

# Оброблення та розпізнавання маркіровки на зображеннях тепловиділяючих збірок

*С.Г. Антошук, В.М. Крилов, М.В. Максимов*

Одеський державний політехнічний університет

м. Одеса, пр. Шевченко 1. Факс (0482)600-83E-mail

Krylov@enf.opu.odessa.ua

Розроблено проблемно-орієнтований програмно-апаратний комплекс. Були вирішені питання попередньої обробки сигналів зображень ТВЗ, завадостійкої бінаризації зображень, виявлення характерного фрагменту з надписом, знижки рівня завад, поліпшення якості зображень, сегментації, нумування і класифікації символів.

## ВСТУП

У теперішній час на АЕС використовується система керування машинним перевантаженням (СКМП) для проведення ядерно-небезпечних робіт. Вона призначена для заміни тепловиділяючих збірок (ТВЗ). У відділенні перевантаження встановлена система промислового телебачення, за допомогою якої оператор ідентифікує номер ТВЗ і згідно з цим номером, перевантажує ТВЗ у суворо визначене місце. Для системи промислового телебачення характерний високий рівень як аддитивних, так і мультиплікативних завад.

Стомлення операторів перевантажувальної машини та високий рівень завад приводить до неправильної ідентифікації номера ТВЗ, що при проведенні ядерно-небезпечних робіт є неприпустимим. Так з'явилась необхідність створення автоматизованої системи читання номерів ТВЗ. До комплексу оброблення та розпізнавання маркіровки ставились такі вимоги: швидкодія (час

обробки кадру повинен не перевищувати 60 секунд), завадостійкість (система має бути працездатною при відношенні сигнал/завада 2 (за потужністю)), інваріантність до масштабу символів (ТВЗ можуть знаходитися на різній відстані від датчика), інваріантність до повороту (надпис нанесений на циліндричну поверхню ТВЗ), інваріантність до зсуву у полі зору.

## 1. СТРУКТУРА СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ

У даній роботі для вирішення цієї задачі використовувалось кореляційно-екстремальне розпізнавання у просторі рішень. З виходу телевізійного датчика зображення надходить на аналогово-цифровий перетворювач і у цифровому вигляді зберігається на час обробки у кадровому накопичувачі. Після цього відбувається виділення характерного фрагменту зображення, або фрагменту з надписом. Попередня обробка поліпшує якість зображення та зменшує вплив завад.

Далі продиться бінаризація зображень символів, яка значно скорочує об'єм відеоінформації, що обробляється. Бінаризоване зображення підлягає сегментації, маркіровочний надпис розподіляється на окремі символи. Потім вираховуються ознаки геометричної форми символів. По цих ознаках проводять класифікацію символів

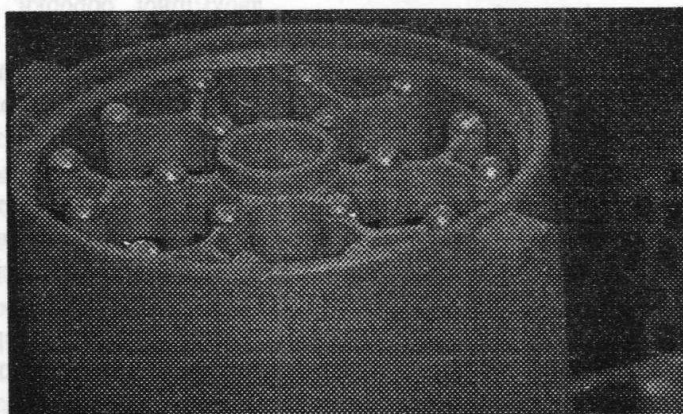


Рис. 1. Зображення тепловиділяючих збірок

Під характерним фрагментом розуміють фрагмент з надписом на зображенні ТВЗ. Використання операції виділення області маркування та характерного фрагменту дозволить значно зменшити об'єм інформації, яка оброблюється. Корисна інформація являє світле або темне зображення символів на сірому фоні. Існуючі методи фрагментації зображень недієздатні при робочому діапазоні відношення сигнал/завада 2-5 (по потужності) розроблюємої системи розпізнавання символів [1-4]. Аналіз зображень, які обробляються, показав, що взаємне положення області маркування та верхньої частини головки циліндру міцно зв'язані. Тому доцільно на зображенні ТВЗ виділити цю висококонтрастну деталь та, використовуючи одержані відомості про її координати і априорні відомості про взаємне положення цієї деталі та надпису, визначити орієнтовно область, де зходить маркування (область маркування). Потім область маркування можна звзяти та отримати з неї фрагмент с надписом (характерний фрагмент). Для виділення на зображенні ТВЗ верхньої частини головки циліндру достатньо використовувати бінаризоване зображення ТВЗ. Через високий рівень адитивних завод виникають значні викривини, тому використовувалась заводстійка бінаризація зображень, розроблена авторами [5,6].

