

열연 공정에서의 영상을 이용한 캠버 및 최적 절단선 검출 알고리즘

공 남 응, 문 정 혜, 박 부 건
 포항공과대학교 전자전기공학과
 (TEL: 054-279-5588, E-mail: pandakon@postech.ac.kr, moon119@postech.ac.kr, ppg@postech.ac.kr)

Vision-Based Camber and Optimal Cutting Line Detection Algorithm for Hot-Rolling Process

Nam Woong Kong, Jung Hye Moon, PooGyeon Park
 Department of Electronics and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology
 (TEL: 054-279-5588, E-mail: pandakon@postech.ac.kr, moon119@postech.ac.kr, ppg@postech.ac.kr)

Abstract - This paper presents the vision-based camber and optimal cutting line detection algorithm for hot-rolling process. It is important to measure the camber of head and tail part of strips because many problems are caused by the camber in the hot-rolling process. The hot-rolling process has time constraints. The camber detection algorithm of head and tail parts requires fast and less complex for satisfying time constraints. The proposed algorithm consists of two parts: measurement of the camber in the head and tail part of strips and decision part of the optimal cutting line of hot-rolled strip. First, we obtain the camber value of the strip from the difference between the real center line and the center line of head, tail part. Second, the head and tail part of strips isn't suitable for strips connections. Therefore, the cutting process is needed in the hot-rolling process. The optimal cutting line is determined by the head and tail images obtained from cameras. The algorithm is applied into the vision system with two area cameras, Matrox image processing board and host PC for verification.

1. 서 론

최근 철강 제조 산업에서 설비 자동화 등을 통해 제품의 생산량과 품질 향상에 대한 요구가 크게 중요시되고 있다. 또한, 열연 강판의 품질 향상 요구 또한 지속적으로 증가해왔다. 철강 제품의 질 향상을 위해 프로세서의 상태에 대한 정보를 얻는데 사용하는 새로운 센서의 개발과 함께 얻은 정보로부터 원하는 값을 얻어내는 알고리즘의 개발도 중요하게 되었다.

강판의 좌우 비대칭 압연에 의해 발생하는 캠버는 열연공정에서 가장 중요한 결함 중의 하나이다. 즉, 강판의 서로 다른 두께 때문에 강판이 어느 한쪽으로 휘어지는 현상을 캠버라고 한다. 캠버는 열연 공정을 불안정하게 하고, 또한 공정을 어렵게 만들고, 생산 품질을 저하시키는 요인이 된다. 열연 공정에서 캠버의 자동화 제어는 원활한 공정 흐름을 유지함으로써 제품의 품질 향상을 얻을 수 있다.

여러 해동안 캠버는 철강 제어 분야에서 문제점으로 인식해 왔고, 그 분야에 대한 여러 논문들이 발표 되었다[1-3]. 최근에 평탄하지 않은 강판을 보상함으로써 캠버를 줄이는 방법들이 시도되고 있다[4]. 이와 같은 접근은 시스템 모델에서 설명할 수 없는 많은 변수를 가지고 있다는 것이 주요 문제점이다. 이와 같은 문제점 때문에 실제적으로 캠버를 제거하는 일은 직접 오프라인에서 직접 사람의 손에 의해 수행되었다. 온라인 상태에서의 실시간 캠버 측정 시스템이 부족하기 때문에 이런 수동적인 방법이 수행되었다. 근래에 단지 캠버 측정을 위한 시스템이 있으나, 그런 시스템 대부분은 강판의 모서리나 폭을 측정하는 장치를 이용하여 강판의 가장자리 정보를 통해서 캠버를 추정한다[5-7]. 최근에는 컴퓨터 영상 기술을 사용하여 저렴하고, 신뢰성 있는 캠버 측정 시스템들이 개발 되었다[8-9].

이런 컴퓨터 영상 기술을 사용하여 온라인상에서 고속으로 강판의 선후단부의 캠버와 열연속 과정을 위한 최적 절단선 검출 알고리즘을 제안한다. 영상은 두 대의 Area 카메라를 이용하여 강판의 형상을 얻고, 얻은 영상으로부터 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 강판의 최적 절단선과 선후단의 캠버 값을 검출한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장에서는 열연 강판에 대한 분석과 캠버의 정의와 같은 이론적 배경에 대해 설명한다. 제 3장에서는 선후단 캠버 및 최적 절단선 검출 알고리즘의 전체 구조에 대해서 설명하고, 그리고 제 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능 분석에 대해서 설명한다. 마지막으로 제 5장에서는 결론으로 논문을 마친다.

