

## СЕГМЕНТАЦІЯ ДЕФЕКТІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ЗВАРНИХ ШВІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛОГАРИФМІЧНОЇ МОДЕЛІ

Segmentation method based on logarithmic image processing is presented. Using of combination of logarithmic multiplicative operators allows to segment precisely low contrast image fragments. Experimental results confirm effectiveness of application of generalized logarithmic image processing model in segmentation tasks.

**Keywords:** *morphologic transformations, image segmentation, logarithmic morphology, structuring element.*

Описано метод сегментації, що базується на логарифмічній моделі подання зображень. Використання комбінації логарифмічних мультиплікативних операторів дає змогу виокремити низькоконтрастні фрагменти зображення. Проведено експериментальні дослідження, що засвідчують ефективність застосування узагальненої моделі логарифмічної обробки зображень у задачах сегментації.

**Ключові слова:** *морфологічні перетворення, сегментація зображень, логарифмічна морфологія, структурний елемент.*

Під час аналізу оцифрованих рентгенограм зварних з'єднань магістральних трубопроводів однією з найважливіших задач є сегментація дефектів. В останніх публікаціях, присвячених виділенню дефектів у зварному шві, автори аналізують зміну похідних профілю інтенсивностей зварного шва [14]. Декілька авторів моделюють профіль зварного шва гауссівською функцією. Так у роботах [7] та [15] використано суму гауссівської та лінійної функцій для апроксимації профілю шва. Проте автори використовують п'ять параметрів, від яких залежить якість сегментації. Алгоритм є чутливим щодо відношення довжини зварного шва до перешкод і до розміщення еталону чутливості та маркування. У статті [13] подано порівняльний аналіз методів виділення дефектів на зображеннях, описано, які методи покращання зображень слід застосовувати, аби сегментація була більш інформативною (у [9] – описано використання методів кластеризації для сегментації зображень, у [18] – показано доцільність використання марковських випадкових полів для пороговання). Для сегментації об'єктів реалізовано порогові методи Оцу, Ніблака та Сауволи. У статті [12] автори використовують модель модифікованої анізотропної дифузії для сегментації дефектів. Область зони зварного шва вважають виділеною. Багато авторів застосовують морфологічну обробку [8], вейвлет перетворення [16], штучні нейронні мережі [19]; нечітку логіку та аналіз у ковзному вікні [11], метод водорозділу [10] для виділення дефектів. Поданий широкий спектр робіт щодо сегментації дефектів зварного шва засвідчує їх різноманітність і вимагає вибору оптимальних підходів до достовірного визначення дефектів зварного з'єднання.

Для сегментації дефектів на зображеннях зварних швів було використано логарифмічну модель подання зображень. А саме параметричну модель [1], яка узагальнює відомі моделі Жорлін–Пінолі [3], базову [1] та Патраску [5]. Операцію додавання  $\langle + \rangle_g$  для  $\forall u, v \in E$  визначено так:

$$u \langle + \rangle_p v = \text{sign}(u + v) \cdot \frac{|u + v| + (1 - q) \cdot (p - 2) \cdot u \cdot v / M}{1 + (p - 1) \cdot u \cdot v / M^2 + q \cdot (p - 2) \cdot \min(|u|, |v|) / M}, \quad (1)$$

де  $E = (-M, M)$ ,  $M > 0$ ,  $p > 0$ ,

$$q = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \text{sign}(u) = \text{sign}(v), \\ 1, & \text{якщо } \text{sign}(u) = -\text{sign}(v), \end{cases}$$

та операцію множення на скаляр для довільного  $\alpha \in R$  і для довільного  $u \in E$ , яку можна описати виразом

$$\alpha \langle \times \rangle_p u = \text{sign}(\alpha \cdot u) \cdot M \cdot \frac{(M + (p-1) \cdot |u|)^{|\alpha|} - (M - |u|)^{|\alpha|}}{(M + (p-1) \cdot |u|)^{|\alpha|} + (p-1)(M - |u|)^{|\alpha|}}. \quad (2)$$

