

Обнаружение дефектов в протяженных изделиях по результатам двумерного сканирования

П.А. Севостьянов, Л.М. Городенцева, Т.А. Самойлова

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва

Аннотация: В статье рассматривается метод обнаружения дефектов у протяженных изделий. Для нахождения дефектов применяется сканирование изделия по всей длине. В результате получается двумерный поток данных, который необходимо проанализировать. Задача обнаружения дефекта – это одна из задач обнаружения «полезного» сигнала на фоне «шума». Наиболее надежным методом является использование комплекса статистических критериев. Для сравнения средних значений были применены критерий Стьюдента и критерий Уилкоксона–Манна–Уитни, для сравнения величин рассеяния – критерий Фишера и критерий Ансари–Брэдли. Эффективность алгоритма была подтверждена с помощью компьютерной модели имитации двумерного однородного потока данных.

Ключевые слова: дефекты, протяженные изделия, компьютерная модель, имитация, статистический критерий.

Много видов продукции различных отраслей промышленности можно отнести к категории протяженных изделий: трубы, тросы, стержни, нити, волокна, пряжа и т.п. Практически все эти изделия можно отнести к категории ответственных и особо ответственных. Это означает, что в таких изделиях недопустимо наличие хотя бы одного дефекта в материале вдоль длины изделия. Примером могут служить трубы для теплоносителей на атомных электростанциях или оптоволоконные кабели в скоростных линиях передачи информации. Для обнаружения дефектов в таких изделиях проводится его сканирование по всей длине. Сканирование выполняется с применением разных видов излучения, причем зачастую одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях поперечного сечения изделия. При сканировании измеряется изменение проходящего и/или отраженного потоков. Поэтому результатом сканирования является двумерный поток числовых данных, отображающих плотность сканируемого участка по соответствующему излучению. Поток данных квантуют по времени и по уровню для дальнейшей цифровой обработки. В области дефекта величина двумерного сигнала от сенсо-

ров изменяется, что и является признаком присутствия дефекта. Поскольку ни один материал не обладает идеальной однородностью, возможны и случайные вариации получаемых данных, не связанные с присутствием дефекта. Эти вариации играют роль «шума» в принимаемом потоке информации. Следовательно, задача обнаружения дефекта – это один из видов классической задачи обнаружения «полезного» сигнала на фоне случайных помех [1,2]. Особенностью рассматриваемой задачи является двумерный обрабатываемый сигнал – два когерентных потока данных от сенсоров.

Несмотря на большое количество разных методов [3], предложенных для обнаружения дефекта – от скользящего среднего [4, 5] до методов нейронных сетей [6, 7] и искусственного интеллекта [8, 9], их сравнение показало, что достаточно простым, быстрым, надежным и чувствительным методом является использование комплекса наиболее проверенных на многих задачах статистических критериев. При одновременном их применении к двум параллельно получаемым когерентным потокам данных $[x(t), y(t)]$ достигается высокая надежность обнаружения дефекта, приводящего к разным видам нарушений однородности потоков данных. Метод можно описать следующим алгоритмом.

Предположим, что выборки $U_0 = \{ [S(t,1), S(t,2)], t = 1, \dots, T_0 \}$ уже проанализированы и в них дефект не обнаружен, т.е. этот поток двумерных данных является однородным. Получаем новую порцию двумерных данных в виде выборки объема $T_1 : U_1 = \{ [x(t), y(t)], t = T_0 + 1, \dots, T_0 + T_1 \}$. Выполним сравнение одномерных компонентов выборок U_0 и U_1 на отличие в средних значениях и в дисперсиях. Закон распределения данных может быть разным в разных исследованиях. Поэтому используем не только асимптотические, пригодные лишь для больших выборок, критерии, но и робастные критерии. Для сравнения средних значений используем двухвыборочный двусторонний критерий Стьюдента и двухвыборочный критерий Уилкоксона–Манна–

Уитни, для сравнения величин рассеяния – критерий Фишера и критерий Ансари–Брэдли [10] для одного и того же уровня значимости α при проверке гипотезы об отсутствии различий в выборках U_0 и U_1 . По каждому критерию результат проверки сохраняется в индикаторах hs (критерий Стьюдента), hw (критерий Уилкоксона–Манна–Уитни), hf (критерий Фишера) и ha (критерий Ансари–Брэдли). Индикатор равен нулю, если гипотеза об отсутствии различия в средних или рассеяниях не противоречит анализируемым выборкам, и единице, если гипотеза и данные противоречат друг другу. Затем индикаторы по всем критериям складываются в суммарный индикатор $H = hs + hw + hf + ha$. Таким образом, суммарный индикатор при каждом t имеет одно из девяти целочисленных значений 0; 1; 2; ...; 8. Потоки значений частных индикаторов и суммарного индикатора наряду со значениями потока данных выводятся на экран монитора. По девяти уровням суммарного индикатора можно достаточно надежно выделить область потока данных, в которой присутствует дефект, даже если он визуально не обнаруживается по временной диаграмме данных.

