

회전 윤곽 상자를 이용한 표면 검사 알고리즘

황 면 중 · 정 성 업*

국립한국교통대학교 기계공학과

Surface Inspection Algorithm using Oriented Bounding Box

Myun Joong Hwang · Seong Youb Chung*

Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation,
50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, 27469, Korea

(Received 2016.04.05 / Accepted 2016.05.17)

Abstract : DC motor shafts have several defects such as double cut, deep scratch on surface, and defects in diameter and length. The deep scratches are due to collision among the other shafts. So the scratches are long and thin but their orientations are random. If the smallest enclosing box, i.e. oriented bounding box for a detective point group is found, then the size of the corresponding defect can be modeled as its diagonal length. This paper proposes an surface inspection algorithm for the DC motor shaft using the oriented bounding box. To evaluate the proposed algorithm, a test bed is made with a line scan CCD camera (4096 pixels/line) and two rollers mechanism to rotate the shaft. The experimental result on a pre-processed image with contrast stretching algorithm, shows that the proposed algorithm successfully finds 150 surface defects and its computation time (0.291 msec) is enough fast for the requirement (4 seconds).

Key words : machine vision, surface inspection, oriented bounding box, motor shaft, line scan camera

1. 서 론

머신 비전 기술은 기존의 육안으로 검사하는 방법을 대체하는 기술로 최근 많은 발전이 이루어지고 있다. 자동차의 주요 부품인 모터의 샤프트는 제조 과정에서 Fig. 1과 같이 이중 컷, 표면 결함, 외경 치수 불량, 길이 불량이 발생한다. 본 논문은 Fig. 1의 결함 중 표면 불량을 머신 비전 기술을 이용하여 해결하고자 한다.

실린더 형태 부품의 표면 영상을 얻기 위해 라인스캔 카메라가 이용된다. 라인스캔 카메라는 회전하는 물체 표면의 일부를 연속적으로 고속 스캔하여 찍은 영상을 누적하여 전체 영상을 얻는다^{1,2)}.

본 논문에서는 이 방법을 이용하여 모터 샤프트의 표면 영상을 얻는다. 영상을 취득할 때, 적절한 조명을

비추면 표면의 굽힘, 타 부품에 의한 찍힘과 같은 부분이 정상적인 부분과 밝기 구분이 되도록 만들 수 있다.

축과 일치된 윤곽 상자 (AABB, Axis-aligned Bounding Box)는 Fig. 2와 같이 이미지에서 복잡한 형

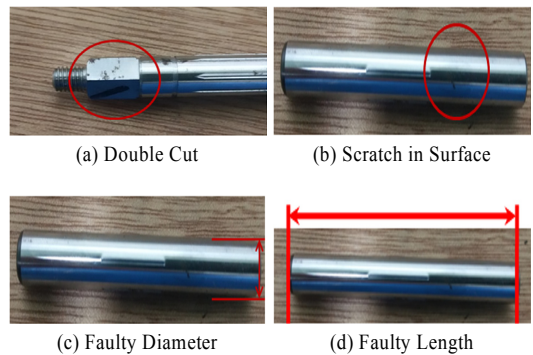


Fig. 1 Detects in DC motor shaft

*Corresponding author, E-mail: sychung@ut.ac.kr

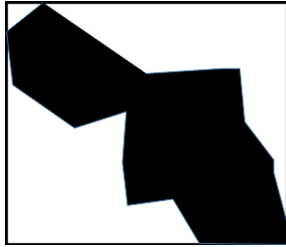


Fig. 2 An example of axis-aligned bounding box

태의 물체를 포함하는 단순화된 사각형의 상자를 의미한다³⁾. 그러나 Fig. 2와 같은 물체의 경우에는 대각선 방향으로 치우쳐 있기 때문에 이 물체를 나타내기에는 축과 일치된 윤곽 상자는 적절하지 않다.