Об'єм області маркування менший, ніж об'єм зображень ТВЗ в 10-15 разів. Однак цей об'єм ще можна зменшити при подальшій обробці - виділенні характерного фрагменту. Для цього проводиться бінаризація цієї області. Характерний фрагмент являє собою кластер значущих пікселей. Границі цього кластеру визначають характерний фрагмент. В результаті такої обробки вдалося знизити об'єм відеоінформації, яка обробляється, в 20-30 разів та побудувати сприятливі умови для наступного розпізнавання у реальному масштабі часу[5].

## 2. ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ

Зображення об'єкту, як відомо, формується з двох мультиплікативних компонент. Компонента  $I_0(x, y)$  визначається нерівномірністю освітлення. Компонента  $R(x, y)$  - це корисний сигнал, що визначається відбивною здібністю об'єкту. Таким чином

$$I(x, y) = I_0(x, y) \cdot R(x, y),$$

де  $x, y$  - просторові координати пікселей зображення,  $I$  - інтенсивність сигналу зображення.

Компонента  $I_0(x, y)$  утворюється із низькочастотних просторових складників. Компонента  $R(x, y)$  багата деталями та знаходиться в області більш високих просторових частот. В зображеннях, які обробляються рівень мультиплікативної завади дуже високий, що

відбувається через нерівномірне освітлення зображень ТВЗ.

Перспективним методом поліпшення якості зображень і усунення мультиплікативної завади є просторове автоматичне регулювання підсилювання (ПАРП). На вхід регулюючого елементу (РЕ) поступає рядок зображення. Коефіцієнт підсилювання РЕ змінюється у відповідності зі значеннями керуючої напруги. Опорне значення інтенсивності визначалось як головний максимум гістограми характерного фрагменту. Пристрій усереднення (ПУ) визначає середнє значення інтенсивності в околі пікселя, що оброблюється. Так як об'єм околу вибирається набагато більше за товщину символа, на виході ПУ буде локальна оцінка фону. У відповідності з різницею між локальною і глобальною оцінками фону буде відбуватися зміна коефіцієнту підсилювання РЕ. В результаті фон в кожному локальному фрагменті буде прямувати до головного максимуму варіаційного ряду зображення (до глобальної оцінки фону). Дослідження реальних сигналів дозволяє усунути в процесі обробки завади типу "світло-чорна" або "біла" пляма). Для цього нами використовується операція рангового зрізу для всіх об'єктів, які по яскравості перевищують раніше визначений динамічний діапазон символів, що виділяються.

## 3. БІНАРИЗАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Заводстійка бінаризація зображень проводилась на базі групової узгодженої обробки в просторі перетворення Гільберта. Для підвищення швидкодії здійснено перехід від "плаваючої" обробки до групової. Існуючі методи і алгоритми для виділення контурів використовують "плаваючу" обробку, тобто після обробки поточного фрагменту відбувається зсув на 1 піксель та обробка повторюється. В даній роботі відбувається зсув на один фрагмент, що дозволяє підвищити швидкодію не менш, ніж в 4 рази. Замість традиційної двохмірної обробки здійснюється одомірна по рядках, що також дозволяє значно підвищити продуктивність операції виділення контурів. Об'єм фрагмента був вибраний виходячи з вимог до розрізняювальної здатності, заводстійкості, швидкодії і результатів досліджень зорового аналізатору, та дорівнює 4. Для підвищення розрізняювальної здатності необхідно підкреслити перепад інтенсивності. При підкресленні контурів використовувалось пофрагментне дискретне перетворення Гільберта (ДПГ), тому що воно достатньо ефективно підкреслює контури, має високу у порівнянні з операцією диференціювання заводстійкість, не змінює дисперсію шуму, зближує ідеальний і затягнений перепади. Пофрагментне

ДПГ інтерпретуємо як лінійну неказуальну згортку фрагменту, що оброблюється з матрицею

$$H_D = \begin{pmatrix} -2^m & -2^0 & -2^{-1} & -2^{-2} \\ 2^0 & -2^m & -2^0 & -2^{-1} \\ 2^{-1} & 2^0 & 2^m & -2^0 \\ 2^{-2} & 2^{-1} & 2^0 & 2^m \end{pmatrix},$$

де  $m=6$ .