Для проверки эффективности предлагаемого алгоритма была разработана и использована компьютерная модель имитации двумерного однородного потока данных. Поток данных включал случайную составляющую и локальное нарушение среднего уровня и/или дисперсии в большую или меньшую стороны. Для моделирования случайной составляющей использовались нормальный, экспоненциальный и равномерный законы распределения. Это позволило проверить робастность метода обнаружения дефектной области к виду распределения обрабатываемых данных.

На рис.1 показан пример работы алгоритма для потока данных с экспоненциальным распределением случайной составляющей. При таком распределении в области дефекта (отсчеты с 2000-го по 2500-й) одновременно изменяются средний уровень и дисперсия данных. В верхней части рисунка по-

казаны значения отсчетов двух компонентов двумерного потока данных. Ниже приведены суммарные, по двум компонентам, значения индикаторов по каждому из критериев. Сумма индикаторов критерия Стьюдента ($s_1 + s_2$) достаточно надежно обнаруживает область дефекта, хотя и сопровождается рядом ложных срабатываний индикатора до уровня 1. Суммарный индикатор критерия Фишера ($f_1 + f_2$), хотя и выделяет область дефекта, но имеет весьма большое количество ложных срабатываний, причем как уровня 1, так и уровня 2. Это указывает на неприемлемость использования этого критерия отдельно от остальных. Суммарный индикатор критерия Уилкоксона-Манна-Уитни ($w_1 + w_2$) обнаруживает область дефекта практически так же, как и критерий Стьюдента, но при этом менее чувствителен к выбросам и, как следствие, дает меньше ложных срабатываний суммарного индекса.

