

PC 기반 Strip 중앙 위치 제어 시스템의 구현

박남준⁰, 정진양^{*}, 김현술, 한영오^{**}, 박상희
 연세대학교 전기공학과, *포항제철주식회사, **남서울대학교 전자공학과

System Implementation for PC-based Center Position Control of Strip

Nam-Jun Park⁰, Jin-Yang Jung^{*}, Hyun-Sool Kim, Young-Oh Han^{**}, Sang-Hui Park
 Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ., *POSCO, **Dept. of Electronics Eng., Southern Seoul Univ.

Abstract

The existing CPC(Center Position Controller) has unstably performed because of dusts on reflection panel, CCD protector contamination due to high temperature in furnace or other parameters. The reason is that the existing CPC has a Z80 processor as a CPU and only performs low level image processing as a simple edge detector. So the improvement of control system through the development of robust edge detection algorithm overcoming changes of measuring environment is needed.

For this, in this study we carefully analyze the image of the strip rolled in occasion that measuring environment is changing, develop the optimal edge detection algorithm to solve the problems, generate the control signal suitable for the existing CPC(Center Position Controller), and propose the capability of application to the actual environment.

I. 서론

제철소에서는 철을 제련하여 생산되는 strip을 목적지까지 rolling과정을 통하여 운반하는 과정이 요구된다. 이 과정에서 strip은 roller의 중심위치로 흘러가야 하는데 실제로는 strip과 roller의 여러 가지 외란 요인에 의해서 중앙위치를 이탈하게 된다. 따라서 strip이 roller의 중앙에 위치하도록 자동 제어하는 시스템이 요구된다. 이러한 시스템에 대한 연구는 국내에서는 이루어진 바 없으며 일본, 미국 등 선진국에서 개발된 시스템을 도입하여 사용하고 있는 실정이다. 특히 포항제철주식회사는 일본의 NIRECO사가 개발한 DEC300 제어를 현장에 설치하여 사용하고 있다.

DEC300 strip 중앙 위치 제어 시스템은 측정 환경변화, 즉 온도 및 먼지의 상태에 따라 불안정한 제어가 이루어져 시스템 성능이 다소 미흡하다. 이러한 이유는 기존 시스템이 중앙 연산 처리장치로 z 80프로세서를 채용하여 단순한 에지검출 알고리즘을 사용하여 strip의 위치를 판별한 다음, 중앙 위치 제어를 하기 때문이다.

따라서 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 측정환경의 변화에 적용할 수 있는 영상처리 알고리즘을 개발하고자 한다. 본 논문에서 이용하고 있는 기법은 전역적인 특성과 국부적인 특성을 고려하였을 때 발생되는 문제점을 제거하기 위하여 영역 성장 방법의 하나인 피라미드 링킹(pyramid linking)기법을 이용하며 계산량을 줄이고[1][2][3], 링킹과정에서 퍼지이론(fuzzy theory)을 적용하여 가저 레벨의 특성을 고려함에 최대한 반영함으로써 strip과 반사판의 경계가 애매한 상황에서도 경계검출 능력을 향상시키고자 한다[4][5][6].

또한, 에지검출로부터 strip 중앙 위치에서 벗어난 정도(strip deviation)를 수치적으로 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 기존의 strip 위치 제어 구동 장치와 호환할 수 있도록 strip의 이탈 편차를 DAC(digital to analog converter)를 통하여 필요한 전압(제어 신호)으로 출력할 수 있는 제어 장치를 구현한다.

II. Strip 중앙 위치 제어 시스템

본 논문에서 구현한 시스템은 2개의 카메라를 통하여 strip의 좌, 우 영상을 획득해서 제안한 퍼지 피라미드 링킹 에지 검출 알고리즘을 이용하여 strip의 위치를 검출한 후 위치 이탈 정도를 계산해서 전압으로 출력하는 시스템으로서, 전체 시스템 구성도는 그림 1과 같다.

