

УДК 681.327.1

АВТОМАТИЧНЕ ЗНАХОДЖЕННЯ КОНТУРІВ ДЕФЕКТІВ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЮ

А.О. Бедзір, І.З.Лютак

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422) 4-60-77

Представлено підхід оброблення зображень, отриманих ультразвуковими методами, на основі R-снейк алгоритму. Здійснено математичний опис алгоритму. Контур дефекта на зображенні аналізується за допомогою таких величин, як внутрішня енергія по контуру та зовнішня енергія околу ключових точок, що його формують. R-снейк алгоритм модифіковано з метою оптимального виділення об'єктів з нечіткими границями.

Представлен подход обработки изображений, полученных ультразвуковыми методами, на основе R-снейк алгоритма. Осуществлено математическое описание алгоритма. Контур дефекта на изображении анализируется с помощью таких величин, как внутренняя энергия по контуру и внешняя энергия окрестности ключевых точек, что его формируют. R-снейк алгоритм модифицирован с целью оптимального выделения объектов с нечеткими границами.

Images processing approach on the basis of R-snake algorithm is presented. Images are obtained by means of ultrasonic methods. Mathematical formulation of algorithm is carried out. The contour of defect on an image is analysed by internal energy of contour and external energy of vicinity of key points, that form the contour. R-snake algorithm is modified with the purpose of selection of objects in optimal way with unsharp boundaries.

Ультразвукові мікроскопи дозволяють отримувати двовимірні зображення досліджуваного металу та визначати його структуру і наявність в ньому дефектів. Принцип дії ультразвукового мікроскопу полягає в тому, що він генерує сфокусований ультразвуковий пучок пучок в досліджуваній метал та переміщує цей пучок по поверхні металу [1]. За хвильовими параметрами луно-імпульсів від кожної точки, де вводиться ультразвуковий пучок, обчислюється яскравість та координата піксела на растровому зображенні, яке представляє результати сканування мікроскопом досліджуваної поверхні (рис. 1). Подальше автоматичне оброблення таких зображень з метою пошуку та аналізу параметрів дефектів є актуальною задачею.

З метою автоматизації процесу пошуку дефектів на зображеннях розроблено ряд методів, які базуються на контурному аналізі і полягають в автоматичному пошуку контурів дефекту на зображенні та знаходженні його границь, що дає можливість дістати необхідну інформацію про дефект.

На зображенні різним об'єктам відповідають області з різними значеннями

яскравості. На границях яскравість істотно міняється. Задача виявлення границі полягає у знаходженні цього перепаду яскравості, який буде відповідати границі.



Рисунок 1 - Зображення, отримане ультразвуковим мікроскопом

Найпростішими алгоритмами обробки зображень є градієнтні методи [1]. Вони базуються на тому, що мірою зміни деякої величини є її похідна. Основними недоліками градієнтних методів є те, що вони чутливі до

дрібномасштабного шуму і не дають замкнених границь.

Найбільш поширений алгоритм пошуку контурів на зображеннях має назву Canny [2]. Основою цього алгоритму є фільтрація дрібномасштабного шуму, що з одного боку підвищує стійкість результатів, а з іншого може привести до спотворення і навіть втрати частини границь. Для вирішення проблеми замкнутості контуру в алгоритм включені евристичні доповнення, які в деяких випадках приводять до помилкових результатів. Модифікація цього алгоритму для визначення контуру на зображеннях, отриманих фотокамерою, запропоновано в роботі [3]. Особливістю роботи алгоритму Canny є те, що для аналізу зображення йому не потрібна інформація про спосіб заповнення його пікселями. Тому такий алгоритм можна застосовувати до будь-якого зображення з однаковою ефективністю.

Для забезпечення можливості регулювання кривих, що описують контури на зображеннях, використовуються алгоритми, що називаються Бі-снейками [4,5]. Особливістю таких алгоритмів є те, що базові точки шуканого контуру з'єднуються Бі-сплайнами, плавність з'єднання яких регулюється матрицею коефіцієнтів, що мають назву точок гнучкого сполучення (ТГС). Складність застосування Бі-сплайнів до аналізу зображень, отриманих ультразвуковими методами, полягає в тому, що необхідно додатково розробляти підходи визначення величини матриці ТГС.

Удосконаленням Бі-снейк алгоритмів є Р-снейк алгоритм, де параметри матриці ТГС визначаються із інтегральної яскравості всього контуру [6,7].