2. 이론적 배경

2.1 열연 강판 분석

여기서는 강판의 특징에 대해 알아본다. 강판의 폭은 900~1800mm이고, 이동속도는 약 2m/sec이다. 그림 1은 열연 강판의 선단 형상을 위에서 바라본 영상이다.



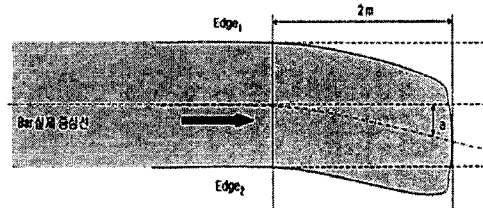
<그림 1> 열연 강판의 선단 형상

열연 공정 과정에서 기존의 Crop Shear의 절단 방법은 강판의 형상에 관계없이 고정된 설정 값에 의해 절단하기 때문에 생산 효율이 떨어진다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 소재의 정확한 형상을 얻어서 최적의 절단선을 찾아내면 생산 효율을 크게 높일 수 있다. 위의 영상의 소재에 대한 전체 형상을 정확히 얻기 위해서는 소재의 edge 정보가 1 pixel 단위 아래로 에러가 발생해야 한다. 또한 절단선의 정보를 Crop Shear로 보내는 최소 처리 시간이 0.2초 안에 이루어져야 한다. 결국 최소한 5 frame/sec 정도의 속도로 영상을 처리해야 이런 조건들을 만족시킨다. 소재의 폭도 열연 과정에서 가변적이기 때문에 이점을 고려하여 두 대의 카메라를 겹쳐서 이용하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 위의 조건을 만족시키기 위해서 최소한 5 frame/sec 이상의 처리 속도가 나와야한다.

2.2 캠버의 정의

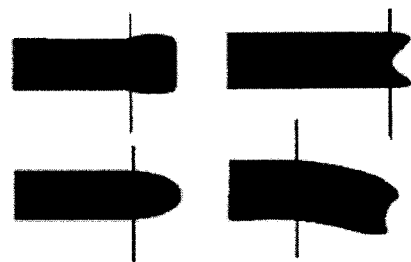
캠버는 크게 전장의 캠버와 선후단부의 캠버로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 선후단부의 캠버 값을 검출하는데 첫 번째 목적이 있다.

선후단부의 캠버는 그림 2에서 보는 바와 같이 강판의 선후단부 끝에서 2m 거리만큼 떨어진 곳을 기준으로 Bar의 실제 중심선과 Bar 끝부분의 중심선 사이의 차로 정의된다.



<그림 2> 선단부의 캠버

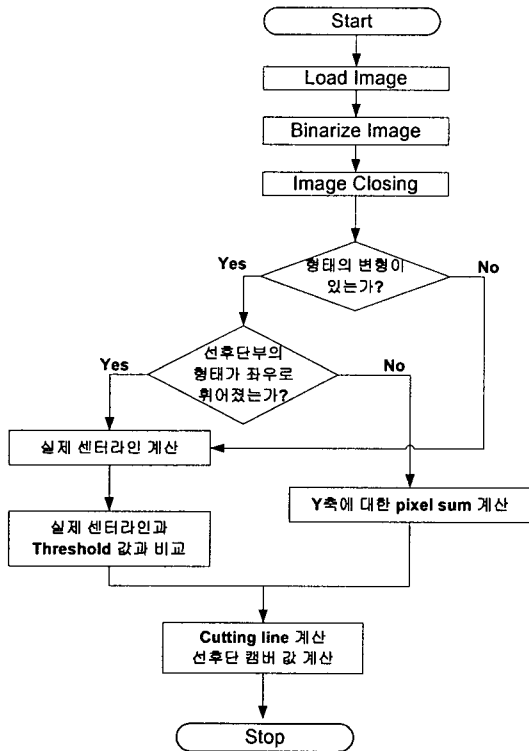
위의 그림에서 선단부의 캠버 값을 a로 표시하였다. 후단부의 캠버도 선단부와 같은 방법으로 구할 수 있다. 그리고 열연속 과정에서 강판과 강판 사이의 접합을 용이하게 하기 위해서 선후단부를 접합하기 좋도록 절단하는 것을 Crop이라고 한다. 그림 3은 Crop의 여러 가지 형상과 최적 절단선을 보여준다.



