

**ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТУ ТИПУ „ТРИЩИНА” ЗА ЗОБРАЖЕННЯМ
В ОПТИЧНОМУ ДІАПАЗОНІ**

АНОТАЦІЯ. Розглядається задача визначення дефекту типу „тріщина” в оптичному діапазоні. Детально розглянуто етап відокремлення основного зображення дефекту від сторонніх шумів та фону за рахунок використання визначеної послідовності математичних фільтрів із застосуванням характерних ознак дефекту даного типу з врахуванням наявності корозії на поверхні об’єкта дослідження.

Ключові слова: зображення, фон, дефект, корозія, фільтр, яскравість, тон.

АННОТАЦИЯ. Рассматривается задача определения дефекта типа «трещина» в оптическом диапазоне. Детально рассмотрен этап отделения основного изображения дефекта от посторонних шумов и фона за счет применения определенной последовательности математических фильтров с применением характерных признаков дефекта данного типа и учетом наличия коррозии на поверхности исследования.

Ключевые слова: изображение, фон, дефект, коррозия, фильтр, яркость, тон.

SUMMARY. The research of process of serve of concrete mixture is examined by the bunker devices of betonoformueuchikh aggregates, which allows to define the rational mode of effluence of mixture from a bunker at forming superficial sliding vibroshtampami.

Keywords: betonoformuyuchiy aggregate, bunker, sliding vibroshtamp, viscosity, effective acceleration.

Вступ

Сьогодні особлива увага приділяється методам активного неруйнівного контролю, сутність яких полягає в аналізі динаміки зміни технічного стану будівельних машин, механізмів, обладнання і споруд та в його прогнозуванні, виявленні і класифікації дефектів різного типу.

Розглянемо процес визначення дефектів типу „тріщина” у будівельних конструкціях та обладнанні з точки зору процесу фільтрації зображення у видимому спектрі web-камери. Традиційно така задача фільтрації розбивається на два етапи [1, 3, 5]:

I етап – обробка зображення з метою визначення аномалій відносно зображення, що не містить дефект. У випадку виявлення аномалій, що можна вважати суттєвими, виконується другий етап фільтрації;

II етап – класифікація виявленого дефекту за заданою системою ознак, що його характеризують.

Актуальність задачі, що розглядається, визначається тим, що за наявності ефективних математичних фільтрів для розпізнання зображень дефектів структури середовища

у якому вони з’являються, можна проводити моніторинг дефектів для широкого класу зображень з врахуванням особливостей матеріалу самого об’єкта (від скла до бетону для будівельних споруд, і до тріщин у металі на робочих конструкціях будівельних машин або обладнанні), та різних середовищах (на будівельних майданчиках, чи під водою для відстеження стану опор мостів). За рахунок ефективності фільтрів та певної послідовності їх застосування відпадає необхідність працювати з високоякісними зображеннями і можна обмежитись досить дешевим засобом їх фіксації, таких як web-камери.

Постановка задачі

В даній роботі детально розглянемо перший етап – відокремлення дефекту від сторонніх шумів, який можна представити, як послідовність наступних підетапів:

- визначення на зображенні сигналу з множини відомих форм на фоні адитивних нормальних шумів з нульовим середнім значенням;
- попередня очистка наявного зображення тріщини від імпульсних шумів;
- селекція контрастних ділянок;

- представлення знімка у каналах кольорів;
- уточнення локалізації тріщини;
- збільшення контурної різкості з наступною компоновкою крайових сегментів;
- виявлення видовжених об'єктів;
- визначення функції розходження країв.

При виборі базових математичних фільтрів будемо спиратись на ті, які дозволяють варіювати параметрами і придатні для побудови за їх основою адаптивного фільтра на базі нейронних мереж.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для випадків, якщо для ідентифікації дефекту неможливо застосовувати прототиби або, коли їх кількість є досить значною, доцільно виконувати класифікацію за основою системи ознак. В якості елементів порівняння використовуються ознаки об'єкта дослідження та еталона з врахуванням гістограми розподілу їх значень. За великої кількості можливих варіантів ознак та об'єктів застосовується ієрархічний алгоритм, де на нижніх рівнях перевіряються прості ознаки (наприклад, площа, радіуси вписаних та описаних еліпсів, кількість та розташування кутів) та на кожному наступному рівні число альтернатив зменшується.

