

로봇비전 시스템을 이용한 핫코일의

자동라벨링 시스템 구현

이 용중, 김 학범**, 이 양범***

*창원기능대학 전기과, **상지전문대학 전자과, ***울산대학교 전기과

An Implementation of the Labeling Automation system
for Hot-coils using a Robot Vision System

Yong Joong Lee* Hak Pom Kim** Yang Bum Lee***

*Dept. of Electric Eng. **Dept. of Electronic Eng. ***Dept. of Electric Eng

Chang Won Polytechnic College, Sang Ji Junior College, Ulsan University

In this study an automatic rolling-coil labeling system using robot vision system and peripheral mechanism is proposed and implemented, which instead of the manual labor to attach labels Rolling-coils in a steel mill. The binary image process for the image processing is performed with the threshold, and the contour line is converted to the binary gradient which detects the discontinuous variation of brightness of rolling-coils. The moment invariants algorithm proposed by Hu is used to make it easy to recognize even when the position of the center are different from the trained data. The position error compensation algorithm of six degrees of freedom industrial robot manipulator is also developed and the data of the position of the center rolling-coils, which is obtained by floor mount camera, are transferred by asynchronous communication method. Therefore, even if the position of center is changed, robot moves to the positin of center and performs the labeling work successfully. Therefore, this system can be improved the safety and efficiency.

어도 로봇의 손목부가 정확하게 진입하여 내.외경에 라벨링을 성공적으로 수행할 수 있었다. 이런 종류의 자동화 시스템의 유사 사례는 국내에는 전무하며 국외에서는 일본 新日本製鐵(株)의 大分 製鐵所에서 FANUC 로봇과 레이저센서 및 자동라벨 분리형 프린터등으로 구성된 자동 라벨링 시스템이 있다[4][5](이하 大分 시스템). 이미 세계적인 기술 특허를 받은 大分시스템은 본 시스템과 비교하면 훨씬 단순하게 구성되어 있다. 그 이유로는, 기존의 수동 라벨링 생산 공정을 자동화 시스템으로 전환할 때 큰 부담이 될 수 있는 기존 운반 설비의 반복 위치 정밀도와 압연코일의 벌어짐, 생산 공정의 표준화등이 본 시스템을 설치한 제철소에 비하여 월등이 좋은 조건이기 때문이다. 따라서 이와 같은 기술상의 어려운 점을 수용하기 위하여 본 자동화 시스템은 구성이 더욱 지능화되었으며, 실제 생산 현장에 설치 운영한 결과 大分 시스템에 비하여 시스템이 독립적이고 간단히 운용될 수 있는 등의 장점을 보여 주었다. 또한 본 시스템은 높은 가동율을 보이며 성역화, 라벨 부착 품질의 안정으로 압연코일 공장의 생산성 향상에 공헌한 결과 현재에도 계속 추가 설치되고 있는 상황이다.

