2)\}$ – варіаційний ряд для розташування вікна із центром у точці (n_1, n_2) , при якому формується вихідне значення $g(n_1, n_2)$;

N – число відліків у вікні D .

Останній вираз записують у більш короткій формі: $g = \Phi \{ \{ f_r \} \}$.

При побудові АСОЗ РІ для попередньої обробки використовувався медіанний фільтр, що у термінах рангової обробки записується: $g = \frac{f_{N+1}}{2}$, при N – непарному.

Слід зазначити, у випадку застосування рангової фільтрації для виділення загальних властивостей форми об'єкта можлива каскадна обробка зображення тим самим фільтром, розміри якого погоджені зі ступенем "загрубіння". Ті області, які залишилися без зміни на поточному кроці каскадної обробки, не будуть змінюватись і надалі, тобто в процесі фільтрації.

Результати виділення контуру початкового зображення зони зносу РІ та зображення після обробки медіанним фільтром із різним ступенем його "загрубіння" наведені на рис. 1. Аналіз показав, що при зберіганні контурів та границь ділянок після обробки медіанним фільтром усуваються дрібні й несуттєві деталі зображення. При цьому зберігається форма об'єкта, тобто для оцінки параметрів зони зношування досить виділити тільки зовнішній її силует.



Рис. 1. Вихідне зображення зони зносу РІ (а), зображення після обробки – виділені контури відповідних зображень різним ступенем "загрубіння" (б, в, д)

У тому випадку, коли для аналізу потрібна інформація не тільки про зону зносу, а і про внутрішню структуру, вихідне зображення (рис. 1) можна подати у вигляді сукупності зображень різного рівня ієрархії:

$$F(x, y) = \sum_{j=1}^n I_j(x, y),$$

де n – число рівнів ієрархії на зображенні;

$I_j(x, y)$ – зображення на j -му рівні ієрархії ($j = 1, \dots, n$).

У загальному випадку зображення $I_j(x, y)$ на кожному рівні є сукупність зображень окремих об'єктів і фону:

$$I_j(x, y) = I_{j1}(x, y) + I_{j2}(x, y) + \dots + I_{jk}(x, y) + I_{j\phi}(x, y),$$

де k – кількість об'єктів (підоб'єктів) на зображенні;

$I_{ji}(x, y)$ – зображення i -го об'єкта або його видимої частини ($i = 1, \dots, k$) на j -му рівні ієрархії;

$I_{j\phi}(x, y)$ – зображення фону на j -му рівні ієрархії.

При цьому

$$\left. \begin{aligned} I_{ji}(x, y) &= 0, & \text{при } (x, y) \notin D_{ji} \\ I_{j\phi}(x, y) &= 0, & \text{при } (x, y) \notin D_{j\phi} \end{aligned} \right\},$$

де $D_{ji} \subset D$ – область i -го об'єкта на j -му рівні ієрархії, що входить у дискретне поле зору D ;

$D_{j\phi} \subset D$ – область фону на j -му рівні ієрархії;

$$D_{j1} \cup D_{j2} \cup \dots \cup D_{jn} \cup D_{j\phi} = D_j,$$

де $D_{jl} \cap D_{jm} = 0$ при $l \neq m$, $D_j \cap D_g \neq 0$ (j, g – рівні обробки).

Для зменшення об'ємів інформації, яка оброблюється, та забезпечення інваріантності к трансформаціям яскравості доцільно перейти до ієрархічної моделі контурного опису зображення:

$$KP(x, y) = KP^{(1)}(x, y) + KP^{(2)}(x, y) + \dots + KP^{(k)}(x, y),$$

де $KP(x, y)$ – ієрархічне подання контурних препаратів;

$KP^j(x, y)$ – контурний препарат на j -му рівні ієрархії;

k – кількість рівнів ієрархії.