Нова узагальнена модель через наявність параметра  $p > 0$  дає змогу вибирати різні модифікації ЛОЗ. Попередні дослідження виявили, що збільшення параметра  $p$  при застосуванні алгоритмів покращання зображень на основі узагальненої базової моделі логарифмічної обробки зображень підвищує контрастність зображень. Цю властивість і було використано для сегментації дефектів зварних швів. Для зменшення обчислювальних затрат операцію контрастування застосували лише в неоднорідних ділянках, де середньоквадратичне відхилення обчислене у локальному вікні обробки  $W$  розміром  $L \times L$  з центром у точці  $(i, j)$  було вищим за середній рівень. Для кожного неоднорідного вікна обчислювали значення параметра  $M$  так:

$$M = (\max\{g(m, n) \mid g(m, n) \in W(i, j)\} - \min\{g(m, n) \mid g(m, n) \in W(i, j)\}) / 2.$$

Застосувавши операцію множення на скаляр (2) при великих значеннях  $\alpha$ , отримаємо бінарне зображення. Такий результат сегментації може бути незадовільним у випадку, коли область дефекту є неоднорідною. Такою неоднорідністю характеризуються шлаки. Щоб усунути цей недолік, застосували оператор поліпшення якості зображення на основі логарифмічного мультиплікативного контрастування зображення  $f$ , який обчислюють за формулою

$$\text{ContEnh}_{ML}(f) = f \langle + \rangle WTH_{ML}(f) \langle - \rangle BTH_{ML}(f). \quad (3)$$

де  $WTH_{ML}(f)$ ,  $BTH_{ML}(f)$  – оператори логарифмічних циліндричних перетворень.

$$WTH_{ML}(f)(x, y) = f \langle - \rangle (f \langle - \rangle_{ML} \tilde{g}) \langle + \rangle_{ML} g; \quad (4)$$

$$BTH_{ML}(f)(x, y) = ((f \langle + \rangle_{ML} \tilde{g}) \langle - \rangle_{ML} g) \langle - \rangle f; \quad (5)$$

$(f \langle + \rangle_{ML} \tilde{g})(x)$ ,  $(f \langle - \rangle_{ML} \tilde{g})(x)$  логарифмічні мультиплікативні оператори, отримані на основі узагальненої моделі ЛОЗ

$$(f \langle - \rangle_{ML} \tilde{g})(x) = \inf_p \{ \text{sign}(k \cdot (f(y) - g(y-x))) \cdot M \times \frac{(M + (p-1) \cdot |f(y) - g(y-x)|)^{|k|} - (M - |f(y) - g(y-x)|)^{|k|}}{(M + (p-1) \cdot |f(y) - g(y-x)|)^{|k|} + (p-1)(M - |f(y) - g(y-x)|)^{|k|}} \mid y \in \mathbf{R}^2 \}, \quad (6)$$

$$(f \langle + \rangle_{ML} \tilde{g})(x) = \sup_p \{ \text{sign}(k \cdot (f(y) + g(y-x))) \cdot M \times \frac{(M + (p-1) \cdot |f(y) + g(y-x)|)^{|k|} - (M - |f(y) + g(y-x)|)^{|k|}}{(M + (p-1) \cdot |f(y) + g(y-x)|)^{|k|} + (p-1)(M - |f(y) + g(y-x)|)^{|k|}} \mid y \in \mathbf{R}^2 \}. \quad (7)$$

Множник  $k$  для підсилення світлих та темних ділянок зображення обчислювали за формулою

$$k(x) = |f(x)| / M. \quad (8)$$

Застосувавши операцію множення на скаляр (2) при  $\alpha = 10$ , отримуємо бінарне зображення (див рис. 1з). Для зменшення обчислювальних затрат операцію контрастування застосовували лише в неоднорідних ділянках, де середньоквадратичне відхилення, обчислене у локальному вікні обробки, було вищим за середній рівень. Для підвищення контрастності застосовано логарифмічне мультиплікативне контрастування зображення за формулою (3). При застосуванні контрастування за допомогою структурного елемента “диск” радіусом 8 пікселів,  $k = 0,2$  та  $p = 3$  та послідовного множення на скаляр  $\alpha = 10$  отримали результат з детальнішим сегментуванням дефектів (див. рис. 2з). Для порівняння наведено результати сегментації методами Оцу та Ксу [17].