I. 서 론

본 논문은 라벨 부착 자동화 시스템을 제철소 열간 압연코일 생산 라인의 라벨 부착 공정에 적용하기 위한 개발 연구 사례이다. 제철소의 냉, 열간 코일 생산 라인은 특성상 대부분 자동화된 일간 공정으로 구성되어 있으나 마지막 부분인 라벨 부착 공정은 기술적으로 자동화가 어려운 공정으로 남아 있었다. 압연코일은 주문 생산품으로서, 고객의 요구에 따라 강판의 두께, 폭등이 일정하지 않고 주문량(길이)이 다른 등의 이유로 사양이 각각 다르다. 생산이 된 압연코일에는 국내외의 주문자에 따른 제품 사양, 주문자 명, 행선지등이 명기된 라벨을 부착(이하 라벨링)하게 된다. 일반적으로 라벨링은 수작업으로 이루어 지고 있다. 이 작업을 위하여 각 평당실에는 주,야 교대로 2명씩의 작업자가 24시간 상주하여야 하며, 수작업으로 인하여 라벨의 부착 위치가 일정하지 않게 된다. 라벨은 뒷면에 강한 접착제가 도포되어 있으므로 압연코일 사용자는 라벨이 부착된 부분의 강판을 절단하고 사용하여야 하는데 부착 위치에 따라서는 상당한 양이 소비될 수 있다. 이 수동 라벨링 공정을 자동화함으로써 공장 전체는 상당수의 단순 작업자를 줄일 수 있게 되며 강판의 낭비를 최소화할 수 있게 된다. 이 공정의 자동화를 검토하는 과정에서 각 압연코일에 대한 정량적 데이터를 사전 공정에서 받을 수 없었던만 아니라 코일의 크기와 증량등이 매번 다르므로 학습된 위치로만 반복 작업하는 범용이나 간이 로봇을 적용하는 것은 불가능한 것으로 판단되었다. 이처럼 코일의 가변적 상황을 수용하고 공정의 안정성과 유연성을 확보하기 위하여 로봇에 컴퓨터비전이 연결 적용되는 로봇비전(이하 로봇비전)시스템이 적용되었다. 그 결과 압연코일의 크기 변화에 따라 증량 홀의 중심 위치가 매번 바뀌

II. 자동화시스템 구성

압연코일에 부착하는 라벨의 크기는 200 mm * 140 mm 이며 라벨 뒷면은 강력한 접착 물질로 도포되어 있으며, 라벨이 붙어 있는 후지는 접착 물질을 보호하고 인쇄할 때 라벨을 유도한다. 자동 라벨 분리형 프린터는 라벨과 후지를 자동으로 분리하기 위한 타이밍 벨트, 분리대등으로 구성되어 있으며 마이크로-백스로부터 라벨링 데이터를 전송받는다. 라벨 디바이스는 자동 라벨 분리형 프린터를 일체형으로 고정시키는 치구류와 라벨 이동판등으로 구성된다. 프린터에서 후지와 분리되어 인쇄된 라벨을 엔드 이펙터로 흡착 할 때 발생할 수 있는 간섭을 배제하는 위치로 라벨을 운반하는 이동판은 공압 실린더를 이용하여 이동시킨다. 또한 이동판은 접착 물질에 붙지 않는 연질 테프론으로 이동판 자체에 구멍을 뚫어 미세한 공압을 불어 내는 구조로 제작한다. 엔드 이펙터는 진공 포드 방식으로 라벨 디바이스의 이동판 위에 있는 라벨을 흡착하여 로봇으로 이동할 때 떨어지지 않도록 흡착을 유지시켜 압연코일에 부착할 수 있는 구조로 로봇의 6축에 부착한다. 구성 요소로는 주변 장치 또는 압연코일과 충돌 발생시 엔드 이펙터를 보호할 수 있는 쇼크센서, 로봇의 서칭 기능을 동기시키는 근접 센서, 이동형 카메라, 공압 실린더로 운용하는 라벨 흡착판과 완벽하게 라벨을 부착시킬 수 있는 실리콘 고무 롤러등으로 구성되어 있다. 전체 증량은 6.7 kg으로 하여 IRB 3200의 최대 가반 증량(Handling Capacity)인 10 kg을 초과하지 않도록 하였다.

III. 화상처리와 카메라 캘리브레이션 및

로봇비전의 자세 보정 알고리즘

화상 처리 과정에서 이치화는 Eschbach가 제안한 입력최소의 조도에 따라 임계값을 설정하여 에지를 강조하는 알고리즘을 이용하여 적용하였다. 또한 윤곽선은 명암도의 불연속성을 이용하여 이치 경도 연산을 적용하였다. 압연코일의 위치와 방향은 Hu가 제안한 알고리즘을 이용하여 2차원 직교 좌표계의 $(p+q)$ 차 모멘트 m_{pq} 를 식 (1)과 같이 리만(Riemann)적분식으로 표현한다.

