

УДК 620.179.680

Олена Володимирівна Горда

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ***МОДЕЛЮВАННЯ МЕТРИК В ПРОСТОРІ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ
ДЕФЕКТУ ТИПУ «ТРИЩИНА»**

Наведено результати дослідження поняття дефекту типу "тріщина" на основі цифрових зображень, виконано аналіз елементів та їх співвідношень з метою побудови метрик, на базі яких визначаються та обчислюються параметри дефекту. Визначено міру наявності дефекту на зображенні та функцію наявності ознаки на зображенні. Досліджено функцію наявності дефекту типу «тріщина» на зображеннях об'єктів будівництва.

Ключові слова: *модель, цифрове зображення, тріщина, метрика*

Приведены результаты исследования понятия дефекта типа "трещина" на основе цифровых изображений, выполнен анализ элементов и их соотношений с целью построения метрик, на базе которых определяются и вычисляются параметры дефекта. Определены мера присутствия дефекта на изображении и функция присутствия признака на изображении. Исследована функция присутствия дефекта типа "трещина" на изображениях объектов строительства.

Ключевые слова: *модель, цифровое изображение, трещина, метрика*

Results over of research of concept of defect are in-process brought as a "crack"(ДТТ) on the basis of digital representations, executed analysis of elements and their correlations with an aim constructions of birth-certificates, on the base of that the parameters of defect are determined and calculated. The analysis of structure of digital representation of ДТТ is conducted on his basis certain and the formalized elements of defect. The measure of presence of defect dark-and-light and function of presence of sign are certain and investigational dark-and-light. Investigational function of presence of defect as a "crack" on the images of building objects. It is shown that basis of research of function of presence of crack is research of function of presence of her link. The analysis of casual factors, that influence on the process of recognition and classification of defects building objects on the basis of function of presence of sign, defining time of offensive of that is impossible, but maybe to classify an image on results forming, is conducted. Investigational fundamental properties of function of presence are her supervision (FP) and measuring (FM). The analysis of factors that substantially influence on FP and FM is conducted.

Keywords: *model, digital representation, crack, birth-certificate*

Актуальність і постановка проблеми

На сьогодні розроблена значна кількість систем, що засновані на методах фото- та телеметрії, які застосовуються з метою моніторингу процесу будівництва та технічного стану будівель та споруд, зокрема для виявлення такого небезпечного дефекту, як тріщина. Моделі, які використовуються для розв'язання таких задач, оснащені різними засобами опису, представлення результатів та призначені до експлуатації в конкретному програмно-апаратному середовищі і, як наслідок, сумісність цих моделей дефектів типу "тріщина" для будівельних систем навіть у рамках єдиної предметної області не забезпечена, що перешкоджає

вирішенню практичних завдань. У ситуації, що склалася, актуальним є створення узагальненої моделі дефектів типу "тріщина" будівельних об'єктів на основі цифрових зображень, що допускає подальший уніфікований синтез, модифікацію, аналіз породжуваних моделей, розрахований на користувача-професіонала в предметній області.

Наявність узагальненої моделі дефектів типу "тріщина" будівельних об'єктів на основі цифрових зображень забезпечить однаковий аналіз усіх типів моделей, процедур встановлення адекватності моделі вимогам користувача, аналіз і представлення результатів моделювання, а також доступ до інтегрованої бази моделей і інформаційної бази предметної області.

Мета статті

Метою даної роботи є дослідження поняття дефекту типу "тріщина" (ДТТ) на основі цифрових зображень, аналіз його елементів, їх співвідношень з метою побудови метрик, на базі яких визначаються та обчислюються параметри дефекту.

Виклад основного матеріалу

На основі аналізу масиву цифрових зображень ДТТ формалізуємо визначення її основних елементів [1; 5].

1. Матриця W – це дискретна множина впорядкована як матриця, що є представленням цифрового зображення.

2. Властивість (ознака) P – невід’ємна функція, задана на елементах матриці W цифрового зображення.

3. Ізольована точка (\cdot) – одиничний піксел матриці W , який має властивість P , причому у восьмизв’язній області суміжності цієї точки не існує жодної іншої точки, що має властивість P (рис. 1):

$$P(x_{i,j}) \neq 0, P(x_{i-1,j-1}) = 0, P(x_{i-1,j}) = 0, P(x_{i-1,j+1}) = 0, P(x_{i,j-1}) = 0, P(x_{i,j}) = 0, P(x_{i,j+1}) = 0, P(x_{i+1,j-1}) = 0, P(x_{i+1,j}) = 0, P(x_{i+1,j+1}) = 0.$$

$x_{i-1,j-1}$	$x_{i-1,j}$	$x_{i-1,j+1}$
$x_{i,j-1}$	$x_{i,j}$	$x_{i,j+1}$
$x_{i+1,j-1}$	$x_{i+1,j}$	$x_{i+1,j+1}$

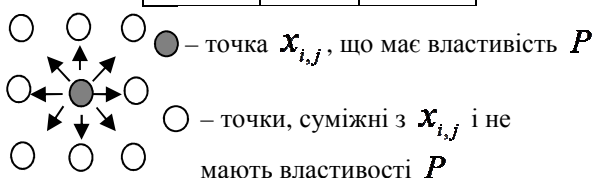


Рис. 1. Восьмизв'язна область ізольованої точки

4. Лінія – скінченна послідовність одностов'язної лінійно впорядкованої множини точок матриці W , яка має таку властивість: якщо вилучити з даної послідовності будь-яку з точок, за винятком першої або останньої, то зв'язність множини точок збільшиться (рис. 2).

