

컴퓨터 비전 시스템을 이용한 알루미늄표면 검사 알고리즘 개발

Used the Computer Vision System Develop of Algorithm for Aluminium Mill Strip Defect Inspection

이 용 중*, 신 신 범**, 이 양 범**,

창원 기능대학 생산자동화과*, 울산대학교 전기전자자동화 공학부**

Abstract

This study is on the application the image processing algorithm for inspection of the aluminium mill strip surface defect.. The image of surface defect data was obtained using the CCD camera with the digital signal board. The edge was found from the difference of pixel intensity between the normal image and defect image. Two step were taken to find the edge in the image processing algorithm.

Frist, noise was removed by using the median filter in the image. Second, the edge was sharpened in detail by using the sharpening convolution filter in the image. Canny algorithm was used to defect the exact edge. The defect section was separated from the original image is to find the coordination point p1 and p2 which include the defect image.

Key words : computer vision, ccd camera, inspection, image processing, inspection algorithm

1. 서 론

표면 불량 검사는 인간의 경험적 판단을 기초로 하여 숙련된 검사원들의 시각 검사에 의존하고 있다. 그러나 실제 많은 불량이 발생하는 압연 과정에서는 고속으로 작업 후 코일로 감는 공정의 특성상 인간의 시각으로는 검사가 불가능하기 때문에 검사기기의 도입은 공장 자동화에 필수적이다.

최근 검사기기의 동향은 레이저를 이용하는 방법에서 컴퓨터 비전 시스템을 이용한 2차원 정보를 얻는 쪽으로 바뀌어 가고 있다. 컴퓨터 비전 시스템을 이용한 검사 기기는 컴퓨터가 발달하면서 검사 부분에 이용되고 있다.

알루미늄 압연 판재의 특성은 압연방향의 미세한 흠집으로 구성되어 고주파 노이즈가 나타나며, 불량부분과 정상적인 표면부분의 색상 대비 차이가 미세해 불량을 구별하는데 많은 어려움이 있다. 카메라와 프레임 그라브 보드로부터 받은 영상을 검사에 적합하도록 결과를 내기 위한 작업이 필요하다. CCD 카메라로 취득한 판재의 영상은 고주파 노이즈가 포함하고있어 알루미늄 표면 검사에 적합한 검사 알고리즘의 개발이 요구된다.

2. 표면 불량검출 영상처리 알고리즘

2.1. 영상 전처리 과정

2.1.1 미디언 필터

획득한 알루미늄 표면 영상은 미세한 압연 표면 조도의 영향으로 빛의 산란을 일으키게 된다. 표면을 영상으로 취득하면 좁은 범위에서 픽셀의 밝기 차가 심하게 가변 되기 때문에 고주파 영상 잡음이 많이 포함되고 있다. 이 고주파 잡음을 제거하기 위해 저주파 필터들 중 원 영상의 특성을 잘 유지하면서 임펄스 잡음 제거에 뛰어난 미디언 필터가 알루미늄 표면 영상 전처리에 적합하다.

마스크가 2차원인 경우 미디언 필터는 다음과 같이 정의된다.

$$y_{ij} = med \{x_{i+r} y_{j+s} ; (r, s) \in A\} \quad (i, j) \in R^2 \quad (2.1)$$

여기서

$med \{ \}$: 중앙 순번에 해당하는 값을 가지는 함수

r : x축 방향의 $\frac{1}{2}n$ (n 은 해당 DATA수)

s : y축 방향의 $\frac{1}{2}n$

x_i : x축의 중앙값에 해당하는 입력

y_j : y축의 중앙값에 해당하는 입력

y_{ij} : 2차원의 출력

R : 실수의 집합

A : $A \subseteq R^2$ 이며, 중심화소 기준으로 하는 이웃화소의 집합이다.

2.1.2 Sharpening 콘볼루션 필터

미디언 필터의 사용으로 잡음은 제거되지만 영상은 평활화 되어 경계 부분이 일그러져 모호하게 된다. 이런 현상은 색상의 밝기 차이가 구별되지 않아 경계 검출이 안 되는 문제점으로 나타나보다 정확한 경계 검출을 위하여 Sharpening 콘볼루션 필터를 사용해 경계를 강조한다.

원 영상 화소 데이터는 M 개의 행과 N 개의 열을 마스크는 m 개의 행과 n 개의 열을 대해. 출력 이미지를 수식으로 표현하면 식 3.2과 같다.

$$O(i, j) = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n I(i+k, j+l) M(i+k, j+l) \quad (22)$$

여기서

입력 영상 i : 1에서 M 까지, j : 1에서 N 까지

마스크 i : 1에서 m 까지, j : 1에서 n 까지

2.2. 경계검출 알고리즘

J. Canny는 가우시안 필터를 사용하여 영상을 평활 시켜 미분으로 경계부분을 검출하였다.

영상 처리에서 원형 대칭적인 “+” 형 연산자를 사용하면 2차원 가우시안 함수와 같다. 이 마스크를 식으로 표현하면 식 (2.3)과 같다.

