

실시간 적용을 위한 선재 흠 탐상 알고리즘의 개발

박영수*, 윤종필, 서보열, 김상우
 포항공과대학교 전자전기 공학과 지능제어시스템 연구실

Development of Surface Fault Detection Algorithm for Real Time Processing

Park Youngsu*, Yun Jong Pii, Seo Boyeul, Kim SangWoo
 Division of Electrical and Computer Engineering, POSTECH, Pohang, Korea

Abstract - 최근 제품의 품질 향상과 생산력 제고를 위해 제조업 분야에서의 결함 검출 시스템의 자동화에 대한 필요성이 커지고 있다. 또한 많은 회사들이 자동 흠 검출 시스템을 도입하여 판재나 모직 등의 흠 검출에 사용하고 있다. 그러나 철강 제조업에서 선재의 흠 검출은 이전에 많이 시도된바 있는 판재 등의 흠 검출보다 극복해야 할 과제가 많다. 우선 선재의 특성상 조명이 일정하더라도 각 부분의 밝기가 다르고, 선재가 이동하거나 선재의 굵기가 달라지면 카메라에서 관측되는 부위의 밝기가 달라진다. 따라서 선재의 흠 검출 시스템에서는 이들의 영향을 극복하고 제품의 결함을 판별할 수 있는 알고리즘이 요구된다. 또한 선재의 이동속도는 최고 18m/s에 이르기 때문에 실시간으로 흠을 검출하기 위해서는 알고리즘이 간단하고 효율적이어야 한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하고 선재의 흠을 자동 검출하기 위한 알고리즘을 제시한다.

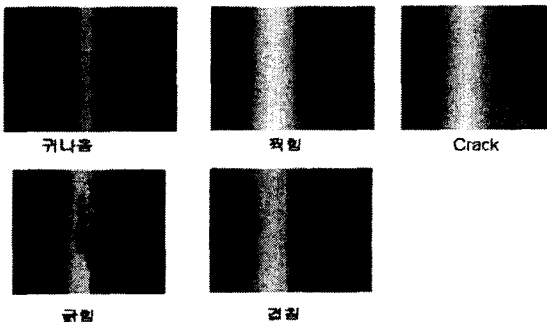
1. 서 론

자동 흠 검출 기법은 제조기술의 발전으로 인해 제품의 생산이 고속화되면서 제품의 검사를 위해 필요하게 되었다. 그중에서 이 논문에서 다루고자 하는 것은 선재의 흠 자동 검출을 위한 기법이다. 선재의 흠 검출이 필요한 이유는 크게 2가지가 있다. 첫 번째는 Crack과 같이 제품의 안전에 직결되는 흠을 찾아내기 위한 것이다. 선재 압연 공정에서 발생하는 여러 종류의 흠 중 Crack과 같은 흠은 선재를 소재로 한 제품의 안전에 크게 연 관되어 인명이나 재산상의 큰 손실을 가져다줄 수 있다. 다른 하나는 귀나움이나 늘림과 같이 선재의 부가가치를 떨어뜨리는 흠을 발견하여 이를 공정 제어에 반영하기 위한 것이다. 제조업 분야에서는 이미 여러 가지 기법의 자동 흠 검출 기법들이 사용되고 있다. 세라믹 타일, 모터의 베어링, 냉간 압연 강재 표면 등의 흠 검출에 NEURAL NETWORK 알고리즘이 쓰인다 [3][4][1]. 또한, Gabor 필터 기법을 사용하여, 선로위의 결함이나, 직물에서 발견되는 흠을 검출하고[5][2], LCD panel의 흠 검출 등에 wavelet transform이 이용되기도 한다[6]. 하지만 선재는 상대적으로 고속으로 움직이고 있어서 위와 같이 이미지 처리에 많은 시간이 필요한 기법들은 사용될 수 없다. 선재의 흠 탐상은 [8]에서 시도된 바가 있는데 이는 1차 미분 정보만을 이용하여 Crack에 대한 흠 검출은 할 수 있으나 귀나움이나 늘림과 같이 품질에 영향을 미치는 흠을 검출하는 능력은 떨어진다. [8]에서는 흠을 검출하고 SVM을 이용하여 흠의 종류를 판별까지 하였으나, 본 논문에서는 흠을 검출하는 부분만의 기술적인 면만을 다룬다. 본 논문에서는 Crack과 같은 흠을 찾아냄과 동시에 귀나움이나 늘림과 같은 흠도 검출해 낼 수 있는, 실시간 구동이 가능한 흠 검출 알고리즘을 제시할 것이다.