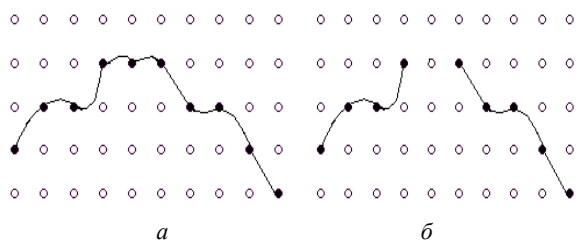


Рис. 2. Проста лінія: *a* – неперервна (одностов'язна); *б* – двозв'язна (отримана вилученням точки)

Якщо перша точка збігається з останньою, то така лінія називається замкнутою.

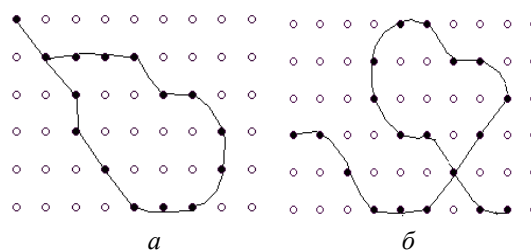


Рис. 3. Замикання та самоперетин лінії

Лінія називається простою, якщо вона не самоперетинається, іншими словами не існує точки, яка б зустрічалась двічі або більшу кількість разів при обході лінії у порядку зростання нумерації (рис. 3), а також не існує точок дотику та самодотику (рис. 4, б).

5. Дотик ліній – це взаємне розташування ліній, коли існує спільна точка $(\cdot)M$ і у її восьмизв'язному околі ці лінії більше спільних точок не мають (рис. 4, а) та лежать у різних півплощинах.

Самодотик – дотик лінії до себе (рис. 5). Самодотик характеризується такою властивістю, що при видаленні точки з послідовності (не крайньої), яка визначає лінію, лінія буде розпадатись на частини (збільшиться порядок зв'язності), які лежать в різних областях площини, заданої матрицею W (рис. 4, б).

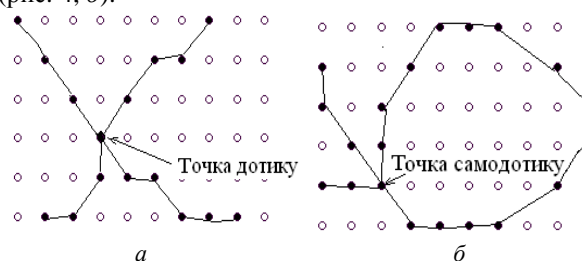


Рис. 4. Точка дотику та самодотику

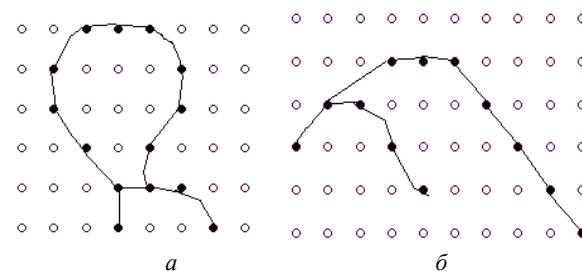


Рис. 5. Самодотик та розгалуження ліній

6. Область – геометричне місце точок (ГМТ) матриці W , що утворені об'єднанням замкнутої лінії та точок з властивістю P , які лежать всередині цієї замкнутої лінії і мають таку ж саму властивість, що і точки замкнутої лінії (рис. 6, а), причому всередині області не можуть існувати точки, що не мають властивості P .

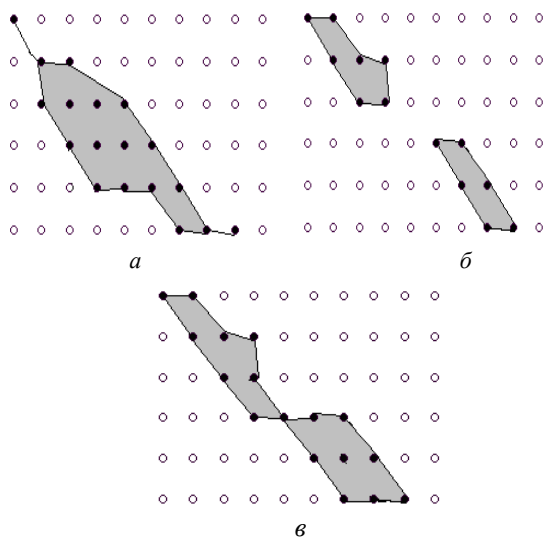


Рис. 6. Представлення області

7. Область є n -зв'язною і простою, якщо вона може бути представлена об'єднанням областей $\cup_i Q_i$ і утворена n зв'язною кількістю простих замкнених ліній (рис. 6, б).

Область є n -зв'язною і k_1 -дотичною, якщо існує k простих компонент-областей, утворених k простими лініями, що само не перетинаються і мають k_1 точок дотику (рис. 6, в).

