

용접 로봇을 위한 비전 시스템 응용 연구

박병호*(금오공대 대학원), 정선환, 노승훈, 최성대, 최 환 (금오공대 기계공학부)

A Study on the Vision System Application for Welding Robot

P. H. Park(Graduate School, Kumoh Univ), S. H. Cheong, S.H.Ro, S.D.Choi, H.Choi(Kumoh Univ)

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a powerful 6-axes general welding robot utilizing a low cost vision system. The developed vision system is composed of a CCD camera, a PC with windows 98 OS, and a PC-Robot communication program using Visual C++. A test was carried out to investigate whether the welding torch can precisely follow up the welding path. It shows that the result of this study can readily be applied to practical welding operations.

Key Words : General welding robot(범용 용접로봇), Vision system(비전 시스템), CCD camera(CCD 카메라), PC-Robot communication program(PC-Robot 통신프로그램)

1. 서론

노동력의 부족, 제품의 다양화, 작업환경 불량 등으로 인해 산업용 로봇을 이용한 자동화가 점점 증가하고 있다. 특히 용접의 자동화에 있어서 로봇의 활용은 타 분야보다도 매우 높다.

현재 용접 작업현장에서 로봇을 응용할 경우, 대부분이 교시방법 (Teaching method)으로 로봇제어 프로그램을 작성하고 있다. 그러나 이 경우에는 용접 대상물의 크기, 모양, 자세 등이 변화 될 때마다 프로그램을 재작성 하여야 하기 때문에, 작업준비시간이 많이 걸리고, 용접지그를 여러 개 만들어야 하는 등의 문제점이 있다.

따라서 이것을 보다 빠르고 편리하게 하기 위한 방법들이 연구되고 있다. 그 중에서 레이저 빔을 이용하여 용접선의 경로를 인식한 후 자동으로 용접이 이루어 지게 하는 방법이 발표된바 있으나, 장비가 고가이고, 용접선 추적 시간이 많이걸리기 때문에 전체 싸이클 타임이 길어지는 등의 문제가 있다.⁽¹⁾

본 연구에서는 값이 비교적 싼 CCD카메라와 PC를 사용하여 비전 시스템을 구성하고, 이를 범용 용접

로봇에 응용함으로써 용접 생산성을 높이는 방안과 관련 기술을 제안하고자 한다.

그리고 이러한 방법과 기술은 드릴링, 페인팅, 스폿 용접 등에도 응용할 수 있을 것이다.

2. 용접 로봇용 비전 시스템의 알고리즘

Fig.1은 용접 로봇용 비전 시스템의 알고리즘이다. 먼저 용접하고자 하는 부위를 시각센서인 CCD카메라로 캡처한다. 캡처된 영상데이터는 PC로 보내져, 영상처리 프로그램에 의해 용접선이 판별되고, 기준점과 용접시작점 및 끝점의 좌표값이 계산된다. 그리고 이 좌표값에 의해 용접 경로가 산출된다.

이때의 용접 경로는 PC상에서 구축된 좌표축에 대한 것이므로, 이것을 로봇 좌표축으로 변환하는 보정을 해 주어야 한다. 그런 다음 PC내에서 용접 경로에 대한 시뮬레이션을 한 후, "YES"이면 신호가 로봇 콘트롤러로 보내져 용접을 하게 되고, "NO"이면, CCD 카메라로 용접부위를 다시 캡처하여 "YES"가 나올 때까지 반복한다.

