

УДК 69:002;72.025;721

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.65947

МОДЕЛЬ ОБЛАСТІ СУМІЖНОСТІ ДЕФЕКТУ ТИПУ "ТРИЩИНА" НА ЦИФРОВОМУ ЗОБРАЖЕННІ

© О. В. Горда, О. О. Пузько

Процес виникнення та поширення дефекту типу тріщина (ДТТ) супроводжується появою супутніх дефектів і пошкоджень, які розташовуються на незначній відстані від русла тріщини і разом з нею утворюють область дефекту об'єкту моніторингу. В даній роботі наведено результати досліджень визначення області суміжності дефекту типу тріщина на цифрових зображеннях. Визначено та досліджено властивості відображення для побудови області суміжності та описано алгоритми її побудови на цифрових зображеннях

Ключові слова: моніторинг, тріщина, зображення, суміжність, область, множина, матриця, відображення, границя, ланцюг

The process of the emergence and spread of the crack defect is accompanied by the appearance of related defects and damages, which are located at a slight distance from the channel of the crack, and form the defect region of the monitoring object with it. In this article the results of researches are given for determining the area of adjacency of the crack defect in the digital images. Properties of display to construct adjacency region are defined and investigated and algorithms for its building in the digital images are described

Keywords: monitoring, crack, image, adjacency, region, set, matrix, display, limit, circuit

1. Вступ

Інтелектуальні методи неруйнівного контролю об'єктів будівництва набувають дедалі ширшого застосування. Одним із найпоширеніших дефектів будівельних споруд, будівельних машин та механізмів є тріщина. Як показує досвід, розтріскування та незначна тріщина часто буває лише початком утворення небезпечного дефекту, що є наслідком виникнення під дією впливів різного характеру змін у структурі матеріалу, що може призвести до фатальних наслідків. Таким чином, стає нагальною задачею визначення області суміжності дефекту типу тріщина (ДТТ) із супутніми дефектами з метою побудови системи моніторингу та ідентифікації дефектів, що утворилися, як супутні до тріщини.

2. Аналіз літературних даних

Обробка цифрових зображень – це наукова галузь, яка сьогодні інтенсивно розвивається і знаходить широке застосування у різних областях науково-практичних досліджень. Значний внесок у окремі аспекти зазначеного напрямку внесли вітчизняні та закордонні вчені та спеціалісти: Претт У. [1], Павлідіс Т. [2], Вуде Р., Гонсалес Р. [3], Дуда Р. [4], Стокхем Т. [5], Розенфельд А., Сойфер В., Фурман Я. А., Журавльов Ю. І., Цуккерман І. І., Ковалевський В. А. та ін [6].

Між тим, необхідно зазначити, що існуючі методи та методики аналізу цифрових зображень потребують уточнення та удосконалення, що обумовлюється неоднорідністю їх характеристик та параметрів, а іноді не мають математичного обґрунтування. Більшість робіт присвячена розгляду загальних положень теорії розпізнання образів, тоді як їх застосування до конкретних зображень потребує врахування специфічних особливостей об'єктів дослідження.

Запропонований підхід орієнтований на практичне конструктивне застосування побудови області

розташування на цифровому зображенні такого складного дефекту як тріщина.

3. Мета дослідження

Визначення на цифровому зображенні області суміжності ДТТ, дослідження її властивостей, визначення та дослідження розшарування границі області. Наведено опис алгоритму побудови області суміжності.

4. Побудова області суміжності ДТТ

Використовуючи позначення [7, 8]:

- W – матриця розмірності $m \times n$. (m – рядки, n – стовпчики), яка визначається технічними характеристиками оптичного приладу;
- Ω – множина матриці W , що належить до зображення ДТТ;
- $\partial\Omega$ – множина точок границі зображення;
- $B(W)$ – бул'ян множини W ;
- ε – дискретна метрика,

визначимо відображення $S(\Omega, \varepsilon): B(W) \rightarrow B(W)$ [9–11], таке, що

$$1. S(\Omega, 0): \Omega \rightarrow \partial\Omega,$$

2. $S(\Omega, \varepsilon_1) \supset S(\Omega, \varepsilon) \Leftrightarrow \varepsilon_1 \geq \varepsilon \geq 0$, тобто S – метричний гомеоморфізм,

3. $S(\Omega_1 \cup \Omega_2, \varepsilon) = S(\Omega_1, \varepsilon) \cup S(\Omega_2, \varepsilon)$ – адитивне відображення області $\Omega_1 \supseteq \Omega$, $\Omega_2 \supseteq \Omega$,

