

ВИЗНАЧЕННЯ ЗОНИ ЗВАРНОГО ШВА НА РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ТРУБ

A method for joint weld localization on scanned X-ray films of joint welds of tubes is proposed. It is based on the detection of tube zone and further analysis of local intensity changes. Method is tested on real images.

Запропоновано метод локалізації зони зварного шва на сканованих рентгенівських зображеннях труб. Він базується на визначенні зони труби та подальшому аналізі локальних перепадів яскравості на зображенні. Наведено результати апробації методу на реальних зображеннях.

Трубопроводи є найбезпечнішим та найдешевшим способом транспортування газу на великі відстані. Тому інспектування нафто- та газопроводів є важливою складовою неруйнівного контролю. Радіографічний метод контролю є базовим методом неруйнівного трубопроводів протягом останніх 50 років [1, 7, 29]. Найскладнішою задачею під час радіографічного контролю є точне детектування дефектів на плівці зварного шва, оскільки потрібно локалізувати й оцінити велику кількість дефектів. Відомо, що кілька експертів можуть по-різному трактувати одну плівку. Навіть один експерт може по-різному трактувати плівку на початку чи в кінці робочого дня. З розвитком цифрової обробки зображень став можливим автоматизований аналіз зварних швів. Досі актуальною є розробка системи автоматичного аналізу зображень зварних швів. Публікації на цю тему можна поділити на групи за метою роботи: покращання зображень [26, 28], сегментація зони зварного шва [10, 13], знаходження дефектів у зварному шві [5, 6, 8–9, 11–12, 21–22, 30], виділення інформативних ознак [24, 27, 29] та класифікація знайдених дефектів [15, 19, 20, 24, 27, 29].

Багато робіт присвячено локалізації зони зварного шва на зображенні для зменшення області уваги у процесі пошуку дефектів. Лі [14] аналізував три ознаки зварного шва: ширину об'єкта, середньо-квадратичну похибку між профілем дефекту та гаусівською кривою і інтенсивність піку об'єкту. Згідно з Лі профіль інтенсивності зварного шва є більш подібним до гаусівської кривої, ніж інших об'єктів зображення. Для верифікації поділу на два класи (шов та не шов), Лі використовував критерій відстані між середніми значеннями ознак кожного об'єкту та перекриття (накладання) між класами. Для критерію відстані він зробив висновок, що ознака ширини об'єкта була найкращою, а для критерію перекривання найкращі результати дала ознака середньоквадратичної похибки. Використовуючи ці три ознаки для 44 даних, він застосував K-NN нечіткий алгоритм для класифікації шва чи не шва і отримав ймовірність класифікації 93,2% для нормалізованих даних.

Ліао і Танг [17] оцінювали можливість локалізації зварного шва за допомогою нейронних мереж. Вони розглядали виділення зварного шва як задачу сегментації. Для цього використовували такі ознаки: позицію піку, ширину піку, середньоквадратичну похибку між профілем шва і Гаусівською кривою та інтенсивність піку. Спочатку застосовували алгоритм детектування піків і об'єктів зображення, що базується на детектуванні зміни дотичної до лінії профілю в кожній точці, обчислювали інтенсивність і позицію знайдених піків, вимірювали ширину та знаходили середньоквадратичну похибку. Тоді застосовували нейронну мережу типу зворотного поширення та методику Флетчера–Рівза для навчання мережі, щоб поділити вхідні дані на два класи: шов та не шов.

Ліао та Ні [18] запропонували метод, що полягає в поділі зображення на вертикальні секції зі зварними швами. Далі в кожній секції аналізували профілі інтенсивності по рядках і знаходили зони зварних швів за їх піками.

Феліберто [10] використав генетичний алгоритм для ознак позиції, ширини, висоти та кута для визначення вікна, що відповідає еталону зварного шва.

Ші [26] запропонував для локалізації зони зварного шва використати порогову сегментацію за таким алгоритмом:

1. Обчислюємо максимальне та мінімальне значення інтенсивності зображення Z_1 і Z_k . Початкове значення порогу визначаємо таким чином:

$$T^0 = \frac{Z_1 + Z_k}{2}. \quad (1)$$

2. За допомогою порогу T^k сегментуємо зображення на дві частини: об'єкт і фон. Обчислюємо середнє значення інтенсивності зображення в двох частинах Z_O і Z_B окремо:

$$Z_O = \frac{\sum_{z(i,j) < T^k} z(i,j) \times N(i,j)}{\sum_{z(i,j) < T^k} N(i,j)}, \quad Z_B = \frac{\sum_{z(i,j) > T^k} z(i,j) \times N(i,j)}{\sum_{z(i,j) > T^k} N(i,j)}, \quad (2)$$

де $z(i, j)$ – значення інтенсивності зображення в точці (i, j) ; $N(i, j)$ – кількість пікселів з яскравістю $z(i, j)$.