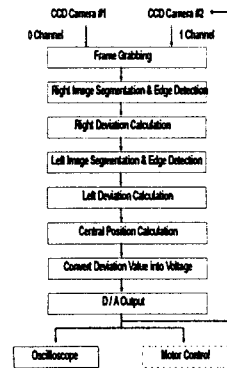


그림 1 시스템의 control chart

본 연구에서 구성한 시스템은 크게 3부분으로 나뉘어지는데 첫째 CCD 카메라에 잡힌 strip의 영상을 획득하는 영상 획득부, 둘째 입력된 영상을 제안된 알고리즘으로 처리하여 에지를 구하고 이에 대한 결과를 사용자에게 적절한 영상 구성으로 표현하는 영상 처리 및 출력부 마지막으로 여기서 구해진 에지 검출 결과를 아날로그 신호로 변환하여 출력하는 D/A 출력부로 구성된다.

2.1 영상 획득부

사용한 영상 획득 프레임 그래버(Frame grabber)는 matrox사의 meteor 보드이며 2대의 CCD 카메라를 통해 2개 채널로 영상을 640 x 480 화소 크기로 받아들인 후 제안한 영상 처리 알고리즘(피라미드 링킹 알고리즘)을 적용하기 위해 512 x 512 크기로 버퍼에 일시적으로 저장한 후 파일 형태로 하드 디스크에 저장하고 버퍼를 푸는 순서를 취한다.

2.2 영상 처리 및 출력부

우선 좌/우 카메라에 잡힌 영상을 각각 저장한 후 제안된 퍼지 피라미드 링킹 알고리즘을 이용하여 각각의 영상에 대한 에지를 검출한다.

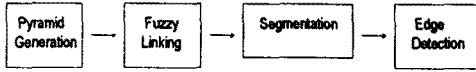


그림 2 영상처리 과정

이에 대한 결과를 프로그램에서 사용자가 간편하게 결과를 확인할 수 있도록 예지가 표시된 두 영상을 화면에 디스플레이 한다.

2.3 D/A 출력부

이 시스템에서 사용한 A/D Converter 보드는 DT-2821이다. 이 보드는 컴퓨터가 계산한 오차값을 D/A Conversion하여 아날로그 신호를 출력한다. DT-2821 보드는 계산된 오차값을 12 비트($2^{12} = 4096$)로 할당하여 할당된 0 ~ 4096의 값을 -5V ~ +5V의 전압으로 출력해준다. 즉 0은 -5V, 4096은 +5V에 매핑된다. 그러나 실제로 오차값은 좌우를 기준으로 음수 영역도 존재하므로 -2048 ~ +2048의 값을 -5V ~ +5V로 매핑하였다. 끝으로 D/A Converter의 출력 전압값은 좌/우 영상에서의 중앙 위치 이탈 오차를 평균해서 그 결과를 출력하였다. 그 후 다음 값이 입력될 때까지 값이 유지되도록 하였다.

III. 퍼지 피라미드 링킹에 의한 예지 검색

3.1 가우시안 영상 피라미드

가우시안 영상 피라미드는 피라미드의 맨 아래에 원 영상을 두고 4 x 4 가우시안 마스크를 이용해서 각 계층마다 영상을 컨볼루션함으로써 얻어진 해상도가 감소된 영상을 연속해서 축적함으로써 얻어진다. 즉, $I_l(i, j)$ 가 영상 피라미드의 l 번째 계층의 (i, j) 위치에 있는 화소 또는 노드를 나타낸다고 하면 영상 피라미드의 맨 아래 즉 0번째 계층의 모든 노드는 $I_0(i, j)$ ($i=0, \dots, N$ and $j=0, \dots, N$)라고 나타낼 수 있다. I_1, \dots, I_n 은 overlapping averaging method에 의해 얻어진다. I_l 의 각 노드는 식 (1)에 의해 얻어진다.

$$I_l(i, j) = \sum_{m=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-1} \omega(m, n) I_{l-1}(2i+m, 2j+n) \text{ for } 0 \leq i, j \leq \frac{N}{2} - 1 \quad (1)$$

여기서 $\omega(m, n)$ 은 가우시안 커널을 위한 이산 함수이고 피라미드의 생성커널이라고도 한다. 또한 K는 커널의 크기를 나타내고 N은 영상의 크기를 나타낸다. I_{l-1} 의 영상은 요구되어 지는 이웃을 만들기 위하여 2개의 열과 2개의 행을 가지고 padding시킨다.

