

슬라브(Slab) 표면에서 오실레이션 마크(Oscillation mark) 검출 알고리즘

전용주, 윤종필, 최두철, 김상우
포항공과대학교

Detection of Oscillation Mark in Slab Surface

Yong-Ju Jeon, Jong Pil Yun, Doo-chul Choi, Sang Woo Kim
POSTECH

Abstract - 최근 여러 산업 분야에서는 품질의 향상과 생산성을 높이기 위해 자동화 검사 장치 개발이 활발하게 연구되고 있다. 본 연구에서는 비전을 이용한 신뢰도 높은 슬라브(Slab) 표면 검사 자동화 알고리즘의 전처리 단계인 오실레이션 마크(Oscillation mark) 검출을 목표로 한다. 슬라브 영상의 경우 조업시에 발생하는 산화 물질인 스케일(Scale)이 영상 전체에 분포하고 있으며, 이러한 스케일은 형태적 특징 및 밝기 특징이 일정치 않기 때문에 오실레이션 마크 검출 성능을 저하시킨다. 따라서 스케일의 영향을 최소화 하고 효과적으로 오실레이션 마크를 검출하기 위해 가버 필터(Gabor filter)와 수직 투영 프로파일(Vertical projection profile)을 이용한 노이즈 제거 방법을 사용한다.

1. 서 론

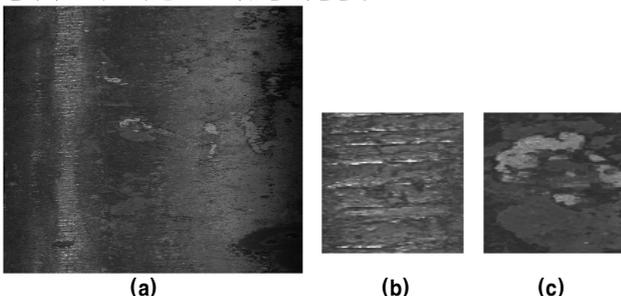
최근 여러 산업 분야에서는 품질의 향상과 생산성을 높이기 위해 자동화 검사 장치 개발이 활발하게 연구되고 있다. 철강 산업 분야도 다른 산업들과 마찬가지로 자동화 검사 장치 개발이 연구되고 있으며, 특히 제품의 최종 검사 단계인 철강 표면 검사에 대한 연구가 중요시 되고 있다. 철강 표면의 결함 검출은 철강 생산단계에 있어 중요한 부분이며 철강 제품의 품질 관리에 직접적인 영향을 가지고 있다.

이 논문에서는 비전을 이용한 신뢰도 높은 슬라브(Slab) 표면 검사 자동화 알고리즘의 전처리 단계인 오실레이션 마크(Oscillation mark) 검출을 목표로 한다. 오실레이션 마크는 슬라브 표면의 좌, 우측 영역에 존재하며 슬라브 제조 과정 중 발생하게 되는 가로 방향의 줄무늬 크랙을 의미한다. 이러한 오실레이션 마크는 실제 결함은 아니지만 결함의 형태와 밝기 특성이 비슷하여 결함 검출의 성능을 저하시킬 뿐 아니라 오실레이션 마크의 발생으로 기타 다른 크랙들이 발생하게 되므로 정확한 결함 검출을 위해서는 오실레이션 마크의 분석이 필요하다. 또한 오실레이션 마크 내부에 면세로 크랙이 존재할 경우 오실레이션 마크의 형태변화가 생겨나게 되므로 면세로 크랙을 검출하기 위해서는 오실레이션 마크의 검출이 반드시 우선적으로 선행 되어야 한다.

2. 본 론

2.1 슬라브 영상 분석

조명 및 카메라 장치로부터 획득된 슬라브 좌측 영상은 <그림 1>과 같다. <그림 1. (b)>에서 보이듯이 오실레이션 마크는 가로 방향의 두께가 일정한 줄무늬 형태의 크랙으로 세로 방향으로 연속적으로 발생함을 알 수 있다. 오실레이션 마크는 형태적 특성상 가로 방향으로의 밝기 변화가 거의 없으며 세로 방향으로 밝기 및 특성 변화가 나타난다. 이에 반해 슬라브 영상 전체에는 스케일(Scale) 존재하는데, 스케일은 조업시 생겨나는 산화물질로써, <그림 1. (c)>에서 보이듯이 일정한 밝기 및 형태를 가지고 있지 않아 결함이 없는 슬라브 표면의 특성 및 밝기 변화를 발생 시킨다. 이러한 슬라브 표면의 스케일은 분석이 어려울 뿐 아니라 오실레이션 마크의 검출 성능 또한 저하 시킨다. 따라서 본 논문에서는 스케일의 영향을 줄이고 오실레이션 마크 검출 성능을 높일 수 있는 오실레이션 마크 검출 알고리즘을 제안한다.



