

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 620.179.680

О.В. Горда

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ МАГІСТРАЛЬНОЇ ТРІЩИНИ НА WEB- ЗОБРАЖЕННЯХ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА

Досліджено методи визначення магістральних тріщин на WEB-зображеннях об'єктів будівництва. Здійснено класифікацію топологій розгалужень тріщин. Описано алгоритм топологічного замикання магістральної тріщини.

Ключові слова: зображення, тріщина, апертура, точки кореня, розгалуження, тупики

Постановка та аналіз проблеми

Задача виділення магістральної тріщини на зображенні будівельних конструкцій і об'єктів є актуальною в силу широкомасштабного впровадження засобів оптико-електронного контролю, зокрема, на основі WEB-камер, в практику організації і ведення безпосередньо будівельних робіт, моніторингу технічного стану об'єктів в період експлуатації [1]. Сутність задачі визначення зводиться до аналізу прояву першопричин виникнення дефекту та динаміки її розвитку в конструкції за різних умов навантаження. Для вирішення поставленої задачі важливим аспектом є виділення магістральної тріщини, саме вздовж якої відбуваються процеси руйнування. Визначення її характеристик та напрямку розвитку дає можливість робити прогнози стосовно стану об'єкту моніторингу.

Магістральна тріщина за механізмом прояву має такі властивості [3]:

- у разі корозійного розтріскування або повільного вантаження проявляється як замикання сукупності малих тріщин;

- в часі проявляється як першооснова подальшого процесу руйнування з урахуванням розгалуження і збільшення розкриття та її присутності;

- є елементом зображення, за винятком фону, що представляє собою область максимальної площі;

- задає повну колірну модель зображення руйнування матеріалу конструкції.

Знаючи характеристики кольорів матеріалу конструкції, умови та характеристики середовища експлуатації, що вносять корективи в колірний простір зображення, на основі алгоритму колірного

доповнення можна виділити аномалії, які з великою ймовірністю можуть містити тріщину.

Наступним кроком є процедура визначення силуету тріщини та її локалізації на основі властивості неперервності (зв'язності) зображення тріщини, яка полягає у визначенні будь-якої точки, яка належить зображенню тріщини з подальшим приєднанням до неї усіх інцидентних точок за критерієм зв'язності з нею. Така процедура виконується на бінаризованому зображенні. В процесі виконання цієї процедури необхідно враховувати можливість розпаду зображення тріщини, яке може бути спричинене наступними факторами:

- маскуванню ділянок тріщини корозійними масами, забрудненням поверхні або колірно-світловим маскуванню зображення за рахунок перешкод тракту формування;

- порогом бінаризації зображення;

- величиною дискретизації тракту формування зображення;

- процесами мікророзтріскування на поверхні об'єкту в період формування просування тріщини (виникнення пульп в точці росту і у напрямку просування);

- умовами навантажень, в результаті дії яких можливі повторні ушкодження, нові центри утворення дефекту конструкцій.

Опишемо процедуру визначення магістральних тріщин на WEB-зображеннях будівельних конструкцій і споруд, що враховує перелічені чинники. Після локалізації аномалій на зображенні за рахунок колірної неперервності, маємо прозорий фон з розподіленими колірними областями-кластерами [2]. Далі виконується ранжування всіх кластерів за критерієм зменшення функції присутності, яку в даному випадку можна звести до функції сумарної подовженості об'єкту, де під

подовженістю мається на увазі мінімальна кількість апертур, необхідних для покриття його зображення. Оскільки розмір об'єктів скінченний і визначений матрицею дискретного представлення знімку, то для усіх компонент зв'язності і їх апертур існує мінімальна апертура, як одиниця кратності їх виміру, що виражає усі довжини компонент і забезпечує можливість за скінченну кількість кроків впорядкувати за спаданням всі величини або компоненти зв'язності зображення.

Зробимо уточнення апертур, що не перетинаються, та виконаємо їх класифікацію. Можливі варіанти топології апертур в околі $(.)T$ представлені на вкладках рис.1.1, 1.2, 1.3:

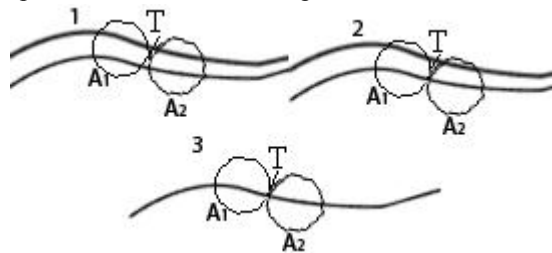


Рис.1. Структура топології апертур

– $(.)T$ не відокремлена від опуклої апертури A_1 і A_2 в топологічному сенсі і належить їх загальній границі;

