Моделювання обробки зображень в системах підтримки працездатності різальних інструментів

О.Г. Дерев'янченко, О.Ю. Бабілунга, В.О. Переверзєв, Д.О. Криніцин

Одеський національний політехнічний університет
v.pereverzev@gmail.com

Анотація

Розглянуто етапи формування та обробки зображень в системі підтримки працездатності різальних інструментів. Запропоновано модель адаптації процедур обробки зображень з використанням критеріїв оцінки якості та ефективності окремих процедур обробки та системи в цілому.

1. Вступ

В умовах сучасних інтегрованих виробництв верстати класу гнучких виробничих модулів (ГВМ) працюють з обмеженою участю операторів. Нормальне функціонування ГВМ та його основних вузлів забезпечується при неперервній підтримці працездатності різального інструмента. Різальні інструменти (РІ) у структурі ГВМ відносяться до об’єктів підвищеного контролю, т. щ. внаслідок інтенсивного зношення вони швидко втрачають працездатність та переходять в стан відмови.

Система підтримки працездатності РІ (СПП РІ) повинна своєчасно виявляти дефекти різальної частини (РЧ) РІ, розпізнавати їх вид (належність до одного з класів) ідентифікувати відповідну модель відмови РІ, прогнозувати залишковий ресурс РІ, формувати відповідний управляючий вплив на технологічну систему ГВМ [1].

Метою цієї роботи є представлення підходу до побудови моделі адаптації процедур обробки зображень в системі підтримки працездатності різальних інструментів.

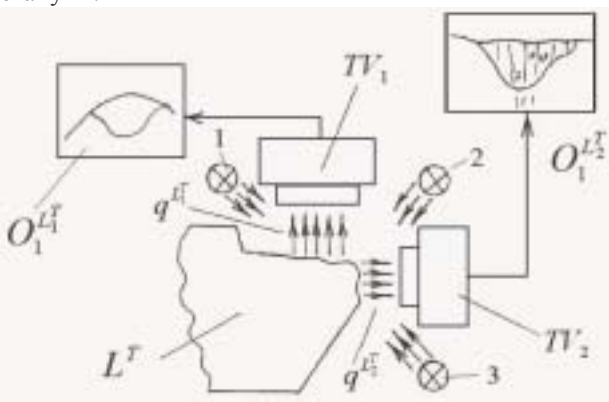
2. Загальна структура СПП РІ

СПП РІ включає дві основні функціональні складові:

– систему контролю (СК) стану РІ (прямого, посереднього чи комбінованого) для формування цифрових зображень зон зносу РІ;

– систему інтелектуального аналізу (СІА) візуальної інформації (ВІ), призначену для діагностування на основі розпізнавання поточного стану РІ [2] та прогнозування залишкового ресурсу РІ на основі оцінки послідовності станів РІ.

Для контролю РІ в СПП РІ використовується схема дворівневого відображення (відображення двох контрольних точок РЧ), обладнана двома телекамерами (TV_1, TV_2) (мал. 1). Якість одержаного зображення залежить від властивостей освітлювачів (1-3). Після припинення обробки РІ переводиться в контрольну позицію, де розташована СК і проводиться реєстрація ($q^{L_1^T}$, $q^{L_2^T}$) зображень передньої L_1^T та задньої L_2^T поверхонь елемента структури ріжучої частки інструмента, тобто формуються первинні образи зображень $O_1^{L_1^T}$ та $O_1^{L_2^T}$ (мал.. 2). Зображення, що отримані таким чином, використовуються для одержання набору інформативних ознак та подальшого діагностування стану РІ.



Малюнок 1: Схема дворівневого відображення різальної частини РІ.

а б

Малюнок 2: Приклади зображень зношених передньої (а) та задньої (б) поверхні елемента структури різальної частини інструмента.

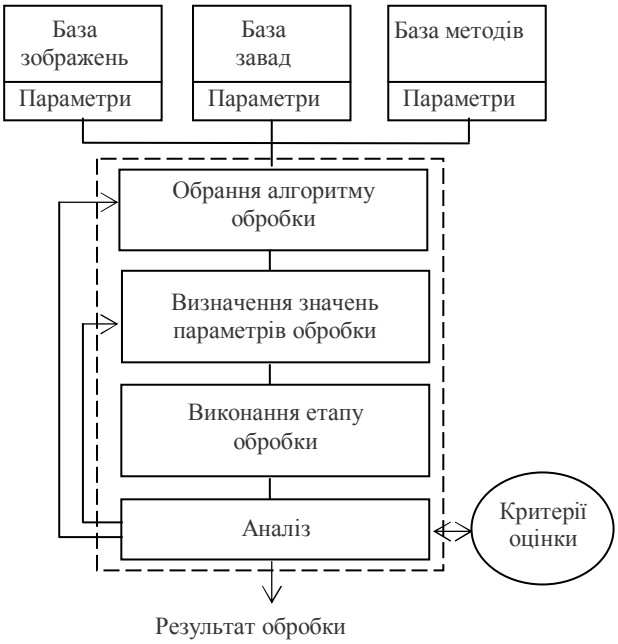
Якість функціонування СПП РІ в значній мірі визначається якістю функціонування СК стану РІ. Однак, при розробці такої системи, особливо другої