본 논문에서는 영상 피라미드를 축적하기 위해서 표 1의 4 x 4 커널에서의 $a = 0.125$, $b = 0.375$ 값을 사용하여 만들어 지는 커널을 이용하였다.

표 1 커널 계수의 할당

| | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| | a | b | b | a |
| a | a^2 | ab | ab | a^2 |
| b | ab | b^2 | b^2 | ab |
| b | ab | b^2 | b^2 | ab |
| a | a^2 | ab | ab | a^2 |

3.2 퍼지 피라미드 링킹

링킹은 임의의 피라미드 계층에 속하는 노드나 화소를 인접한 계층의 노드와 연결시키는 과정이다. 퍼지 피라미드 링킹 알고리즘에서는 자노드가 하나의 부노드에 연결되는 하드 피라미드 링킹 방법과는 달리 자노드가 네개의 후보부노드에 모두 연결된다[6].

각각의 링크는 링크 강도를 정의하는 멤버십 등급을 가지며 링크강도는 자노드의 특성벡터와 후보 부노드의 특성벡터간의

유클리디안 거리에 기초한다. 여기서 강도란 집합의 멤버십 등급을 표현하며 멤버십 등급(강도 또는 무게)은 멤버십 함수에 기초한다. 멤버십 함수는 적용할 문제에 따라 주관적으로 선택된다. 그림 3과 같은 시그모이드 함수를 멤버십 함수로 이용하여 자노드와 부노드 사이의 링크 강도를 계산함으로써 저레벨 영상 정보를 고레벨의 영상에 충분히 반영하여 애매한 예지 부분의 특징 추출을 더욱 명확히 할 수 있다.

멤버십 함수 LS(link strength)는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$LS(u; a, \beta, \gamma) = S(u; a, \beta, \gamma) \quad (2)$$

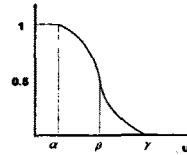


그림 3 멤버십 함수

여기서

$$S(u; a, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1 & \text{for } u \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{u-a}{\gamma-a}\right)^2 & \text{for } a \leq u \leq \beta \\ 2\left(\frac{u-a}{\gamma-a}\right)^2 & \text{for } \beta \leq u \leq \gamma \\ 0 & \text{for } u \geq \gamma \end{cases} \quad (3)$$

$$u = |X_m - x_m|$$

a : 링크강도가 1에 할당된 특성벡터 차이

γ : 링크강도가 0에 할당된 특성벡터 차이

$$\beta = \frac{a+\gamma}{2} : LS(u; a, \beta, \gamma) = 0.5 \text{인 교차점}$$

이때 파라미터 a, β, γ 의 값은 특징 추출의 성능에 민감한 영향을 미침을 알 수 있다.

하드 피라미드 링킹 알고리즘처럼 우선 피라미드의 각 노드에 특성벡터가 계산되고 피라미드의 바닥에서부터 위로 링킹이 시작된다.

링킹과 반복과정은 다음의 데이터구조와 같다.

- $I_l(i, j)$: 영상 피라미드의 각 노드와 연관있는 화소값

- $X_l(i, j)$: 노드 $I_l(i, j)$ 와 연관있는 국부영상 특성벡터

- $s_l(i, j)$: 부노드에 링크된 자노드들의 화소값의 합

이 데이터 구조는 레벨 $l = 0$ 에서 다음과 같이 초기화된다.

$$s_0(i, j) = I_0(i, j)$$

- $n_l(i, j)$: 자노드 $I_l(i, j)$ 에 최대 링크된 레벨 $l + 1$ 에서 부노드에의 포인터

- $w_l(i, j)$: 부노드에 링크된 자노드들의 강도값의 합

이 데이터 구조는 계층 $l = 0$ 에서 다음과 같이 초기화된다.

$$w_0(i, j) = 1$$

반복과정은 다음의 방법으로 수행된다.

