

А.А. ФОМИН

**Анализ промышленных  
рентгенографических снимков**

УДК 004.932

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Муром

Задача обнаружения дефектов сварных соединений является одной из ключевых при производстве и обслуживании сварных металлоконструкций. Одним из подходов к решению этой задачи является анализ рентгенографических снимков [1, 3, 19, 21]. Традиционно анализ подобных снимков ведется в ручном режиме с использованием дополнительного оборудования (денситометров, луп, линеек и т.п.), что предполагает некоторую вероятность ошибок и неточностей при обнаружении и оценке характеристик дефектов сварки. В сложившейся ситуации актуальными являются задачи создания и применения алгоритмов машинной обработки рентгенографических снимков сварных соединений с целью обнаружения, классификации и оценки характеристик дефектов.

Выявляемость дефектов зависит как от свойств рентгенографических снимков, так и от свойств изображений дефектов на рентгенограммах. Учитывая физическую основу метода рентгенографического контроля, получаемые рентгенограммы могут быть описаны аддитивной моделью вида:

$$z(x, y) = \beta(x, y) + \gamma(x, y) + \eta(x, y, t), \quad (1)$$

где  $\beta(x, y)$  – пространственная фоновая составляющая;  $\gamma(x, y)$  – сигналы от дефектов сварных соединений;  $\eta(x, y, t)$  – шумы.

Фоновая составляющая рентгенографического снимка включает участки изображения, соответствующие областям основного металла и сварного шва и характеризуется плотностью потемнения снимка. Изображение сварного шва характеризуется случайными незначительными изменениями плотности потемнения, вызванных неравномерной толщиной наплавленного металла (так называемая чешуйчатость шва). По этой же причине плотность потемнения

изображения на границах шва случайным образом изменяется, что приводит к размытию изображения и снижению резкости.

Уровень шумов на рентгенограммах, как правило, достаточно высокий, что связано с большим количеством причин их появления. Шумы рентгенографических изображений характеризуются высокой частотой и низкой пространственной корреляцией. На рентгенографическом снимке может присутствовать несколько видов шумов, как правило, это: импульсный, белый гауссовский, коррелированный или цветной шум.

Сигналы от дефектов сварных соединений являются нестационарными стохастическими процессами, значительно отличающимися друг от друга в зависимости от типов дефектов, их размеров, формы и ориентации в шве.

На качество и достоверность обнаружения и определения геометрических характеристик дефектов сварных соединений большое влияние оказывают оптические свойства рентгенографических изображений в дефектных и бездефектных местах. Так, низкая вероятность выявления трещин методами рентгенографического контроля обусловлена их расположением относительно геометрии шва, вероятность выявления пор и различных включений прямо пропорциональна размерам этих дефектов. В случае автоматизированной обработки это снижает качество обнаружения особенностей изображений при использовании алгоритмов с жестко заданными параметрами.

Одним из возможных путей снижения влияния оптических свойств рентгенографических изображений на процедуру обнаружения дефектов сварки является предварительная обработка [6, 9-14, 16, 17] и спектральный анализ изображений. Традиционно для этих целей применялось преобразование Фурье. Но в связи с нестационарной природой радиографических изображений дефектов возможности Фурье-анализа весьма ограничены. На сегодняшний день перспективным подходом для решения этой задачи является частотно-пространственное представление изображений с помощью вейвлет-преобразования и анализ характеристик вейвлет-спектров.

Для решения задачи обнаружения дефектов рентгенографическое изображение сварного соединения представляется в виде матрицы мгновенных значений функции (1):

$$P = [z(x, y)]_{N \times M}, \quad x = \overline{1, N}, \quad y = \overline{1, M},$$

где  $N, M$  – размеры изображения.

Для получения пространственно-частотного представления изображения, строки и столбцы которого представлены в виде функции  $f(x) \in L_2(\mathbb{R})$  применяется сепарабельное непрерывное вейвлет преобразование вида [2, 8]

$$W_f(a, b) = f * \bar{\psi}_a(b), \quad (2)$$

где  $\bar{\psi}_a(b)$  – базисная вейвлет-функция,  $a$  – масштабирующий коэффициент,  $b$  – параметр сдвига вейвлета.

Для каждой пары  $a$  и  $b$  функция  $W_f(a, b)$  определяет амплитуду соответствующего вейвлета. Другими словами, функция  $W_f(a, b)$  измеряет изменение  $f(x)$  в окрестности точки  $b$ , размер которой пропорционален  $a$ .