Відшукання образів дефекту типу „тріщина” на спотвореному шумами та перешкодами зображенні однозначно визначається функцією передачі web-камери, яку будемо вважати відомою. Тоді задача зводиться до процедури ідентифікації на зображенні сигналу, що відповідає множині відомих форм на фоні адитивних шумів з нормальним законом розподілу та нульовим середнім значенням шляхом порівняння критеріальних параметрів можливого дефекту на зображенні з еталонами відповідного класу тріщин. Така процедура повинна бути адаптивною – враховувати параметри об'єкту дослідження та умови його експлуатації. Висновок стосовно визначення дефекту виноситься за найкращим співпаданням за заданим пороговим значенням. Якість визначення характеризується ймовірністю виконання умови наявності дефекту на зображенні, що аналізується.

Наступним кроком є необхідне попереднє очищення зображення тріщини від імпульсних шумів, властивих безпосередньо оптичному каналу, та ізольованих фонових елементів самого зображення, які, апіорі, не можуть бути тріщинами (локального забруднення, елементи конструкції і таке інше). Як відомо [3], досить ефективними фільтрами для усунення таких елементів на зображенні є двумірні медіанні фільтри.

Під двомірним медіанним фільтром розуміють операцію F над елементами зображення p_{ij} , яка виражається формулою

$$p''_{km} = Fp_{km} = \sum_{j=-M_1}^{M_2} \sum_{i=-N_1}^{N_2} F_{ij} p_{k+i, m+j}, \quad (1)$$

де N_1, N_2, M_1, M_2 – задають розміри „вікна” фільтра з незалежними від p_{ij} ваговими коефіцієнтами матриці F_{ij} . Для забезпечення збереження загального рівня сигналу накладають умову:

$$\sum_{j=-M_1}^{M_2} \sum_{i=-N_1}^{N_2} F_{ij} = 1. \quad (2)$$

Дефектні елементи виключаються з розгляду за наступним правилом:

$$\tilde{F}_{ij} = \begin{cases} F_{ij}, & \text{якщо } p_{ij} - \text{робочий елемент} \\ 0, & \text{якщо } p_{ij} - \text{дефектний елемент} \end{cases}$$

при цьому сума всіх елементів повинна дорівнювати одиниці, для цього виконується нормування:

$$F'_{ij} = \frac{\tilde{F}_{ij}}{\sum_{j=-M_1}^{M_2} \sum_{i=-N_1}^{N_2} \tilde{F}_{ij}}. \quad (3)$$

Недоліком застосування медіанних фільтрів є збільшення ступеня розмитості границь областей, але цей недолік може бути легко усунений за допомогою селекції контрастних ділянок фільтрами диференціювання, для яких виконується більш слабе розмиття. Вважається, що шум має нормальний закон розподілу і для реалізації диференціального фільтра використовується лапласіан, побудований на різниці вихідного фільтра та фільтра розмиття, який застосовується для подавлення шумів та заміщення дефектних елементів матриці.

Специфікою множини знімків, що обробляються, є однакова орієнтація дефекту

„тріщина”, що дає можливість точно визначити параметри однорідного фону, як середнє за однопіксельною рамкою зображення, за наступною формулою

$$p(\text{фон}) = \frac{\left(\sum_{i=1}^n p(i,1) + \sum_{i=1}^n p(i,m) + \sum_{i=1}^n p(1,j) + \sum_{i=1}^n p(n,j) \right)}{(n+m)}, \quad (4)$$

де n – кількість рядків, m – кількість стовпчиків у піксельному представленні знімка, $p(*,*)$ – координатний розподіл функції (тон насичення, яскравість).

Особливо відзначимо, що даний алгоритм не передбачає півтоновості зображення і його можна застосовувати безпосередньо до вихідного кольорового зображення заданого класу.

В більшості випадків експлуатації будівельних машин та споруд відомі і процеси виникнення корозій можуть бути змодельовані, а процеси росту плівок окису на поверхні лужних і лужноземельних металів класично лінійні від часу (рис. 1).