В даній статті модифікується алгоритм Р-снейк з метою застосування його для автоматизації знаходження контурів дефектів на зображеннях, отриманих ультразвуковими методами, в т. ч. ультразвуковим мікроскопом. Представлення шуканого контуру на зображенні через інтегральну яскравість вектору пікселів дозволяє обчислювати величини матриці ТГС, виходячи з аналізу параметрів хвиль, отриманих ультразвуковим мікроскопом. Зв'язок між пікселями на зображенні та параметрами ультразвукових луно-імпульсів може бути здійснений через енергію, яка для зображення обчислюється через яскравість пікселів на контурі. Таким чином, форма контуру на зображенні обчислюється на основі параметрів ультразвукового поля, створеного луно-імпульсами, що дозволяє вкладати фізичний зміст в коефіцієнти ТГС.

Алгоритм передбачає, що шуканий контур на зображенні є гладкою лінією і описується сплайном (йдеться про плоске зображення). Задається деяке початкове наближення до границі у вигляді замкнутої кривої, яка не обов'язково відповідає дійсному положенню контура, але близька до неї. Ця крива вважається гнучкою і розтяжною, а отже під дією зовнішніх сил може деформуватися і зміщуватися так, щоб найкраще відповідати границі (рис.2).

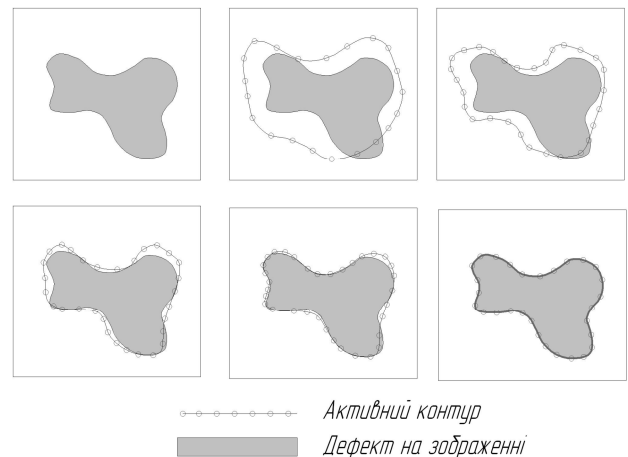


Рисунок 2 – Етапи підгону моделі контуру до границі

При вирішенні задач виявлення контурів на вихідному зображенні визначаються точки максимуму градієнта, які зв'язуються в лінію. Метод активних контурів (АК) використовує підгону безперервної замкнутої лінії до положень максимуму градієнта. Кінцевий стан відповідає досягненню мінімуму потенційної енергії АК.

Розглянемо роботу даного алгоритму. Представимо снейк як набір з N точок $V = [v_1, v_2, \dots, v_N]$, де кожен елемент v_i визначений сіткою $IE = \{(x, y) : x, y = 1, 2, \dots, M\}$; x, y - координати точок у сітці (рис. 3). Елементи v_i апроксимовані за допомогою сплайну [6].

Активний контур характеризується величиною, яка складається з суми двох енергій: внутрішньої та зовнішньої [5]. Внутрішня енергія E_{int} накладає обмеження неперервності і плавності кривої. Чим крива буде плавнішою, тим меншою буде енергія E_{int} . Зовнішня енергія

E_{ext} притягує контур до найбільших перепадів яскравості, що характеризують шукану

границю. Мінімум зовнішньої енергії буде тоді, коли точка v_i попаде на лінію границі. Задача знаходження границь об'єкта зводиться до мінімізації енергії снейка. Таким чином потрібно знайти мінімальну енергію V_A :

$$V_A = \min \sum_{i=1}^N \lambda E_{int}(v_i) + (1-\lambda) E_{ext}(v_i), \quad (1)$$

де $\lambda \in [0..1]$ - параметр регулювання.

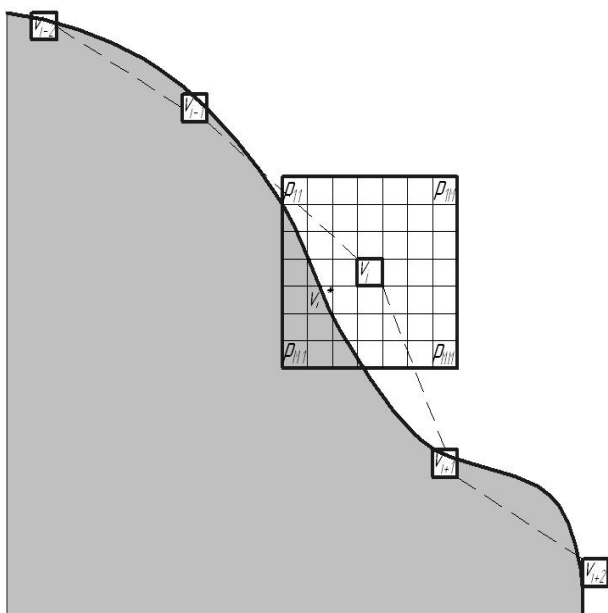


Рисунок 3 – Візуалізація ефекту вибору оптимальної точки на одному кроці ітерації

Параметр регулювання значно впливає на вирішення даної задачі. Він регулює вплив кожної енергії на формування контуру. При збільшенні даного параметра контур АК буде плавним, малочутливим до змін границь на зображенні, зате стійким до різного шуму. З іншого боку, зменшення параметра регулювання дозволить АК бути більш чутливим до змін контуру зображення, але при цьому зростає чутливість до шумів.