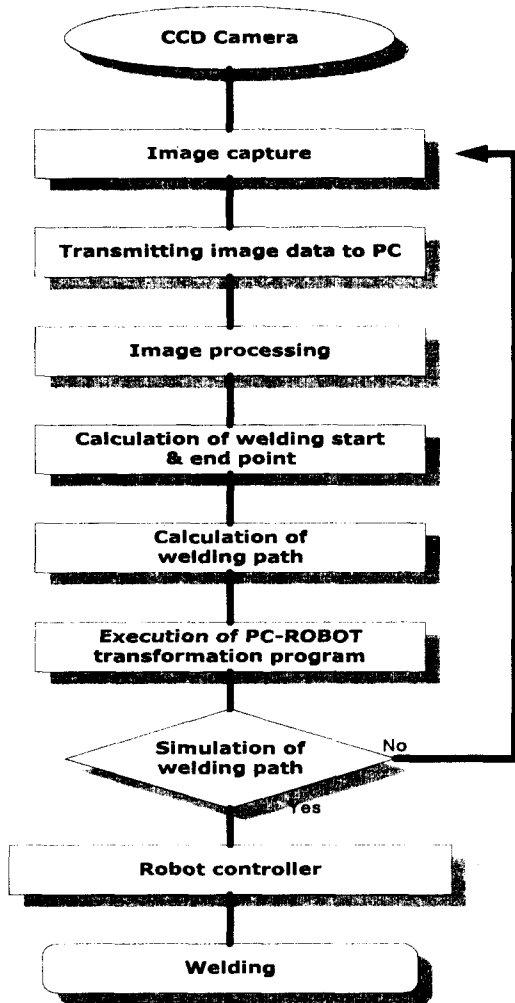


Fig.1 Vision system algorithm for welding robot

3. 비전 시스템의 영상처리와 구성

3.1 영상처리 기법

본 연구에 이용한 처리기법은 이진화 기법과 모폴로지(Morphology)기법이다.⁽²⁾

먼저 작업해야 할 영상의 윤곽을 선명하게 찾기 위해서 이진화 기법을 이용했으며, Erosion 연산, Dilation 연산, Open 연산, Closing 연산은 모폴로지 기법을 이용해서 영상의 잡음을 제거하였다.

3.2 비전 시스템의 구성

본 연구에서는 시각센서로 CCD카메라 1개, 영상보드 1개, PC 1세트, PC-Robot간의 통신 프로그램, 윈도우즈 98 OS 등으로 구성하였으며, 영상 캡처 프로그램과 PC-Robot간의 통신 프로그램은 직접 개발하

였다.

Fig.2는 비전 시스템을 갖춘 용접 로봇 시스템의 구성도이고, 사용된 CCD카메라와 영상보드의 사양은 Table.1, PC의 사양은 Table.2와 같다.

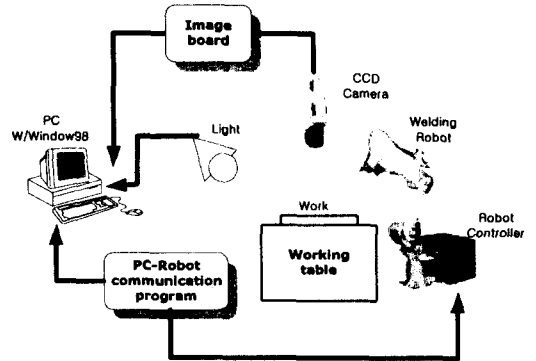


Fig.2 Schematic diagram of welding robot with vision system

Table.1 Specification of CCD camera & image board

CCD Camera	
Power	DC 12V
Power consumption	3.6 W
Resolution	682 [H] × 492 [V]
Pickup area	6.55mm [H] × 4.87mm [V]
S/N ratio	45 dB
Standard lux	15 Lux
Minimum lux	0.2 Lux
Weight	260g
Size	50[H] × 50[W] × 111[L] [mm]
Image board (DT2867-LC)	
Image frequency	60 Hz
Color	black and white
Channels	4 Monochrome input

Table 2. Specification of PC

CPU	Pentium II 333MHz
RAM	192M
OS	WINDOWS 98

4. 용접 시작점과 끝점 계산

4.1 시작점과 끝점의 Y축 좌표 계산

시작점과 끝점의 X 좌표값은 획득한 영상에 의해서 쉽게 찾을 수 있으나, Y 좌표값은 용접선의 두께에 따라, 시작점과 끝점을 정확하게 찾기가 어렵기 때문에, 아래와 같은 보정 알고리즘에 의해 구하여야 한다.

Fig. 3에 용접선 두께에 따른 Y 좌표값의 평균값을 구하는 방법을 도시하였다.