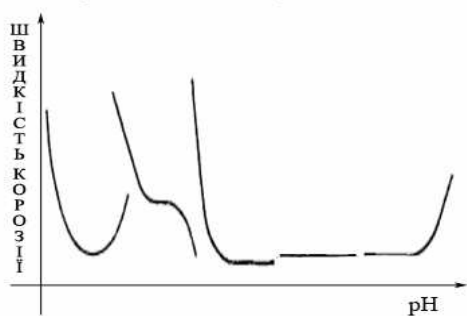


Рис. 1 Графіки залежності швидкості росту плівок від окислення

Корозійний вплив, рівномірно розподілений по поверхні об'єкта, проходить за приблизно однаковою швидкістю по всій його поверхні при цьому корозія є місцевою відносно зображення. Компенсування впливу корозії є необхідною процедурою обробки зображення можливої тріщини, так як наявність корозійного матеріалу маскує ефективний розмір тріщини і робить неможливим визначення динаміки розповсюдження в'язкої тріщини – повільного роз-

повсюдження дефекту, яке супроводжується значною пластичною деформацією. Корозійний ефект може змінюватись у часі і бути не однаковим в усіх точках кородуючої поверхні. Отже, образи корозії повинні супроводжуватись інформацією про тип часової залежності і локалізації результату дії корозії.

Знаючи параметри фонового слою зображення дефекту та параметри самого матеріалу конструкції, безпосереднім відніманням з гістограми цих значень та представленням знімка у каналах кольорів, фільтрується зображення корозії шляхом віднімання градієнтної маски за насиченістю кольору. Така процедура є ефективною, так як маска для випадку „тріщина” має характерний вигляд (рис. 2)



Рис. 2 Зміна градієнта яскравості або кольору дефекту „тріщина”

Уточнена локалізація тріщини виконується за рахунок представлення її у вигляді концентричних подовжених подібних фігур в межах яких колір та інтенсивність є постійними величинами із заданою точністю. Внутрішнє кільце сегментує накладання тріщини, краї якої традиційно уточнюються за допомогою алгоритму Кенні [6], який складається з наступних кроків:

- гауссівська згладжувальна фільтрація;
- визначення градієнта яскравості у кожному пікселі;
- знаходження пікселів з максимальними значеннями;
- гістерезисна фільтрація максимальних пікселів.

Якщо площа першого контуру визначається як:

$$S_1 = \sum_{j,i} S(i,j) \left\{ \left(S(i,j) = 1, p(i,j) \in L_1 \right) \cap \left(S(i,j) = 0, p(i,j) \notin L_1 \right) \right\}, \quad (5)$$

де L_1 – множина точок першого контуру об'єкта, P_1 – периметр за зовнішньою границею першого контуру, то

$$S_i = S_{i-1} * (1+k)^2 \text{ і } P_i = P_{i-1} * (1+k), \quad (6)$$

де k – коефіцієнт поверхневого розповсюдження корозії.

На наступному кроці фільтрації зображень тріщини на будівельних об'єктах та обладнанні проводиться збільшення контурної різкості з наступною компоновкою крайових сегментів. Доцільність застосування саме цих методів на даному кроці обробки зображення обумовлена тим, що після попередньої обробки вихідного зображення його гістограми або яксравість-напівтон або яксравість за каналами кольорів може бути представлена як двомодова [4], де для класів зображень, що досліджуються, мода, яка відповідає дефекту представляється як композиція для випадків:

- безкорозійності – мода дефекту плюс мода країв (рис. 2);
- одного корозійного процесу – мода дефекту і сума мод корозії за каналами кольорів;
- n -корозійних процесів – мода дефекту та $3 \times n$ – мод корозії за каналами кольорів.

Наявність таких особливостей у класі зображень дефекту, що досліджується, дозволяє для компоновки крайових дефектів застосувати ефективне перетворення Хафа [7].

Для ефективного застосування перетворення Хафа:

$$\text{mod}(p_{ij}) \rightarrow \text{mod}(p_{ij})^\alpha, \quad \alpha \geq 2 \quad (7)$$

$$\gamma_* = \max \left\{ \bigcap_{i=1}^n [\mu_{X_i} - \gamma\sigma_{X_i}, \mu_{X_i} + \gamma\sigma_{X_i}] = \emptyset \right\}_\gamma;$$

$$\mu_{X_i} = \frac{1}{|X_i|} \sum_{j=1}^{|X_i|} (p_j \in X_i); \quad (8)$$

$$\sigma_{X_i} = \frac{1}{|X_i|} \sqrt{\sum_{j=1}^{|X_i|} (\mu_{X_i} - (p_j \in X_i))^2}.$$

необхідно провести корекцію яксравості і контрастності зображень.

При перетворенні та дискретизації гістограми яксравості (канальної яксравості для

формату RGB) крок відліку визначається на основі теореми Нейквіста:

$$\Delta = \frac{1}{2} \min |\sigma_{X_i}|, \quad (9)$$

де X_i – мода, що відповідає γ_* .