① 1부터 N 까지 각 레벨 l 에 대해

$$w_l(i, j) = \sum_i w_{l-1}(i, j) LS(u; a, \beta, \gamma)$$

$$s_l(i, j) = \sum_i s_{l-1}(i, j) LS(u; a, \beta, \gamma)$$

$LS(u; a, \beta, \gamma)$ 는 l 레벨의 노드 (i, j) 와 l-1 레벨의 노드 (i, j) 간의 링크강도이고, 모든 자노드에 대해 합을 구한다.

② $0 \leq l < N$ 에서 각 계층 l 에 대해 포인터 $n_l(i, j)$ 는 네 개의 후보 부노드 중 최대링크를 나타내는 계층 l+1 에서의 부노드를 가리킨다. 만약 둘 이상의 부노드가 같은 강도값을 가진다면 링크는 임의로 정한다. 링크는 각 반복에서 가장 큰 강도값에 의해 부노드가 바뀔때만 재할당된다.

③ 일단 링크가 피라미드의 정상까지 전파되면 계층 0 을 제외한 각 노드는 다음과 같은 방법으로 다시 계산된다.

$$I_l(i, j) = s_l(i, j) / w_l(i, j) \text{ for } w_l(i, j) > 0$$

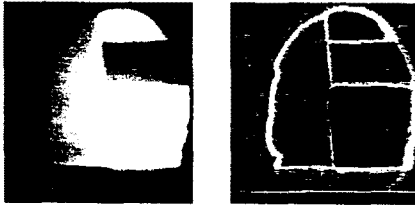
이 과정은 링크의 안정된 집합이 결정될 때까지 계속되며 분할은 가장 강한 부노드를 자노드에 대체함으로써 이루어진다. 자노드를 후보 부노드로 대체할 것인지 아닌지는 최대 비유사성(maximum dissimilarity)의 기준에 의해서 행한다.

이 방식은 하드 피라미드 링킹과는 달리 자노드와 부노드 사이의 링킹강도를 멤버십 함수를 이용하여 유연성 있게 결정하므로써 경계가 애매한 영상에 대해서도 영역분할의 정확성이 증가한다. 이러한 결과는 strip과 반사판의 경계선을 검출하는데 상당한 영향을 미치게된다.

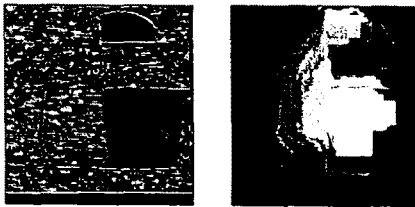
IV. 실험 및 결과고찰

본 논문에서는 포항종합제철주식회사의 strip 중앙 위치 제어 시스템에서 strip에 대한 위치 제어가 정지상태에 있을 때, 즉 CCD 카메라로부터 획득된 영상을 기존의 제어 시스템에서는 처리할 수 없을 때의 영상을 얻은 후, 본 연구실에서 영상 전용 처리보드를 이용하여 PC상에서 크기가 512 x 512 이고 화소당 8비트인 디지털 영상으로 만들어 실험하였다. 본 논문에서 제안한 방법의 에지검출 능력을 평가하기 위해서 기존의 Sobel 에지 검출, 알고리즘 및 Laplacian of Gaussian & Zero Crossing 알고리즘과 성능을 비교하였다.