складової, виникає ряд проблем, що пов’язаний як з об’єктом дослідження (різноманітність форм РІ, множина моделей зносу та ін.), так й залежністю отриманих зображень від зовнішніх умов (наприклад, властивостей освітлення). Вирішення цих проблем можливо тільки у випадку використання, по-перше, адаптивних моделей, які дозволяють змінювати структуру системи, параметри обробки, алгоритми обробки при змінних умовах отримання ВІ з метою досягнення достовірності даних про об’єкт, та, по-друге, системи гнучких критеріїв ефективності та (або) критеріальних відношень, що дозволяють отримати найбільш раціональний варіант як для окремих блоків і процедур, так й для системи в цілому [3]. Системи, що використовують такий підхід для створення раціональних систем обробки ВІ, мають назву адаптивно-критеріальних СІА ВІ.

Як правило, СІА ВІ може бути розбита на ряд окремих процедур: сегментація (виділення характерних фрагментів), попередня обробка, визначення інформативних ознак тощо [1,2].

3. Адаптивна модель послідовності операцій при обробці зображень РІ

Для забезпечення адаптивних властивостей СІА ВІ пропонується проводити вибір раціональних алгоритмів і параметрів обробки для кожного блоку системи на етапі моделювання відповідно до пропонованої схеми послідовності операцій (мал. 3).



Малюнок 3: Послідовність операцій при моделюванні.

Для вибору певного алгоритму чи параметрів обробки застосовуються критерії оцінки роботи. У якості таких критеріїв зазвичай використовують функціональні або інформаційні показники [3], які повинні, з одного боку, бути інформаційними, оскільки головною метою СІА ВІ в складі СПП РІ є здобуття істотної інформації про об'єкт діагностування та зміна форми подання інформації на кожному рівні обробки, с другого боку, показники повинні відображати імовірнісний характер одержуваної ВІ в СПП РІ та оцінювати подібність ідеального та одержаного результату. Крім того доцільно враховувати важливість отриманої інформації для виконання завдання діагностики та прогнозування, семантичний підхід, тобто прагматичну міру.

Розроблена система показників дозволяє оцінити ефективність СІА ВІ з урахуванням всіх цих складових. Пропонується оцінювати та вибирати окремі алгоритми та їх параметри за допомогою таких характеристик:

– показників якості базових процедур, які є мірою близькості між результатами обробки зображень при моделюванні та ідеальним результатом (F);

– показників ефективності базових процедур, що оцінюють ступінь їхньої пристосованості для досягнення певної мети при обробці ВІ (D).

– функціонально-інформаційного критерію ефективності прикладної ІТ (СІА ВІ в цілому), який оцінюється прагматичною мірою інформації або мірою доцільності (R).

Як прагматичну міру інформації використано характеристику, отриману на основі критерію доцільності А.А. Харкевіча з використанням в якості імовірності досягнення мети середнього виграшу $R = \log_2 \frac{R_i}{R_0}$, де R_i та R_0 — середній виграш СІА ВІ в цілому для і-го (досліджуваного) і 0-го (базового) варіантів процедури відповідно.

У рамках такої системи показників на різних рівнях глибини обробки проведено системний аналіз існуючих процедур обробки зображень досліджено взаємозв'язок показників якості та ефективності і їх вплив на міру доцільності інформації.

Розглянемо призначення основних процедур СІА ВІ та набори показників для їх оцінки.

4. Основні процедури СІА ВІ

4.1. Сегментація

На етапі сегментації здійснюється розподіл зображення на однорідні ділянки за деякими ознаками. На практиці частіше застосовуються такі види сегментації: виділення характерного фрагмента (розподіл об'єкта на підоб’єкти), контурна сегментація та бінаризація.

Призначення першого – виділення області, у якій перебуває об'єкт чи підоб'єкт на зображенні об'єкта. Метою є зменшення обсягу оброблюваної ВІ. Показником якості, що характеризує точність визначення границь, є метричний показник близькості між границями зображень: тестового (ідеально сегментованого $I_{i,j}^{em}$) і сегментованого *t*-м методом обробки ($I_{i,j}^{t}$)

$$F_C^e = \left(\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (I_{i,j}^{t} - I_{i,j}^{em})^2} \right) / P ,$$

де P – довжина границь виділених сегментів у пікселях.