Fig. 3과 같이 물체의 형태에 따라 회전시킨 윤곽 상자(OBB, Oriented Bounding Box)는 이와 같은 문제를 해결할 수 있다⁴⁾. 본 논문의 대상인 표면 결함은 가늘고 긴 띠의 형태를 가지고 있어 축과 일치된 윤곽 상자를 이용하는 것보다는 물체의 방향을 고려한 윤곽 상자를 사용하여 결함을 모델링하는 것이 더 효과적이다.

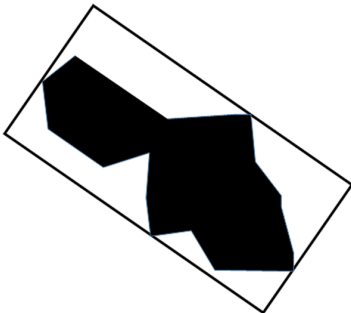


Fig. 3 An example of axis-aligned bounding box

본 논문은 OBB를 이용하여 모터 축의 표면 결함을 검사할 수 있는 알고리즘을 제안하고, 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 적용 가능성을 고찰하였다.

2. 표면 검사 알고리즘

2.1 표면 영상 측정 시스템

Fig. 4는 본 논문의 대상인 모터 축 표면 영상 측정을 위한 실험 장치로, 4096 pixels/line의 해상도를 가지는 라인 스캔 카메라와 라인 조명으로 이루어져 있다. 결함이 잘 나타나는 영상 조건을 구하기 위해 조명의 각도에 변화를 줄 수 있으며, 조명의 입력 전압을 조정

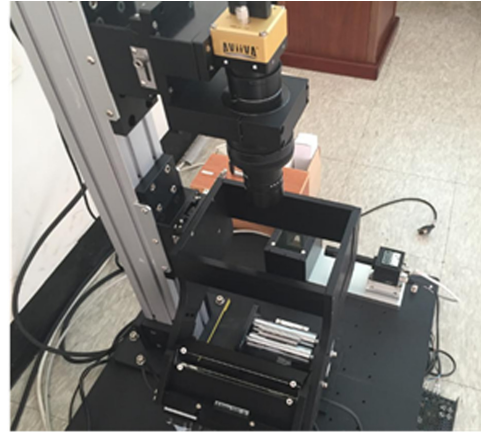


Fig. 4 A surface inspection system using a line CCD camera

하여 조명의 밝기 조절이 가능하도록 설계하였다. 모터 축을 서로 같은 방향으로 회전하는 두 실린더 사이에 두고 라인 스캔 카메라로 촬영을 하면 표면의 영상을 구할 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 1의 모터 축을 Fig. 4의 장치를 이용하여 측정한 영상의 샘플이다. 영상에서 모터 축의 시작과 끝부분의 경계선은 좌우측의 검은 영상과 밝은 영상의 경계선이며, 영상 가운데에 검은 영상과 밝은 영상이 반복적으로 나타나는 부분은 모터 축의 널링 부분으로, 표면 검사는 두 부분을 제외한 Fig. 5의 ①과 ② 부분에서 진행된다.

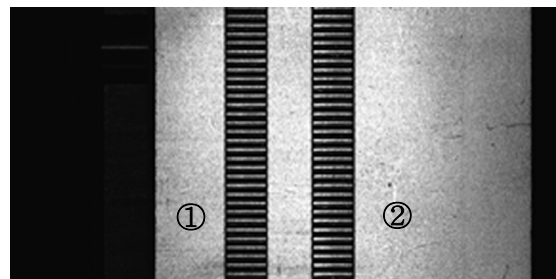


Fig. 5 A surface inspection system using a line CCD camera

2.2 OBB 알고리즘을 이용한 표면 검사 알고리즘

Fig. 6는 OBB 알고리즘을 이용한 표면 검사 알고리즘의 의사 코드이다. 우선 첫 번째로 256 단계의 흑백 영상을 읽고, 두 번째로 흑백 영상을 밝기 경계 (Th_{level})를 이용하여 이진 영상으로 변환한다. 세 번째로는

- #1 Read gray image
- #2 Convert gray image to binary image
if $img(x,y) < Th_{level}$, $img(x,y) = 255$,
else $img(x,y) = 0$
- #3 Find neighbor points group pG_k considering connectivity 8,



