

РОЗПІЗНАВАННЯ ДЕФЕКТІВ НАМОТКИ ВОЛОКОННИХ КОТУШОК ВОГ

Іванов С.В., Олійник П.Б.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

E-mail: ivanov.sergiy@lil.kpi.ua

DETECTION OF FOG FIBER COIL WINDING DEFECTS

The algorithm for detection of fiber-optic gyro (FOG) fiber coil winding defects is presented and effectiveness of wavelet filtering for on-the-fly video processing during defect detection is estimated.

Точність волоконно-оптичного гіроскопа (ВОГ) суттєво залежить від якості намотки його чутливого елемента – котушки. В ідеалі намотана котушка не повинна мати дефектів намотки, і волокно повинно утворювати періодичну однорідну структуру. Типові дефекти намотки – пропуск витка та набіг витка на раніше намотані витки цього ж шару – показано на рис. 1.



Рис.1. Типові дефекти намотки: а – пропуск витка, б – набіг на витки

Аналогічну до рис. 1б картину (виток поверх інших, що утворює порушення структури) дають пристіночні дефекти намотки, викликані тим, що волокно не вміщується між стінкою каркасу котушки і передостаннім витком в шарі. При намотці котушок ВОГ за допомогою верстата [1] доцільно застосувати автоматизований контроль якості на основі використання машинного зору.

Для використання машинного зору перш за все треба забезпечити високу якість зображення з камери. Для цього запропоновано використати, крім класичного гаусівського згладжування, вейвлет-фільтрацію [2, 3], однак треба визначити ефективність застосування такої фільтрації в реальному часі.

Безпосередньо для розпізнавання дефектів намотки застосовуються три описаних нижче способи: аналіз контуру профілю намотки, аналіз відеопотоку з камери машинного зору за різницею між кадрами та аналіз штучно створених відблисків волокна.

Автори [4] застосували аналізу профілю намотки в кожному кадрі шляхом запису та аналізу координат піків профілю намотки. Недоліком алгоритму є те, що він ніяк не враховує наявність фланців котушки, а також наявність зазорів між витками, що може призводити до хибних спрацювань.

Авторами [5] запропоновано алгоритм, що виявляє дефекти шляхом виявлення різниці між кадрами відео потоку, отриманого з камери, що знімає профіль котушки. Далі знов-таки виділяються координати піків профілю волокна і по їх різниці визначається наявність дефектів. Недоліком такого алгоритму є необхідність точної синхронізації обертання намотуваної котушки ВОГ та моментів зйомки кадрів камерою машинного зору для виявлення різниці між профілем намотки в однакових кутових положеннях котушки.

В [6] застосовано освітлення, яке створює відблиски на волокні на темному фоні, і наявність дефектів можна визначати за центрами цих відблисків. Недоліком є прискорене зношення камери і складність забезпечення освітлення, яке дає відблиски від волокна в області, близькій до профілю намотки, і форму відблисків, близьку до круга. Крім того, для роботи такого способу виявлення дефектів, необхідна зміна системи освітлення залежно від відбиваючої здатності волокна для створення близьких умов роботи алгоритму.

Метою дослідження є розробка алгоритму розпізнавання дефектів намотки котушок ВОГ та оцінка ефективності використання вейвлет-фільтрації в реальному часі при обробці зображення з камери машинного зору.

Для оцінки якості вейвлет-фільтрації було проведено фільтрацію зображення з камери такими вейвлетами: Хаара; Добеші 2 і Добеші 4; Симмлетом 2 і 4; Койфлетом 1 і 4; Біортогональними фільтрами 1.3 та 3.5.

Як міру якості фільтрації використано середньоквадратичну похибку RMSE (середньоквадратичне значення різниці між відфільтрованим зображенням і вихідним зображенням, до якого було додано шуми):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_{i,j} - A_{i,j})^2} \quad (1)$$

де M, N – ширина і висота зображення, I – значення інтенсивності пікселя вихідного зображення, A – значення інтенсивності пікселя фільтрованого зображення; i, j – індекси підсумовування. Чим менше значення такої різниці, тим менше шумів у зображенні.

В таблиці 1 наведено оцінку якості фільтрації зображення з камери (рис.2) з переліченими вище вейвлетами; в третій колонці для наочності наведено різницю RMSE зображення рис. 2 і фільтрованого зображення.

Найбільш ефективними виявилися вейвети Хаара і Симмлет 2.

Таблиця 1. Оцінка якості фільтрації зображення.

Зображення	RMSE зображення	Різниця RMSE
Зашумлене гаусовим шумом (рис.2.)	0,005582	-
Фільтрація вейвлетом Хаара (haar)	0.003019	0.002563
Фільтрація вейвлетом Добеші 2 (db2)	0.003173	0.002409
Фільтрація вейвлетом Добеші 4 (db4)	0.003305	0.002276
Фільтрація Симмлетом 2 (sym2)	0.003021	0.002561
Фільтрація Симмлетом 4 (sym4)	0.003295	0.002286
Фільтрація Койфлетом 1 (coif1)	0.003176	0.002406
Фільтрація Койфлетом 2 (coif2)	0.003404	0.002178
Біортогональним фільтром 1.3 (bior1.3)	0.003198	0.002384
Біортогональним фільтром 3.5 (bior 3.5)	0.003313	0.002269

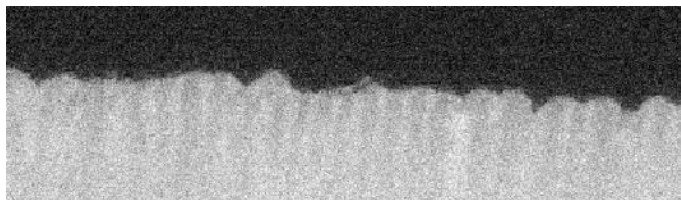


Рис.2. Зображення з камери з гаусовим шумом.