<그림 1> 슬라브 영상 (a)슬라브 표면 영상 (b)오실레이션 마크 영상 (c)스케일을 포함함 슬라브 표면

2.2 가버 필터(Gabor Filter)

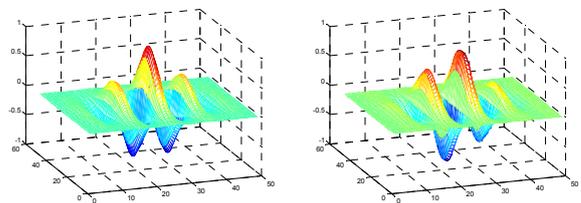
본 논문에서는 오실레이션 마크의 특징을 강화하기 위해 가버 필터(Gabor filter)를 사용한다. 가버 필터는 적절한 파라미터 설정만으로 다양한 방향, 주파수, 대역폭 등이 변화 되므로, 텍스처 분석이나 형태적 특성을 가지는 결함을 검출 하는데 많이 이용된다 [1-3]. 2차원 가버 함수는 특정 주파수와 방향을 가진 2차원 complexed sinusoidal 함수와 특정 분산을 가지는 2차원 가우시안(Gaussian) 함수의 곱으로 정의 된다 [2]. <그림 2>에서와 같이 가버 함수는 complexed sinusoidal 함수에 의해 실수와 허수부분에서 모두 정의가 된다. 본 논문에서는 오실레이션 마크의 검출을 위해 가버 함수의 실수부분만을 사용한다. 실수부 2차원 가버 함수의 일반적인 식은 다음과 같다.

$$g(x, y | \sigma_x, \sigma_y, f, \theta) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{x'}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y'}{\sigma_y} \right)^2 \right\} \right] \cos(2\pi f x') \quad (1)$$

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (3)$$

여기에서 σ_x, σ_y 는 각각 가우시안 함수의 x 축과 y 축으로의 분산을 나타내고, θ 와 f 는 가버 함수의 방향과 주파수를 나타낸다. <그림 1>에서와 같이 오실레이션 마크는 가로방향으로의 가늘고 긴 일정한 형태 및 두께를 지니며 세로방향으로의 연속적인 분포를 가지고 있다. 따라서 오실레이션 마크의 형태적 특성 및 밝기 특성과, 방향성 및 두께를 이용하여 가버 함수의 4개의 파라미터 값을 선정한다.



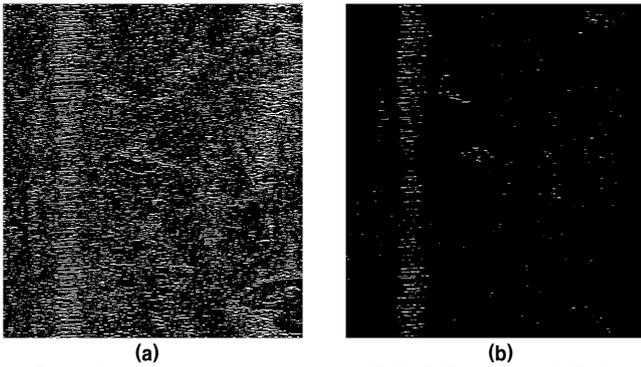
<그림 2> 2차원 공간상에서의 가버 함수 (a) 실수부 2차원 가버 함수 (b) 허수부 2차원 가버 함수



<그림 3> 가버 필터 통과후 슬라브 영상

<그림 3>의 가버 필터 통과 후의 슬라브 영상을 보게 되면, 오실레이션 마크에서의 반응도가 음의 값으로 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 가버 필터를 통과한 결과 영상에 대해 문턱치(Threshold) 값 이하이면 홀이라고 판단하고 이진화를 수행 한다. 이진화 과정은 노이즈의 영향을 최소화 하면서 오실레이션 마크의 형태는 보존하기 위해 가버 필터 통과 후 영상의 평균과 분산을 이용한 Adaptive double threshold 를 이용

한다. Adaptive double threshold를 적용하여 구한 이진화 영상은 <그림 4>와 같다.