– рис. 1.1 демонструє наявність в околі $(.)T$ топології чергування чотирьох областей, що послідовно є під областями апертури – фрагменту – апертури–фрагменту, причому $(.)T$ не належить жодній границі фрагменту;

–рис.1.2 демонструє наявність в околі $(.)T$ топології чергування трьох областей апертури-фрагменту-апертури, причому $(.)T$ належить границі фрагменту;

–рис.1.3 демонструє наявність в околі $(.)T$ топології чергування двох областей апертури-апертури, причому $(.)T$ належить границі апертури.

На рис.2 наведена топологічна класифікація представлення структури тріщини в межах апертури, необхідна для прийняття рішення про подальше переміщення апертури.

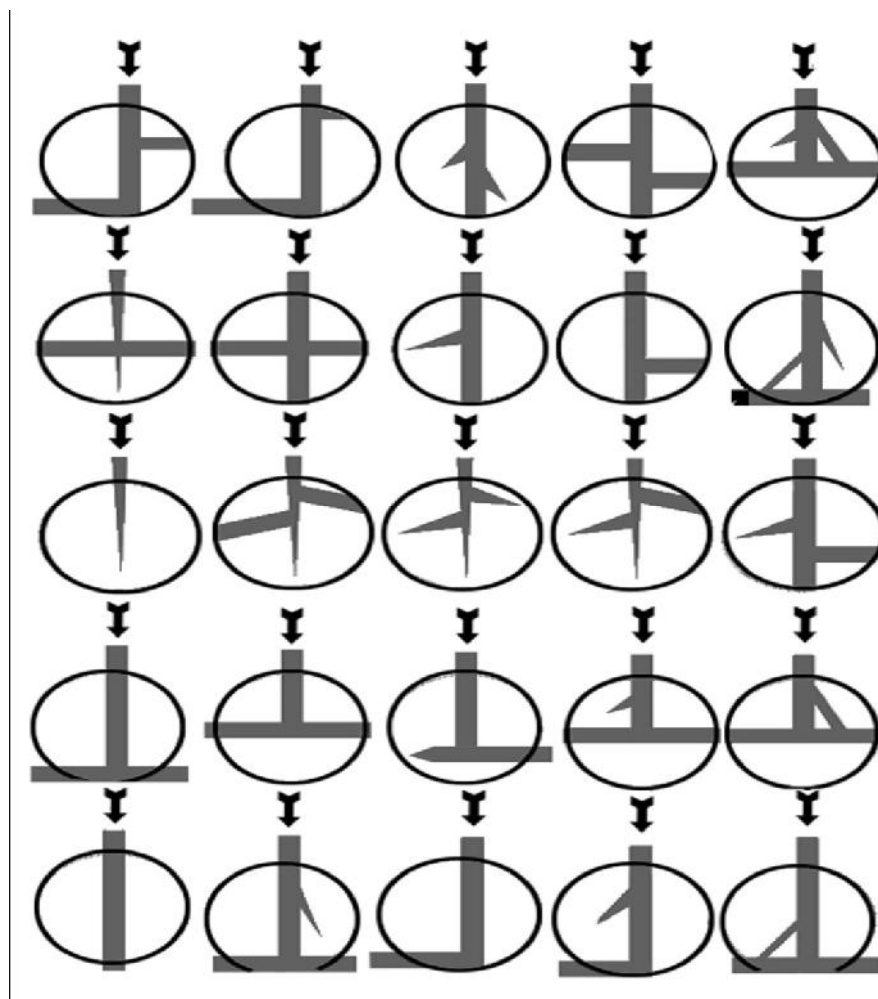


Рис. 2 Топологічна класифікація структури тріщини на зображенні

Виконуючи процедуру покриття силуету фігури апертурами, визначаємо множину тупикових точок $Tup\Phi$ фігури Φ та множину точок розгалуження $Vet\Phi$ (рис.3).