$$m_{pq} = \int \int x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (1)$$

여기서

$p, q = 0, 1, 2, \dots$
 $f(x, y)$: 한개의 화소 (x, y) 에 대한 명암도 함수

따라서 식 (1)을 이용하여 압연코일의 윤곽선에 대한 전체 영역을 의미하는 영차 모멘트와 윤곽선에 대한 중심 위치 정보를 가지고 있는 일차 모멘트 및 윤곽선에 대한 주축(principal axis)정보를 가지고 있는 이차 모멘트를 이용하여 압연코일의 중심 위치는 식 (2)와 같이 구하고,

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2)$$

x 축 방향 기울기 θ_s 는 이차 모멘트를 이용하여 식 (3)과 같이 구한다.

$$\tan(2\theta_s) = \frac{2(m_{11} - m_{00}x_c y_c)}{(m_{20} - m_{00}x_c^2) - (m_{02} - m_{00}y_c^2)} \quad (3)$$

한편, IRB 3200가 고정형 카메라가 인식한 데이터를 기준으로 삼아 크기가 매번 다른 압연코일의 중심 위치로 정확하게 진입하기 위해서는 카메라 캘리브레이션과 로봇의 자세보정을 위한 해석이 필요하다. 카메라 캘리브레이션은 렌즈의 광학적인 특성과 카메라 시스템 자체의 물리적인 데이터를 나타내는 고유 파라메타와 3차원 공간 좌표계에 대한 카메라 좌표계의 위치와 회전을 자세 변수로 나타낸다. 식 (2)에서 구한 (x_c, y_c) 는 고정형 카메라가 검출한 화상 좌표계상의 압연코일에 대한 중심 위치이므로 카메라와 실제 공간 좌표계에 있는 압연코일과의 대응 관계를 구해야만 로봇의 자세 보정 데이터로 적용할 수 있다. 이를 위하여 실제 그림 1과 같이 공간 좌표계에서 학습된 압연코일의 중심 위치 점 C_a 에 대한 화상 좌표계상의 이미지 플레인 점 p_{ia} 의 관계는 카메라 시스템의 내부 파라메타를 이용하여 식 (4)와 같이 구한다.

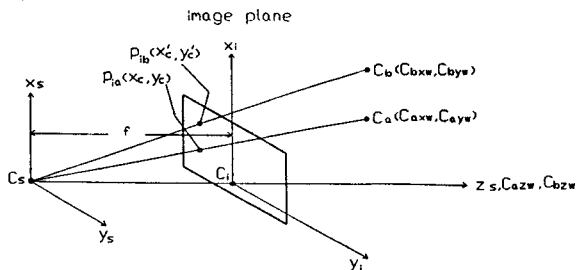


그림 1. 투사 변환 모델
 Fig. 1. Perspective Translation Model

여기서

C_s : 고정형 카메라 좌표계
 C_i : 이미지 플레인 좌표계
 $C_a = (C_{axw}, C_{ayw}, C_{azw})$: 학습된 압연코일의 중심위치
 $C_b = (C_{bxw}, C_{byw}, C_{bzw})$: 다른 크기인 압연코일의 중심위치
 $p_{ia} = (x'_c, y'_c)$: C_a 에 대한 이미지 플레인상의 점
 $p_{ib} = (x'_c, y'_c)$: C_b 에 대한 이미지 플레인상의 점
 f : 카메라의 유효 초점 거리

$$\left. \begin{aligned} x_c &= \frac{C_{axw}(f - C_{azw})}{f} \\ y_c &= \frac{C_{ayw}(f - C_{azw})}{f} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

따라서 다른 크기인 압연코일의 반입으로 중심 위치가 C_b 또는 다른 위치로 변경되더라도 식 (5)와 같이 화상 좌표계 상에서 변경된 중심 위치에 대한 데이터를 연산하면, 공간 좌표계에서 실제 압연코일의 이동 거리를 측정할 수 있다. 그러므로 p_{ia} 와 p_{ib} 에 대한 관계는 그림 2를 이용하여 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} x'_c &= x_c \pm \Delta x_c \\ y'_c &= y_c \pm \Delta y_c \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

여기서

$(\pm \Delta x_c, \pm \Delta y_c)$: 다른 크기인 압연코일의 반입으로 인한 (x_c, y_c) 가변 데이터

따라서 이러한 관계를 이용하여 로봇과 엔드 이펙트, 압연코일과의 변환 관계는 그림 2와 같이 구성할 수 있다.