- #4 Find OBB_i for the pG_k if the number of points in $pG_k > Th_{num}$
- #5 Search defects by investigating the diagonal length, DL_i of the OBB_i
 pG_k is defect if $DL_i > Th_{len}$

Fig. 6 Surface inspection algorithm using the OBB algorithm

변환된 이진 영상에 대하여 전체를 탐색하여 Fig. 5와 같이 8-connectivity로 연결되어 있는 점들의 그룹 (pG_k)을 구한다. 네 번째로 구해진 그룹의 점들이 특정한 수 (Th_{num}) 이상에 대하여 OBB_i 를 구한다. 마지막으로 구해진 OBB_i 의 대각선 길이를 계산하여 결함 길이 (Th_{len})보다 큰 경우에 해당 OBB_i 는 결함으로 판정한다. 결함 OBB_i 가 하나라도 있을 경우, 해당 부품은 표면 검사 결과 결함으로 판정한다.

3. 실험 및 결과

Fig. 5와 같이 표면 측정 장치에서 얻은 영상 그대로 이진화할 경우 영상의 외란으로 인하여 이진 영상에 결함이 아닌 점들이 다수 나타나게 된다. 이로 인해, Fig. 6의 알고리즘을 적용할 때, 3단계에서 불필요한 계산이 많아진다. 특히 조명이 고르지 못할 경우에는 전반적으로 밝은 부분에서 결함도 주변 보다는 어둡지만 전체적으로 다른 부분 결함보다 밝을 수 있어, 결함으로 나타나지 못하는 현상까지 발생할 수 있으며, 어두운 부분의 경우에는 결함이 아닌 부분이 상대적으로 어두운 값을 가지기 때문에 결함으로 분류될 수 있는 문제점도 있다. 명암대비 확장 (contrast stretching) 기법은 영상 내의 명암 분포를 명암 히스토그램 정보를 이용하여 0에서 255 사이로 교정할 수 있는 방법으로, 이 방법을 이용하면 영상이 밝은 부분의 결함은 어둡게 되어 이진 영상으로 구분이 가능하게

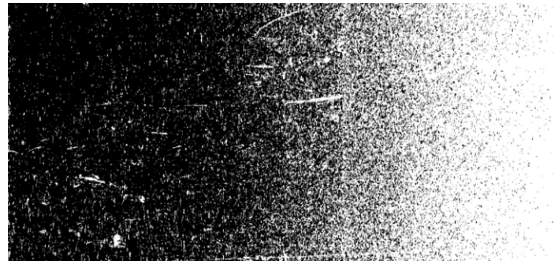


Fig. 7 Binary image of the original image



Fig. 8 Binary image of the modified image using contrast stretching



Fig. 9 Neighbor points and their OBBs on the image of Fig. 8

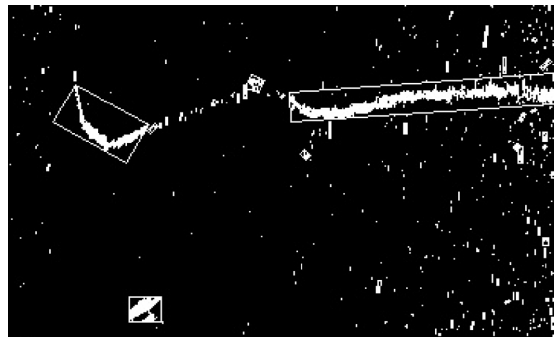


Fig. 10 Zoom of the image of Fig. 9

된다. 또한, 어두운 부분의 결함이 아닌 부분은 밝게 되어 마찬가지로 이진 영상으로 결함과 구분이 가능

하다. Fig. 7은 원본 영상의 일부분을 이진화한 영상이며, Fig. 8은 명암대비 확장 기법을 적용한 영상을 이진화한 영상이다. Fig. 7의 오른쪽을 보면 대부분이 결함으로 나타난 것으로 보이나, Fig. 8을 영상을 보면 오른쪽 상단에 결함이 있는 것으로 확인되고 있어, 명암대비 확장이 유용함을 알 수 있다. 본 논문에서 사용한 Th_{level} 은 150이다.