Для певного виду зображень необхідно знаходити свій оптимальний параметр регулювання для отримання найбільш точних результатів. При обробці зображень дефектів апіорі невідома степінь зашумленості зображення та форма границь дефекта, тому знаходження його без втручання оператора є важливою задачею.

Це завдання вирішується за допомогою мінімаксного критерію, суть якого полягає у виборі оптимального λ , при якому

мінімізується максимальна енергія для будь-якого снейка [8] і утворюється баланс між зовнішньою і внутрішньою енергією. Позначимо загальну енергію АК через $e(V, \lambda)$, яка залежить від змінної λ і контуру V . Параметр λ знаходять таким, який мінімізує енергію для всіх V , тобто

$$e(V, \lambda) = \lambda E_{int}(V) + (1-\lambda) E_{ext}(V). \quad (2)$$

Застосування даного підходу дозволяє мінімізувати більшу енергію для шуканого контура зображення в цілому. Але глобальна регуляризація інколи викликає надмірне згладжування розривів в деяких частинах границь і знаходження фальшивих меж [8]. Виходячи з цього, доцільно шукати параметр регулювання для кожної точки v_i окремо. Назвемо його місцевим параметром регулювання, тобто

$$e(V, \Lambda) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i E_{int}(v_i) + (1-\lambda_i) E_{ext}(v_i)], \quad (3)$$

де $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ – невідомі місцеві параметри регулювання.

Таким чином, знайшовши для кожної точки v_i снейка свій параметр регулювання λ_i , можна підвищити точність і чутливість АК і зменшити вплив різних шумів.

Іншою важливою задачею є визначення вказаних енергій. На рис. 2 показаний фрагмент АК. Внутрішня енергія E_{int} намагається зробити снейк плавним, без різких зламів і зменшити відстань між елементами v_i . Тобто, чим менша відстань між елементами і менше зламів (ідеальним випадком є коло), тим меншою буде внутрішня енергія.

В простому випадку [9], внутрішня енергія описується як перша і друга похідна вздовж границі, даючи АК властивості поведінки „резинового шнурка” і „тонкої пластини”. На дискретній сітці E_{int} знаходиться так:

$$E_{int}(v_i) = (v_i - v_{i-1})^2 + (v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}). \quad (4)$$

Таке дискретне наближення викликає декілька проблем на практиці. По-перше, E_{int} пропадає, коли $v_i = v$ для всіх i , часто заставляючи АК стискатися навколо самих інтенсивних точок. Але мета внутрішньої енергії E_{int} полягає в тому, щоб накладати

гладкість на поверхню контуру. Тому при відсутності зовнішньої енергії снейк має прийняти форму кола. Це може бути досягнуто за рахунок такого співвідношення [8]:

$$E_{int}(v_i) = \frac{1}{l(V)} (v_i - \alpha(v_{i-1} + v_{i+1}))^2, \quad (5)$$

де $\alpha = 0,5 \cos^{-1}\left(\frac{2\pi}{N}\right)$.

Для $i=1$ $v_{i-1} = v_n$, для $i=n$ $v_{i+1} = v_1$. Внутрішня енергія нормалізована з використанням усередненої відстані $l(V)$:

$$l(V) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - v_{i-1})^2, \quad (6)$$

що робить її інваріантною до зміни розмірів контура.

Зовнішня енергія E_{ext} залежить від характеристик точок зображення. Для її знаходження будемо навколо кожної точки v_i матрицю з $M \times M$ елементів. Кожен з цих елементів має такі характеристики: яскравість та її градієнт. Опираючись на них, обчислюємо сумарну енергію цієї матриці. Класичний алгоритм деформівних моделей $E_{ext}(v_i)$ визначається наступним чином:

$$E_{ext}(v_i) = - \left[\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M |\nabla I(p_{jk}(v_i))| \right], \quad (7)$$

де $\nabla I(p_{jk}(v_i))$ – функція градієнта зображення (перша похідна по яскравості).