Эквивалентность вейвлет-преобразования свертке с фильтром позволяет обнаруживать локальные неоднородности сигналов по максимумам амплитуд вейвлетов, соответствующих области особенности при сопоставимых размерах особенности и фильтра. Возможность изменения размеров фильтра путем изменения масштабирующего коэффициента  $a$  позволяет выбирать параметры вейвлет-разложения адаптивного к сигналу.

Использование сепарабельного вейвлет-преобразования для получения двумерных вейвлет-образов изображений оправдано в тех случаях, когда характеристики особенностей, изменяются в зависимости от направления просмотра. Подобный подход позволяет более точно учитывать изменение характеристик локальных особенностей изображений [4, 23, 24].

Для решения задачи обнаружения дефектов сварных соединений предлагается алгоритм, основанный на предположении, что если изображение имеет особенность, например, пятно, то на наличие этой особенности укажут относительно высокие амплитуды вейвлет-образа, соответствующие тем вейвлетам, экстремумы которых окажутся вблизи области особенности, при условии, что размеры вейвлета и особенности сопоставимы между собой.

Алгоритм основан на применении сепарабельного одномерного непрерывного вейвлет-преобразования для дискретных сигналов. Сначала строки и столбцы матрицы  $P$  представляются в виде

$$p \equiv p_H = P_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad p \equiv p_V = P_j^T, \quad j = \overline{1, M},$$

где  $P_i, P_j$  – соответственно вектор-строка и вектор-столбец матрицы  $P$ . Далее осуществляется обработка вектора значений  $p$ .

Операция 1. Вектор значений  $p$  подвергается одномерному непрерывному вейвлет-преобразованию (2) на определенном диапазоне значений масштабирующего коэффициента  $a = \overline{1, K}$ .

Операция 2. По полученному набору вейвлет коэффициентов  $W_p(a, b)$  определяются экстремумы амплитуды вейвлет-образа на каждом масштабе, а также глобальный экстремум для всех масштабов. Масштабирующий коэффициент, при котором амплитуда некоторого вейвлета является максимальной по модулю выбирается в качестве оптимального

$$a_{opt} = a_k, \quad \text{при } W_p(a_k, b) = \max_{a, b} \{W_p(a, b)\},$$

и вейвлет образ строки (или столбца), при выбранном масштабирующем коэффициенте  $a_{opt}$ , включается в горизонтальное (вертикальное) вейвлет-разложение всего изображения

$$W_H = [W_{p_H}(a_{opt}, b)]_{N \times M}, \quad W_V = [W_{p_V}(a_{opt}, b)]_{N \times M}^T.$$

Операция 3. Расчет модуля вейвлет преобразования как функции вида

$$W_M = \sqrt{W_H^2 + W_V^2}$$

позволяет исключить из дальнейшего рассмотрения элементы вейвлет спектра, не принадлежащие областям особенностей. Это обусловлено тем, что значения амплитуд элементов вейвлет образа, соответствующих области одной особенности, будут достигать своего экстремума, не зависимо от направления просмотра изображения. В этом случае максимальные значения модуля вейвлет преобразования будут соответствовать областям особенностей изображения.

Операция 4. Некоторые артефакты (например, единичные выбросы), которые могут проявляться в результирующих

изображениях, могут быть устранены путем бинаризации изображения и проведения морфологических операций или с помощью применения алгоритмов фильтрации [5, 7, 15, 18, 20, 22, 25], например, медианной. Результат работы алгоритма представлен на рис. 1.

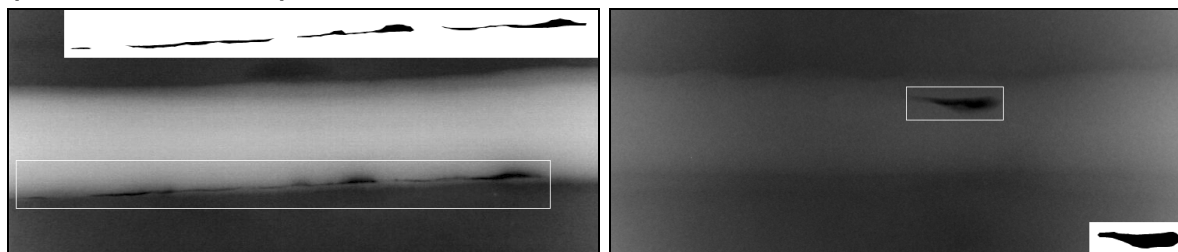


Рис. 1. Результат обнаружения дефектов сварных соединений.