4. $S(\Omega_1, \varepsilon) \supseteq S(\Omega_2, \varepsilon) \Leftrightarrow \Omega_1 \supseteq \Omega_2$ – монотонне відображення області $\Omega_1 \supseteq \Omega$, $\Omega_2 \supseteq \Omega$,

$$5. S(\Omega_1, \varepsilon_1) \cup S(\Omega_2, \varepsilon_2) = S(\Omega_1 \cup \Omega_2, \varepsilon_3), \text{ де}$$

$$\varepsilon_3 = \begin{cases} \varepsilon_1 \mid \partial\Omega_1 \setminus (\partial\Omega_1 \cap \partial\Omega_2), \\ \varepsilon_2 \mid \partial\Omega_2 \setminus (\partial\Omega_1 \cap \partial\Omega_2), \\ \max\{\varepsilon_1, \varepsilon_2\} \mid \partial\Omega_1 \cap \partial\Omega_2, \\ \Omega_1 \supseteq \Omega, \Omega_2 \supseteq \Omega. \end{cases}$$

6. $\exists N < \infty, W \in \{S(\Omega, \varepsilon_N)\}$, наприклад $N > 2^{|\Omega|}$
7. $\lim_{\varepsilon_i \rightarrow 0} S(\Omega, \varepsilon_i) = S(\Omega, 0)$
8. $S(\Omega, 1) = Ob(\Omega)$ – обрис множини Ω в W .

Відображення S породжує наступні множини:

1. $\{S(\Omega, \varepsilon_i)\}$ – σ – ідеал множин, породжених множиною Ω та метрикою ε на множині $B(W)$ [12].
2. $\{S(\Omega, \varepsilon)\}$ – групоїд відносно операцій \cup та \cap .
3. $\{S(\Omega, \varepsilon)\}$ – комутативний моноїд по \cup , а саме $S(\Omega, 0) = E$.
4. $\{S(\Omega, \varepsilon)\}$ – комутативний моноїд по \cap , а саме $W \in \{S(\Omega, \varepsilon)\}$.

Визначення. Розшарування I границі $\partial\Omega$ ступеня k в l точках глибини ε :

$$I(\Omega, k, w_0, l, \varepsilon) = \{w \mid w \in W \setminus \Omega, mes(w, w_0^i) \leq \varepsilon,$$

$$\{w_0^i\} \in \partial\Omega; \left\{ \left. w_0^i \right| \left. mes(w_i^j, w_0^i) = \varepsilon \right\},$$

$$\left| w_0^i \right| = k, mes(w_i^j, w_0^i) = \varepsilon,$$

$$w_i^j - \text{нормалі в } (\cdot) w_0^i \text{ множини } \Omega \exists L \mid L \leq k.$$

Нагадаємо, нормаль до множини Ω в точці, це множина точок W , які знаходяться на відстані $\varepsilon < 1$ від нормалі, отриманої при відтворенні множини W , за рахунок апроксимації в R^2 [13–15].

Властивості розшарування:

1. $I_0(\Omega, \mid \partial\Omega, \mid \partial\Omega, \mid \partial\Omega, 0) = \partial\Omega$.
2. $I_1(\Omega, \mid \partial\Omega, \mid \partial\Omega, \mid \partial\Omega, 1) = Ob\Omega$.
3. $I^1 = I^2 \Leftrightarrow \{\Omega_1 = \Omega_2, k_1 = k_2,$
 $w_0^1 = w_0^2, l_1 = l_2, \varepsilon_1 = \varepsilon_2\}$.

4. Рекурентно визначимо i, j -у деформації по I_i як:

$$I_i = I_i(\Omega, \mid I_{i-1}, \mid I_{i-1}, L_{i-1, j}, 1),$$

$$1 \leq L_{i-1, j} \leq I_{i-1} \mid \forall j \in [1, 2^{l_{i-1}}],$$

$$L_{i-1, j} \leq 2^{l_{i-1}}.$$

$$5. \bigcup_j^{2^{l_{i-1}}} I_i(\Omega, \mid I_{i-1}, \mid I_{i-1}, L_{i-1, j}, 1) = ObI_{i-1} = \partial I_i.$$

6. Згідно з [8] ряд $\{I_i\}$, де $\forall i, I_i \subset I_i$ є динаміка зображення ДТТ Ω .