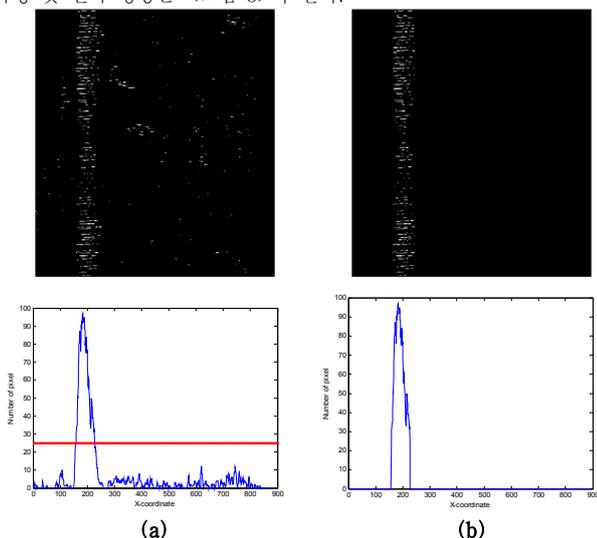
<그림 4> Adaptive double threshold 적용 결과 (a)Low-이진화 영상 (b)High-이진화 영상

2.3 수직 투영 프로파일을 이용한 노이즈 제거

<그림 4>의 이진화 결과 영상을 보게 되면 슬라브 표면에 분포하는 스케일의 영향으로 인해 많은 노이즈를 포함하고 있음을 알 수 있다. 이진영상에 포함된 노이즈를 단순히 문턱치 값을 높게 설정하여 제거하게 되면 오실레이션 마크의 이진화 부분까지 사라지게 되므로 정확한 오실레이션 마크들을 찾을 수가 없게 된다. 따라서 슬라브 영상에 분포하고 있는 스케일에 의해 발생된 노이즈의 영향을 최소화하기 위해서 High-이진화 영상에 대해서 수직 투영 프로파일(Vertical projection profile)을 사용한다. High-이진화 영상의 수직 투영 프로파일의 수식은 아래와 같다.

$$p(x) = \sum_{y=1}^H T_{high}(x, y) \quad (4)$$

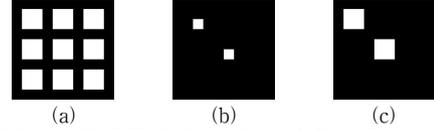
여기에서 $T_{high}(x, y)$ 는 High-이진화 영상을 나타내고, H 는 슬라브 영상의 높이로써 $H=1000$ 이다. 오실레이션 마크의 경우 슬라브 영상에서 세로 방향의 연속적인 분포를 가지고 있기 때문에 수직 투영 프로파일을 구해보면 오실레이션 마크가 존재하는 부근에서 높은 값을 나타낸다. 반면에, 스케일에 의한 노이즈들은 슬라브 표면 전체에 존재하기 때문에 수직 투영 프로파일에서 낮은 값으로 나타나게 된다. 따라서 수직 투영 프로파일에 대해 문턱치 값을 이용하여 오실레이션 마크 영역의 위치를 찾아 낼 수가 있다. 문턱치 값을 수직 투영 프로파일의 평균과 분산을 이용하여 계산된다. 수직 투영 프로파일을 이용한 노이즈 제거 과정 및 결과 영상은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 수직 투영 프로파일을 이용한 노이즈 제거 결과 (a)High-이진화 영상에 대한 수직 투영 프로파일 (b)수직 투영 프로파일에 문턱치 값을 이용하여 노이즈를 제거한 High-이진화 결과 영상

High-이진화 영상은 수직 투영 프로파일을 사용하여 노이즈가 제거되었지만 높은 문턱치 값으로 인해 실제 오실레이션 마크의 형태를 완전히 지니고 있지 못하다(<그림 5. (a)>). 반면에 Low-이진화 영상의 경우 낮은 문턱치 값으로 인해 오실레이션 마크의 형태를 완전히 지니고