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

평활화된 영상에서 경계는 미분에 의해 찾아진다. 1차 미분했을 때 최고점을 경계로 선택하고 2차 미분했을 때는 0점과 교차점을 경계로 선택한다. 이웃하는 화소간 연산하기 위해 8방향 고려하여 연산하면 회전하는 것과 같다.

가우시안 함수와 영상함수의 관계식은 식 (2.4)와 같다.

$$g(x, y) = D[Gauss(x, y)] * f(x, y) \quad (2.4)$$

여기서,

$f(x, y)$: 입력 영상 함수

$Gauss(x, y)$: 가우시안 함수

D : 미분 연산자

$g(x, y)$: 출력 영상 함수

Canny 알고리즘은 DOG를 사용하므로 가우시안 함수의 변수인 표준편차 “ σ ”를 상수로 사용한다.

$$DOG(x, y) = \frac{e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}}}{2\pi\sigma_1^2} - \frac{e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_2^2}}}{2\pi\sigma_2^2} \quad (2.5)$$

여기서

σ_1, σ_2 : 서로 다른 표준편차

표준편차가 다른 두 가우시안 함수의 차이 값 DOG의 출력 값이며 기울기 검출 후 기울기가 가장 큰 화소들을 연결한다.

2.3 경계 정보를 이용한 영상 재구성

경계 추출 알고리즘의 출력 영상의 결과를 비교하여 불량부분을 포함하는 사각 영역 P1점과

P2점을 구하여 필터링 된 영상 데이터를 재구성한다.

조건 1.

$$g(x, y) \neq 0$$

$g(x, y)$: 경계 추출 영상의 출력 값.

조건 2.

$$i_{min} = \min(\forall x) - k$$

$$j_{min} = \min(\forall y) - k$$

$$i_{max} = \max(\forall x) + k$$

$$j_{max} = \max(\forall y) + k$$

여기서

k : 상수

$\min(\forall x)$: 모든 X축에서 조건1을 만족하는 가장 작은 좌표값

$\min(\forall y)$: 모든 Y축에서 조건1을 만족하는 가장 작은 좌표값 이며

1),2) 조건을 만족하는 점의 좌표는

$$P1 = (i_{min}, j_{min})$$

$$P2 = (i_{max}, j_{max})$$

여기서

$P1$ 점은 좌 상부 좌표 값

$P2$ 점은 우 하부 좌표 값

3. 실험 및 결과

실험 영상은 CCD 카메라로부터 받아 256×256 크기의 BMP 파일로 편집하였다.

명암 분석을 위해 종단면도(Profile Diagram)를 작성해 화소의 밝기 차이를 분석하였다. 그래프의 폭은 0~256개의 원 영상의 화소 수 그대로 배치하여 X축의 좌표이며 높이는 0~255색의 명암 밝기에 해당하는 값이다.

출력 결과 영상은 정상적인 면과 불량 면의 동시에 표현하여 영상의 차이를 구별하기 위해 $k=30$ 으로 설정하였다.

3.1. 알루미늄 표면 불량 검출 실험

카메라로 알루미늄 표면의 영상을 취득할 때 형광등 조명 아래에서 젯빛 유리 광학 필터를 사용하였다. 빛의 산란에 의해 잡음이 심하게 혼합된 영상으로 얻어져 이 영상들을 그림 3.2와 같은 명암 종단면도에서 분석하였다. 이 결과를 이러한 잡음이 많은 영상으로부터 표면 흠을 추출하기 위해서는 먼저 잡음을 제거하고 흠을 명확하게 분할해 내는데 전처리 과정이 필요하다.

본 연구에서는 전처리 과정으로 저주파 필터인 3×3 미디언 필터를 사용하여 노이즈를 제거하고 저주파에 의해 흐려진 이미지를 에지 분리에 적합하도록 고주파 필터인 [3×3] sharpening 필터를 사용하였다.

실제 사용한 마스크 값들은

$$M_{ij} = \{0, -1, 0, -1, 5, -1, 0, -1, 0\} \text{ 이다.}$$

마스크의 값들은 불량 부분을 포함하고 있는 정상적인 표면은 검출하지 않으며 미세한 불량의 경계까지 추출하는 결과를 기준으로 하여 설정된 값이다. 또한 경계 검출은 Canny알고리즘으로 경계 부분을 검출하였다.