2. 본 론

2.1 흠의 종류

선재에 존재하는 흠의 종류는 다양하다. 흠에는 Crack과 귀나움, 점침, 찍힘, 굽힘, 롤 마크 등이 있다. Crack은 선재의 균열로 인해서 발생한 것이고, 귀나움과 점침은 압연과정의 오류로 발생한 것이다. 또한 굽힘이나 롤 마크 등은 주로 고속으로 이동하는 선재의 진동에 의해서 발생하는 경우가 많다. 그림1은 흠의 종류에 따른 영상이다. 이 이미지들은 원본 이미지에서 육안으로 흠을 거의 판별할 수 없는 경우가 있어 밝기보정과 감마보정을 한 이미지임을 밝혀둔다.

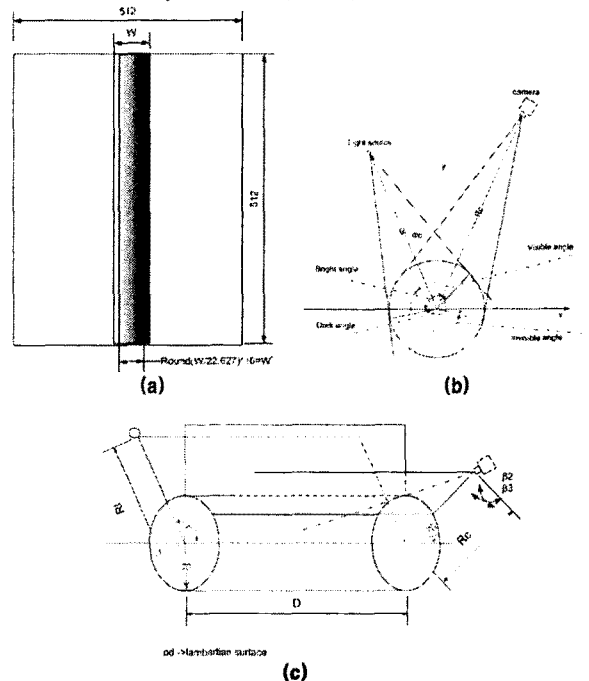


<그림 1> 여러 가지 흠의 종류

Crack과 찍힘은 1차 미분 정보를 이용하면 쉽게 찾아 낼 수 있으나 점침이나 귀나움과 같이 변화가 여러 pixel에 걸쳐서 일어나는 흠들은 1차 미분 시에 선재의 중심에서 먼 부분의 밝기 변화와 크게 차이가 나지 않거나 작은 경우가 있기 때문에 Threshold를 설정하여 흠의 존재 여부를 밝혀내기가 쉽지 않다. 따라서 이를 효과적으로 발견하기 위하여 본 논문에서는 2차 미분정보를 사용하였다.

2.2 시스템의 구성

제시된 알고리즘이 적용될 시스템은 Pentium 4 XENON 3G CPU에 1GB 메모리와 Matrox사의 Odyssey XPro 이미지 처리 보드, 그리고 50kHz로 동작하는 라인카메라로 구성되어 있다. 최종적으로 완성된 시스템에서는 6개의 System시스템으로 6개의 방향에서 선재의 영상을 검사해서 흠을 검출해내게 된다. XPro 이미지 처리보드에서는 전처리과정을 통해 흠을 검출하여 Feature를 찾아내고, 이것을 호스트 컴퓨터에서 SVM을 통해서 실시간으로 흠을 분류해낸다. 이 경우 1개의 시스템이 검사해야 할 영역이 60°이지만 경계 영역에서 나타나는 흠에 대비하기 위해서 각각은 약 90°의 영역을 검사한다. 약 90°라고 한 것은 이미지를 자를 때 XPro 보드에서의 연산의 효율성을 위해서 16pixel 단위로 나누기 때문이다.