Для підвищення завадостійкості операції виділення контурів використовувались методи теорії статистичних рішень і узгодженої фільтрації. Для фрагменту об'ємом  $n=4$  можливі наступні варіанти форми перепаду інтенсивності:

$$S_1 = \{0001\}; S_2 = \{0011\}; S_3 = \{0111\}; S_4 = \{1000\}; \\ S_5 = \{1000\}; S_6 = \{1100\}; S_7 = \{1110\}; S_8 = \{0000\}.$$

Моделі еталонних фрагментів рядка зображення визначаються таким чином

$$I = a_0 + a_1 S_k, \quad k = 1, \dots, 8,$$

де  $a_0$  - рівень фону;  $S_k$  - еталонний сигнал;  $a_1$  - коефіцієнт. Оцінка параметрів здійснюється за критерієм найменшої середньоквадратичної похибки, що приводить до виразу

$$\hat{a}_0 E_1 + \hat{a}_1 E_{1s_k} = Z_k;$$

$$\hat{a}_0 E_{1s_k} + \hat{a}_1 E_{s_k} = Z_1$$

Тут  $E_1$  - енергія одиначної функції в просторі ДПГ,  $E_{s_k}$  - енергія сигналу  $S_k$  в просторі ДПГ,  $\hat{\eta}$  - ДПГ одиначної функції;

$$Z_1 = \sum_{i=1}^n \hat{\eta}(i) I_2(i); Z_k = \sum_{i=1}^n \hat{S}_k(i) I_2(i); E_1 = \\ = \sum_{i=1}^n \hat{\eta}^2(i); E_{1s_k} = \sum_{i=1}^n \hat{\eta}(i) \hat{S}_k(i); E_{s_k} = \sum_{i=1}^n \hat{S}_k^2(i).$$

Вирішувальне правило при цьому має вигляд:

$$\hat{a}_0 Z_1 + \hat{a}_1 Z_k > \frac{\hat{a}_0^2}{2} E_1 + \frac{\hat{a}_1^2}{2} E_{s_k} + \hat{a}_0 \hat{a}_1 E_{1s_k}$$

Правило вибору рішення:

$$D_k(a_1, a_0) \geq \max\{\hat{a}_1 Z_i + \hat{a}_0 Z_1 - \Pi_i > 0\},$$

$$k = [1, 8], i \in [1, 8],$$

де  $D_k(a_1, a_0)$  - рішення про наявність на вході сигналу  $a_1 S_k$  з фоном  $a_0$ .

Дія флуктуаційної завади приводить до появи збійних пікселів в бінаризованому зображенні. Медіанна фільтрація є найбільш ефективним методом боротьби з такою завадою і полягає в заміні інтенсивності пікселя, що оброблюється, медіанним значенням варіаційного ряду в околі цього елемента. При реалізації медіанної фільтрації в просторі рішень відпадає необхідність в побудові варіаційного ряду, що складає основний об'єм обчислювальних витрат. Виявляється достатнім додавати члени ковзаючого вікна і перевіряти умови

$$I_i = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^{N_s} I_i > \frac{N_s}{2} \\ 0, & \sum_{i=1}^{N_s} I_i < \frac{N_s}{2} \end{cases}$$

Тут  $N_s$  - об'єм околу пікселя, який оброблюється. В результаті експериментів в ролі околу було вибрано вікно  $[3 \times 3]$ . Результати обробки характерного фрагменту зображення ТВЗ з медіанною обробкою в просторі рішень приведені на рис.2.



Рис.2. Бінаризований характерний фрагмент

#### 4. СЕГМЕНТАЦІЯ СИМВОЛІВ

Розроблено також метод сегментації символів за допомогою кореляційної функції в просторі рішень. Метою сегментації є виділення зображень окремих символів зображення. Це дозволяє докорінно скоротити об'єм інформації, що обробляється, і зменшити обчислювальні витрати, на класифікацію символів. При кореляційному методі сегментації здійснюється плоскопаралельне зміщення маски по зображенню, що обробляється та підрахунок пікселів, що співпадають. Взаємне положення маски і символу, для якого кількість таких збігів максимальне, приймається за реальне положення символу, який треба розпізнати. В околицях максимуму відбувається адаптація розмірів маски до розміру символу, який оброблюється. За результатами адаптації проводиться обчислення розмірів нормалізованого сегменту. Ці розміри визначаються як медіанні значення висоти та ширини всіх сегментів. Завершальним етапом є "вписування" зображення символу у нормалізований сегмент. Результати сегментації бінаризованого характерного фрагменту приведені на рис.3