명암대비 확장을 통해 이진 영상을 얻은 후에는 전체 영상에 대해 결함의 크기가 큰 점들의 그룹을 탐색하고, OBB를 구한다. Fig. 9은 Fig. 8의 영상에 대해 OBB를 구한 것으로, Fig. 10의 확대 영상을 보면 결함들이 기울어진 상자로 둘러싸여 있는 것을 확인할 수 있다.

본 논문의 실험에서는 Fig. 5의 4096×2000 영상에서 모터 축 오른쪽 표면 부분 ②를 관심 영역 (ROI, Region of Interest)로 설정하여 알고리즘을 적용하였다. 설정 영역의 왼쪽 상단과 오른쪽 하단의 좌표는 각각 (2583, 0)와 (3883, 2000)이다. 해당 영역에 대해 알고리즘을 적용하였을 때, 계산시간은 0.291 밀리초가 소요되었으며, 결함의 개수는 총 150개로 인지되었다. 이때 사용한 Th_{in} 값은 10으로 실제 길이는 0.2 mm에 해당한다.

OBB 알고리즘을 이용한 표면 검사 알고리즘은 마이크로소프트의 비주얼 스튜디오 2013에서 개발하였으며, 머신 비전 라이브러리는 공개된 opencv 버전 3.0을 이용하였다. 사용한 컴퓨터의 사양은 인텔 코어 i7이며, CPU의 속도는 3.4 GHz이다.

4. 결론

본 논문에서는 OBB 알고리즘을 이용하여 모터 축 표면의 굽힘, 찍힘 등의 결함을 검사하는 방법을 제안하였으며, 라인스캔 카메라를 이용한 표면 영상 취득 장치를 제작하여 실제 모터 축 샘플에 대한 실험을 통해 표면 검사 알고리즘을 검증하였다. 시험 결과, 제안

한 알고리즘의 계산 속도는 대상 샘플에 대하여 0.291 밀리초로 목표 성능 4초에 비해 매우 빠르다. 부분 영상에 대하여 측정된 시간이지만, 전체 영상 적용하여도 1 밀리초를 넘지 않을 것으로 예상된다. 영상을 측정하기 위해서는 부품 로딩/언로딩, 회전 시간 등이 추가적으로 필요하기 때문에 알고리즘 계산 속도가 충분히 빠를 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서 제안된 알고리즘은 이러한 측면에서 유용할 것으로 판단된다. 또한 실험 결과 결함이 150개로 측정되었는데, 시편을 보관한 지 오래되어 부품 간의 굽힘 및 찍힘 현상이 오래도록 발생하여 많은 결함이 나타난 것으로 파악된다. 향후 다양한 시편에 대해서 테스트하여 알고리즘의 신뢰성을 확보할 계획이다.

Acknowledgement

이 논문은 산단R&BD 역량강화사업 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (과제번호 G12RDNWCC15014).

References

- 1) C. Y. Lim, D. W. Shin, and J. K. Yoon, "A yarn process inspection system using image processing", Journal of Korean Society of Precision Engineering, 30(5), p.513-519, 2013.
- 2) K. H. Jeong, S. W. Ra, and S. Y. Chung, "A study on surface inspection algorithm for cylindrical part", Proceedings of ICROS 2013, p.433-434, 2013.
- 3) P. Cai, C. Indhumathi, Y. Cai, J. Zheng, Y. Gong, T. S. Lim, and P. Wong, "Collision detection using axis aligned bounding boxes, Simulations", Serious Games and Their Applications, p.1-14, 2014.
- 4) Y. Shen and X. Sun, "Research and improvement of collision detection based on oriented bounding box in physics engine", IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, p.73-76, 2011.
- 5) E. Davis, Machine Vision: Theory, Algorithms and Practialties, Academic Press, p.79-99, 1990.