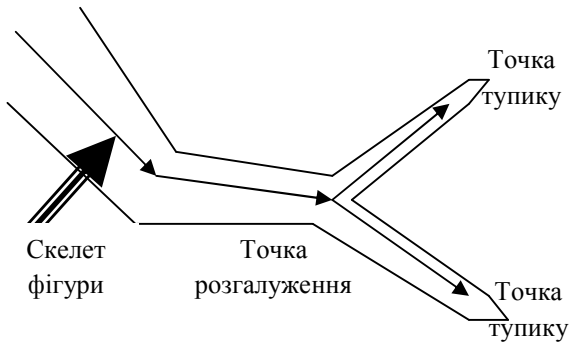


Рис.3. Елементи фігури Φ , що представляє зображення тріщини

Відрізку ламаної, що сполучають розгалуження та тупики, і усі точки яких належать фігурі Φ , утворюють скелет цієї фігури. Доведемо наступне твердження.

Твердження.1. Корінь магістральної тріщини, локалізований на зображенні, що представляє магістральну тріщину, розташований серед тупиків або точок розгалуження фігури.

Формалізуємо поняття кореня.

Лемма 1. Зіставимо кожній ланці I скелета фігури Φ значення: $den\Phi_i = Fnp_i / l_i$. Для тріщини, представлені фігурою Φ з урахуванням умови зростання розкриття фронтів у процесі росту справедливим є твердження: $den\Phi_i > den\Phi_{i+1}$.

Лемма 2. В околі i -го тупика $Tup\Phi_i$ фігури Φ , з врахуванням умови зростання розкриття фрагментів тріщини у регресивному напрямку введемо функцію: $Rden\Phi_{ij} = Fnp_{ij}$, де Fnp_{ij} , функція присутності в апертурі фрагменту Φ_i дуги кола радіуса R_j , точки якої належать цій апертурі (рис. 4).

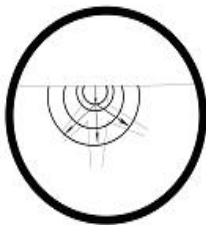


Рис.4. Зростання функція присутності в апертурі фрагменту

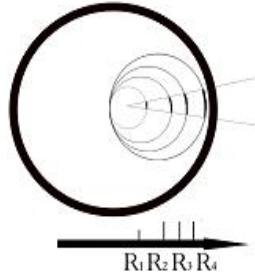


Рис.5. Корінь-тупик тріщини від краю фігури

Тоді для $\forall tup_i \in Tup\Phi$, які представляють точки росту тріщини та $\forall \{R_j\}$: $Rden\Phi_{ij} > Rden\Phi_{i,j+1}$ $\lim_{j \rightarrow \infty} \Phi_{ij} = 0$ Застосуємо

отримані властивості тупика для формалізації поняття "корінь" і побудови процедури його відшукування.

Визначення. Корінь-тупика (фрагмент скелету фігури з індексом 0) для тріщини від краю фігури Φ , який лежить на її границі та $\forall \{R_j\}$ $\lim_{j \rightarrow \infty} Rden\Phi_{0j} \neq 0$ (рис.5) або для тріщин розкриття та

деяких магістральних тріщин, що виходять з одного кореня або точки розгалуження, для якої діаметр апертури, яка просувається вздовж усіх ребер (рис. 6) скелету, інцидентний даній точці розгалуження, визначає спадання функції den .

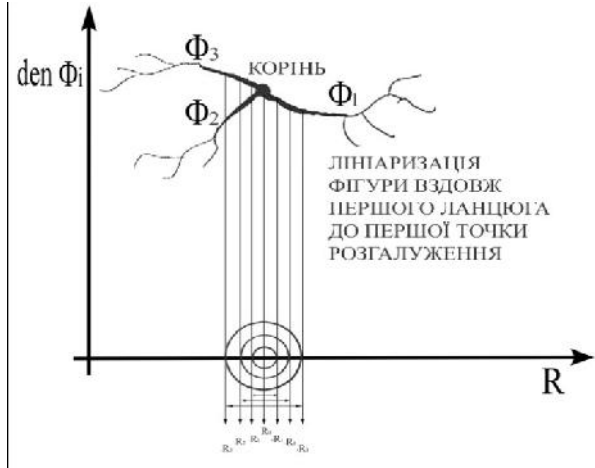


Рис.6. Спадання функції den вздовж магістральних тріщин з одного кореня

Кількість магістральних тріщин, інцидентних цьому кореню, будемо називати індексом розгалуження і позначати як $(IndVet)$. Сформульоване визначення кореня магістральної тріщини є конструктивним і описує процедуру його відшукування.