3. Обчислюємо новий поріг:

$$T^{K+1} = \frac{Z_O + Z_B}{2}. \quad (3)$$

4. Якщо $T^K = T^{K+1}$, то кінець циклу, T^{K+1} оптимальний поріг, інакше $K := K+1$ і перейти до пункту 2.

Лавсон та Паркер [13] застосували штучні нейронні мережі, а саме, тришаровий перцептрон з алгоритмом зворотного поширення для сегментації зварного шва. Вектор вхідних ознак охоплює шість елементів: координати, локальне середнє значення, медіану, максимальне значення у вікні розміром 3×3 та поточне значення інтенсивності зображення. Прихований шар складається з п'яти елементів а останній шар – з одного елемента. Навчання проводили на трьох зображеннях з відношенням кількості пікселів фону до пікселів шва 4:1. Загальна кількість навчальних векторів становила 15000 та 40000.

Ці методи розроблені для обробки рентгенівських плівок, на яких зображені лише шов та фон. На плівках зварних швів труб зображені шов, труба та фон (див. рис. 1), що зменшує ефективність розглянутих методів.

Метою роботи є розробка методу локалізації зон зварного шва на сканованих рентгенівських зображеннях труб. Запропонований метод локалізації зони зварного шва є двокроковим. Спочатку знаходимо область труби, враховуючи гаусівський розподіл шуму на рентгенівських зображеннях, за допомогою порівняння з порогом

$$Th = 6\sigma, \quad (4)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення шуму.

Область зварного шва вибирають за допомогою локальної функції зображення, що набуває більших значень у пікселях, що належать шву, ніж у пікселях труби. За допомогою структурного елемента [2] проводять пошук найсвітлішої ділянки. Висоту структурного елемента визначають адаптивно, з врахуванням результатів визначення зони труби. Ширина структурного елемента залежить від роздільної здатності сканування плівки. Для кожного пікселя зображення обчислюється максимальний перепад яскравості між об'єктом та фоном серед струк-

турних елементів. Розглянемо область об'єкта, яка є структурним елементом, з центром у точці (i, j) і область фону [2]. Массив перепадів яскравості обчислюється за формулою

$$R\{g(i, j)\} = \max |G_B(i, j) - G_O(i, j)|, \quad (5)$$

де $g(i, j)$ – значення яскравості в точці (i, j) ; $G_B(i, j)$ – робастна оцінка функції інтенсивності зображення області фону; $G_O(i, j)$ – робастна оцінка функції інтенсивності зображення області об'єкта.

Дві ділянки з максимальним значенням перепаду яскравості і є ділянками з зонами зварного шва. На рис. 1 наведено зображення труб різного діаметру зі зварними швами. Результати локалізації зони зварного шва за методом Ші наведено на рис. 2. В основному, за допомогою цього методу виділяються зони країв труби. На наступному рисунку (рис. 3) наведено результат локалізації зони труби запропонованим методом. На рис. 4 зображено результат виділення зон зварного шва, запропонованим методом, на зображеннях з рис. 1. Зони шва виділені білим прямокутником.

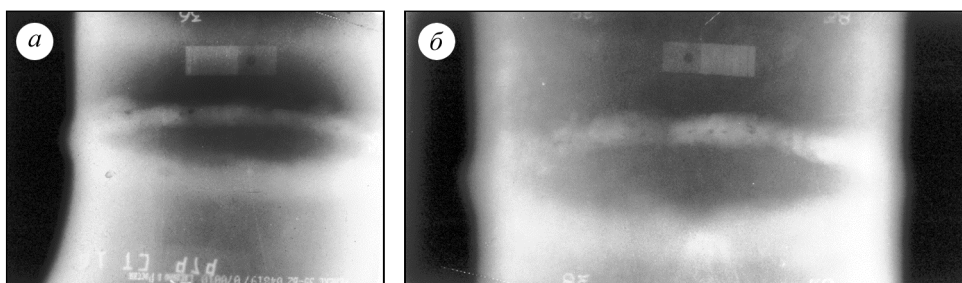


Рис. 1. Тестові зображення труби зі зварним швом.