Побудована таким чином сегментація зображення, яке може містити дефект типу „тріщина”, дозволяє застосувати алгоритм розрахунку класифікуючої якісної ознаки цього дефекту – а саме, побудувати структуру градієнтних полів зображення. Якщо градієнтні поля мають вигляд, представлений на рис. 2, то на вихідному зображенні дефект типу „тріщина” дійсно присутній.

Заключним кроком першого етапу фільтрації зображення дефекту типу „тріщина” є:

- виявлення видовжених об'єктів, яке виконується за модифікованим алгоритмом описаного прямокутника,

$$L = i_{\max} - i_{\min}, \quad H = j_{\max} - j_{\min}, \quad (10)$$

де $i_{\max} = (\max(i), p(i, j) \in \text{int}(L_1))$;

$$i_{\min} = (\min(i), p(i, j) \in \text{int}(L_1));$$

$$j_{\max} = (\max(j), p(i, j) \in \text{int}(L_1));$$

$$j_{\min} = (\min(j), p(i, j) \in \text{int}(L_1)),$$

де $\text{int}(L_1)$ – частина області, обмеженої контуром L_1 . Об'єкт, що знаходиться у побудованому прямокутнику виділяється, якщо:

$$\left| \frac{i_{\max} - i_{\min}}{j_{\max} - j_{\min}} \right| > 1 + \varepsilon, \quad (11)$$

де ε – заданий поріг;

- визначення для кожного виявленого об'єкта еліпса локалізації дефекту з мінімальною площею, що здійснюється наступним чином:

$$a_{\max} = r(x, y_{\max}), \quad b_{\min} = r(x, y_{\min}), \quad (12)$$

де $I = \sum_i^j i \times S(i, j) / \sum_i^j S(i, j)$;

$Y = \sum_i^j j \times S(i, j) / \sum_i^j S(i, j)$;

$$r(i, j) = \sqrt{(i - I)^2 + (j - Y)^2},$$

$p(i, j) \in P_1$ – точки периметра за внутрішньою границею першого контуру,

a_{\max} – велика піввісь описаного еліпса,

b_{\min} – менша піввісь описаного еліпса

Півосі еліпса визначаються з умови $\max b \in [b_{\min}, a_{\max}]$,

$$\{P_1 \cap (\text{еліпс з піввісями}(a_{\max}, b) \neq \emptyset)\} \\ \{\text{int}(L_1) \subseteq (\text{еліпс з піввісями}(a_{\max}, b))\};$$

- на основі визначеного еліпса локалізації побудова середньої лінії (одно- або дволанцюгової на ранніх етапах утворення дефекту);
- визначення функції розходження країв.

Висновки та перспективи

Побудований таким чином алгоритм визначення наявності дефекту типу „тріщина” для даного класу зображень є конструктивним, складається з послідовності незалежних методів обробки зображень, може бути програмно реалізований (наприклад, бібліотека інструментів середовища Matlab містить всі необхідні функції) і допускає отримання кількісної оцінки ефективності його застосування на основі кореляційного порівняння вихідного зображення із зображенням, отриманим методом реконструкції на базі еталонного зображення середовища (матеріалу) у якому спостерігається дефект, з компонуванням синтезованої тріщини на основі і отриманих розрахункових параметрів.

Запропонований алгоритм може бути покладений в основу побудови адаптивного фільтра в межах інтелектуальних інформаційних технологій визначення дефекту типу „тріщина” за зображенням в оптичному діапазоні.

Література

1. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
2. Демидов В.М., Поляков А.Ю. Алгоритм пространственной стабилизации изображения // Научная сессия МИФИ-2007, Том 1, – 2007, с. 93 – 94.
3. Клочко В.К., Ермаков А.А. Алгоритмы фильтрации и сегментации трехмерных радиолокационных изображений поверхности // Автометрия – 2002 - №5
4. Серпенинов О.В., Самойлин Е.А. Нейропрограммный алгоритм предварительной обработки изображений в условиях шумов // Программные продукты и системы – 2003 - №2
5. Соломатин И.И. Обзор методов предварительной обработки тоновых изображений для распознавания искусственных объектов // Приборостроение – 1996 - №7
6. Canny J A computational approach to edge detection IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.- 1986.- Vol. 8, no. 6.- Pp. 679-698.
7. Olivier Ecabert, Jean-Philippe Thiran "Adaptive Hough transform for the detection of natural shapes under weak affine transformations" Pattern Recognition Letters (25), No. 12, September 2004, pp. 1411-1419.

Рецензент: В.М. Михайленко, д.т.н., проф.
(КНУБА)

Отримано: 24.04.2009р.