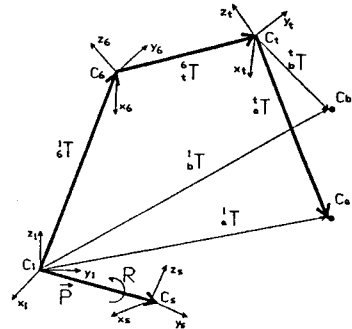


그림 2. 로봇비전 시스템 좌표계
 Fig. 2. Coordinate frame for robot vision system

여기서

C_1 : 로봇 기저 좌표계
 C_6 : 로봇 6축 좌표계
 C_i : 로봇의 엔드 이펙터 좌표계
 C_w : 실제 압연코일을 놓는 공간 좌표계
 $1_s T$: 로봇 기저와 고정형 카메라간의 변환 행렬
 $1_6 T$: 로봇 기저와 6축간의 변환 행렬
 $6_t T$: 로봇 6축과 엔드 이펙터간의 변환 행렬
 $t_a T$: 엔드 이펙터가 접근하는 C_a 위치
 $t_b T$: 엔드 이펙터가 접근하는 C_b 위치
 \vec{p} : C_1 을 기준으로 하는 카메라의 위치 변환 벡터
 R : C_1 을 기준으로 하는 카메라의 회전 변환 행렬

${}^1_a T$: 로봇 기저와 C_a 위치간의 변환 행렬

${}^1_b T$: 로봇 기저와 C_b 위치간의 변환 행렬

그림 2에서 압연코일의 중심 위치가 학습된 위치 C_a 에 있을 때 변환 관계는 행렬식으로 식 (6)과 같이 나타낸다.

$${}^1_a T = {}^1_6 T \cdot {}^6_t T \cdot {}^t_a T \quad (6)$$

엔드 이펙터는 로봇의 6축 끝단에 부착되어 있다. 따라서 엔드 이펙터 좌표계 C_t 를 로봇 6축 좌표계 C_6 과 같은 방향을 유지하도록 설정할 수 있고 위치만 다르므로 식 (7)과 같이 표시된다.

$${}^6_t T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_{xt} \\ 0 & 1 & 0 & p_{yt} \\ 0 & 0 & 1 & p_{zt} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서

p_{xt}, p_{yt}, p_{zt} : 엔드 이펙터 좌표계 C_t 의 중심점을 로봇 6축 좌표계 C_6 에서 측정한 값

또한 ${}^1_a T$ 는 그림 2와 같이 로봇 기저 좌표계 C_1 에서 주시한 C_a 의 변환으로 C_a 와 C_b 는 좌표축이 평행하게 설정되어 있으므로 식 (8)과 같이 표시된다.

$${}^1_a T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_{xa} \\ 0 & 1 & 0 & p_{ya} \\ 0 & 0 & 1 & p_{za} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서

p_{xa}, p_{ya}, p_{za} : C_b 를 기준으로 하는 C_a 의 원점 좌표

또한 카메라 자세 변수를 구하기 위하여 공간 좌표계를 기준으로 로 카메라 좌표계의 변환 행렬 ${}^1_s T$ 를 다음 식 (9)와 같이 구성하여 C_1 을 기준으로 하는 카메라의 위치 변환 벡터 \vec{p} 와 회전 변환 행렬 R 을 구한다.

$${}^1_s T = \begin{bmatrix} R & \vec{p} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