Слід зазначити, оскільки традиційні методи виділення контурів не дозволяють регулювати детальність отриманих контурних препаратів, то доцільним є для ієрархічного представлення контурних зображень використовувати вейвлет-перетворення (що має властивості просторово-частотної локалізації і змінної детальності) з такою базисною функцією, яка дозволила б ефективно підкреслювати контури [4] – гіперболічне вейвлет-перетворення (ГВП). Безперервне вейвлет-перетворення визначається шляхом згортки:

$$W(s, x_0) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \psi^* \left(\frac{x - x_0}{s} \right) dx,$$

де $f(x)$ – функція, що перетворюється (аналізується);

$\psi_{s, x_0}(x)$ – двопараметрична базисна функція, яку одержують з материнського вейвлета $\psi_0(x)$ в результаті масштабування з масштабним множником $s \in \mathbb{R}^+$ і зсуву з параметром $x_0 \in \mathbb{R}$;

ψ^* – комплексно-сполучена функція щодо ψ (s відповідає за ширину вейвлета; x_0 – визначає положення вейвлета на осі x). Множник $\frac{1}{\sqrt{s}}$ вводиться для нормування.

Об'єднати переваги перетворення Гільберта із просторово-частотною локалізацією можна на підставі материнського вейвлета:

$$\psi_0(x) = \frac{1}{\pi\alpha x} G(x),$$

де $G(-x)=G(x)$, $G(x) = 1(x - \varepsilon) - 1(x - \gamma)$;

$1(t)$ – одинична функція Хевісайда;

$\alpha > 0$ – масштабуючий коефіцієнт.

Материнський вейвлет ГВП $\psi_0(x)$ задовольняє ряду умов, що виставляються до такого класу функцій. Змінюючи масштабний коефіцієнт s і величину зсуву вейвлетної функції, можна локалізувати будь-які особливості зображення в просторі масштабів.

Процедура виділення контурів з використанням ГВП містить два етапи – на першому відбувається згортка з імпульсною характеристикою, апроксимуючого ГВП фільтру, (виділення деталізуючої складової), на другому – визначення положення контуру:

$$f \rightarrow a_1 \rightarrow 0$$

↓

$$d_1 \rightarrow Q(d_1) \rightarrow KP^{(j)}$$

де f – рядок (стовпець) вихідного зображення;

a_1 – складова вейвлет-перетворення;

d_1 – деталізуюча складова вейвлет-перетворення;

Q – оператор одержання точок контуру.

При цьому ГВП позбавлено недоліку низькочастотних пірамідальних методів подання зображень – розмиття перепадів інтенсивності. При поданні в просторі ГВП найбільш інформативна частина зображень – перепади інтенсивності підкреслюються, а не розмиваються. Тому таке подання рекомендується для широкого кола прикладних задач, пов'язаних з аналізом і розпізнаванням зображень за їхніми контурами.

Розроблено методику виділення контурів з регульованою деталізацією в просторі ГВП:

– зображення піддається згортці з гіперболічними вейвлет-функціями різних масштабів від найбільшого до найменшого (підкреслення контуру);

– на контрастному зображенні виділяється область контуру. За необхідності проводиться процедура «скелетизації» (зменшення товщини) області контуру;

– на зображенні найбільшого масштабу виділяється зовнішній контур об'єкта дослідження;

– обробка наступного рівня проходить усередині контуру зображення об'єкта;

– обробка здійснюється по рядках і по стовпцях. Результати поєднуються за схемою логічного додавання АБО.

Розроблені диференціальні методи виділення контурів у просторі ГВП. У цих методах на першому етапі проводиться підкреслення контурів за допомогою ГВП, а на другому – визначення положення контуру. Для визначення положення контуру можна використовувати метод порогів (порівняння підкресленого зображення з апріорно вибраним порогом та прийняття рішення про наявність контуру відповідно до результатів порівняння) або метод двократного ГВП. Ідея методу двократного ГВП базується на тому, що ГВП функції дорівнює нулю в точці екстремуму [4]. Тому доцільно підкреслювати контури за допомогою ГВП, а потім ще раз проводити (повторно) ГВП, проводиться аналіз результатів з метою виділення контуру. При цьому ознакою контуру є зміна знака двократного ГВП. Цей метод може бути модернізовано і використано для наближеного знаходження точок контуру як точок екстремумів. Для цього скористаємося правилом Ньютона [5]. З урахування властивостей ГВП вираз для знаходження наступного наближення за попереднім має вигляд [4]:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - W^{-1}(W(x^k))W(x^k), \quad k = 0, 1, 2 \dots \quad (1)$$

Слід зазначити, що такий підхід дозволяє зменшити час пошуку точок контуру при необхідній завадостійкості та здійснювати водночас морфологічну обробку з метою просліджування контурів напівтонових зображень.