<그림 3> Crop의 여러 가지 형상과 최적 절단선

위의 그림과 같은 최적의 절단선을 구해 열연 공정 효율을 높이는 것이 제안된 알고리즘의 두 번째 목적이 있다.

3. 선후단 캠버 및 최적 절단선 검출 알고리즘의 구조

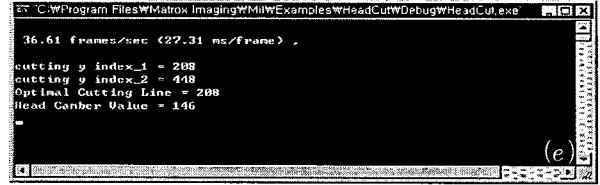
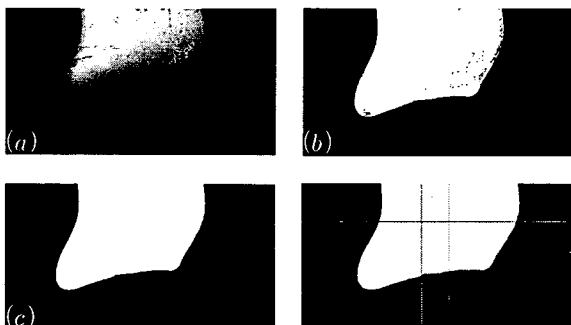


<그림 4> 선후단 캠버 및 최적 절단선 검출 알고리즘

그림 4의 알고리즘은 MIL(Matrox Image Library)를 사용하여 구현하였고, 여기서 읽어오는 영상은 두 대의 Area 카메라로부터 얻어진 영상을 사용하여 좌우 stitch의 과정을 거친 영상이라고 가정한다. 먼저 좌우 stitch된 영상을 읽은 다음 이진화 과정을 거친다. 이진화 과정을 거친 후 생긴 부분을 Closing 기법을 사용하여 제거한다. 그리고 세로축으로 투사시킨 영상의 가로 pixel 합을 통해 선후단부 형태의 변형이 있는지 없는지를 판단한다. 만약 형태의 변형이 없고, 단지 좌우로 휘어진 형태의 강판인 경우는 세로축으로 투사시킨 가로 pixel 합으로 최적 절단선을 계산한다. 그렇지 않은 경우 즉 강판 형태 변형의 유무에 관계없이 선후단이 좌우로 휘어져 있다면 2m 지점의 실제 센터라인을 구한 뒤 적당한 Threshold 값과 비교하여 최적 절단선을 구할 수 있다. 허용되는 강판의 휨 정도는 Threshold 값을 변경함에 따라 조정할 수 있다. 그리고 선후단 캠버의 정의 따라 선후단 끝으로부터 2m 지점을 계산한 뒤 그 부분의 실제 센터라인을 계산한다. 그 후에 선후단부 끝의 좌우 지점을 계산하여 끝부분의 센터 값을 얻는다. 그 두 센터 값의 차이를 구하면 선후단 캠버 값을 구할 수 있다.

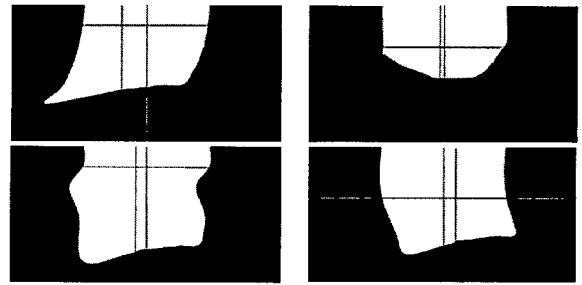
4. 알고리즘 성능 및 결과 분석

Matrox Xpro board, windows 기반 PC로 구성된 시스템에 제안된 알고리즘을 적용 시켰다. 그림 5는 (a)와 같은 강판의 선단부 영상이 들어 왔을 경우에 알고리즘을 적용시킨 결과를 보여준다. 이 때의 영상은 1600*800 크기를 0.25배만큼 작게 하여 MIL로 구현한 것이다.