<그림 2> (a) 선재에서 하나의 시스템이 검색하는 영역 (b)(c) 1개의 조명과 1개의 카메라가 존재할 때 System의 개념도

라인카메라에서 들어오는 영상을 약 10ms마다 512X512의 이미지를 전송하게 된다. w'X512의 이미지로 segmentation 해서 영상을 처리하게 된다. 그림 2의 (a)에서 w는 이미지에서 선재가 차지하는 pixel의 너비를 의미하고 w'은 하나의 검출 시스템에서 검사하게 되는 pixel의 너비를 의미한다.

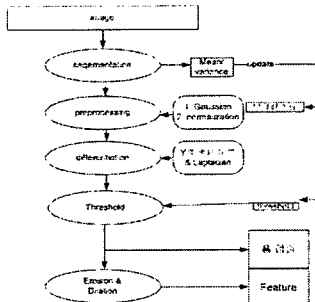
그림 2의 (b)와 (c)는 1개의 조명과 1개의 카메라가 존재할 때의 시스템 구성도를 나타낸 것이다. 이 논문에서는 현장에 위와 같은 방식으로 설치된 라인 카메라를 이용하여 수집된 데이터에 알고리즘을 적용하여 Offline으로 실험을 실행하였다. 또한 각 알고리즘이 XPro 이미지 처리 보드에서 걸리는 시간을 측정하여 실시간 적용 가능성을 파악하였다.

2.3 알고리즘의 구성

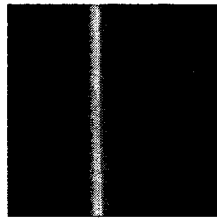
선재의 흠 검출 알고리즘은 이미지 분할, 이미지 전처리, y축 미분 및 Laplacian 커널 적용, 이진화 과정을 친다. 이진화 이후 흠이 검출 되면 이

를 Erosion과 Dilation을 이용해서 세선화 하고 이를 흠의 Feature로 Host Computer에 전송하게 된다. 그림 3은 선재의 흠을 검출하고 흠의 Feature를 찾아내는 알고리즘을 나타낸 것이다.

처음 과정으로 전체 이미지를 Segmentation한다. 선재의 본래 이미지는 그림 4와 같이 선재의 영역과 그보다 큰 비 선재 영역이 존재하는데, 비 선재 영역은 관심 영역이 아닐 뿐 아니라 전반적인 이미지 처리속도에도 영향을 미친다. 또한 선재의 외각 영역은 밝기가 어두워 노이즈에 대한 영향이 크고 외각선이 존재하므로 이것이 흠으로 판별될 가능성이 존재한다. 따라서 선재영상을 처리하기 전에 이미지를 Segmentation한다. 이미지 Segmentation은 그림 1 (a)의 w'의 폭과 128혹은 64 pixel의 크기를 가지도록 하였다. 이와 같이 y축 방향으로도 이미지를 분할한 이유는 선재가 영상 내에서 같은 위치에 존재하는 것이 아니라 진동 등의 영향으로 이미지의 위치가 바뀔 수 있기 때문이다. 하지만 이미지의 크기가 처리될 이미지를 메모리 공간상에 할당하는데 걸리는 오버헤드가 커진다. 이미지의 y축 분할 값은 선재의 종류나 굵기에 따라서 달라질 수 있으며, 이 논문에서는 기본적으로 64 pixel을 적용하였다.



〈그림 3〉 선재의 흠검출 알고리즘



〈그림4〉일반적인 선재 이미지

이미지 전처리 과정은 이미지가 가지는 노이즈를 줄이고 이미지에 대한 조명을 줄이기 위한 것이다. 3X3 Gaussian 커널을 이용하여 이미지의 노이즈에 대한 영향을 감소시키고 Normalization 과정을 통해서 밝기의 변화에 대한 영향을 줄이도록 하였다. 이 과정에서 Normalization시의 평균과 분산을 계산하는데 많은 시간이 걸릴 수 있으므로 Segmentation된 이미지의 10라인만을 검사하여 이미지의 평균과 분산을 추정한다.