8. Локалізація множини G з властивістю g – це визначення області Q на W за властивістю q , яка містить область G , причому Q не обов'язково є простою областю. Іншими словами:

$$q \neq g; G \cap Q = G, G \cup Q = Q$$

$$G \subset Q \text{ в } W \text{ (рис. 7, а).}$$

9. Фігура F за властивістю P – множина точок $\{f\} \in W$, що $\forall (\cdot) \in F$. Фігура F є простою за властивістю P , якщо неможливо провести локалізацію частини точок з $\{f\}$ (рис. 7, б), іншими словами є областю.

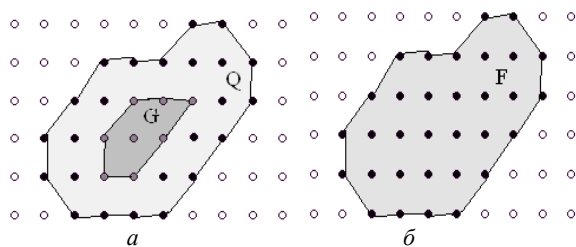


Рис. 7. Представлення області і фігури:
а – область; б – фігура

10. Обрис фігури F – замкнена багатокомпонентна крива $\{f\}$ в W або об'єднання таких кривих, $\forall f \in F$, що локалізує $\text{int } F$ на W (рис. 8).

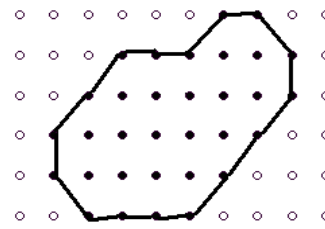


Рис. 8. Обрис фігури

11. Деформація області Q – таке перетворення фігури, що отримана нова множина Q_1 є локалізацією для Q або навпаки, множина Q є локалізацією для Q_1 . Причому на $Q \cap Q_1 \neq \emptyset$, Q_1 є восьмизв'язною областю, як і Q (рис. 9).

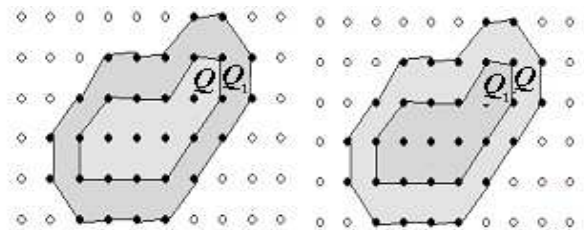


Рис. 9. Деформація області

12. Динаміка області Q – впорядкована множина фігур $\{Q_i\}$, отримана послідовним застосуванням деформацій із заданої послідовності деформацій до фігури Q (рис. 10).

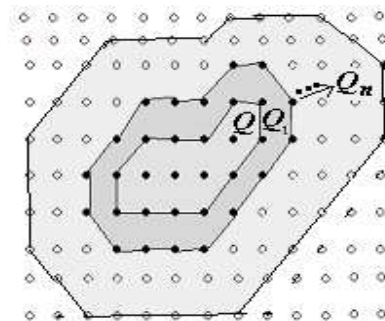


Рис. 10. Приклад динаміки області

13. Сусідство елементів на W – два елементи (піксели) $E_1(i, j)$ та $E_2(k, l)$ матриці W є сусідами, якщо виконується рівність: $\text{bool}\{\{i - k = 1\} \cup \{j - l = 1\}\} = \text{true}$ (рис. 11).

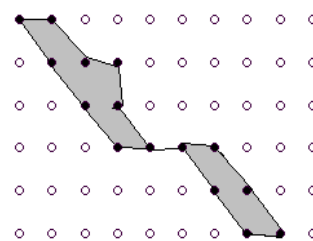


Рис. 11. Приклад сусідства

14. Простий окіл (SA(x)) елемента x в W – множина елементів з W , кожний елемент якої є сусідом даного виділеного елемента x (рис. 12, а).

15. Окіл елемента x в W ($Ok(x)$) – область з W , яку можна представити у вигляді скінченного об'єднання послідовного ряду обрисів простих околів, отриманих з простого околу $(\cdot)x$, їх об'єднання є областю Q в W , що містить $(\cdot)x$ (рис. 12, б).

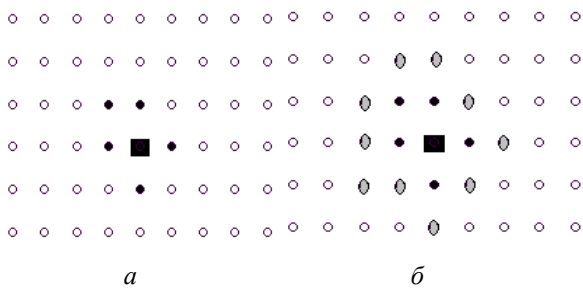


Рис. 12. Простий окіл (а) та окіл (б) елемента

16. Границя області Q в W – множина в W , яка отримується як множина сусідів з множини обрисів області за властивістю восьмизв'язного сусідства і належності фігурі області (це множина сусідніх точок обрису доповнення області $\bar{Q} = W \setminus Q$) (рис.13).

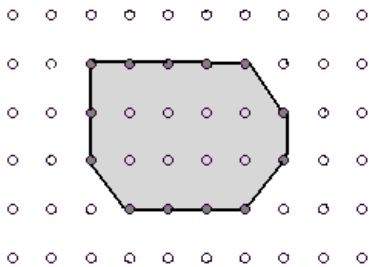


Рис. 13. Границя області

17. Замикання фігури F – отримання нової фігури F_1 , яка містить початкову фігуру ($F \subset F_1$) і утворена приєднанням обрису, що допускає локалізацію початкової фігури в W .