Пропонується наступний алгоритм контурної морфологічної обробки напівтонового зображення на основі ГВП:

- 1) здійснюється пошук локального екстремуму, що належить контуру об'єкта j -го рівня (1);
- 2) знаходиться ГВП точок околу екстремуму;
- 3) аналізуються одержані значення та приймається рішення про координати нової точки контуру;
- 4) пункти 2–3 повторюють до одержання замкненого контуру.

Даний алгоритм дозволяє одночасно вирішити завдання виділення, скелетизації та просліджування контуру зображення, скоротити час аналізу, підвищити ефективність контурної обробки зображень.

Для аналізу геометричної форми розраховуються діагностичні ознаки РІ. За отриманим контуром зони зношування розраховуються діагностичні ознаки РІ. Як набір ознак форми, що відповідає поставленому завданню, були обрані структурно-статистичні ознаки, отримання яких побудовано на методі геометричних моментів ознак ГМО [6].

Розглянемо основні етапи алгоритму формування ГМО в структурі процесу діагностування РІ:

1. Обчислення площі фігури через координати її точок:

$$S = \sum_{i=1}^n [(y_i + y_{i+1})(x_i - x_{i+1})] / 2,$$

де n – кількість точок контуру.

2. Знаходження статистичних моментів інерції контуру у вихідній системі координат за наближеними виразами:

$$I_x = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+1})(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2); \quad I_y = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i+1})(x_i^2 + x_i x_{i+1} + x_{i+1}^2).$$

Координати i -ої точки щодо нових осей координат (x'_0, y'_0) можуть бути визначені:

$$x'_i = x_i - x'_0, \quad y'_i = y_i - y'_0.$$

3. Визначення координат центра ваги фігури та перенесення початку координат у цю точку

$$x'_0 = I_y / S, \quad y'_0 = I_x / S.$$

4. Визначення R_i по всіх точках контуру:

$$R_i = \sqrt{(x'_i)^2 + (y'_i)^2}$$

та обчислення R_{\min} й R_{\max} .

5. Визначення кроку дискретизації:

$$\Delta\rho = (R_{\max} - R_{\min}) / J,$$

де J – кількість рівнів.

6. Обчислення значення інтегралів:

$$\beta_{j=0}^{2\pi} = \int_0^{2\pi} I(\rho, \varphi) d\varphi.$$

При простеженому контурі інтеграл можна замінити відповідною сумою:

$$\beta_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\rho_j^2 - \rho_{j-1}^2) \Delta\varphi_i + (R_i R_{i+1} \sin \Delta\varphi_i - \rho_{j-1}^2 \Delta\varphi_i),$$

де $\Delta\varphi_i$ – кут між векторами R_i й R_{i+1} .

7. Визначення значення ГМО:

$$c_{jp} = \beta_j \left(\frac{\rho_j}{R_{\min}} \right)^p.$$

За отриманим вектором ознак приймається діагностичне рішення про стан РІ за допомогою імовірнісної нейронної мережі.

При контролі РІ типу різців стан різальної частини можна оцінити за двома зображеннями – відповідно, передньої й задньої поверхонь. Протягом періоду стійкості РІ можуть мати місце 5–7 операцій контролю (відповідно будуть отримані й збережені 10–14 зображень). У процесі контролю багатозубих РІ (протяжки, фрези та ін.) кількість зображень збільшується до десятків на кожний інструмент. При створенні бази даних для великої кількості діагностованих РІ різко зростають необхідні обсяги пам'яті. У зв'язку із цим виникає завдання стиску збережених зображень.

Для ефективного збереження візуальної інформації для її рішення використовуються два основних підходи. Перший передбачує побудову алгоритмів та систем за принципом стиску інформації без втрат і не забезпечує необхідного коефіцієнта стиску графічної інформації. Найбільш відомі алгоритми: Хаффмана, LZ, RLE й інші. В основі другого підходу лежить ідея застосування того або іншого перетворення (Фур'є, Хаара, вейвлет-перетворення) і видалення з перетвореного зображення деяких коефіцієнтів. Розробка алгоритмів і систем стиску із втратами (JPEG, MPEG і інші) може викликати необоротні втрати інформації, що є неприпустимим для графічних файлів у тих областях, де потрібна точна відповідність інформаційної структури вхідного й вихідного потоку.