〈그림5〉원본 이미지와 y축 미분, Laplacian을 적용한 이미지

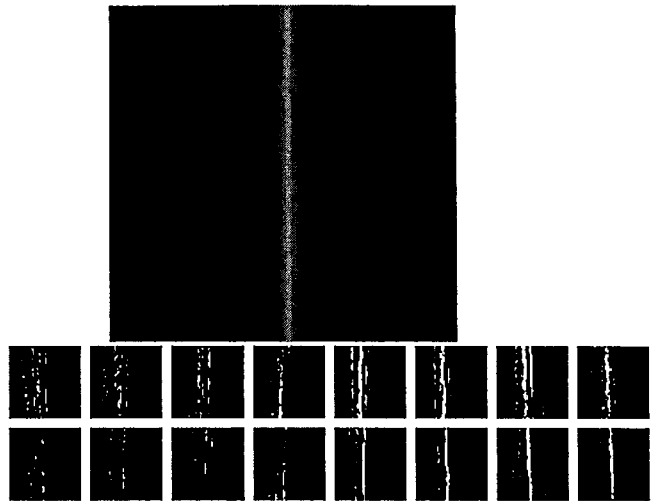
이후 전처리 된 이미지에 Laplacian과 y방향의 미분 커널을 적용하여 이미지의 흠을 검사한다. 흠 검출을 위해서 Sabor Filter나 Wavelet Filter 등이 사용될 수 있으나 이들은 계산시간이 많이 걸려 평균적으로 5m/s이하의 이동속도를 가지는 제품의 흠 검출에 사용되는 경우가 많다. 또한 Gabor필터의 경우 선재의 Texture에 민감하게 반응하여 흠이 아닌 경우에도 흠으로 판별하는 경향이 있고 Crack과 같은 흠을 찾기 힘들게 정보를 손상시키는 경우도 있다. 일반적인 흠들은 거의 대부분 Laplacian을 통해서 검출되나 x축 방향으로 평행한 흠은 변화율이 크지 않아 검출되지 않는 경우가 많다. 따라서 y방향미분 정보를 함께 사용하게 된다. 이후에 이렇게 얻어진 이미지들에 대해 Threshold를 적용하여 이진화하고, 이진화 된 영역이 가지는 에너지 값과 이진화 영역이 가지는 넓이를 이용하여 흠의 유무를 판별하게 된다. 이 실험에서는 다음과 같은 Cost 함수를 사용하여 흠의 정도를 기술하였다.

$$J(x, y) = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y I_L^2(i, j) B_L(i, j) + \alpha I_y^2(i, j) B_y(i, j) + \beta B_L(i, j) + \gamma B_y(i, j)$$

위의 식에서 I_L 은 원래 이미지에 Laplacian을 적용한 결과이고 I_y 은 y축 미분을 적용한 결과이다. B_L, B_y 는 Threshold를 적용하여 이진화한 이미지로 0과 1의 값을 가진다.

다음의 그림 6은 위의 과정을 거쳐 이진화 된 영상과 그의 원본 이미지를 나타내고 있다. 이진화 이미지 중 첫 번째 열은 양의 방향의 Threshold를 사용한 것이고 두 번째 열은 음의 방향의 Threshold를 사용한 것이다. 이를 통해 제시된 알고리즘이 원본 이미지에 존재하는 흠들을 잘 찾아내는 것을 볼 수 있다. 이후 이 이미지에 Erosion과 Dilation을 통해 세선화 작업을 거친 이진이진 이미지를 Host Computer에 Feature로서 전달하여 흠을 분류하게 된다.

이때 중요한 것은 주어진 시간 내에 흠 검출과 Feature의 검출이 끝나야 한다는 것이다. 위의 알고리즘에서 Normalization과 Threshold과정은 Look-up-table을 이용하고, Gaussian, Laplacian, y축 미분은 3X3 커널연산을 사용한다. 이 두 가지의 연산이 각종크기의 이미지에 대해서 XPro 보드에서 걸리는 시간은 다음의 표 1과 같다.