7. Для $\{I_i\}$ визначимо шар $Sl_i = I_i \setminus I_{i-1}$, тоді ряд $\{I_i \setminus I_{i-1}\}$, буде визначати динаміку приростів фігури Ω .

Значимо, нехай для ланцюга скелету Ω , i – індекс приросту, тоді $\forall w \in Sl_i \mid col(w) = fon$, де col -функція кольору точки, fon -колір фону зображення.

8. Означення 1. Точки $w_{N_{IR}^k}$ ввизначаються як точки границі області суміжності на l -й точці, k -го ланцюга при роздільній здатності r .

Це точка, для якої

$$\{col(w_{N_{IR}^k}) \neq fon\} \cap$$

$$\cap \left\{ \exists \{Sl_i^k\} \exists N_{l,R}^k \exists (\cdot) w_{N_{IR}^k} : \bigcup_{j=1,R} Sl_{N_{l,R}^k+j}^k = \emptyset \right\}.$$

9. Означення 2. Границя області суміжності $\partial\Omega_{N_R^k}$ тріщина Ω на k -му ланцюгу при роздільній

здатності r це: $\partial\Omega_{N_R^k} = \bigcup_i [w_{N_{IR}^k}, w_{N_{l-1,R}^k}]$.

10. Означення 3. Визначимо границю суміжності тріщини Ω при роздільній здатності r як $\partial\Omega_{N_R} = \bigcup_k \partial\Omega_{N_R^k}$, зшивання суміжних відрізків ланцюгів, що здійснюється згідно п. 9.

11. Означення 4. $Rg^R(\Omega)$ – область суміжності ДТТ(Ω) при роздільній здатності r на W , фігура породжена $\partial\Omega_{N_R}$ на W .

Нехай на зображенні W методами [8, 11, 16] виділена розкрита магістральна тріщина і для неї визначенні основні елементи: точка росту, точки розгалуження, лінії берегів, скелет тріщини, рів, береги. Побудова області суміжності тріщини здійснюється у наступному порядку.

Крок 1. Розіб'ємо лінію берегів тріщини Ω на відрізки у відношенні з ланцюгами скелету тріщини.

Крок 2. Визначимо дискретність ε розбиття лінії.

Крок 3. В точках розбиття лінії берега ДТТ відтворимо до неї перпендикуляри в бік від ланцюга ДТТ.

Крок 4. Виберемо дискретність розбиття відтворених перпендикулярів виходячи з того, що вона дорівнює у даній точці величині половини розкриття магістральної тріщини в даній точці (більш точно для величини розкритих тріщин вона дорівнює величині видимого берега у даній точці), що узгоджуються з фізичними процесами породження тріщини.

Крок 5. В рамках одного ланцюга Σ ДТТ побудуємо сітку St_{ε} відрізками, які являються паралельними відрізками відрізка берегової лінії між вузлами тріщини. В подальшому будемо називати цю координатну сітку локальною природною сіткою ланцюга.

Крок 6. Зшивання локальних природних сіток ланцюгів здійснюється у порядку їх слідування в скелеті ДТТ у вузлах доторкання ланцюгів і методом додавання відрізка прямої, що з'єднує вузол сітки в точці зшивання з відповідним вузлом в наступній локальній природній сітці ланцюга. Точок зшивання порівну у координатних сітках, що зшиваються, це є наслідком побудови локальних природних координатних сіток суміжних ланцюгів.

Крок 7. Визначимо для магістральної тріщини Ω локальну природну координатну сітку St_{ε} , як об'єднання локальних природних координатних сіток для всіх ланцюгів Ω .

Крок 8. У випадку, якщо у магістральної тріщини Ω спостерігається зворотній ріст, тобто існує Декартова система координат у якій існує не нульова проекція ланцюга скелету ДТТ Ω на попередній (не

обов'язково суміжний) ланцюг скелета ДТТ, тобто в залежності від топології взаємного розташування ланцюгів ДТТ визначається частина області суміжності ДТТ. Це питання буде досліджено пізніше.

Крок 9. У точці росту зшивання локальних природних координатних сіток для різних берегів тріщини здійснюється фрагментами кіл відповідного радіусу, якій визначається при наближенні координатних сіток зліва і справа до точки росту по різних берегам. Вибір форми як фрагментів кіл пояснюється те, що як правило, в точці росту тріщини область деформацій (пластичної деформації) формується вздовж силових ліній і являє собою форму цибулини, яку в силу її малості можливо представити як частину круга.