У даній роботі пропонується проводити стиск зображень РІ за наступним алгоритмом:

- виділення інформативної й неінформативної областей (зони зношування та сторонніх зон);
- стиск інформативної області з використання першого підходу;
- стиск неінформативної області з максимальним коефіцієнтом стиску (другий підхід).

Частина зображення, що потрапила в інформативну область, стискується з кодуванням. При цьому коефіцієнт стиску становить 5–10 разів, залежно від площі виділеної інформативної зони. Частина зображення поза зоною стискується із втратами з коефіцієнтом стиску більше 10. У результаті тестування середній коефіцієнт стиску становив 7–8 без істотних змін у районі зони зношування РІ. Даний підхід дозволяє в кілька разів поліпшити ступінь стиску порівняно зі стиском вихідного зображення.

Висновки. Застосування рангових методів попередньої обробки та моделі ієрархічного подання контурних препаратів зображень дозволяє підвищити завадостійкість систем контролю РІ та забезпечує проведення поетапного аналізу дефектів інструмента. Це забезпечує підвищення ефективності комп'ютерних систем технічної діагностики різальних інструментів різноманітного типу. Розробки можуть знайти застосування в багатьох практично важливих додатках.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Дерев'яченко А.Г., Павленко В.Д., Андреев А.В. Диагностирование состояний режущих инструментов при прецизионной обработке. – Одесса: Астропринт, 1999. – 184 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Дерев'яченко О.Г., Антощук С.Г., Бабилунга О.Ю., Поплавський А.В. Аналіз зон зносу в системах діагностування станів інструментів з використанням СТЗ // Праці Восьмої Всеукраїнської міжнародної конференції “Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів”. – Київ, 2006. – С. 103–105.
4. Антощук С.Г. Реализация вейвлетного преобразования при структурном анализе изображений // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2004. – Вип. 62. – С. 153–157.
5. Фильчак П.Ф. Справочник по высшей математике. – Киев: Наукова думка, 1972. – 744 с.
6. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.

АНТОЩУК Світлана Григорівна – доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

- системи штучного інтелекту;
- цифрова обробка зображень.

БАБИЛУНГА Оксана Володимирівна – старший викладач кафедри інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія алгоритмів;
- цифрова обробка зображень.

ДЕРЕВ'ЯНЧЕНКО Олександр Георгійович – доктор технічних наук, завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів та металознавства Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

- системи технічної діагностики.

Подано 17.09.2006

Антощук С.Г., Бабилунга О.Ю., Дерев'янченко О.Г. Контурна сегментація зображень при контролі різальних інструментів

Антощук С.Г., Бабилунга О.Ю., Дерев'янченко А.Г. Контурная сегментация изображений при контроле режущих инструментов

Antoshchuk S.G., Babilulga O.Yu., Derevjanchenko A.G. Image edge segmentation for control of cutting tools

УДК 004.932. 001.57

Контурна сегментація зображень при контролі різальних інструментів / С.Г. Антощук, О.Ю. Бабилунга, А.Г. Дерев'янченко

Розглянуто метод візуального контролю різальних інструментів, який дозволяє здійснювати аналіз зображень з різним рівнем деталізації. Використання такого підходу підвищить надійність та ефективність контролю.

УДК 004.932. 001.57

Контурная сегментация изображений при контроле режущих инструментов / С.Г. Антощук, О.Ю. Бабилунга, А.Г. Дерев'янченко

Рассмотрено метод визуального контроля режущих инструментов, который позволяет проводить анализ изображений с разным уровнем детализации. Применение такого подхода повысит надежность и эффективность контроля.

УДК 004.932. 001.57

Image edge segmentation for control of cutting tools / S.G. Antoshchuk, O.Yu. Babilulga, A.G. Derevjanchenko

Method of visual control of cutting tools images was described. Suggested method will allow different details level. This will increase control reliability and efficiency designed.