Для повноти дослідження необхідно розглянути тип точок розгалуження, а саме, у яких, при реструкції den за окремими гілками, в процесі наближення до цих точок, в околах спостерігається скачок den у бік зменшення, а за іншими гілками – подальше зростанням den . Ця картина спостерігається в двох випадках:

– одна з магістральних тріщин з кореня в процесі свого розвитку або у випадку утворення за рахунок злиття тріщини вищих порядків однієї з точок зростання, "повернулася" в початковий корінь магістральної тріщини. При цьому скелет магістральної тріщини буде містити кореневий замкнений шлях як цикл;

– корінь магістральних тріщин досягнутий точкою зростання тріщини або тріщин вищих порядків, що утворилися від неї з іншого кореня (випадок існування декількох окремих тріщин). Ознакою цього є відсутність циклу в скелеті магістральної тріщини, що досліджується. В цьому випадку реалізується процедура відшукування іншої магістральної тріщини (яка виходить з кореня, відмінного від кореня початку шляху), визначеної заданим ребром.

Отже, якщо магістральна тріщина одна на зображенні або магістральні тріщини мають один корінь, то має місце процедура знаходження повного силуету фігури Φ , що є базовою для подальшої обробки зображення.

Наступний етап виділення магістральної тріщини полягає в тому, що, до раніше виділеної фігури Φ , можуть бути за певних умов приєднані додаткові фрагменти наявного зображення. Це приєднання (зшивання) базується на апроксимації функції dep уздовж фрагмента на певній ділянці фігури Φ на фрагмент, що не належить фігурі Φ , з урахуванням розподілу яскравості і кольору (рис. 7).

Необхідно особливо відзначити випадок топології структури (рис.7.7, і рис.7.8), коли зшивання не відбувається, а має місце спостереження близькості двох топологічно різних елементів.

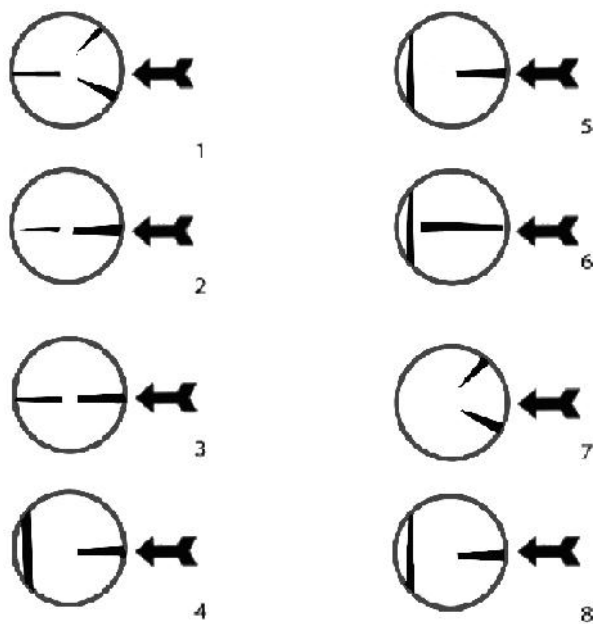


Рис. 7. Топологічна класифікація структур аперттури з фрагментами наявного зображення тріщин

На основі вищеописаного алгоритму виконується локалізація фігур, представлених на зображенні, які не мають спільних точок та задаються магістральними тріщинами, що не перетинаються в точках розгалуження порядку "0" з

іншими фігурами, локалізованими на зображенні об'єкту.

Лемма 3. Якщо для локальної фігури не виконується Лемма 1 або Лемма 2, то ця фігура не може представляти на зображенні тріщину.

Такі фігури відносяться до класу фігур, які представляють шуми і дефекти іншого класу. Кількість різних фігур на зображенні, що не перетинаються, які класифіковані як фігури, що представляють магістральні тріщини, характеризує процес дефектоутворення на поверхні будівельного об'єкту або конструкції в цілому, а функція присутності таких фігур є мірою інтенсивності зародження нових дефектів типу тріщина (рис 8).

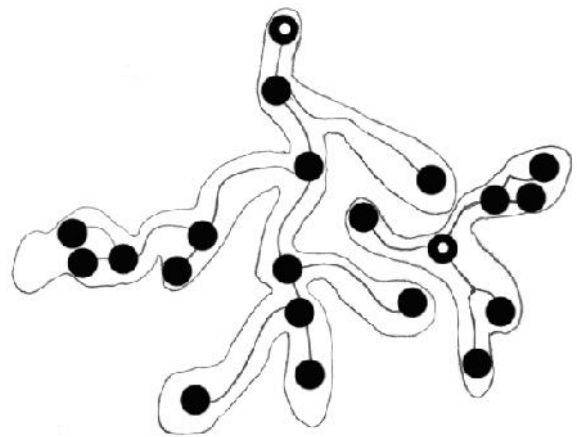


Рис. 8. Наявність двох коренів магістральних тріщин на зображенні

Далі розглянемо характеристики точок розгалуження, які утворені різними магістральними тріщинами або тріщинами більш високих порядків. Існування таких точок розгалуження означає, що існує два шляхи, які приводять до різних кореневих точок. Проблема, яку визначає наявність таких точок, полягає в правильності віднесення ребер скелетів, інцидентних цій точці, до скелету фігури Φ_1 або скелету фігури Φ_2 .