Для визначення показника ефективності сегментації використано геометричну міру інформації: відношення площі зображення S до сумарної площі сегментів S_i^t (у пікселях)

$$DS^t = S / \sum_{i=1}^{N} S_i^T .$$

Сегментація істотно знижує обсяг оброблюваної ВІ, що приводити до зростання швидкодії СІА ВІ в цілому.

При оцінки кількості інформації, одержаної в результаті контурної сегментації, використано показник

$$DK = \frac{n}{k} H_n ,$$

де n – кількість пікселів в зображенні; k – кількість інформативних пікселів у контурному або в бінаризованому зображенні; H_n – приведена ентропія значень вихідного зображення

На мал. 4 показано результати моделювання стосовно вибору процедури контурної сегментації, що проводилась в просторі гіперболічного вейвлет-перетворення (ГВП) на великих масштабах [2].

Малюнок 4: Контурна сегментація РІ.

4.2. Попередня обробка

Функціональне призначення блоку попередньої обробки (*ПрО*) – поліпшення представлення зображення за рахунок контрастування, зниження рівня завад, тощо. Показником якості блоку є нормований метричний показник близькості між тестовим (ідеальним) зображенням ($I_{i,j}^{em}$) і отриманим у результаті обробки ($I_{i,j}^{t}$)

$$F^t = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (I_{i,j}^{t} - I_{i,j}^{em})^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (I_{i,j}^{0} - I_{i,j}^{em})^2} .$$

Для нормування використовується метричний показник близькості між тестовим (ідеальним) зображенням ($I_{i,j}^{em}$) і зображенням на вході блоку попередньої обробки ($I_{i,j}^{0}$). Процедури попередньої обробки з найкращим показником якості в загальному випадку не забезпечують найвищу ефективність, тому що не враховується цільове призначення СІА ВІ. Зокрема, якщо діагностування здійснюється за формою силуету об'єкта, то наявність на зображенні дрібних деталей тільки знижує ймовірність правильного розпізнавання і прагматичну міру інформації в СІА ВІ в цілому.

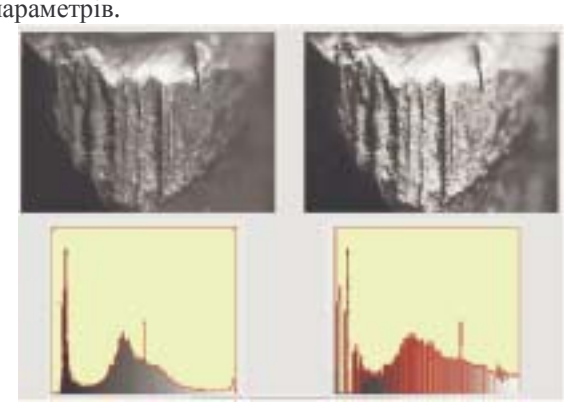
Зниження рівня завад приводить до зменшення ентропії зображень, отриманих за допомогою СК. Ефективність попередньої обробки характеризується коефіцієнтом зменшення ентропії

$$DH_{ПрО}^{t} = H^{S}_{СК} / H_{ПрО} .$$

За допомогою такого показника ефективності оцінювався ступінь інформаційного стиску ВІ після попередньої обробки.

На стадії попереднього аналізу ВІ відповідно до статистичної моделі завадової ситуації визначаються характеристики, методи їх статистичної оцінки і, відповідно, вид попередньої обробки.

На мал. 5 показаний результат застосування до отриманого, за допомогою СК стану зносу зображення (мал. 5, а), процедури контрастування з використанням нелінійного алгоритму (мал. 5, б), обраної в результаті моделювання та вибору параметрів.



а б

Малюнок 5: Попередня обробка зображення РІ (контрастування).