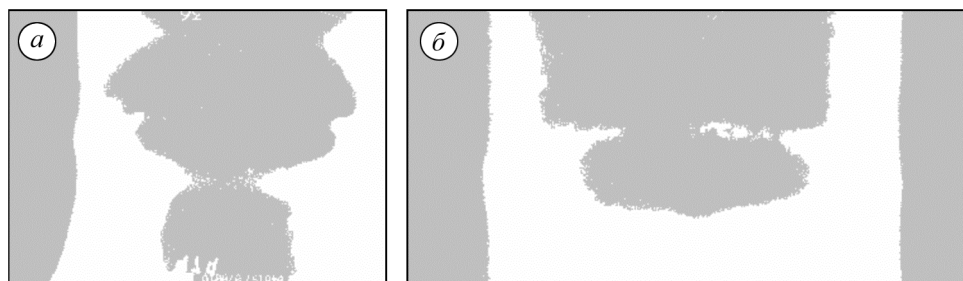


Рис. 2. Результат сегментації області зварного шва, на зображенні труби (рис. 1а і б) методом Ші.

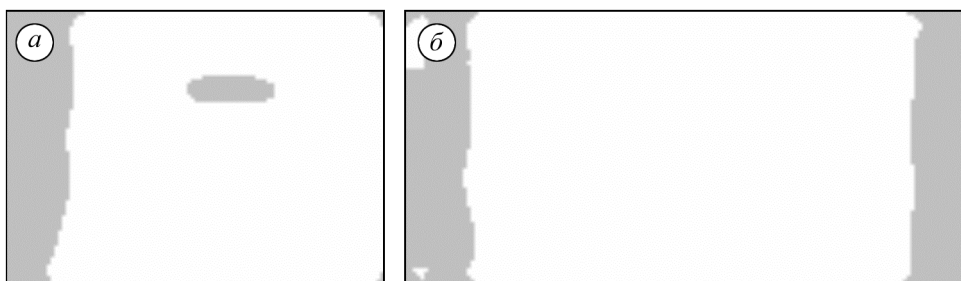


Рис. 3. Результат сегментації області труби, на зображенні з рис. 1а та б.

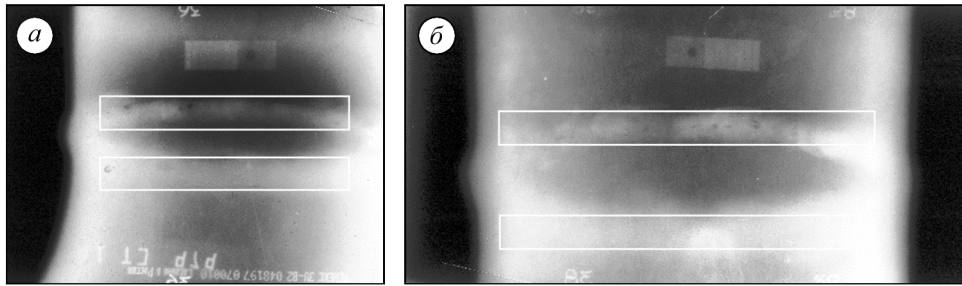


Рис. 4. Зображення труби діаметром з рис. 1а та б з виділеними зонами зварного шва запропонованим методом.

Запропонований метод апробовано на 22 реальних зображеннях зварних швів. Перевагою методу є можливість знаходити зону зварного шва на зображеннях труб різного діаметру. Отримані результати дають змогу проводити пошук дефектів лише в зоні зварного шва.

1. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиграфический метод.
2. Івасенко І. Б. Локалізація та сегментація різномасштабних об'єктів з використанням функції інформативності // Відбір і обробка інформації. – 2005. – Вип. 22 (98). – С. 76–80.
3. Капустин А. Е., Бардусова И. И., Колосов В. В. Компьютерные технологии и рентгеновская дефектоскопия сварных соединений // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2001. – № 4. – С. 14–20.
4. Круглова Е. В., Князюк Л. В. Определение размеров дефектов сварных соединений // Дефектоскопия. – 2004. – № 4. – С. 71–75.
5. Alaknanda, Anand R. S., Kumar P. Flaw detection in radiographic weld images using morphological approach // NDT & E International. – 2006. – 39(1). – P. 29–33.
6. Alaknanda, Anand R. S., Kumar P. Flaw detection in radiographic weldment images using morphological watershed segmentation technique // NDT & E International. – 2009. – 42(1). – P. 2–8.
7. Annala L. Non-destructive Testing of Pipelines // Proceedings of the fourth ST workshop. – 2001. – P. 365–370.
8. Bonser G., Lawson S. W. Defect detection in partially complete SAW and TIG welds using on-line radiography and image processing. // Proceedings of SPIE international symposium on non destructive evaluation techniques for ageing infrastructure and manufacturing, San Antonio, TX. – 1998. – Vol. 3399. – P. 231–9.
9. Carrasco M., & Mery D. Segmentation of welding discontinuities using a robust algorithm // Materials Evaluation. – 2004. – № 11. – P. 1142–1147.
10. An Object Detection and Recognition System for Weld Bead Extraction from Digital Radiographs / M. K. Felisberto, H. S. Lopes, T. M. Centeno, L. V. Arruda // Computer Vision and Image Understanding. – 2006. – 102(3). – P. 238–249.
11. Fillatre L., Nikiforov I., Retraint F. A Simple Algorithm for Defect Detection From a Few Radiographies // Journal of Computers. – 2007. – 2, № 6. – P. 26–34.
12. Kazantsev. D. I., Salov G. I. and Pyatkin V. P. Statistical detection of defects in radiographic images of welds // Proc. 16 World Conference on Nondestructive Testing. – Montreal, Canada. – 2004. – P. 235–244.
13. Lawson S. E., Parker G. A., Intelligent segmentation of industrial radiographic images using neural networks // Proc. SPIE Architectures and Systems Integration III. – 1994. – Vol. 2347. – P. 245–255.
14. Li Y., Liao T. W. Weld Defect Detection Based on Gaussian Curve // Proc. 28th Southeastern Symposium on System Theorie. – 1996. – P. 227–231.
15. Liao T. W. Classification of weld flaws with imbalanced class data // Expert Systems with Applications: An International Journal. – 2008. – 35, № 3. – P. 1041–1052.