Рис.3. Результати сегментації

## 5. КЛАСИФІКАЦІЯ СИМВОЛІВ

У ролі базового метода класифікації був вибраний статистичний метод стохастичної геометрії. Цей метод має цілий ряд корисних для вирішення цієї задачі властивостей:

- результат розпізнавання не залежить від кута повороту і зміщення об'єкту в полі зору;
- метод стійкий до локальних дефектів зображень об'єктів (невеликі розриви, зернистість фону);
- відносно невеликі обчислювальні витрати.

Вади методу - залежність від масштабу зображень символів та від розмірів виділеного сегменту.

Процес розпізнавання починається зі сканування зображення об'єктів. Вибрано сканування випадково орієнтованими і випадково розташованими в полі зображення відрізками прямої фіксованої довжини. В ролі ознак форми використовується кількість одно-, дво- і трьохразових перетинів відрізка прямої с символом. Для того, щоб забезпечити інваріантність методу до зміни масштабу, вирішено застосовувати нормовані довжини скануючого відрізка в відповідності з розмірами сегменту. Ця довжина визначалась як середнє геометричне лінійних розмірів сегменту.

Геометричні розміри сегментів можуть змінюватись в межах одного надпису внаслідок впливу завад, кривизни циліндричної поверхні ТВЗ і геометричних характеристик конкретного символу. Для того, щоб усунути залежність довжини скануючого відрізка від характеристик сегменту, запропоновано використовувати нормалізовані розміри сегменту.

Для підвищення завадостійкості вектора ознак запропоновано проводити медіанну обробку в просторі рішень в напрямку відрізка сканування. В цьому випадку вдається усунути вплив одиничних збійних пікселей на вектор ознак. Об'єм околу для медіанної фільтрації було вибрано за результатами машинних експериментів (3x3). При більших об'ємах околу знижується розрізнявальна здатність методу.

В ролі інтегрального критерію для оцінки завадостійкості системи розпізнавання символів була використана ймовірність ложної тривоги і ймовірність правильного розпізнавання символів. В ході машинного експерименту були оброблені 50 зображень ТВЗ, які включають в себе більш ніж 400

символів. Під ложної тривоги розумілась ймовірність розпізнавання завади як символу.

Ймовірність правильного розпізнавання у робочому діапазоні відношень сигнал/завада не менш ніж 0,96 при ймовірності ложної тривоги не більш ніж 0,002.

При класифікації символів надпису, крім результатів додаткового сканування для пар символів 6 и 9, 2 и 5, слід використовувати інформацію про положення символів в надпису. Так, наприклад, в надпису на ТВЗ на третій позиції може бути тільки цифра. Ця інформація допоможе підвищити ймовірність правильного розпізнавання при наявності в цій позиції цифри 0 (в окремому випадку вона може бути схожа на букву Д). Крім того, в банку даних є лічена кількість варіантів маркіровки ТВЗ. Вибираючи з нього найбільш до розпізнаного надпису, можна довести ймовірність правильного розпізнавання практично до 1.

## ВИСНОВКИ

На базі єдиного методу розроблені проблемно-орієнтовані програмно-апаратні комплекси, що забезпечують попередню обробку сигналів зображень, зниження рівня завад, поліпшення якості зображень, зниження зайвності зображень, визначення ознак форми, мінімізацію ознакового простору і класифікацію об'єктів розпізнавання.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. *Распознавание и цифровая обработка изображений*. - М.: Высшая школа, 1983. - 256 с.
2. Розенфельд А. *Машинное зрение: Основные принципы* // ТИИЭР. Т.76. - 1988. - №8. - С.10-17.
3. Горелик А.А., Скрипкин В.А. *Методы распознавания*. - М.: Высш. школа, 1989. - 232 с.
4. *Распознавание, классификация, прогноз*. Ежегодник. Вып.2. - М.: Наука, 1989. - 301 с.
5. Крылов В.Н., Максимов М.В. *Вторичные преобразователи сигналов изображений*. - Одесса, Астропринт, 1997. - 176 с.
6. Крылов В.Н., Максимов М.В. *Помехоустойчивая бинаризация изображений методом групповой согласованной обработки*. - Межвузовский журнал "Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы." - Херсон, 1998, №1. - С.52-58.