4.3. Визначення вектора ознак

Призначення процедури визначення ознак – одержання геометричних та атрибутивних ідентифікаційних даних про об'єкт розпізнавання з метою скорочення обсягу оброблюваної ВІ та забезпечення інваріантності до перетворень подібності. Мірою якості процедури ідентифікації є нормована відстань вектора ознак, отриманого в результаті ідентифікації *t*–им з оцінюваних методів та «ідеальним» методом (при *t* = 0)

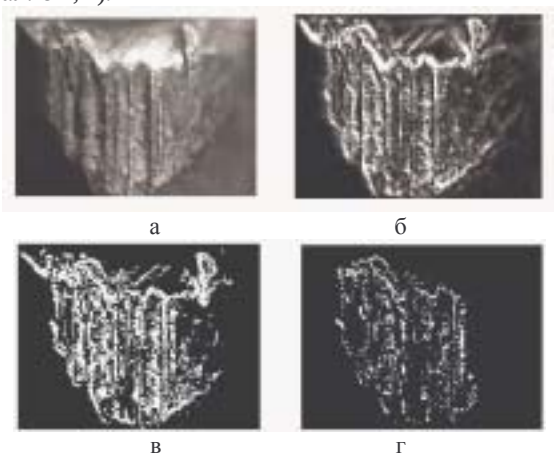
$$F_D^t = \sum_{k=1}^{K} (\sigma_k^t)^2 / \sum_{k=1}^{K} (\sigma_k^0)^2 ,$$

де $(\sigma_k^t)^2 = \frac{1}{L-1} \sum_{j=1}^{L} (C_{kj}^t - \overline{C}_k^t)^2$ – незміщена дисперсія (*L* – кількість елементів класу).

Для оцінки ефективності ідентифікації використано геометричну міру інформації – відношення кількості пікселів у простеженому контурі *m* до розмірності вектора ознак *l*: $DE_p = m/l$. При цьому розмірність вектора ознак доцільно вибирати, виходячи з вимог семантичної достатності.

При ідентифікації здійснюється процедура мінімізації та ортогоналізації простору ознак. При ортогоналізації досягається підвищення умовної ентропії шляхом забезпечення взаємної незалежності ознак (умова максимуму ентропії Шенона). Показником ефективності процедури ортогоналізації є коефіцієнт збільшення умовної ентропії. При мінімізації простору ознак досягається зменшення обсягу оброблюваної інформації шляхом відбору найбільш інформативних ознак. Для оцінки ефективності процедури мінімізації застосовується структурний підхід і геометрична міра інформації. Показником ефективності процедури є відношення розмірності вторинного й первинного векторів ознак. Вплив процедури обчислення ознак на ефективність СІА ВІ в цілому оцінюється з урахуванням впливу показників якості й ефективності ідентифікації на прагматичну міру інформації. Оптимальній вибір вектора ознак істотно підвищує міру доцільності інформації, визначає структуру класифікатора, ефективність і якість його роботи та СПП РІ в цілому.

На мал. 6, а приведене зображення зношеної задньої поверхні різця для тонкого точіння, отримане СК стану РІ. Зона зносу містить елементи текстури – борозни, сліди так званого концентрованого зношення. Присутність цих слідів свідчить про можливість виникнення так званої технологічної відмови – різкого погіршення шорсткості поверхні внаслідок копіювання дефектів РІ у профілі обробленої поверхні. Використання для обробки зображення РІ ГВП дозволяє підкреслити інформативні елементі різальної частини РІ (мал. 6, б), та отримати контурне зображення, після порівняння з заданими пороговими значеннями (мал. 6 в, г).



Малюнок 6: Результат обробки півтонового зображення ГВП.

В результаті моделювання визначені необхідні параметри ГВП і пороги бінарізації, що дозволило при застосуванні метода контурно-текстурного аналізу зображення РІ виявити, оцінити та розпізнати прояви дефектів типа проточина на передній поверхні РІ або зона концентрованого зносу на задній поверхні РІ з високою мірою достовірності шляхом порівняння отриманого опису бінарізованих зображень, одержаних після ГВП на різних масштабах.

5. Висновки

Запропонований підхід до моделювання обробки зображень в системі підтримки працездатності різальних інструментів дозволяє оцінити ефективність алгоритмів та параметри обробки зображень, що використовуються на окремих етапах обробки та відповідно до структури системи інтелектуального аналізу візуальної інформації, обрати методи та параметри обробки зображень, що забезпечують достовірність прийняття рішень при діагностуванні та прогнозуванні стану РІ.

Литература

[1] Дерев'янченко О.Г., Павленко В.Д., Андрєєв А.В. Діагностування станів ріжучих інструментів при прецизійній обробці.- Одеса:Астропрінт, 1999. – 184с.

[2] Дерев'янченко О.Г., Антощук С.Г., Бабілунга О.Ю., Поплавський А.В. Аналіз зон зносу в системах діагностування станів інструментів з використанням СТЗ // Праці VIII Всеукраїнської міжнарод. конф. "УКРОБРАЗ". - Київ: МННЦІТС, 2006. – С. 103-105.

[3] Антощук С.Г. Інформаційний аналіз в системах обробки візуальної інформації // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – Харків «ХАІ», 2007 №6(25). – С. 141 -146.