

КОНСТРУЮВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА РАДІОАПАРАТУРИ

УДК 621.395

Антощук Світлана, Крилов Віктор, Максимов Максим

Одеський державний політехнічний університет

ЗАВАДОСТІЙКЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ МАРКУВАННЯ ТЕПЛОВИДІЛЬНИХ ЗБОРОК

© Антощук Світлана, Крилов Віктор, Максимов Максим, 2000

Розроблено проблемно-орієнтований програмно-апаратний комплекс. Вирішені питання попередньої обробки сигналів зображень тепловидільних зборок (ТВЗ), завадостійкої бінаризації зображень, виявлення характерного фрагмента з написом, зниження рівня завад, поліпшення якості зображень, сегментації, нормування і класифікації символів.

Hardware and software specialized system is designed. The system consists of previous processing, noisestability binarization, feature fragment detection, noise level reducing, image quality impouving, symbol normalization and modul classification.

Сьогодні на АЕС використовується система керування машиною перевантажувальною (СКМП) для проведення ядерно-небезпечних робіт. Вона призначена для заміни тепловидільних зборок (ТВЗ). У відділенні перевантаження встановлена система промислового телебачення, за допомогою якої оператор ідентифікує номер ТВЗ і згідно з цим перевантажує ТВЗ у строго визначене місце. Для системи промислового телебачення характерний високий рівень як адитивних, так і мультиплікативних завад.

Втомлення операторів перевантажувальної машини та високий рівень завад призводить до неправильної ідентифікації номера ТВЗ, що при виконанні ядерно-небезпечних робіт є неприпустимим. Тому виникла необхідність створення автоматизованої системи читання номерів ТВЗ. До комплексу оброблення та розпізнавання маркування ставились такі вимоги: швидкодія (час обробки кадра не повинен перевищувати 60 секунд), завадостійкість (система має бути роботоздатною при відношенні сигнал/завада 2 (за потужністю)), інваріантність до масштабу символів (ТВЗ можуть знаходитися на різній відстані від давача), інваріантність до повороту (напис нанесений на циліндричну поверхню ТВЗ), інваріантність до зсуву у полі зору.

1. СТРУКТУРА СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ. У даній роботі для розв'язання цієї задачі використовувалось кореляційно-екстремальне розпізнавання у просторі рішень. З виходу телевізійного давача зображення надходить на аналогово-цифровий перетворювач і у цифровому вигляді зберігається на час обробки у кадровому нагромаджувачі. Після цього виділяють характерний фрагмент зображення або фрагмент з написом. Попередня обробка поліпшує якість зображення та зменшує вплив завад.

Далі проводиться бінаризація зображень символів, яка значно скорочує обсяг відеоінформації, що обробляється. Бінаризоване зображення підлягає сегментації, маркувальний напис поділяється на окремі символи. Потім визначаються ознаки геометричної форми символів. За цими ознаками класифікують символи.

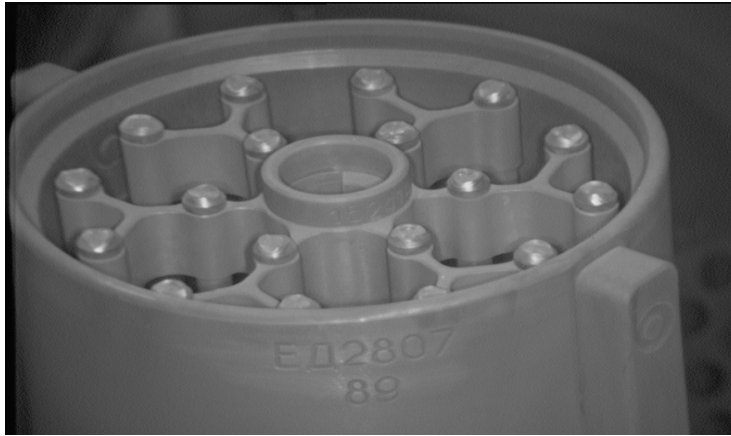


Рис. 1. Зображення тепловидільних зборок.