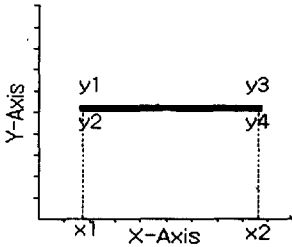


Fig. 3 A graph for calculation of mean value coordinate

화면상에서 용접선의 시작점 X1에 대한 Y축 픽셀 좌표값이 y1과 y2라 하고, 끝점 X2에 대한 Y축 픽셀 좌표값은 y3와 y4라고 할 때, 구하고자 하는 시작점과 끝점에 대한 Y축 값, Y1, Y2는 다음 식(1), (2)에 의해서 구해진다.

$$Y1 = \frac{(y2 - y1)}{2} \quad (1)$$

$$Y2 = \frac{(y4 - y3)}{2} \quad (2)$$

따라서 화면상에서 보정된 시작점의 좌표값은 (X1, Y1)이고 끝점의 좌표값은 (X2, Y2)가 된다.

4.1 시작점과 끝점의 계산을 위한 보정

본 논문에서는 영상 해상도를 640 × 480으로 하였고, 명암의 밝기는 256 gray levels로 설정하며 피사체의 크기를 구하는 방법은 아래와 같이 하였다.

화면에 캡처된 영상의 크기는 카메라의 높이에 의해 그 크기가 변화된다. 그러므로 카메라의 높이를 80mm로 일정하게 해 놓고, 그때 PC에 나타내어진 영상의 크기를 실제 작업대의 경계로 한다. 그리고 용접 작업대 경계의 수평과 수직의 크기를 구한 다음, 수평은 640pixel로 나누고 수직은 480pixel로 나누어준다. 이때 구해지는 비율이 각 축에 대한 비례상

수가됨으로, 이 상수를 캡처된 영상 데이터 용접선의 좌표 Pixel에 곱하여 준다. 이렇게 하면 Pixel 단위로 되어있는 영상 데이터의 용접선 길이가 Pixel 단위에서 실제 피사체의 길이로 변환되면서 단위도 mm단위로 변환된다.

이 것을 식으로 표현하면 식(3)~(6)과 같다.

$$\text{수평 비율 [mm/pixel]} = \frac{\text{작업대의 경계 수평 길이 [mm]}}{640 [\text{pixel}]} \quad (3)$$

$$\text{수직 비율 [mm/pixel]} = \frac{\text{작업대의 경계 수직 길이 [mm]}}{480 [\text{pixel}]} \quad (4)$$

$$\text{피사체의 실제 수평 길이 [mm]} = \frac{\text{용접선의 수평 길이 [pixel]} \times \text{수평 비율 [mm/pixel]}}{\text{수평 비율 [mm/pixel]}} \quad (5)$$

$$\text{피사체의 실제 수직 길이 [mm]} = \frac{\text{용접선의 수직 길이 [pixel]} \times \text{수직 비율 [mm/pixel]}}{\text{수직 비율 [mm/pixel]}} \quad (6)$$

Table.3은 픽셀 당 피사체의 비율을 나타낸 표이고, Fig.4는 보정 좌표계 변환 과정을 도시한 것으로서, 영상 좌표계와 로봇 좌표계의 상관관계식으로부터 아래 보정 좌표계로 변환이 이루어진다.

이때 (a)와 (b)는 시작 좌표계의 각각 X축과 Y축의 좌표값이 된다.

Table.3 Object ratio per pixel

Horizotal ratio	$\frac{300}{480}$	0.63
Vertical ratio	$\frac{400}{640}$	0.63

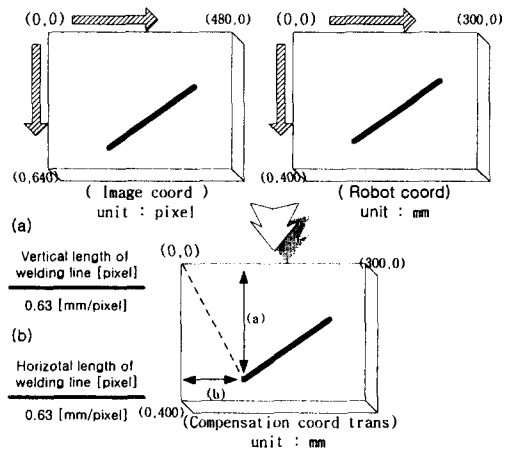


Fig. 4 Process for compensation coordinate transformation

5. 운용 프로그램 개발

본 시스템의 운용 프로그램은 Visual C++로 개발하였고, 프로그램 개발 컨셉은 로봇 또는 호스트 컴퓨터(PC) 중 어느 쪽이든 송신 데이터의 발생측으로부터 상대측으로 호출 요구를 보내어, 상대측으로부터 수신을 요구하는 긍정 응답이 있을 때에, 데이터를 상호교환을 행하는 방식(호출 응답 방식)을 취하였다.