18. Впорядкування множин $\{\Omega_i\}$ в W за включенням – це представлення множини з W у вигляді індексованої послідовності підмножин з W , причому підмножина, що має більші значення індексу, є околком для всіх підмножин з меншим значенням індексу: $\Omega_1 \subset \Omega_2 \subset \dots \subset \Omega_n$.

19. Зв'язність $T_{0,1,2,3}$ – відповідно T_0, T_1, T_2, T_3 – топологічні простори на W .

20. Компактність Ω в W – множина, яка є однозв'язною компонентою в W за ознакою P і не містить замкненої підмножини елементів з W , які не мають ознаки P . Це означає, що для підмножини утвореної ознакою \bar{P} , множина, яка включає її за властивістю сусідства за ознакою P не є для неї околком.

21. Функціональна відокремленість областей – Ω_1 та Ω_2 функціонально відокремлюються за ознакою P , якщо $\Omega_1 \subset \text{supp}P$, $\Omega_2 \subset \text{supp}P$, $\Omega_1 \cap \Omega_2 = \emptyset$ і $\Omega_1 \cup \Omega_2 \subseteq W$.

22. Метризуємість W за ознакою P – означає, що в метриці P простір W є паракомпактним та хаусдорфовим.

23. Структури в W відносно метрики P – впорядкована послідовність фігур або фігур і їх компонентів зв'язності в W , для яких визначена метрика P в W , що має властивість роздільності (функціональної відокремленості) в W .

24. Зв'язність Ω в W за властивістю P – означає зв'язність як $\text{supp}P \supset \Omega$ і P визначає функціональне відокремлення Ω в W , де $\text{supp}P \subset W$ – компакт в W .

25. Ізольовані (відокремлені) елементи Ω в метриці $P = \{p_i\}$ в $W - \{w_i\} \leftrightarrow \{p_i\} : \bigcup_i w_i \subseteq \Omega$; $\forall i \exists p_i$, що $w_i \leftrightarrow p_i$ – функціонально відокремлені в W , $w_i \cap w_j = \emptyset \forall i \neq j$ $p_i \neq p_j$.

26. Вісь $Ax(\Omega)_P$ за властивістю P в W – однозв'язне геометричне місце точок (ГМТ), яке визначає просту лінію в $\tilde{\Omega} = \{w_i\}$, що

$$\Omega_1 \cap \Omega_2 = \emptyset, \Omega_1 \cup \Omega_2 = \Omega,$$

$$mes_P(\Omega_1) = mes_P(\Omega_2),$$

$$\Omega_1 \in \text{supp}P, \Omega_2 \in \text{supp}P,$$

$$Ax(\Omega)_P = \{\{w_i\} = \text{ПО}_{\Omega_1} \cap \text{ПО}_{\Omega_2}\},$$

де ПО – простий окіл

27. Центр $(\cdot)_c$ фігури Ω за властивістю P_1 і P_2 в

W – це така точка $(\cdot)_c \stackrel{def}{\iff} Ax(\Omega)_{P_1} \cap Ax(\Omega)_{P_2}$.

28. Скелет Ω в W за властивістю P – зв'язне ГМТ, утворене послідовним об'єднанням відрізків осей елементів Ω в метриці (властивості) P на W .

29. Напрямок $\vec{\ell}$ на множині W – якщо $\vec{\ell}$ виділено у площині W , яка містить W як плоска

множина елементів матриці тракту формування цифрового зображення дефекту.

30. Орієнтація множини W – впорядкована сукупність кутів нахилу площини, яка містить W у заданому просторі E_3 із заданою системою координат.

31. Потік функцій St на $\Omega \subset W$ у напрямку $\vec{\ell}$ $St_{\Omega}^{\vec{\ell}}$ – це функція, визначена на інтервалі $\left[\omega^* = \omega_{\min_{\omega \in \Omega} P_{\vec{\ell}}}; \omega^{**} = \omega_{\max_{\omega \in \Omega} P_{\vec{\ell}}} \right]$, яка у точці ω_0 чисельно дорівнює кількості точок із Ω , що проєктуються в ω_0 у напрямку \vec{n} , де $\vec{n} \perp \vec{\ell}$.

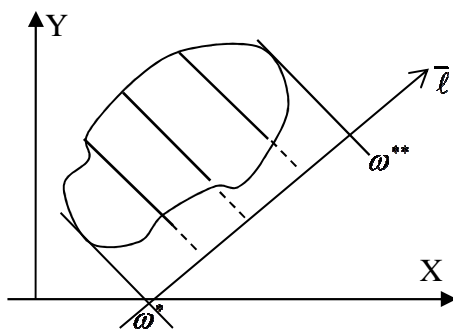


Рис. 14. Представлення потоку функцій $St_{\Omega}^{\vec{\ell}}$ на області

32. Величина потоку в точці w_0 у напрямку $\vec{\ell}$ – $St_{\Omega}^{\vec{\ell}}(w_0)$, що $w_0 = \sum_{i=1}^{n(w_0)} |p_i(w_0)|_{\vec{n}}$, $\vec{n} \perp \vec{\ell}$.

33. Сепаратриса потоків $P_{\vec{\ell}}$ і $P_{\vec{\gamma}}$ – лінія в W , яка розділяє потоки $P_{\vec{\ell}}$ і $P_{\vec{\gamma}}$ на Ω за властивістю P .