16. *Liao T. W., Li Y.* An Automated Radiographic NDT System for Weld Inspection: Part II – Flaw Detection // *NDT&E International*. – 1998. – 31(3). – P. 183–192.
17. *Liao T. W., Tang K.* Automated Extraction of Welds from Digitized Radiographic Images Based on MLP Neuronal Networks // *Applied Artificial Intelligence*. – 1997. – 11(3). – P. 197–218.
18. *Liao T. W., Ni J.* An automated radiographic NDT system for weld inspection: part I – weld extraction // *NDT&E International*. – 1996. – 29(3). – P. 157–162.
19. *Lim T. Y., Ratnam M. M., and Khalid M. A.* Automatic classification of weld defects using simulated data and an MLP neural network // *Insight*. – 2007. – **49**, № 3. – P. 154–159.
20. *Mitchell H. B.* Pattern recognition using type-II fuzzy sets // *Information Sciences – Informatics and Computer Science: An International Journal*. – 2005. – **170**, № 2–4. – P. 409–418.
21. *Non-parametric histogram-based thresholding methods for weld defect detection in radiography / N. Nacereddine, L. Hamami, M. Tridi, N. Oucief // Transactions on Engineering, Computing and Technology*. – 2005. – Vol. 9(11). – P. 213–217.
22. *Weld defect detection in industrial radiography based digital image processing / N. Nacereddine, M. Zemat, S. Belaïfa, M. Tridi // Transactions on Engineering, Computing and Technology*. – 2004. – 2(12). – P. 145–148.
23. *Classification of welding defects in radiographs using traversal profiles to the weld seam / G. X. Pádua, R. R. Silva, M. H. S. Siqueira, J. M. A. Rebello, L. P. Caloba // 16th World Conf. on nondestructive testing*. – Montreal, WCNDT. – 2004. – P. 90–91.
24. *Detection and classification of weld defects in radiographic images: Part III – phenomenological analysis / G. X. Pádua, R. Silva, D. Mery, M. H. S. Siqueira, J. M. A. Rebello, L. P. Caloba // Materials Evaluation*. – 2008. – 66(2). – P. 145–149.
25. *Assessment of welding defects for gas pipeline radiographs using computer vision / H. I. Shafeek, E. S. Gadelmawla, A. A. Abdel-Shafy, I. M. Elewa // NDT&E International*. – 2004. – **37**. – P. 291–299.
26. *Research on segmentation and distribution features of small defects in precision weldments with complex structure / D. H. Shi, T. Gang, S. Y. Yang, Y. Yuan // Ibid.* – 2007. – **40**. – P. 397–404.
27. *Pattern Recognition of Weld Defects Detected by Radiography Test / R. R. Silva, L. P. Calôba, M. H. S. Siqueira, J. M. A. Rebello // Ibid.* – 2004. – **37**(6). – P. 461–470.
28. *Silva R. R., Mery D.* State-of-the-Art of Weld Seam Inspection by Radiographic Testing: Part I – Image Processing // *E-Journal of Nondestructive Testing and Ultrasonics*. – 2007. – **12**. – P. 1–9.
29. *Estimated accuracy of classification of defects detected in welded joints by radiographic tests / R. R. Silva, M. H. S. Siqueira, M. P. V. Souza, J. M. A. Rebello, L. P. Calôba // NDT & E International, UK*. – 2005. – № 38. – P. 335–343.
30. *Wang Y., Sun Y., Lv P., Wang H.* Detection of line weld defects based on multiple thresholds and support vector machine // *NDT & E International*. – 2008. – **41**(7). – P. 517–524.