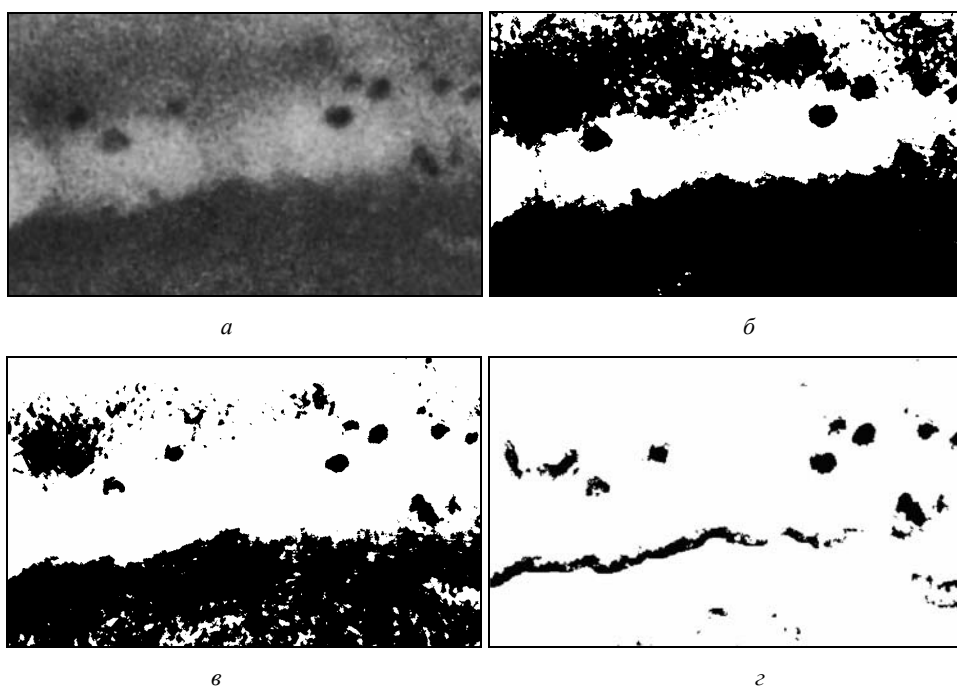


Рис. 1. Тестове зображення фрагмента зварного шва (а) і результати сегментації методом Оцу (б), методом Ксу (в), методом множення на скаляр при  $L = 21$ ,  $\alpha = 10$ ,  $p = 10$  (г).

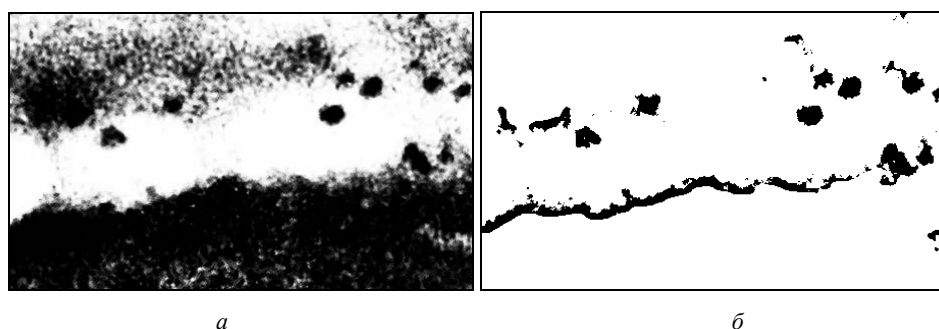


Рис. 2. Тестове зображення фрагмента зварного шва після контрастування за допомогою структурного елемента “диск” радіусом 8 пікселів,  $k = 0,2$  та  $p = 3$  (а) і результати сегментації методом множення на скаляр при  $L = 21$ ,  $\alpha = 10$ ,  $p = 10$  (б).

Експериментальні результати засвідчили ефективність застосування контрастування для сегментації низькоконтрастних зображень з адаптивним обчис-

ленням параметра  $k$  за формулою (8), що дає змогу підсилити світлі та темні ділянки навколо дефектів.