34. Множина джерел потоків I для множини Ω в W за ознакою P – {сукупність елементів $\{x_0\} \subset \Omega$ | для яких існує напрямок $\vec{\ell}_i$ і $x_0 \in \omega^*$ }.

35. Потоки є замкненими на Ω за ознакою P на W , якщо множина їх джерел є одночасно множиною і їх кінцевих точок в Ω .

36. Направлена індексована множина $\tilde{\Omega}_{P_{\vec{\ell}}}^Q$ – множина $\Omega \subset W$, на якій за ознакою P заданий потік $P_{\vec{\ell}}$ і частина елементів $w \in \Omega$ мають властивість Q . Прикладами таких множин можуть бути виділені множини за індексом кольору на множині пікселів W просторово структуровані у заданому напрямку (орієнтовані текстури).

Якщо кількість напрямків становить два, то текстура орієнтована по поверхні W .

37. Направлена навантажена множина $\Omega_{P_{\vec{\ell}}}^Q$ – множина $\Omega \subset W$, направлена як $P_{\vec{\ell}}$ та $\forall w \in \Omega$ виділена властивість Q є метрикою.

Прикладом таких множин можуть бути виділені множини за яскравістю пікселів на W у колірній моделі GrayScale (наприклад, з дискретною шкалою).

38. Множина Ω_{ξ}^T є **тотально-присутньою** у множині Ω в метриці P , якщо в околі $\forall(\cdot) w \in \Omega$ $|O_{\kappa}(\cdot)| = \xi$ $\exists(\cdot) \in \Omega_{\xi}^T$ і $\forall(\cdot) \Omega_{\xi}^T \in \Omega$ ($O_{\kappa}(\cdot)$ – окіл точки).

Властивість є аналогом сепарабельності для дискретних множин з метрикою або структурою $\dim = 2$ (решітка) та $\dim = 3$ (кубічна решітка) не обов'язково регулярних.

39. Множина точок фону (Fon) для зображення Ω в метриці ознаки P – є множиною, яка утворена точками $W | w \notin \Omega$ в метриці P , що не утворює потокову індексовану множину на W і є $(W \setminus \Omega)^T$ на W в метриці \bar{P} , $\varepsilon = 1$.

$mes(Fon(P, W)) =$

$$= \min S \left(\bigcup_{i=0}^n \sigma_i \mid \text{що } \exists n < \infty \forall x_i \in W \sigma_i = \bigcup_{i=0}^n x_i \right)$$

і має наступні властивості:

- $\forall x_i, x_j : x_i \in \sigma_i, x_j \in \sigma_j \exists \gamma$ – крива, що з'єднує точки x_i, x_j (є однозв'язною);

- $\forall i, j$ таких, що $i \neq j$ $\exists \varepsilon : O_{\varepsilon}(\sigma_i) \cap O_{\varepsilon}(\sigma_j) = \emptyset$ – околи не перетинаються (є нормально відокремленою);

- $\forall i \sigma_i = \partial \sigma_i \cup \text{int } \sigma_i$, де $\text{int } \sigma_i = \emptyset \Rightarrow \sigma_i$ – відрізок простої кривої на Ω

$\text{int } \sigma_i \neq \emptyset \Rightarrow \partial \sigma_i$ – замкнена проста крива;

- $\forall i \sigma_i \subset \text{supp } \bar{P}$, $\bigcup_{i=1}^n \sigma_i = E(P)$ – область визначення \bar{P} ;

- $\exists \max P(\Omega) < \infty, P(\cdot) \geq 0$ – фінітна, невід'ємна функція (міра);

- $\forall \sigma_i \exists \gamma_0(\cdot)$ – пучок, утворений середніми лініями суміжних фрагментів σ_i ;

$\bigcup_{j=1}^m \sigma_j = \sigma_i : \forall x \in \bar{\gamma}_0^j P(x)$ – спадає (структурність).

40. Функція наявності ознаки на зображенні дорівнює мінімальній площі сукупності дискретних, однозв'язних, нормально відокремлюваних множин, утворених замкненими простими кривими або є їх відрізками, що містять як область визначення, ознаки фінітної функції і для кожного з яких існує напрям або скінченний пучок напрямків, уздовж яких функція-ознака спадає.

Розглянемо особливості візуалізації дефектів. Обробка здійснюється на основі представлення отриманого не обробленого зображення в колірних шарах після його параметричного зведення до фіксованого вигляду на попередньому етапі візуалізації або деякому визначеному стандартному режимі фіксації зображення, що забезпечує спадкоємність отриманих раніше результатів і збереження повноти інформації останнього спостереження. Процедура розпізнання є збіжною у тих випадках, коли відсутні системні зміни – структурно змінюються умови експлуатації і середовище експлуатації. У разі структурних системних змін необхідно внести корегування у початкову інформацію стосовно об'єкта моніторингу з урахуванням виявлених дефектів і виконання алгоритму ідентифікації повертається на перший крок.