있지만 노이즈 성분 또한 많이 내포하고 있다(<그림 4.(a)>). 따라서 실제로 오실레이션 마크의 최종 결과 영상을 얻기 위해서는 Double threshold의 마지막 단계인 Blob 복원 과정을 수행한다. Blob 복원 과정은 <그림 6>과 같은 과정으로 진행된다. High-이진화 영상을 seed로 하여, Low-이진화 영상의 blob중에서 High-이진화 영상의 blob을 포함하는 blob들만 남기고 나머지 blob들은 제거하는 과정을 거치게 된다. Blob 복원 과정을 거치게 되면 최종적으로 스케일에 의한 노이즈 효과는 모두 제거하고 오실레이션 마크 또한 형태적으로 보존할 수 있게 된다. 최종 결과 영상은 <그림 7>과 같다.



<그림 6> Blob 복원 과정 예시 (a)Low-이진화 영상 (b)High-이진화 영상 (c)Blob 복원 영상 (low-이진화 영상의 blob 중에서 high-이진화 영상을 포함하는 blob만 남게 된다)

3. 결과 및 결론

본 논문에서 제안된 슬라브 표면에서의 오실레이션 마크 검출 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 91장의 슬라브 영상에 대해서 테스트를 수행하였다. 슬라브 영상은 실제 철강 생산 라인 현장에서 획득한 영상이며 91장의 슬라브 영상은 모두 오실레이션 마크를 포함하고 있다. 실험에 대한 결과는 <표 1>과 같다. 실험 결과 본 논문에서 제안된 알고리즘은 오실레이션 마크 검출에 대해 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

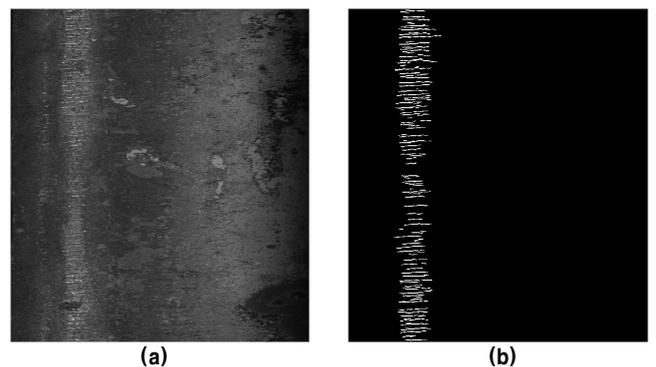
본 논문에서는 슬라브 결함 검출 자동화를 위한 전처리 단계인 오실레이션 마크 검출 알고리즘은 제안하였다. 슬라브 영상에는 생산 과정에서 발생하는 산화 물질인 스케일이 표면에 많이 분포하고 있으며, 특히 이러한 스케일은 일정한 형태 및 밝기를 갖고 있지 않기 때문에 오실레이션 마크 검출 성능을 현저히 저하 시킨다. 따라서 오실레이션 마크의 특징을 강화하며, 스케일의 영향을 최소화 하기 위해 가버 필터와 수직 투영 프로파일을 이용한 노이즈 제거방법을 사용하였다. 실험 결과를 통해 오실레이션 마크 검출 성능이 우수함을 알 수 있으며, 추후 오실레이션 마크 검출 알고리즘을 이용하여 슬라브 영상에서의 결함 검출 자동화를 위해 응용 될수 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

<표 1> 오실레이션 마크 검출 실험 결과

	성공	실패	정확도
오실레이션 마크 검출	91	0	100 %



<그림 7> 오실레이션 마크 검출 결과 영상 (a)슬라브 표면 영상 (b)최종 이진화 결과 영상

[참고 문헌]

- [1] Kumar A, Pang GKH, "Defect detection in textured materials using Gabor filters.", IEEE Trans Ind Appl, 38(2),425 - 440, 2002
- [2] A. Bodnarova, M. Bennamoun, s. Latham, "Optimal Gabor filters for textile flaw detection", Pattern Recognition, 35, 2973 - 2991, 2002
- [3] J.P. Yun, S.H. Choi, J.W. Kim and S.W. Kim, "Automatic detection of cracks in raw steel block using Gabor filter optimized by univariate dynamic encoding algorithm for searches (uDEAS)," NDT&E Int, 42(5), 389 - 397, 2009