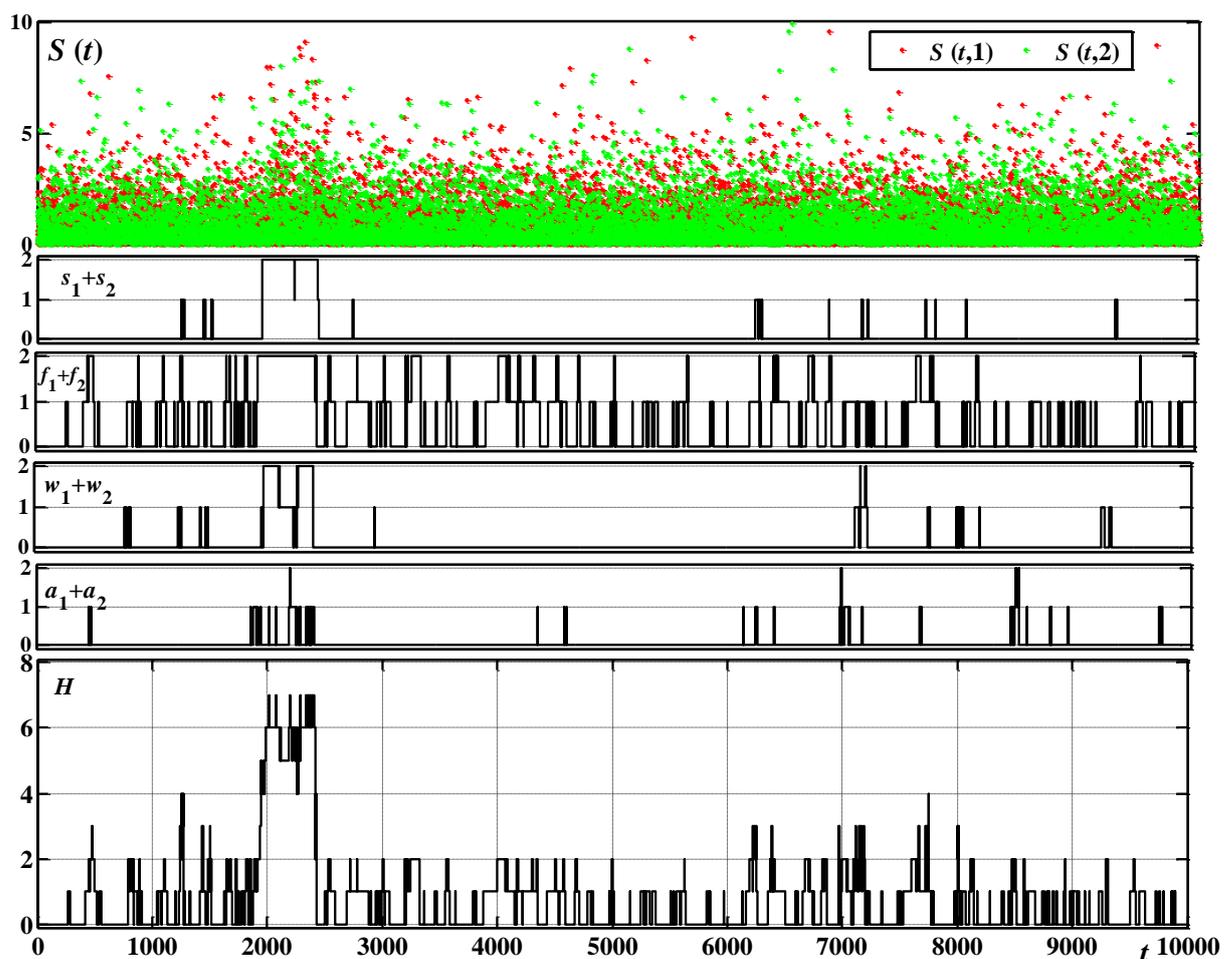


Рис. 1. - Обнаружение области дефекта с помощью комплекса критериев

Суммарный индикатор критерия Ансари-Брэдли ($a_1 + a_2$) недостаточно надежно обнаруживает область дефекта по изменениям величины рассеяния и содержит много ложных срабатываний, которые могут быть интерпретированы как области дефекта. Комплексный суммарный индикатор H весьма надежно - на уровне до 7 в области дефекта по сравнению со значениями до 3 на остальных участках потока данных – обнаруживает область дефекта.

Сравнение описанного примера с вариантами нормального и равномерного распределений показало, что случай экспоненциального распределения – наиболее сложный для обнаружения локального дефекта. Это связано с наличием отдельных больших выбросов значений, которые могут привести к ложным результатам обнаружения.

Можно сделать вывод, что предлагаемый комплексный индикатор на основе классических статистических критериев различия средних значений и дисперсий позволяет достаточно надежно обнаруживать локальные нарушения однородности, вызываемые дефектами, при двумерном сканировании изделий по длине. Разработанная модель может служить хорошим инструментом для отработки различных методик контроля качества протяженных изделий.

Литература

1. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов. - Москва: Наука, 1970. - 392 с.
2. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – Москва: Наука, 1965. - 244 с.
3. Шкодырев В.П., Ягафаров К.И., Баштовенко В.А., Ильина Е.Э. Обзор методов обнаружения аномалий в потоках данных. Proceedings of the Second Conference on Software Engineering and Information Management. – St. Petersburg, 2017. URL: ceur-ws.org/Vol-1864/paper_33.pdf

4. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Белевитин А.А., Бурдин И.М. Обнаружение локальных областей дефектов при неразрушающем контроле протяженных изделий. Инженерный вестник Дона, 2024, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8924.

5. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z. Isolation-Based Anomaly Detection. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data, 2012, Volume 6, Issue 1. – pp. 1-39.

6. Song X., Wu M., Jermaine C., Rank, S. Conditional anomaly detection. IEEE Trans. on Knowl. and Data Eng. 19, 5, 2007. – pp. 631-645.

7. Чесноков М. Ю. Поиск аномалий во временных рядах на основе ансамблей алгоритмов DBSCAN // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2018. – № 1. – С. 99-107. – EDN YVPURX

8. Казначеева А.А., Захаркина С.В., Власенко О.М., Рыжкова Е.А. Разработка автоматизированной системы обнаружения дефектов на ткани с применением компьютерного зрения. // Инженерный вестник Дона. 2021. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7339

9. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Румянцев С.В. и др. Неразрушающий контроль. Россия. 1999-2000 гг.: справочник под ред. В.В. Ключева. - Москва: Машиностроение, 2001. - 616 с.

10. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. - Москва : Физматлит, 2012. - 813 с. ISBN 978-5-9221-1375-5

References

1. Tihonov V.I. Vybrosoy sluchajnyh processov [Outliers of random processes]. Moskva: Nauka, 1970, 392 p.

2. Serebrennikov M.G., Pervozvanskij A.A. Vyjavlenie skrytyh periodichnostej [Identification of hidden periods]. Moskva, Nauka, 1965, 244 p.

3. Shkodyrev V.P., Jagafarov K.I., Bashtovenko V.A., Il'ina E. Je. Obzor metodov obnaruzhenija anomalij v potokah dannyh [The Overview Of Anomaly



Detection Methods in Data Streams]. Proceedings of the Second Conference on Software Engineering and Information Management, 2017. URL: ceur-ws.org/Vol-1864/paper_33.pdf

4. Sevost'janov P.A., Samojlova T.A., Belevitin A.A., Burdin I.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №1, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8924.

5. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z. Isolation-Based Anomaly Detection. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data, 2012, Volume 6, Issue 1, pp. 1-39.

6. Song X., Wu M., Jermaine C., Rank, S. Conditional anomaly detection. IEEE Trans. on Knowl. and Data Eng. 19, 5, 2007. pp. 631-645.

7. Chesnokov, M. Yu. Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij. 2018. № 1. pp. 99-107.

8. Kaznacheeva A.A., Zakharkina S.V., Vlasenko O.M., Ryzhkova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7339

9. Kljuev V.V., Sosnin F.R., Rumjancev S.V. et al. Nerazrushajushhij kontrol'. Rossija. 1999-2000 gg [Unbrakable control. Russia. 1999-2000]. Moskva: Mashinostroenie, 2001. 616 p.

10. Kobzar` A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika [Applied mathematical statistics]. Moskva: Fizmatlit, 2012. 813p. ISBN 978-5-9221-1375-5

Дата поступления: 15.12.2023

Дата публикации: 25.01.2024