Крок 10. У точці розгалуження (вузла) зшивання локальних природних координатних сіток визначається вздовж перших ланцюгів скелету за точкою вузла і здійснюється за рахунок округлення у точці розходження ланцюгів по алгоритму аналогічному на кроці 9.

Крок 11. Локальна природна система координат задається природною локальною сіткою для об'єднання аналогічних сіток для ланцюгів ДТТ Ω . Потрібно відзначити, однозначність координатних точок із W в області суміжності забезпечується тим, що побудова виконується тільки на ε -околі ланцюгів Σ тріщини Ω у випадку росту тріщини не маючого зворотності по напрямку росту. Неоднозначність координат може спостерігатися в точках вузлів тріщини за рахунок близького розташування нових русел тріщини, що розходяться у боки. Ця неоднозначність ліквідується врахуванням близькості точки k тому, або іншому руслу тріщини.

Крок 12. Спираючись на локальну природну сітку ДТТ Ω , згідно до кроків 8–11 будуюмо область суміжності $Rg^R(\Omega)$.

Однозначність побудови області суміжності $Rg^R(\Omega)$ витікає з однозначності послідовності здійснення кроків 1–12, та з однозначності побудов на кожному кроці. Що до обґрунтування вибору величини r , вона в залежності від завантаженості пікселя зображення W обрису ДТТ Ω і для кожного ракурсу зйомки може бути адаптивно визначена [15, 16].

5. Результати моделювання області суміжності ДТТ на цифрових зображеннях

Використовуючи апарат дискретної геометрії, моделювання кластерів у колірних просторах, формалізовано відношення суміжності до дефекту типу "тріщина" і на його основі побудована модель представлення ДТТ. За рахунок конструктивного поняття області суміжності ДТТ виконано синтез покрокового алгоритму її побудови. Показана коректність та скінченність наведеної процедури.

Аналіз робіт стосовно розпізнанню образів в дискретних метричних просторах розмірності два-три показав ефективність наведеного підходу, що базується на врахуванні специфічних факторів та значень ознак об'єкту дослідження, а саме цифрового зображення ДТТ.

6. Висновки

У даній роботі у цілях розпізнання супутніх дефектів до ДТТ на цифрових зображеннях визначено поняття області суміжності, досліджені її властивості і алгоритм відтворення. Результати роботи можуть бути корисними для побудови інтелектуальних алгоритмів визначення і розпізнання області дефекту об'єкту моніторингу в разі розтріскування його поверхні.

Література

1. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений. Т. 1, Т. 2 [Текст] / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – 312 с., 480 с.
2. Павлидис, Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений [Текст] / Т. Павлидис. – М.: Радио и связь, 1986. – 400 с.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 616 с.
4. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен [Текст] / Р. Дуда, П. Харг. – М.: Мир, 1976. – 509 с.
5. Shapiro, L. G. Computer Vision [Text] / L. G. Shapiro, G. C. Stockman. – N. J.: Prentice Hall, Upper Saddle River, 2001. – 608 p.
6. Симанков, В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов [Текст] / В. С. Симанков, Е. В. Луценко. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.
7. Горда, О. В. Визначення дефекту типу «тріщина» в оптичному діапазоні [Текст] / О. В. Горда // Гірничі. будівельні, дорожні та меліоративні машини. – К.: КНУБА, 2010. – № 74. – С. 89–93.
8. Горда, О. В. Моделювання метрик в просторі цифрового зображення дефекту типу "тріщина" [Текст] / О. В. Горда // Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 17. – С. 112–120.
9. Окстоби, Дж. Мера и категория [Текст] / Дж. Окстоби. – М.: Мир, 1977. – 158 с.
10. Александров, П. С. Введение в теорию множеств и общую топологию [Текст] / П. С. Александров. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
11. Борисович, Ю. Введение в топологию [Текст] / Ю. Борисович, Н. Близняков, Я. Израилевич, Т. Фоменко. – М.: Наука, Физматлит, 1995. – 416 с.
12. Халмош, П. Теория меры [Текст] / П. Халмош. – М.: Издательство иностранной литературы, 1953. – 282 с.
13. Рышков, С. С. Дискретная геометрия и геометрия чисел [Текст] / С. С. Рышков, А. А. Мальцев. – М.: Наука, 2002. – 335 с.
14. Бобенко, А. И. Дискретная дифференциальная геометрия. Интегрируемая структура [Текст] / А. И. Бобенко, Ю. Б. Сурис. – М.: Издательство: "НИИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований," 2010. – 488 с.
15. Лукин, А. Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы) [Текст] / А. Лукин // Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа, МГУ. – Москва, 2007. – 54 с.
16. Фу, К. Структурные методы в распознавании образов [Текст] / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 320 с.