Під характерним фрагментом розуміють фрагмент з написом на зображенні ТВЗ. Використання операції виділення області маркування та характерного фрагмента дає змогу значно зменшити обсяг інформації, яка обробляється. Корисна інформація є світлим або темним зображенням символів на сірому фоні. Існуючі методи фрагментації зображень недієздатні при робочому діапазоні відношення сигнал/завада 2-5 (за потужністю) системи розпізнавання символів, яка розробляється [1-4]. Аналіз зображень, які обробляються, показав, що взаємне розташування ділянки маркування та верхньої частини головки циліндра міцно зв'язані. Тому доцільно на зображенні ТВЗ виділити цю висококонтрастну деталь та, використовуючи одержані відомості про її координати і апріорні відомості про взаємне розташування цієї деталі та напису, визначити орієнтовно ділянку, де сходиться маркування (ділянку маркування). Потім ділянку маркування можна звузити та отримати з неї фрагмент з написом (характерний фрагмент). Для виділення на зображенні ТВЗ верхньої частини головки циліндра достатньо використовувати бінаризоване зображення ТВЗ. Через високий рівень адитивних завад виникають значні викривлення, тому використовувалася завадостійка бінаризація зображень, розроблена авторами [5,6].

Ділянка маркіровки менша, ніж зображення ТВЗ, в 10-15 разів. Однак цей обсяг ще можна зменшити при подальшій обробці – виділенні характерного фрагмента. Для цього проводиться бінаризація цієї ділянки. Характерний фрагмент являє собою кластер значущих пікселів. Границі цього кластера визначають характерний фрагмент. В результаті такої обробки вдалося знизити обсяг 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'єкта, 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 здатністю об'єкта. Отже

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

де x, y – просторові координати пікселів зображення, I – інтенсивність сигналу зображення.

Компонента $I_0(x, y)$ утворюється із низькочастотних просторових складників. Компонента $R(x, y)$ має багато деталей та знаходиться в області вищих просторових частот. У зображеннях, які обробляються, рівень мультиплікативної завади дуже високий через нерівномірне освітлення зображень ТВЗ.

Перспективним методом поліпшення якості зображень і усунення мультиплікативної завади є просторове автоматичне регулювання підсилювання (ПАРП). На вхід регулювального елемента (РЕ) надходить рядок зображення. Коефіцієнт підсилення РЕ змінюється відповідно до значення керуючої напруги. Опорне значення інтенсивності визначалось як головний максимум гістограми характерного фрагмента. Пристрій усереднення (ПУ) визначає середнє значення інтенсивності в околі піксела, що обробляється. Оскільки окіл вибирається набагато більшим за товщину символу, на виході ПУ буде локальна оцінка фону. Відповідно до різниці між локальною і глобальною оцінками фону буде змінюватись коефіцієнт підсилення РЕ. У результаті фон у кожному локальному фрагменті буде прямувати до головного максимуму варіаційного ряду зображення (до глобальної оцінки фону). Дослідження реальних сигналів дає змогу усунути в процесі обробки завади типу “світло-чорна” або “біла” пляма. Для цього нами використовується операція рангового зрізу для всіх об’єктів, які за яскравістю перевищують раніше визначений динамічний діапазон символів, що виділяються.

3. БІНАРИЗАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ. Завадостійка бінаризація зображень проводилася на базі групової узгодженої обробки у 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 фрагмента відбувається зсув на один піксел та обробка повторюється. У даній роботі відбувається зсув на один фрагмент, що дає змогу підвищити швидкодію не менш ніж в чотири рази. Замість традиційної двовимірної обробки здійснюється одновимірною по рядках, що також дозволяє значно підвищити продуктивність операції виділення контурів. Розмір фрагмента був вибраний на основі роздільної здатності, завадостійкості, швидкодії та результатів досліджень зорового аналізатора, та дорівнює 4. Для підвищення роздільної здатності необхідно підкреслити перепад інтенсивності. Підкреслюючи контури, використовували пофрагментне дискретне перетворення Гільберта (ДПГ), тому що воно достатньо ефективне, має високу порівняно з операцією диференціювання завадостійкість, не змінює дисперсію шуму, зближує ідеальний та затягнений перепади. Пофрагментне ДПГ інтерпретуємо як лінійну неказуальну згортку фрагмента, що обробляється, з матрицею

$$H_{\mathcal{F}} = \begin{vmatrix} -2^m & -2^0 & -2^{-1} & -2^{-2} \\ 2^0 & -2^m & -2^0 & -2^{-1} \\ 2^{-1} & 2^0 & 2^m & -2^0 \\ 2^{-2} & 2^{-1} & 2^0 & 2^m \end{vmatrix},$$

де $m=6$.

Для підвищення завадостійкості операції виділення контурів використовувались методи теорії статистичних рішень і узгодженої фільтрації. Для фрагмента розміром $n=4$ можливі такі варіанти форми перепаду інтенсивності:

$$S_1 = \{0001\}; S_2 = \{0011\}; S_3 = \{0111\}; S_4 = \{1000\}; \\ S_4 = \{1000\}; S_5 = \{1100\}; S_6 = \{1110\}; S_0 = \{0000\}.$$

Моделі еталонних фрагментів рядка зображення визначаються так:

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

де a_0 – рівень фону; S_k – еталонний сигнал; a_1 – коефіцієнт. Оцінюють параметри за критерієм найменшої середньоквадратичної похибки, що приводить до виразу

$$\hat{a}_0 E_I + \hat{a}_1 E_{IS_k} = Z_k;$$

$$\hat{a}_0 E_{IS_k} + \hat{a}_1 E_{S_k} = Z_1$$

де E_I – енергія одиничної функції у просторі ДПГ, E_{S_k} – енергія сигналу S_k у просторі ДПГ, $\hat{\eta}$ – ДПГ одиничної функції;

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

Вирішувальне правило має вигляд: $\hat{a}_0 Z_1 + \hat{a}_1 Z_k > \frac{\hat{a}_0^2}{2} E_I + \frac{\hat{a}_1^2}{2} E_{S_k} + \hat{a}_0 \hat{a}_1 E_{IS_k}$

Правило вибору рішення:

$$D_k(a_1, a_0) \geq \max\{(\hat{a}_1 Z_i + \hat{a}_0 Z_1) - n_i > 0\}, \\ k = [1, 8], i \in [1, 8],$$

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

Дія флуктуаційної завади призводить до появи збійних пікселів у бінаризованому зображенні. Медіанна фільтрація є найефективнішим методом боротьби з такою завадою і полягає в заміні інтенсивності піксела, що оброблюється, медіанним значенням варіаційного ряду в околі цього елемента. Якщо медіанна фільтрація реалізується, у просторі розв'язань зникає необхідність у побудові варіаційного ряду, що становить основний обсяг обчислювальних витрат. Достатньо додавати члени ковзного вікна і перевіряти умови

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

Тут N_S – окіл піксела, який обробляється. У результаті експериментів як окіл було вибрано вікно [3x3]. Результати обробки характерного фрагмента зображення ТВЗ з медіанною обробкою у просторі розв'язань наведені на рис.2.

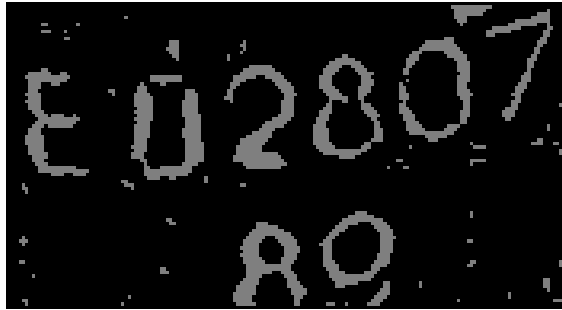


Рис.2. Бінаризований характерний фрагмент.