〈그림5〉원본 이미지와 Laplacian된 값을 이진화한 이미지
〈표 1〉 Odyssey XPro 보드의 연산시간.

| 이미지 크기 | 3X3 커널 연산 | Look-up-table 연산 | 단위 |
|-----------|-----------|------------------|----|
| 64 X 64 | 0.372 | 0.145 | MS |
| 128 X 128 | 0.380 | 0.189 | MS |
| 256 X 256 | 0.436 | 0.304 | MS |
| 512 X 512 | 0.671 | 0.870 | MS |

위의 표와 Frame당 시간인 10ms를 비교해 볼 때 알고리즘을 적용할 충분한 시간을 가짐을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 선재 흠의 실시간 흠 탐상알고리즘을 제시하고 이 알고리즘의 실제 공정에서의 적용가능성에 대해서 논의해 보았다. 그 결과 위에서 제시한 알고리즘은 실시간으로 이미지 처리 보드 상에서 동작하면서 선재의 흠을 찾아낼 수 있음을 알 수 있었다. 실험에서 사용된 이미지들이 임시로 가설된 시스템에서 얻어진 이미지인 관계로 각 이미지들의 밝기나 선재의 위치가 일정하지 않고 진동 등에 의해 이미지의 떨림이 발생하였음에도 전반적으로 좋은 성능을 보여주었다.

그러나 이미지의 Normalization과정에서 처음 10라인 상에 큰 흠이 존재할 경우 Normalization시에 분산이 감소하여 Laplacian된 이미지의 값이 떨어지기 때문에 이진화시에 연결된 흠이 단절되어 판별되는 경우가 있다. 이러한 문제는 현장이 실제 시스템이 설치되어 강종과 굵기에 따른 기준 이미지가 주어지게 되면 해결 될 것으로 예상된다. 본 알고리즘에 대한 연구와 Host Computer상에서의 흠 분류 시스템에 대한 작업을 계속하여 차후에 통합된 흠 검출 및 분류 시스템을 구축 할 것이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1]. Ge-Wen Kang, Hong-Bing Liu, "Surface defects inspection of cold rolled strips based on neural network", Machine Learning and Cybernetics, 2005. Proceedings of 2005 International Conference on, Volume 8, 18-21 Aug. 2005 Page(s):5034 - 5037 Vol. 8
- [2]. Mak, K.L., Peng, P., Lau, H.Y.K., "A Real-time Computer Vision System for Detecting Defects in Textile Fabrics", Industrial Technology, 2005. ICIT 2005. IEEE International Conference on 14-17 Dec. 2005 Page(s):469 - 474
- [3]. Rimac-Drije, S., Keller, A., Hocenski, Z., "Neural network based detection of defects in texture surfaces", Industrial Electronics, 2005. ISIE 2005. Proceedings of the IEEE International Symposium on, Volume 3, 20-23 June 2005 Page(s):1255 - 1260 vol. 3
- [4]. Eren, L., Karahoca, A., Devaney, M.J., "Neural network based motor bearing fault detection", Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2004. IMTC 04. Proceedings of the 21st IEEE Volume 3, 18-20 May 2004 Page(s):1657 - 1660 Vol.3
- [5]. Mandriota, C., Stella, E., Nitti, M., Distante, A., "Rail corrugation detection by Gabor filtering", Image Processing, 2001. Proceedings. 2001 International Conference on Volume 2, 7-10 Oct. 2001 Page(s):626 - 628 vol.2
- [6]. Jae-Seung Ryu, Jong-Hwan Oh, Jeong-Goo Kim, Tak-Mo Koo, Kil-Houm Park, "TFT-LCD panel Blob-Mura inspection using the correlation of wavelet coefficients", TENCON 2004. 2004 IEEE Region 10 Conference Volume A, 21-24 Nov. 2004 Page(s):219 - 222 Vol. 1
- [7]. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Prentice Hall, 2002
- [8]. Hongbin Jia, Murphey, Y.L., Jinajun Shi, Tzyy-Shuh Chang, "An intelligent real-time vision system for surface defect detection", Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on Volume 3, 23-26 Aug. 2004 Page(s):239 - 242 Vol.3