3.2 흠집(DENT) 실험

그림 3.1은 알루미늄이 압연된 인쇄 판재를 1mm가 안 되는 작은 물체에 눌러 발생한 흠집이다. 그림 3.2를 원 영상에 대한 명암 종단면도이며 흠집좌우의 화소 밝기 변화가 다름을 알 수 있다.

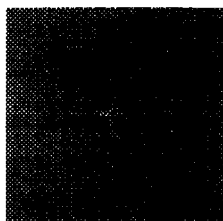


그림 3.1 흠집 원 영상

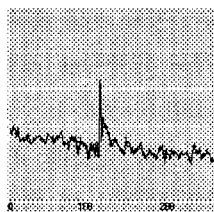


그림 3.2 흠집 영상의 명암 중단면도(125행)



그림 3.5 불량량의 경계 추출 결과영상

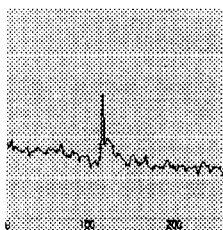


그림 3.3 미디언 필터 후 명암 중단면도 (125행)

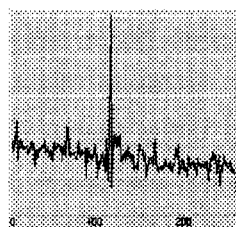


그림 3.4 미디언 필터링 후 Sharpening 후 명암 중단면도

그림 3.3은 미디언 필터 처리 후 125번째 행의 명암 중단면을 보여주며, 조명 영향에 의해 왼쪽이 올라 가있다. 그림 3.4는 미디언 필터링 후 Sharpening filtering 된 영상의 Y축 125번째 줄의 X축 명암의 단면도이다. 이것은 변화된 부분을 국부적으로 강조됨을 보여주고 있다. 그림 3.3과 3.4를 비교해 보면 필터사용 전후 화소의 밝기 차이를 나타내준다.

중단면도는 불량부분을 지나는 125번째 가로줄의 (압연방향의 90°방향) 단면 명암 도를 통해 필터를 통과한 영상의 변화를 볼 수 있게 해준다.

그림 3.5는 원 영상을 $[3 \times 3]$ 미디언 필터를 적용하여 영상을 Sharpening 필터링한 후 Canny 경계 검출 알고리즘을 이용하여 불량량의 경계를 검출한 영상이다.

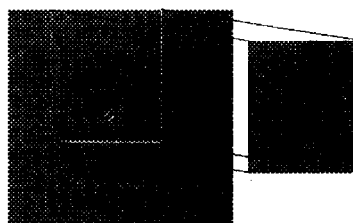


그림 3.6 흠집 영상의 불량량에 해당하는 영역만 재구성한 영상

그림 3.5의 영상을 영상 재구성 알고리즘을 이용하여 재구성하면 그림 3.6과 같다.

그림 3.6은 추출된 경계를 중심으로 30 화소($k=30$) 점을 분리하여 재구성한 영상이다. k 값을 조절함으로써 흠집 추출 영역을 가면 할 수 있으며, 상부에 검출된 부분은 취급 Scratch인하여 검출된 부분이다.

3.3 압연 긁힘(Rolled in Scratch) 실험

그림 3.7은 냉간 압연 틀에 의한 긁힘 영상이다. 중앙의 오른쪽에 위에서 아래로 흠집의 실제 크기는 폭이 03mm이며, 길이는 50mm 재 압연하면서 매몰된 영상이다.

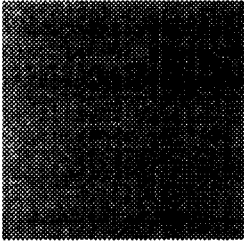


그림 3.7 압연 굵힘 원 영상

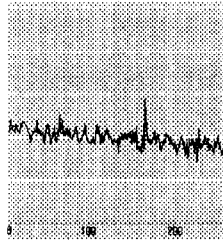


그림 3.8 원영상
명암 중단면도(178행)

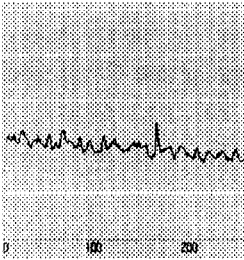


그림 4.9 압연 굵힘 영상의
미디언 필터후 명암 중단면도

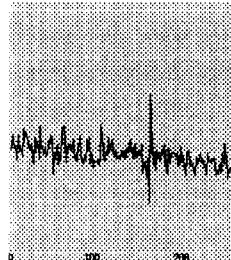


그림 3.10 미디언 Sharpening
필터후 명암 중단면도

그림 3.8은 원 영상에 대한 중단면도 이다.

그림 3.9는 미디언 필터 처리 후 178번째 줄의 명암의 단면도이다.

그림 3.10은 미디언 필터 → Sharpening 필터 후 영상내의 화소의 값을 보여주고 있다.