За такою самою методикою обчислюють енергію в кожній з точок p_{ik} цієї матриці. Маючи значення цих енергій в кожній точці, вибирають найменшу з них. Нехай це буде точка v_i^* і переносять туди точку v_i . Таким чином ітераційно підбирають кожен елемент АК так, щоб сумарна енергія була найменшою. Коли після цілого проходу циклу енергія не зміниться, можна вважати, що досягнуто ідеального стану.

Використання такого алгоритму при вирішенні задачі сегментації растрового зображення дефектів виявляє ряд обмежень на аналізоване зображення. Наприклад, якщо об'єкт не має чітких границь або містить плавний градієнт, то алгоритм не вирішує задачу коректно, що приводить до неможливості дальшого автоматичного аналізу [4]. Контур

може бути грубим і сильно відрізнятися від границь реального об'єкта.

Для вирішення проблеми виділення об'єктів з нечіткими границями пропонується ввести нову енергію E_{bright} , яка не дає можливості розростись контуру за границі, які відмінні від середньої яскравості виділеної поверхні. З кожним наступним кроком значення середньої яскравості перераховується і порівнюється з яскравістю точки $I(p_{jj}(v_i))$, де $j = M/2 + 1$.

Енергію E_{bright} пропонується шукати таким чином:

$$E_{bright} = |I_{mid} - I(p_{jj}(v_i))|, \quad (8)$$

де $j = M/2 + 1$, I_{mid} дорівнює середньому значенню яскравості в середині контура.

Коли точка v_i виходить за межі контуру і її значення яскравості відрізняється від середньої яскравості, тоді відразу ж збільшується зовнішня енергія. Коли ж точка попадає в межі контуру, то тоді ця енергія буде мати значення, яке близьке до нуля і не буде впливати на зовнішню енергію.

Енергію, яка враховує зміну градієнта зображення, позначимо через $E_{grad}(v_i)$:

$$E_{grad}(v_i) = - \left[\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M |\nabla I(p_{jk}(v_i))| \right]. \quad (9)$$

Таким чином вираз для зовнішньої енергії буде таким:

$$E_{ext}(v_i) = aE_{grad}(v_i) + bE_{bright}(v_i), \quad (10)$$

де a, b – коефіцієнти вагомості.

Введення нової складової зовнішньої енергії покращує точність знаходження контура у порівнянні з класичним алгоритмом.

Знайдені точки снейка v_i апроксимують сплайнами для отримання плавної кривої, яка буде охоплювати контур.

ВИСНОВОК

Використання автоматизованих систем оброблення зображень дефектів, отриманих ультразвуковим мікроскопом, дозволить підвищити точність знаходження дефектів, виключити людський фактор, прискорити процес контролю. Проаналізувавши найбільш відомі методи, для вирішення поставленої задачі

пропонується використовувати метод активних контурів, який модифіковано шляхом введенням енергії E_{bright} , яка дає можливість точніше виявляти границі дефекта на зображенні.

Література

1. P. V. Zinin. *Acoustic Microscopy. High pressure minerals physics and material science laboratory. School of ocean and earth science and technology of the University of Hawaii.* – <http://www.soest.hawaii.edu/~zinin/Zi-SAM.html>.
2. Yu Z., Bajaj Ch. *Image Segmentation Using Gradient Vector Diffusion and Region Merging // 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02).* – 2002. – Vol 2. – 2094 p.
3. Біліщук В. Б., Кісіль І. С., Боднар Р. Т. *Методика оброблення зображення обертової крала при вимірюванні міжфазного натягу рідин // Вісник національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут” серія Приладобудування.* – 2008. – №36. – С.76-83.
4. S. Menet, P. Saint-Marc, G. Medioni. *B-snakes: implementation and application to stereo // Artificial Intelligence and Computer Vision. Proceedings of the Seventh Israeli Conference.* – 1990. – P. 323–236.
5. Jianming Liang, Tim McImetri, Demetri Tezopoulos. *United Snakes // Medical Image Analysis.* – V. 10. – 2006. – P. 215-233.
6. L. Zagorchev, A. Goshtasby, M. Satter. *R-snakes // Image and Vision Computing.* – 2007. – V. 25. – Iss. 6. – P. 945-959.
7. A. Goshtasby. *Geometric modelling using rational Gaussian curves and surfaces // Computer Aided Design.* – 1995. – V. 27 (5). – P. 63–375.
8. Kok Fung Lai, *Thesis Deformable contours: modeling, extracting, detection and classification.* - University of Wisconsin-Madison. – 1994. – 88 p.
9. Петров В.О., Привалов О.О. *Модификация алгоритма активных контуров для решения задачи интерактивной сегментации растровых изображений дефектов металлических отливок // Научный журнал "Современные проблемы науки и образования."* – 2008. – №6. – С. 32-41.

Поступила в редакцію 02.04.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Юрчишин В. М.