1) 투시경 세척후 1주일 경과한 영상에 대한 실험 결과



(a) 원 영상 (b) Sobel 처리영상

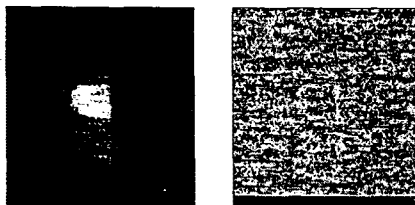


(c) LOG 처리 영상 (d) 피지 피라미드

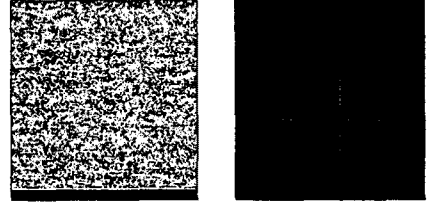
그림 4 1주 경과한 좌영상에 대한 처리 영상

비교적 잡음의 영향이 적은 영상에 대해서는 제안된 방법을 비롯해서 기존의 방법도 에지 검출이 가능함을 볼 수 있다. strip의 위치는 위 그림에 간단한 처리를 함으로서 얻을 수 있다.

2) 투시경 세척후 2주 경과한 영상에 대한 실험 결과



(a) 원 영상 (b) Sobel 처리 영상



(c) LOG 처리 영상 (d) 피지 피라미드

그림 5 2주 경과한 우영상에 대한 처리 영상

투시경 렌즈 및 반사판의 오염으로 인한 그림 5(a)의 열화된 영상에 대해서 기존의 에지 검출 알고리즘으로는 strip 위치 검출이 불가능함을 볼 수 있다. 그림 5(d)는 제안한 알고리즘을 이용하여 얻은 영상에 strip의 위치를 계산하여 표시한 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 측정환경 변화에 따라 성능이 미비한 기존 strip 중앙위치제어 시스템을 개선하기 위하여, 현재 포항제철에 설치되어 있는 Nireco사의 시스템 분석을 바탕으로 측정변화 요인에 robust한 에지 검출 알고리즘을 제안하고 현장 검증을 통하여 성능을 평가하였다. 제안한 방법에서는 영역성장기법중의 하나인 pyramid linking 기법을 이용한 특징추출 알고리즘과 피지 집합이론을 적용하였다. 이 방법을 적용하여 시간에 따라 측정환경(반사판 오염 및 CCD 카메라 보호 투시경 오염)이 열악해져가는 상태에서 strip 에지검출 성능평가를 수행하였는데, 처리속도가 늦고 시스템 안정성이 다소 떨어지지만 거의 100%에 가까운 검출 능력을 보여 주었다. 또한, 담당 기술자들에게 의해 현장 적용 가능성을 검증 받았으며 성공적인 평가를 받았다. 그리고 에지검출로부터 추출된 에지 위치를 실물크기와 비교하는 strip 편차 계산 알고리즘을 개발하고 계산된 위치보정신호를 중앙위치제어 기동부에 전달하기 위한 제어신호 처리장치를 개발하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 영상처리시간이 다소 많이 소요되는 단점이 있었으나 측정환경 변화 요인에 robust하게 strip 에지를 검출하였다.

VI. 참고 문헌

1. A.Rosenfeld, "Multiresolution Image Processing and Analysis," Springer, Berlin, 1984.
2. H.J.Antonisse, "Image Segmentation in Pyramids," Computer Graphics and Image Processing, Vol.19, pp. 367-383, 1982.
3. Cheevasvit, F. and Maitre, H., "A Robust Method for Picture Segmentation Based on a Split and Merge Procedure," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 34, pp. 268-281, 1986.
4. H.J.Zimmermann, "Fuzzy Set Theory and It's Application," Klumer-Nijhoff Publishing, 1986.
5. Abraham Kadel, "Fuzzy Technique in Pattern Recognition", A Wiley-Interscience Publication, 1982.
6. Sufi, N., "Fuzzy Pyramid Linking," A M.S. Thesis, University of Tennessee, Knoxville, TN, December, 1989.
7. A.K.Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing," Prentice-hall International Editions, 1989.
8. 박상희, 한영오, 김형석, "피지 이론을 이용한 영상 특징 추출에 관한 연구," 한국 자동 제어 학회 논문집, Vol. 1, pp. 41-745, 10월, 1991.

본 연구는 포항제철주식회사의 연구과제 지원에 의하여 이루어 졌음