그림 3.11 압연 굵힘 영상을
불량 경계 추출 결과 영상

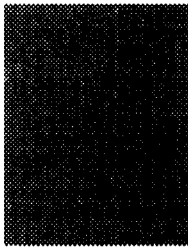


그림 3.12 압연 굵힘
불량 영상 재구성

그림 3.11은 원 영상을 [3×3] 미디언 필터 한 후 Sharpening 필터 영상, Canny 경계 검출 알고리즘을 이용하여 불량 경계를 검출 한 영상이다.

그림 3.12는 압연 굵힘 영상을 불량 경계의 경계중심으로 재구성 한 영상이다.

3.3 롤 마크(Roll mark)실험

그림 3.13은 작업 롤에 의한 발생한 불량 영상이다. 위에서 아래로 길게 2개의 흠집이 나있어 흠집이 뚜렷이 나타나 원하는 불량들은 쉽게 검출이 가능하였다.

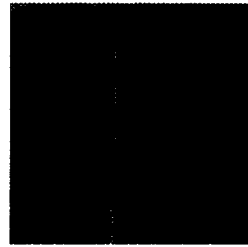


그림 3.13 롤마크 원 영상

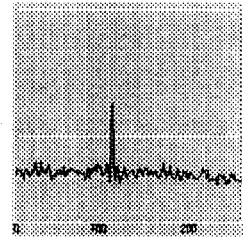


그림 3.14 롤마크 영상의
명암 중단면도(100행)

그림 3.14는 롤마크 원 영상을 100번째 행에대한 화소의 밝기 차이를 나타내고 있다.



그림 3.15 불량 경계
추출 결과 영상

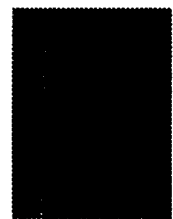


그림 3.16 롤마크
불량 영상 재구성

그림 3.15는 원 영상을 3×3 미디언 필터 - Sharpening 후, Canny 경계 검출 알고리즘을 이용하여 불량 경계를 검출 한 영상이다. 그림 3.16은 롤마크 영상에서 불량부분만을 재구성한 영상이다.

4. 결론

CCD 카메라의 영상획득은 조명의 영향을 절대적이다. 필터를 사용한다고 해도 원 영상을 어떻게 잘 받는가에 따라서 검출되는 불량량의 정도와 검출된 영상의 품질을 획기적으로 향상시키지는 못하는 단점이 있다.

압연판재는 대상물을 무조건 확대해서 영상을 획득하면 압연방향의 정상적인 흠집이 검출되는 문제점과 데이터 양이 많아지는 문제를 안고있다.

따라서 실제 검사에서는 조명의 영향과 해상도의 문제 충분히 검토 할 필요가 있다.

알루미늄 압연 판재의 여러 불량에 대상으로 영상처리의 여러 종류의 필터를 사용하여 압연 정상적인 미세한 흠집은 검출하지 않으며 작은 불량을 검출하기 위해 가장보편 적으로 사용할 수 있는 알고리즘 제안이다. 실험 3.2는 흠집 상부의 취급 Scratch 검출을 하기 위해 필터의 값들을 조정하고, 실험 3.3 압연 굽힘(Rolled in Scratch) 불량 영상은 다시 압연 작업이 진행되면서 흠집이 매몰되어 정상적인 면과 밝기차이가 없는 고조파 노이즈를 포함 된 영상을 검출하기 위해 필터의 값 크기와 적용 순서를 명암 종단면도를 통해 분석하여 미세한 흠의 작은 화소의 밝기 차이를 경계로 구별 할 수 있도록 실험적으로 얻어졌다.

불량의 경계 점들을 포함하는 사각형의 두 점의 좌표를 지정하여 불량 부분의 영상을 재구성하였다. 이 결과는 불량 부분의 형태를 시각적으로 볼 수 있을 뿐만 아니라 불량 영역만을 영상으로 추출하기 때문에 고속 압연 과정에서 검사가 가능하도록 데이터 양을 줄여 실시간 검사 시스템에 적용이 가능하다.

5. 참고문헌

- [1] RANDY CRANE, "Simplified Approach To Image Processing" Hewlett -Packard Company 1997
- [2] J. Canny, "A computational approach to edge detection", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), pp679-698 1986
- [3] Ramesh "Jain Machine Vision" Chapter 5. Mcgraw -Hill inc 1995
- [4] Marr, D., and Hildreth, E. 1980. "Theory of Edge Detction," Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Vol. 207, pp. 187-217
- [5] Rafael C. Gonzalez "Digital Image Processing " p415~416.
- [6] Vishvjit S. Nalwa " A Guided Tour of Computer Vision" AT & T 1993