Таким образом, использование непрерывного вейвлет-преобразования в задачах обнаружения локальных неоднородностей двумерных сигналов на фоне помех, позволяет, за счет перехода к частотно-пространственному представлению, проводить процедуру поиска без предобработки изображений, направленной на улучшение качества изображений и, возможно, приводящей к искажению информации об особенностях.

### Литература

1. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий. – М.: Высшая школа, 1991. 271 с.
2. Астафьева, Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145-1170.
3. Варламов А.Д., Стулов Н.Н. Обработка и анализ изображений дефектных участков материалов и изделий // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2006. № 11. С. 307-317.
4. Жизняков А.Л., Фомин А.А. Многомасштабная фильтрация особенностей полутонных изображений // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2007. № 9. С. 176-180.
5. Канунова Е.Е. Алгоритм управления информационными ресурсами регионального музея и методы реставрации изображений текстовых документов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10, 05.13.01: защищена 26.06.2008: утв. 30.11.2008. – Владимир, 2008. 201 с.
6. Канунова Е.Е., Полякова Е.В. Алгоритмы поиска и устранения дефектов в виде перегибов на изображениях текстовых документов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2008. № 13. С. 58-62.
7. Канунова Е.Е., Полякова Е.В. Особенности распознавания изображений старопечатных текстовых снимков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2009. № 14. С. 46-50.
8. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. 671 с.

9. Садыков С.С., Буланова Ю.А., Захарова Е.А., Каряев В.В. Автоматизация обнаружения новообразований на маммографических снимках // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 2. С. 376-379.
10. Садыков С.С., Буланова Ю.А., Захарова Е.А. Алгоритм выделения области кисты на малоконтрастных маммограммах // Информационные технологии. 2013. № 8. С. 53-57.
11. Садыков С.С., Савичева С.В. Идентификация реальных плоских объектов на основе их сигнатуры // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 1. С. 17-20.
12. Садыков С.С., Жизняков А.Л., Фомин А.А. Методика многомасштабного анализа рентгенографических снимков сварных соединений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2009. Т. 2. С. 376-379.
13. Садыков С.С., Терехин А.В., Закаров К.С. Определение диапазонов значений признаков формы плоских фигур при их произвольном расположении в области сцены // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 1. С. 343-345.
14. Садыков С.С., Савичева С.В. Оценка возможностей методов распознавания плоских объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. № 22(4). С. 110-119.
15. Садыков С.С., Савичева С.В. Предварительная обработки изображений плоских объектов в системах технического зрения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2012. Т. 55. № 2. С. 19-23.
16. Садыков С.С., Савичева С.В. Распознавание плоских объектов при их наложении // Информационные технологии. 2013. № 2. С. 43-46.
17. Садыков С.С., Захарова Е.А., Буланова Ю.А. Технология выделения области кисты на маммограмме // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 1(43). С. 7-12.
18. Садыков С.С., Варламов А.Д. Улучшение качества фотоизображений, поврежденных шумами // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2005. Т. 1. С. 338-340.
19. Стародубов Д.Н., Орлов А.А. Автоматический анализ неметаллических включений в стали // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2011. № 18. С. 13.
20. Стародубов Д.Н. Алгоритмы предварительной обработки изображений микроструктур // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2010. № 15. С. 179-185.
21. Стародубов Д.Н. Определение процентного соотношения феррита и перлита в стали по снимку микроструктуры // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2011. № 17. С. 14.
22. Титов Д.В., Садыков С.С., Варламов А.Д. Некоторые вопросы устранения дефектов фотографических изображений // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2005. Т. 48. № 2. С. 54-58.
23. Фомин А.А. Возможности применения вейвлет-преобразования для выделения объектов на изображениях // Информационные технологии моделирования и управления. 2007. № 1(35). С. 95-99.
24. Фомин А.А., Данилов С.Д. Многомасштабный анализ объектов изображений // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2008. № 13. С. 158-164.

25. Шарапов Р.В., Варламов А.Д. Сравнительный анализ систем поиска графических данных // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 1. С. 27-31.

26. Андрианов Д.Е., Штыков Р.А., Уткин. Ю.В. Экономия энергии путем управления тепловыми сетями на промышленном предприятии//Промышленная энергетика. -2003. -№ 6. -С. 2-5.

E-MAIL: FOMIN.33RUS@RAMBLER.RU