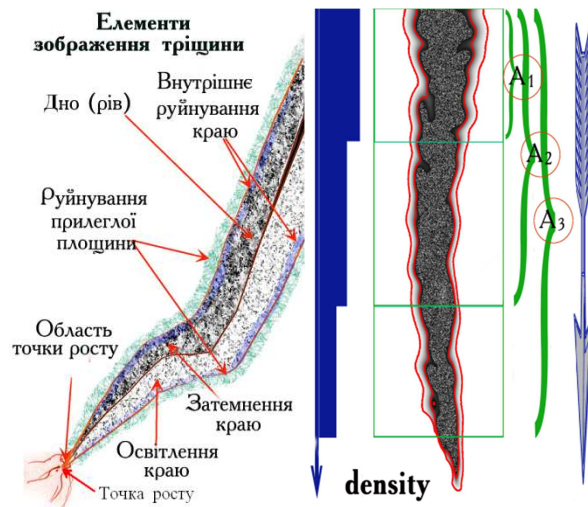


Рис. 15. Представлення елементів тріщини та її функції наявності

41. Визначення 1. Під мірою наявності дефекту на зображенні будемо розуміти відносну частку площі, зайнятою дефектами фіксованого класу (функція наявності ознаки дефекту), до загальної площі на зображенні об'єкта спостереження.

42. Визначення 2. Визначена вище функція наявності класу дефекту є неспадною, оскільки наявність дефектів, виявлених раніше, за ознакою площі не може зменшитись навіть у разі злиття дефектів одного класу. Дефект, у якого функція

наявності на зображенні спадає будемо вважати невірним визначенням дефектом. Зростання функції наявності є наслідком того, що виявлені раніше дефекти, не змінившись якісно, зникнути на зображенні не можуть. Деякі матеріали мають здатність до затягування мікротріщин (наприклад, силікати), але такі тріщини можуть бути зведені до визначення, що було раніше введено, за рахунок введення коригуючих функцій типу матеріалу.

Властивість 1. Функції наявності є індикатором дефектів і відстежуючи у сукупності їх тимчасову динаміку, здійснюється виявлення нових дефектів.

Властивість 2. Функції наявності дозволяють оцінити вплив на динаміку тріщиноутворення випадкових і не виявлених, але систематичних дефектів, які були раніше ідентифіковані.

Властивість 3. У процесі візуалізації дефектів ОБ на основі зображень оптичного діапазону класифікуючі можливості функцій наявності збільшуються за рахунок тих факторів, що допускають коригування спотворюючих чинників до яких належать: незнання ракурсу зйомки; відмінності в параметрах освітлення на попередніх кроках ідентифікації і поточному кроці; зміни в поляризації і міри когерентності освітлення від попередніх значень; міра вираження крайових ефектів; зміна параметрів профілю тракту формування зображення [4].

Дослідження функції наявності дефекту типу «тріщина» на зображеннях об'єктів будівництва

Значення функції наявності встановлюються в результаті перетворення величин, що характеризують зображення, а саме, спочатку визначаються області, для яких функція наявності дорівнює "0" – множина-фон, далі визначається власне величина функції наявності. Актуальність дослідження функції наявності визначається її важливістю для завдань виявлення і розпізнавання дефектів типу "тріщина" для будівельних об'єктів.

Фігурі, що представляє тріщину може відповідати певна послідовність об'єднаних і впорядкованих фігур – ланок тріщини. Таким чином, основою дослідження функції наявності тріщини є дослідження функції наявності її ланки, що виконується в два етапи:

1. Визначення фігури ланки тріщини;
 2. Специфікація виділеної ланки за її фігурою.
- Сутність першого етапу полягає у такому:

- по-перше, здійснюється перетворення кольорового простору зображення в простір BW (Black and White) для виділення початкового наближення фігури ланки, що надалі грає роль області фігури.

При цьому максимум порогу яскравості визначається так, щоб фігури ланки не розпалися на окремі фрагменти;

- по-друге, на початковому зображенні вибором мінімальної точки "білого" визначається область за умови, що вона є суміжною до остову фігури ланки тріщини, отриманої на попередньому кроці, не є "білою" (має «сірий» колір) і визначає собою еліптично-видовжений кластер в апертурі.

Якщо отриманий кластер в поточній апертурі суміжний з попереднім, то це служить підставою віднесення отриманого кластера до фігури ланки тріщини. Далі досліджуємо власне фігуру ланки тріщини, використовуючи той факт, що функція розподілу "чорного" на ній є заглибленням (ровом тріщини).

Для подальшого дослідження необхідно виконати перетворення колірною простору початкового зображення в колірний простір GrayScale. Кількість і величину градацій "сірого" необхідно вибирати з умови максимуму приросту площі остову фігури ланки тріщини по суміжності відтінків пікселів за рахунок приєднання до остову концентричних (гомотетичних) контуру фігури областей, що мають для кожної з них постійне значення "сірого".

Поріг за точкою "чорного" визначається з умови не збільшення площі dna заглиблення, при цьому перемички dna заглиблення, що характеризуються більшою світлістю, мають бути точками локальних максимумів світлості уздовж функції світлості dna заглиблення, або середньої лінії остову ланки тріщини, що безпосередньо виходить з дотримання вимоги неперервності ланки тріщини.

Ланка тріщини окрім розглянутого типу як елемент топології може характеризуватися додатково такими властивостями:

- 1) містить точку росту тріщини;
- 2) розвивається від фронту в глиб об'єкта;
- 3) входить в точку розгалуження тріщини;
- 4) виходить з точки розгалуження тріщини;
- 5) виходить з кореня тріщини.