4. СЕГМЕНТАЦІЯ СИМВОЛІВ. Розроблено також метод сегментації символів за допомогою кореляційної функції в просторі розв'язань. Метою сегментації є виділення окремих символів зображення. Це дає змогу докорінно скоротити обсяг інформації, що обробляється, і зменшити обчислювальні витрати на класифікацію символів. У кореляційному методі сегментації здійснюється плоскопаралельне зміщення маски по зображенню, що обробляється, та підрахунок пікселів, що збігаються. Взаємне розташування маски і символу, для якого кількість таких збігів максимальна, приймається за реальне розміщення символу, який треба розпізнати. В околах максимуму розміри маски адаптуються до розміру символу, який обробляється. За результатами адаптації відзначають розміри нормалізованого сегмента як медіанні значення висоти та ширини всіх сегментів. Завершальним етапом є "вписування" зображення символу у нормалізований сегмент. Результати сегментації бінаризованого характерного фрагмента наведені на рис.3.

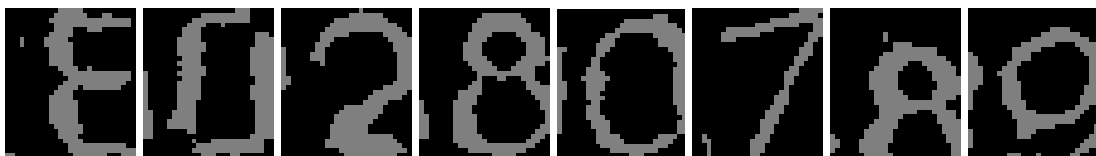


Рис.3. Результати сегментації

5. КЛАСИФІКАЦІЯ СИМВОЛІВ. Як базовий метод класифікації був вибраний статистичний метод стохастичної геометрії. Цей метод має цілий ряд корисних для розв'язання цієї задачі властивостей:

- результат розпізнавання не залежить від кута повороту і зміщення об'єкта 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 сегмента, які виділено.

Розпізнавання починається зі сканування зображення об'єктів. Вибрано сканування випадково орієнтованими і випадково розташованими в полі зображення відрізками прямої фіксованої довжини. У ролі ознак форми використовується кількість одно-, дво- и

триразових перетинів відрізка прямої з символом. Для того, щоб забезпечити інваріантність методу до зміни масштабу, вирішено застосовувати нормовані довжини сканувального відрізка відповідно до розмірів сегмента. Ця довжина визначалась як середнє геометричне лінійних розмірів сегмента.

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

Для підвищення завадостійкості вектора ознак запропоновано проводити медіанну обробку у просторі розв'язань у напрямку відрізка сканування. У 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 розмірах околу знижується розрізнявальна здатність методу.

Як інтегральний критерій для оцінки завадостійкості системи розпізнавання символів були використані ймовірність хибної тривоги і ймовірність правильного розпізнавання символів. У ході машинного експерименту були оброблені 50 зображень ТВЗ, які містять більш ніж 400 символів. Під хибною тривоною розуміли ймовірність розпізнавання завади як символу.

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

Класифікуючи символи напису, крім результатів додаткового сканування для пар символів 6 і 9, 2 і 5, необхідно використовувати інформацію про положення символів у напису. Так, наприклад, у напису на ТВЗ на третій позиції може бути тільки цифра. Ця інформація допоможе підвищити ймовірність правильного розпізнавання за наявності в цій позиції цифри 0 (в окремому випадку вона може бути схожа на букву Д). Крім того, в банку даних є певна кількість варіантів маркування ТВЗ. Вибираючи з нього найближчий до розпізнаного напису, можна довести ймовірність правильного розпізнавання практично до 1.

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

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