프로그램의 구성은 영상처리를 위한 영상 프로그램, 좌표변환을 위한 좌표값 획득 프로그램, 로봇과 PC와의 상호 통신을 할 수 있는 통신 프로그램 등으로, 크게 세 부분으로 나뉘어져 있다.

PC-Robot간의 통신 프로그램은 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- (1) 레지스터 데이터 조회/설정
- (2) Robot 상태 조회
- (3) 현재 위치 조회
- (4) 프로그램 전송/수신
- (5) 디렉토리 조회
- (6) 프로그램 제어지령
- (7) 프로그램 기동권 설정
- (8) 프로그램 실행

Fig. 5는 본 연구에서 개발되어진 운용프로그램으로 용접선을 추적하여 로봇의 기준 좌표값으로 변환되어진 하나의 예를 보여주고 있다. 그림에서 화면 안에 보여진 직선은 용접대상물의 용접선이고, 오른쪽은 로봇과 호스트간의 상호 통신을 설정하는 예물 레이터이다.

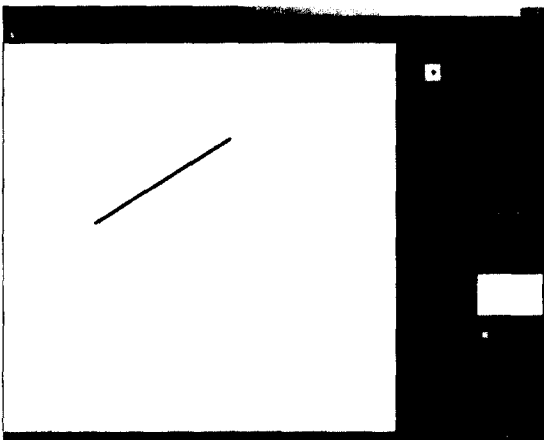


Fig.5 One of GUIs of developed program

6. 실험 및 고찰

6.1 실험용 용접 로봇

본 연구에 사용된 용접 로봇은 FANUC KOREA 제품으로 사양 및 용접 조건은 다음과 같다.

- 형식 : 6축 다관절
- 가반 중량 : 6Kg
- 용접기 : 350A/36V
- 용접 Wire : 1.2 ϕ Flux cored
- Shielding Gas : CO_2 100%
- 용접부 : 직선 맞대기 용접
- 용접 속도 : 40 cm/min
- 용접 전류 : 120 V
- 용접 전압 : 19.5 A

6.2 모의 실험과 결과 및 고찰

본 연구의 목적은 일반용 용접 로봇에 저가격의 비전 시스템을 설치하여 용접 생산성을 높이는 고품질의 용접자동화를 실현하는데 있다.

따라서 본 시스템의 생명은 CCD카메라로 잡은 용접부의 용접선에 대하여 용접 토치가 정확하게 추적을 하느냐 못하느냐의 여부에 달려있다.

그러므로 이것을 확인하기 위해서 다음과 같이 모의 실험을 행하였다.

1. 용접 테이블 위에 A4크기의 백지를 올려놓고 각각 굵기가 다른 (1~5mm) 5개의 흑색선을 그었다. 굵기를 다르게 한 이유는 용접대상의 두께 변화 및 설치 오차등으로 인해 CCD카메라로 캡처된 용접선의 굵기가 달라지기 때문이다.
2. 지름 16mm인 용접 토치에 지름 8mm의 볼펜을, 그 끝이 용접 토치보다 10mm 길게 설치하였다.

용접 토치와 볼펜의 단면도는 Fig.6과 같다.

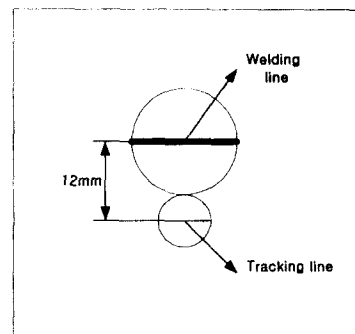


Fig.6 Welding line tracking simulation

3. CCD 카메라로 캡처 한 후, 실제와 같이 용접 로봇을 작동 하였다.

이상과 같이 모의 실험을 행한 후, 용접 선에 따라 볼펜이 그린 궤적을 나타내 보면, Fig.7과 같다.