새로 반입된 압연코일의 중심 위치가 C_a 가 아닌 C_b 의 위치에 있을 때 엔드 이펙트로 흡착한 라벨을 붙이기 위하여 C_b 의 위치에 접근 시키는 관계식은 식 (10), 식 (11)과 같이 구한다

$${}^t_b T = {}^6_t T^{-1} \cdot {}^1_6 T^{-1} \cdot {}^1_b T \quad (10)$$

$${}^1_b T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_{xb} \\ 0 & 1 & 0 & p_{yb} \\ 0 & 0 & 1 & p_{zb} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서

p_{xb}, p_{yb}, p_{zb} : 화상 좌표계에서 ($\pm \Delta x_c, \pm \Delta y_c$) 변화량

따라서 실제 자세 보정을 하는 로봇의 변환 관계는 식 (12)와 같이 구할 수 있다.

$${}^1_b T = {}^1_a T \cdot {}^6_t T^{-1} \quad (12)$$

식 (12)에서 IRB3200의 기구학 해석을 이용하면 자세가 보정된 각 관절의 값을 구할 수 있다.

IV. 시스템 운용 결과

압연코일의 중심 위치가 학습된 위치 C_a 에 대한 이미지 플레인 점 p_{in} 와 식 (3)에서 구한 θ , 데이터는 표 1과 같다.

표 1. 압연코일 검출 결과
Table 1. Result of the center and direction of the coils

| (x_c) : 화상좌표계000-51 2에서 x 축 방향의 위치 | (y_c) : 화상좌표계000-48 0에서 y 축 방향의 위치 | (θ_c) : x 축 에 대한 장축 기울기 |
|---|---|--------------------------------------|
| 256.0 | 157.9 | 0: 일정 |

이러한 결과를 종합하여 본 연구에서 구현한 로봇비전 시스템의 실제적인 라벨링 장면은 그림 3과 같다.

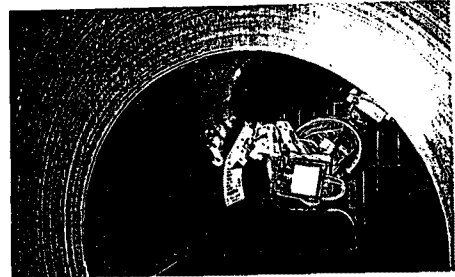


그림 3. 로봇비전 시스템을 이용한 실제 라벨링 장면
Fig. 3. Actual labeling using robot vision system

IV. 결 론

본 연구는 제철소에서 주문품으로 생산되는 압연코일에 라벨을 부착하는 작업의 자동화를 국내에서 처음으로 시도하여 완전한 자동화 시스템으로 구현하였다. 또한 大分시스템에 비하여 설치 전 조건이 열악한 상황임에도 불구하고 효율적이고 독립적인 운용이 용이한 시스템으로 구성 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Eschbach, R., and Knox, K., "Error - Diffusion Algorithm with Edge Enhancement," Vol. 8, No. 12, pp. 1844 - 1850, Oct. 1991
- [2] Hu, M.K., "Vision Pattern Recognition by Moment Invariants," IRE Transactions on Information Theory, Vol. 8, 2, pp. 179-187, 1962.
- [3] 이 용중, "컴퓨터비전을 이용한 로봇의 기하학적 자세보정", 울산대학교 박사학위 논문, 1995.
- [4] 多摩川精機(株) 福島史明, "汎用ロボットを用いた ラベル自動貼付 システムの特長," 月刊自動化技術, 第 24巻, 第 11 號, pp. 73- 77, 1992.
- [5] "熱延コイル, ラベル 貼付 ロボット 製作仕様書," 多摩川精機(株)
- [6] W. P. Cheung., C. K. Lee and K. C. Liacv., "Brightness Invariant Multi - Thresholding for Grey Level Template Matching," 93 Asian Conference on computer Vision, November 23-25, OSAKA, JAPAN
- [7] Prewitt, J. M. S., "Object Enhancement and Extraction," In Picture Processing and Psychopictorics, pp. 75 - 150, Academic Press, New York.
- [8] K. E. Price., " Matching Closed Contours", Proc. 7th Int. Conf. on Pattern Recognition, pp. 990 - 992, July - Aug. 1984.