### ВИСНОВКИ

Запропоновано адаптивний метод сегментації зображень, що базується на логарифмічній моделі подання зображень. Використання морфологічних логарифмічних операторів дає змогу виокремити нечіткі границі сегментованих дефектів зображення.

1. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. – К.: Наук. думка 2012. – 231 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.
3. Jourlin M., Pinoli J.-C. Logarithmic image processing // Advances in Imaging and Electron Physics. – 2001. – **115**. – P. 129–196.
4. Pătrașcu V., Buzuloiu V. A Mathematical Model for Logarithmic Image Processing // 5<sup>th</sup> World Multi-Conf. on Systemics, Cybernetics and Informatics, SCI2001, July 22–25. – Orlando, USA. – 2001. – **13**. – P. 117–122.
5. Pătrașcu V., Buzuloiu V. The Affine Transforms for Image Enhancement in the Context of Logarithmic Models // Proc. Int. Conf. on Computer Vision and Graphics, ICCVG 2002. – Poland: Zakopane. – 2002. – **2**. – P. 596–601.
6. Zaharescu E. Morphological enhancement of medical images in a logarithmic image environment toolbox // 15<sup>th</sup> European Signal Proc. Conf., EUSIPCO 2007. – 2007. – P. 2263–2266.
7. Baniukiewicz P., Sikora R. Automatic Detection of Objects in Radiographic Images // 2011 Joint 3<sup>rd</sup> Int'l Workshop on Nonlinear Dynamics and Synchronization (INDS) & 16<sup>th</sup> Int'l Symp. on Theoretical Electrical Engню (ISTET) – 2011. – 6 p.
8. Chen W., Miao Z., Ming D. Automated Inspection Using X-Ray Imaging // Proc. IEEE 10<sup>th</sup> Int. Conf. on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications). – 2011. – P. 1769–1772.
9. Analysis of Image Segmentation for Radiographic Images / B. Karthikeyan, V. Vaithyanathan, B. Venkatraman, M. Menaka // Indian J. Sci. and Techn. – 2012. – **5**, № 11. – P. 3660–3664.
10. Automatic detection of welding defects / R. K. Kountchev et al. // Int. J. Reasoning-based Intelligent Systems. – 2011. – **3**, № 1. – P. 34–43.
11. Mery D. Automated Detection of Welding Discontinuities without Segmentation // Materials Evaluation. – 2011. – June. – P. 657–663.
12. Weld defect detection using a modified anisotropic diffusion model / B. Mhamed et al. // EURASIP J. on Advances in Signal Proc. – 2012. – 12 p
13. Rathod V. R., Anand R. S. A novel method for detection and quantification of incomplete penetration type flaws in weldments // J. X-Ray Sci. and Techn. – 2011. – **19**. – P. 261–274.
14. Automatic weld recognition and extraction from real-time X-ray images using quadratic curve fitting and multi-order differences analysis of intensity profile / J. Shao, D. Du, H. Shi, B. Chang // Insight. – 2011. – **53**, № 10. – P. 562–569
15. Segmentation of weld defects in radiographs using rank-levelling and background subtraction Insight / S. L. Soo, M. M. Ratnam, Z. Samad, M. A. Khalid // Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. – 2008. – **50**, № 4. – P. 188–194.
16. Suwanjandee S., Leelasantitham A., Kiattisin S. A detection of welding trace using X-ray images based on 2-D wavelet transform // Proc. Int. Symp. on Intelligent Signal Proc. and Communication Systems. – 2010. – P. 1–4.
17. Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications / X. Y. Xu, S. Z. Xu, L. H. Jin, E. Song // Pattern Recognition Letters. – 2011. – **32**. – P. 956–961.
18. Yogamangalam R., Karthikeyan B. Segmentation Techniques Comparison in Image Processing // Int. J. Eng. and Techn. (IJET). – 2013. – **5**, № 1. – P. 307–313.
19. Zapata J., Vilar R., Ruiz R. Automatic Inspection System of Welding Radiographic Images Based on ANN Under a Regularization Process // J. Nondestructive Evaluation. – 2012. – **31**, № 1. – P. 34–45.