Скелет фігури дефекту типу "тріщина" є складеним, для якого атомарними елементами є корінь (КТ), точки росту (ТР1, ТР2), точка розгалуження (ТР), ланка (ребро).

Значимо, при визначенні функції наявності не використовується поняття розкриття тріщини, а враховуються тільки властивості околу (суміжної, прилеглої області) дефекту типу "тріщина", що дає можливість застосування функції наявності до усіх типів тріщин.

Наступною особливістю є те, що визначати функцію наявності слід для зображень, що пройшли

попередню обробку, виключають шумову і локальну перешкоду забруднення зображення і допускають попереднє кадрування областей, що включають кластера, відмінні від фону за кольором.

Адаптивність побудови функції наявності, як третя особливість, виражається в тому, що вона ефективно визначається для конкретного зображення (за рахунок вибору точки "чорного" і точки "білого"), із заданою дискретністю "сірого", яка визначається роздільною здатністю камери. При цьому еліптично-видовжена область визначення значень функції наявності завжди містить деякий об'єкт кластеризації, за рахунок чого функція наявності може бути побудована для класу зображень, що отримуються від заданої камери з урахуванням ракурсу і умов формування зображень по цьому об'єкту.

42. Визначення 3. До випадкових чинників, що впливають на процес розпізнання і класифікацію дефектів ОБ, час настання яких визначити неможливо, але можливо класифікувати за результатами формування зображення будемо відносити:

- випадкове забруднення поверхні;
- зміну прозорості середовища між об'єктом моніторингу та фіксуючою камерою (пил, дощ, сніг і таке інше);
- випадкове затінення не пов'язане з об'єктом (наведені тіні від нестационарно розташованих предметів поза областю формування зображення об'єкта);
- випадкове освітлення не пов'язане з об'єктом (наведені відблиски і відбиття від нестационарно розташованих предметів, що знаходяться поза областю формування зображення об'єкта);
- випадкові режими експлуатації – разові, аварійні, неординарні;
- помилки фіксації в документації змін режимів експлуатації;
- випадкові втрати даних стосовно спостереження за об'єктом;
- первинний прояв раніше невизначеного фактору.

Висновок 1. Особливості алгоритму візуалізації дефектів ОБ на основі зображень оптичного діапазону ґрунтуються на:

- внутрішніх чинниках – представленні ОБ як об'єктів, яким властиві певні дефекти;
- зовнішніх чинниках – представленні ОБ як об'єктів, що експлуатуються в певній множині середовищ і в заданому різноманітті режимів навантажень;
- механізмі візуалізації – дослідженні різноманіття функцій наявності дефектів

представлених зображеннями корозійного матеріалу і об'єктів, що вивчаються, в процесі корозійного утворення дефектів.

- адаптивності алгоритму візуалізації – виявленні в динаміці невизначених раніше чинників і на основі їх прояву знаходженні дефектів за схемою: поточний стан спостереження об'єкта з відніманням результатів стану, що раніше спостерігався, апроксимованого на даний момент часу з урахуванням динаміки умов та середовища експлуатації без врахування прояву випадкових факторів визначає прояв не виявлених раніше факторів.

Фундаментальною властивістю функції наявності (ФН) є можливість її спостереження (ФНС) і вимірювання (ФНВ).

Функція ФНС є інтегральною характеристикою для області моніторингу Ω , оскільки на пряму залежить від простору ознак Ω , характеристик тракту формування зображення на W , ракурсу експонування об'єкта Ω . Чисельно ФНС (Ω_1) дорівнює відношенню площі розподілу заданої ознаки на об'єкті Ω в площині експонування до площі на зображенні на W , що відображає площу розподілу заданої ознаки на зображенні W , помноженої на коефіцієнт навантаження пікселя зображення W , що дорівнює величині площі представленої одним пікселем на відстань віддалення об'єкта Ω .

ФНС дозволяє конструювати різноманітні критерії розпізнання дефекту типу "тріщина" на відміну від ФНВ, яка дозволяє точково визначати безпосередньо значення ФН.

ФНВ чисельно дорівнює відношенню кількості пікселів в апертурі сканування до $|W|$, за умови, що апертура переміщується по фігурі образу об'єкта Ω вираженої ознакою P . ФНВ (Ω, W) – сума всіх пікселів ФНВ (ω), $\omega \in \Omega$, причому $\omega_i \cap \omega_j = \emptyset$, $i \neq j$, $\{\omega_i\}$ – покриття образу Ω в W :

- $\text{supp}(\Phi_{NB}(\Omega))$ – одна зв'язна множина;
- $\exists \bar{\gamma} : \Phi_{NB} \bar{\gamma}$ – потік на W або пучок потоків;
- $\text{int}(\text{обрис } \text{supp}(\Phi_{NB}(\Omega)))$ – є точковою множиною.

Фундаментальною властивістю ФН є її розмитість (ФНР), під якою будемо розуміти відношення площі фігури образу Ω , іншими словами значення ФН (Ω), до площі фігури, яка

утворена лінією обрису образу об'єкта Ω на W . Необхідно особливо зазначити, для лінії обрису напрямком в її кожній точці строго збігається з заданим напрямком обходу.

Факторами, що суттєво впливають на ФНВ є похибки, які утворюються за рахунок різних порогів (дискретизація), невизначеність, яка вноситься функціями асоціації до кластеру, а також, власне похибки тракту формування зображення-дефект-тріщина.