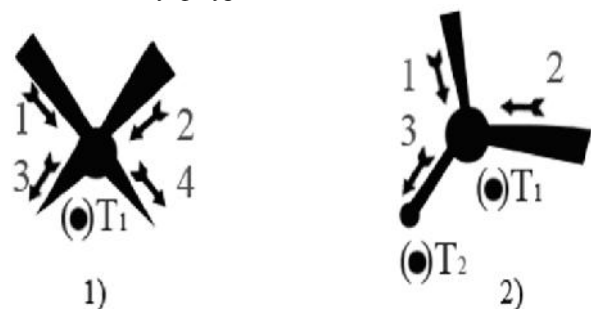


Рис. 9. Топологічна структура точок розгалуження, утворених різними магістральними тріщинами або тріщинами більш високих порядків

Тріщини двох різних фігур Рис.9.1 увійшли до загальної точки за напрямками 1 і 2, мають два шляхи розвитку з цієї точки за напрямками 3 і 4.

Задача визначення розвитку відповідних тріщин зводиться до оптимальної апроксимації за яскравістю, кольором та деп за рахунок мінімізації їх відхилень (Δ) по ланцюгах: $\min((\Delta_{1,3}, \Delta_{2,4}), (\Delta_{1,4}, \Delta_{2,3}))$. Індеси вибраної пари задають шлях поширення тріщини і приналежність їх до скелету фігури Ф1 або скелету фігури Ф2.

У випадку, представленою на рис.9.2, шлях поширення тріщини визначений. Проблема полягає у віднесенні його до того або іншого скелета. Якщо $(.)T_2$ є тупиком, то ця задача класифікації є невизначеною, оскільки надалі розвиток тріщини може виявитися близьким до елементів фігури Ф1 або фігури Ф2. Правильна класифікація ланцюга скелета виконується за рахунок дослідження значень функції сумісної присутності в концентричних околах $(.)T_2$ елементів фігури Ф1 або фігури Ф2 (рис. 10).



Рис. 10. Сумісна наявність двох магістральних тріщин в околі точки злиття

Перевага у виборі приналежності віддається тій фігурі, у якій функція присутності більша, що відповідає визначенню процесу утворення тріщини за \max енергії.

Якщо $(.)T_2$ є точкою розгалуження, то задача класифікації вирішується на основі процедури, розглянутої для випадку, представленою на рис.9.1.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропонована процедура класифікації скелетів фігур, що представляють різні магістральні тріщини дозволяє розрізняти структури магістральних тріщин на зображенні.

Необхідно особливо відзначити, що при визначенні фігури, яка представляє різні магістральні тріщини на зображенні, також визначається сукупність фігур, які на підставі цієї процедури однозначно не можна віднести до класу тріщин. Це істотно для процесу дослідження, оскільки на зображенні можуть бути присутніми

тріщини, які ще не сформувалися, а також інші дефекти, наприклад, піттинги, дефекти як артефакти тракту формування зображення. Проте наведена процедура дозволяє виконувати локалізацію таких дефектів та застосовувати для їх аналізу методи на основі специфічних ознак тріщини за формою кластерів, які задаються фігурами, що їх представляють.

Список літератури

1. Обнаружение поверхностных трещин оптическим сканированием // Испытательные приборы и стенды: Экспресс-информация. – 198 – N 14(59), С.1-8.
2. Соломатин И.И. Обзор методов предварительной обработки тоновых изображений для распознавания искусственных объектов //Изв. вузов. Приборостроение. – 1996. – Т. 39. – № 7. – С. 5-12.
3. Горда О.В. Фільтрація зображень дефекту типу «тріщина» в оптичному діапазоні web-камер //Техніка будівництва – К. – 2009, №21– С.134-138.
4. Горда О.В. Локалізація дефекту типу «тріщина» на решітчастих, фрактальних та орнаментальних 2-d структурах //Управління розвитком складних систем .К – 2010, Вип. 3 – С.75-80.

Стаття надійшла до редколегії 12.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Плоский, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