References

1. Pratt, W. (1982). Digital processing of image. Vol. 1, Vol. 2. Moscow: Mir, 312, 480.
2. Pavlidis, T. (1986). Algorithms for computer graphics and image processing. Moscow: Radio and communication, 400.
3. Gonzalez, R., Woods, R. (2005). Digital image processing. Moscow: Technosphere, 616.
4. Duda, R., Hart, P. (1976). Pattern recognition and scene analysis. Moscow: Mir, 509.

5. Shapiro, L. G., Stockman, G. C. (2001). Computer Vision. N. J.: Prentice Hall, Upper Saddle River, 608.
6. Simankov, V. S., Lutsenko, E. V. (1999). Adaptive control of complex systems based on the theory of pattern recognition. Krasnodar: Tech. University Cuban. state Indus. University press, 318.
7. Gorda, E. (2010). Identification of defect type "crack" in the optical range. The Mountain. building, road and reclamation machines. Kyiv: KNUBA, 74, 89–93.
8. Gorda, E. (2014). Simulation metrics in the space of a digital image defect type "crack". Managing the development of complex systems. Kyiv: KNUBA, 17, 112–120.
9. Oxtoby, J. (1977). Measure and category. Moscow: Peace, 158.
10. Aleksandrov, P. S. (1977). Introduction to set theory and General topology. Moscow: Nauka, 368.
11. Borisovich, Yu., Bliznakov, N., Izrailevich, Y., Fomenko, T. (1995). Introduction to topology. Moscow: Nauka, Fizmatlit, 416.
12. Halmos, P. (1953). Measure theory. Moscow: Foreign literature publishing house, 282.
13. Ryshkov, S. S., Maltsev, A. A. (2002). Discrete geometry and geometry of numbers. Moscow: Nauka, 335.
14. Bobenko, A. I., Suris, Y. B. (2010). Discrete differential geometry. Integrable structure. Moscow: Publishing house: "SIC "Regular and chaotic dynamics", Institute of computer science," 488.
15. Lukin, A. (2007). Introduction to digital signal processing (mathematical foundations). Laboratory computer graphics and multimedia, Moscow state University. Moscow, 54.
16. Fu, K. (1977). Structural methods in pattern recognition. Moscow: Mir, 320.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Михайленко В. М.
Дата надходження рукопису 14.03.2016*

Горда Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра "Інформаційні технології проектування і прикладної математики", Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 51, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: anaalg@ukr.net

Пузько Олексій Олександрович, аспірант, кафедра "Інформаційні технології проектування і прикладної математики", Київський національний університет будівництва і архітектури, пр. Повітрофлотський, 51, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: mozgji@gmail.com

УДК 663.1

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.67275

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ПЕРЕМІШУЮЧОГО ПРИБОРУ З МАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

© С. І. Костик, Л. І. Ружинська, В. Ю. Шибецький, О. О. Ревтов

Дана стаття присвячена математичному моделюванню гідродинаміки при використанні перемішуючого пристрою з магнітним приводом. В статті наведені математичні залежності, які описують характер руху рідини і дозволяють визначити складові швидкостей. Знайдена залежність товщини приграничного шару рідини біля перемішуючого пристрою, визначено крутний момент мішалки і потужність, яка витрачається на перемішування

Ключові слова: перемішуючий пристрій з магнітним приводом, гідродинаміка, поле швидкостей

This article is devoted to mathematical simulation of hydrodynamics using a mixing device with magnetic drive. The article contains mathematical formulas describing the motion of fluids and allows to determine the compounds of velocities. Dependence of thickness of near-boundary liquid layer near the mixing device was found, stirrer's torsion torque and the power for mixing process were determined

Keywords: mixing device with magnetic drive, hydrodynamics, field of velocities

1. Вступ

Технологічне обладнання, яке використовується при виробництві лікарських засобів чи мікробіологічних препаратів, являє собою складні і дорогі технічні системи, експлуатація яких пов'язана з різноманітними ризиками [1].

Сучасні конструкції ферментерів мають ряд специфічних недоліків:

- порушення асептичності в місцях входу валу в апарат (ущільнення);
- під час перемішування утворюються високо-турбулентні зони та зони застою, що є причиною не-