За своєю топологічною структурою береги дефекту типу "тріщина" і прилеглі області мають включення, що характеризуються тією ж ознакою, яка визначає образ власне дефекту. З одного боку, необхідною для побудови кластеру, що представляє дефект об'єкта Ω на зображенні в W , а з іншого – важливою та ідейно складною є процедура замикання фігури дефекту типу "тріщина", під яким розуміється асоціювання розташованих поряд з дефектом "тріщина", включень носіїв ознаки власне тріщини, з власно фігурою дефекту та двовимірною апроксимацією фігури до цього включення, з попереднім визначенням колірному простору у якому буде представлена замкнена фігура дефекту типу "тріщина". Вимогою до коректності виконання операції замикання фігури образу дефекту типу "тріщина" є збереження індексів множини фігури, навантаження та тенденцій навантаження в околі точки замикання образу. а також гладка апроксимація потоків функцій відповідних ознак на множині фігури дефекту типу "тріщина". Під обліком індексів при замиканні образу розуміється те, що колір фігури дефекту Ω і прилеглого включення однакові і дорівнюють кольору на фігурі в околі точки примикання.

Під обліком навантаження в точці примикання до фігури образу при процедурі замикання фігури образу ДТТ розуміється збереження тенденції розподілу функції яскравості в околі точки примикання на прилеглий за неперервністю кластер.

Сильним обмеженням на процедуру замикання образу фігури Ω в W є можливість апроксимації функцій потоків ознак на множини образу Ω на прилеглі кластери на заданому класі функцій апроксимації, за умови збереження диференційованості та однозв'язності фігури Ω . Таким чином, виконання наведених вимог до операції замикання фігури образу Ω в W дозволяє зібрати візуально розрізнені з різних причин фрагменти фігури ДТТ. Це дасть змогу у подальшому вивчати динаміку та локалізацію ДТТ за його зображенням.

Висновки

У просторі цифрового зображення ДТТ побудована міра, як міра наявності дефекту на зображенні. В основу побудованої міри покладено функцію наявності, визначення якої наведено у статті [2; 3].

Проведено аналіз структури цифрового зображення ДТТ і на його основі визначені та формалізовані елементи дефекту.

Виконано аналіз факторів, що впливають на вимірюваність елементів цифрового зображення ДТТ.

Проведено аналіз спостережуваності функції наявності на цифровому зображенні ДТТ.

Список літератури

1. Александров П.С. Введение в теорию множеств и общую топологию. – М.: Наука, 1977, 368 с.
2. Борисович Ю., Близняков Н., Израилевич Я., Фоменко Т. Введение в топологию. – М.: Наука, Физматлит, 1995, 416 с.
3. Халмош П. Теория меры – М.: Издательство иностранной литературы, 1953, 282 с.
4. Рышков С.С., Мальцев А.А. Дискретная геометрия и геометрия чисел: Сб. статей. – М.: Наука, 2002. 335 с.
5. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн. 1-2. – М.: Мир, 1982.
6. Бобенко А. И., Сурис Ю. Б. Дискретная дифференциальная геометрия. Интегрируемая структура. – М.: Издательство: "НИИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований," 2010. 488 с.
7. Лукин А. Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы). Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа. МГУ. – 2007. – 54 с.
8. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
9. Горда О.В. Визначення дефекту типу «тріщина» в оптичному діапазоні.// Гірничі. будівельні, дорожні та меліоративні машини. – К.: КНУБА, 200. –№74. – С. 89-93.
10. Горда О.В. Особенности визуализации дефектов строительных машин, оборудования и сооружений на основе изображений оптического диапазона. Теория і практика будівництва. – Київ, №7. – 2011. – С. 22-24.
11. Bezdek, Károly Classical Topics in Discrete Geometry. – New York, N.Y: Springer, 2010. – 180 с.

References

1. Aleksandrov P.S (1977). Introduction to the theory of sets and general topology. – M: Science. 368.
2. Borisovich J., Blisnjakov N., Israilevich J., Fomenko T.(1995) Introduction to the topology. – M: Science, Fismathlit. 416.
3. Halmosh P.(1953) Theory of measure. – M.: Publishing House of foreign literature, 195., 282.
4. Rsshkov S. S., Malcev A. A (2002), Discrete geometry and geometry of numbers: of Col. reasons. – M: Science. 335.
5. Prett U.(1982) Digital processing of images. Bk 1-2. – M: World.
6. Bobenko A. I., Suris J. B.(2010) Discrete differential geometry. Intergrable structure. – M: Publishing house: "SRC "Regular and chaotic dynamics", Institute of computer researches". 488.
7. Lukin A.(2007) Introduction to digital treatment of signals(mathematical bases). Laboratory of computer graphics and multimedia. MGU. 54.
8. Fu K.(1977) Structural methods are in recognition of patterns. – M: World. 320.
9. Gorda E. V. (2009) Determination of defect as a "crack" in an optical range. //– Kiev. KNUBA Mountain. building, travelling and reclamative machines №74, 89–93.
10. Gorda E. V.(2011) Features of visualization of defects of building machines, equipment and building on the basis of images of optical range. // – Kiev. Theory and practice of building №7, p. 22–24.
11. Bezdek, Károly (2010) Classical Topics in Discrete Geometry. – New York, N.Y: Springer. 180.

Стаття надійшла до редколегії 23.01.201

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