<그림 5> 선후단 캠버 값 및 최적 절단선 검출

그림 5의 (b)는 들어온 영상을 이진화한 그림이다. 그리고 (c)는 Closing 기법을 사용하여 (b) 그림에서 보이는 스케일 부분을 제거한다. (d)는 최종적으로 구한 최적 절단선과 선단부의 실제 센터라인과 끝부분의 센터라인을 그림에 표시한 것이다. 마지막으로 (e)는 실제 최적 절단선과 선단부 캠버 값을 세로 축 pixel 값으로 표시한 것이다. 그리고 제안된 알고리즘은 약 36 frame/sec의 처리 속도를 가진다. 이 결과는 Crop Shear 처리 시간의 제한 조건인 5 frame/sec의 성능을 충분히 만족시키는 것을 알 수 있다. 다음 그림 6은 여러 가지 선후단의 모양에 대해 적용한 결과이다.



<그림 6> 여러 가지 선후단 모양에 대한 캠버 값 및 최적 절단선 검출

5. 결론

본 논문에서는 영상 처리 기술을 사용하여 열연 공장에서 강판의 선후단 캠버와 열연속 과정을 위한 최적 절단선을 고속으로 검출하는 알고리즘을 제안했다. 제안된 알고리즘으로 여러 가지 모양을 가지는 열연 강판의 선후단 캠버 값과 최적 절단선을 구한 것을 확인할 수 있었다. 또한 열연속 과정에서 강판의 속도가 2m/sec의 값을 가지고, Crop Shear의 최소 허용 시간이 0.2초이므로 이 조건을 만족하기 위해서는 영상 처리 속도가 적어도 5 frame/sec의 성능이 나와야 하는데, 실제 알고리즘 적용 결과 약 36 frame/sec로 5 frame/sec의 조건을 충분히 만족함을 확인할 수 있었다.

6. 감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2007-C1090-0701-0004)

본 연구는 정보통신연구진흥원 및 정보통신부의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 지원을 받고 있는 포항공과대학교의 OFDM 기반 광대역 이동 인터넷 연구센터 (BrOMA)에 의해 지원받았음(IITA-2007-C1090-0701-0037)

[참고 문헌]

- [1] T.Shiraishi, H.Ibata, A.Mizuta, S.Nomura, E. Yoneda, K. Hirata, "Relation between camber and wedge in flat rolling under restrictions of lateral movement", ISIJ Int., 31(No. 6) 583-587, 1991.
- [2] A. Nilsson, "FE simulations of camber in hot strip rolling", J. Mater. Process. Technol., 80/81, 325-329, 1998.
- [3] D.L.Biggs, "Control of camber on steel sheet", EngD thesis, University of Wales Swansea, 1999.
- [4] J. C. Alvarez, A. B. Diez, D. Alvarez, J. A. Gonzalez, and F. Obeso, "Thick unevenness compensation in a hot rolling mill having automatic gage control," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 38, No. 2, pp. 559-564, 2002.
- [5] M. Sugiyama and M. Hamaguchi, "A camber-profile gauge using a laser scanning and light-guide detection edge sensor," Iron and Steel Plant Electrical Equipment Edition, vol. 92, pp. 34-37, December 2000.
- [6] Harris Instrument Corporation. Continuous online camber measurement system. camber.htm. [Online]. Available: <http://www.harrisinstrument.com/>
- [7] Shape Technology. Camber measurement. EES_Leaflet.pdf. [Online]. Available: <http://www.shape-tech.com/pdfs/>
- [8] R. Fraga, R.C Gonzalez, J.A. Cancelas, J.M. Enguita, L.A.Rodriguez Loreda, "Camber Measurement System in a Hot Rolling Mill," Industry Applications Conference 2004, vol. 2, pp. 897-902, October 2004.
- [9] R.J. Montague, J. Watton, K.J. Brown, "A machine vision measurement of slab camber in hot strip rolling", Journal of Materials Processing Technology, 168, 172-180, 2005
- [10] "Matrox Imaging Library 8 User Guide", Matrox Electronic Systems Ltd., 2005.