В основу розробленого авторами алгоритму покладено ту ж ідею, що і в публікації [4] – виділення профілю намотки, і подальший його аналіз.

Основні кроки роботи запропонованого авторами алгоритму такі:

- зображення перетворюється в градації сірого – тобто з пікселів буде вилучено інформацію щодо тону та насиченості, а залишаться лише значення яскравості, після чого згладжується гаусовим фільтром 5x5 або, опціонально – вейвлетами;
- проводиться бінарізація за алгоритмом Оцу, що дозволяє розділити пікселі зображення на два класи ("корисні" та "фонові"), за рахунок нескладного статистичного аналізу зображення, який при розділенні пікселів на класи робить так, щоб дисперсія всередині одного класу була мінімальною [7];
- для топологічного аналізу оцифрованих бінарних зображень використано алгоритм відстеження меж, який дозволив виділити контури [8];
- серед виділених контурів вибираються контури з довжиною не менше 100 пікселів (відсівання шумів).

Кожен вибраний контур горизонтується для спрощення аналізу даних. Після цього проводиться виділення локальних максимумів і мінімумів контуру, розпізнаються за зміною координат і відкидаються частини зображення, що відповідають фланцям котушки, і дрібні зміни висоти профілю намотки. Наявність дефекту «пропуск витка» визначається за відстанню по осі абсцис між сусідніми максимумами (більше діаметра волокна + зазор між витками), а «набіг волокна поверх шару» - за зміною вертикальної відстані між сусідніми екстремумами (більше за 2/3 діаметра волокна).

За наявності дефектів намотки вони виділяються на кадрі і про це повідомляється керуюча програма автоматичної станції намотки. Приклад зображення з виділеними дефектами наведено на рис. 3.



Рис.3. Зображення з камери з виділеними дефектами.

На рисунку виділено визначені максимуми і мінімуми профілю намотки (червоними і синіми колами маленького діаметру) та дефекти (фіолетовими колами великого діаметру). Оскільки котушка намотана «внавал», вона містить багато дефектів, включаючи пропуски та перескоки витків.

Як показав експеримент, при номінальній частоті кадрів камери 30 кадрів/с, реальна частота обробки кадрів при виявленні дефектів складає 29,6..29,9 кадрів/с без застосування вейвлет-фільтрації і 12,6..14,5 кадрів/с при її застосуванні. Таким чином, застосування вейвлет-фільтрації недоцільне при виконанні намотки зі швидкістю 2 витки/с і більше, оскільки на один виток буде реєструватися менше 5 кадрів.

Висновки. Запропонований алгоритм може бути застосований для виділення розпізнавання дефектів намотки катушок ВОГ, причому застосування вейвлет-фільтрації при виконанні намотки зі швидкістю 2 витки/с і більше недоцільне.

Література

1. Іванов С. В., Олійник, П. Б., & Вірченко, Г. А. (2023). Намоточна машина для виготовлення катушок волоконно-оптичних гіроскопів. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 112–116. <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/281185>
2. Капшій О.В. Вейвлет-перетворення у компресії та попередній обробці зображень. / О.В. Капшій, О.І. Коваль, Б.П. Русин – НАНУ, Фіз.-мех. ін.-т ім. Г. В. Карпенка.– Львів: Сполом, 2008.– 208 с.
3. Vyas, Aparna Review of the Application of Wavelet Theory to Image Processing /Aparna Vyas, Joonki Paik // IEIE Transactions on Smart Processing and Computing. – 2016. – Vol. 5, no. 6. – pp. 403 – 417. – DOI: <https://doi.org/10.5573/IEIESPC.2016.5.6.403>
4. Капшій О.В. Вейвлет-перетворення у компресії та попередній обробці зображень. / О.В. Капшій, О.І. Коваль, Б.П. Русин – НАНУ, Фіз.-мех. ін.-т ім. Г. В. Карпенка.– Львів: Сполом, 2008.– 208 с.
5. Vyas, Aparna Review of the Application of Wavelet Theory to Image Processing /Aparna Vyas, Joonki Paik // IEIE Transactions on Smart Processing and Computing. – 2016. – Vol. 5, no. 6. – pp. 403 – 417. – DOI: <https://doi.org/10.5573/IEIESPC.2016.5.6.403>
6. Sharon, Andre. Development of an automated fiber optic winding machine for gyroscope production [Text] /Andre Sharon, Stephen Lin// Robotics and Computer Integrated Manufacturing. – 2001. – vol. 17. – pp. 223-231. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(00\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(00)00030-2)
7. Vala, Hetal J. A review on Otsu image segmentation algorithm / Hetal J. Vala, Astha Baxi // International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET). – 2013. – Vol. 2 (2).– p.387.
8. Suzuki, Satoshi Topological structural analysis of digitized binary images by border following / Satoshi Suzuki, Keiichi Abe // Compute Vision, Graphics and Image Processing. – 1985. – Vol. 30, Issue 1. – pp. 32 – 46. – DOI: [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(85\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0734-189X(85)90016-7)