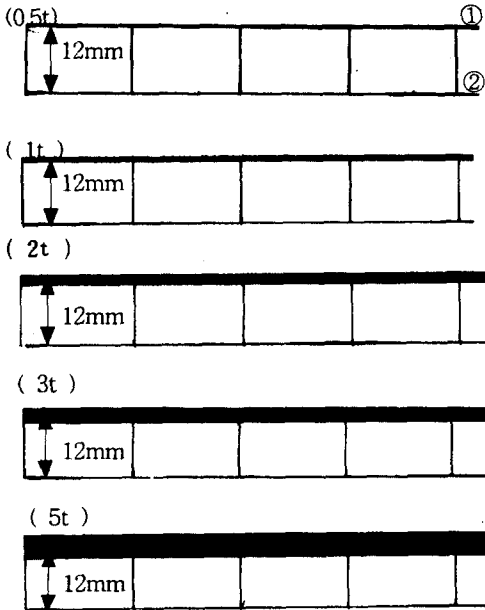


Fig.7 Welding line tracking simulation

모의 실험에서 용접선의 넓이를 1~5mm(1t~5t)의 5종류로 하였기 때문에, Fig.7과 같이 결과도 5종류이며, 세로선은 실험 결과를 측정하기 위해서임으로(여기서는 4구간) 나눈 구간을 나타낸다.

Fig.7의 실험 결과를 통해 각 구간을 측정해 본 결과, 모두 12mm를 유지하였다.

따라서 실험 결과는 매우 우수하다고 판단되며, 범용 용접 로봇에 본 비전 시스템을 설치함으로써 보다 성능이 우수한 용접 자동화를 실현할 수 있다고 생각된다.

7. 결론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 상용 용접 로봇에 저가격의 비전 시스템을 구성하여, 용접 생산성을 크게 높일 수 있는 방안을 제안 하였다.
2. 상용 로봇에서 제공되지 않는 PC-Robot간의 통신 프로그램을 개발하였다.
3. 직선 용접선에 대한 모의 실험을 통해 실용성이 있음을 증명 하였다.

4. 향후 연구과제인 원호, 자유곡선 형태의 용접선에 대한 응용 연구의 기초를 얻게 되었다.

참고 문헌

1. 이화조, 주해호, 김석환, "칼만필터를 이용한 초대형 용접구조물의 용접선 추적에 관한 연구" 정밀공학회지 Vol.17, pp.45-51, 2000.1
2. Randy Crane, "Image Processing" pp.55-208, 1997
3. Rafael C.Gonzalez, Michael G. Thomason, "Syntactic Pattern Recognition An Introduction" Addison-Wesley Publishing Company, inc. pp.64-95
4. K.S.Fu, R.C.Gonzalez, C.S.G.Lee, "ROBOTICS(Control, Sensing, Vision, and Intelligence)" HcGRAW-HILL EDITIONS, pp.296-447.
5. MAMORU KAWAHARA, "Tracking Control System using Image Sensor for Arc Welding" Automatica, vol.19, no.4 pp.357-363, 1983
6. M.Hillman, "Introduction to the special issue on rehabilitation robotics", Robotica, Vol. 16p. 485-523, 1998
7. 김도형, 김재현, 정명진, Eye Gaze Tracking from Sequential Image, International Symposium on AROB 2000, 2000.
8. E.L. Schwartz, D.N. Greve, and G.Bonmassar, "Space-variant Active Vision: Definition, Overview, and Examples,"NeuraNetworks, Vol.8, No. 7/8, pp. 1297-1308, 1995.
9. W.K. Song, H. Lee, and Z. Bien, "KARES: Intelligent wheelchair-mounted robotic arm system using vision and force sensor ", Robotics and Autonomous Systems, Vol. 28, No. 1, pp. 83-94, 1999.
10. M. Bolduc and M.D. Levine, " A Real-time Foveated Sensor with Overlapping Receptive Field", Real-Time Imaging, Vol.3, pp. 195-212, 1997.
11. E. Thompson, V. Patel, " Formulation of joint trajectory for industrial robots using b-spline", IEEE Trans on industrial electronics, Vol IE34, pp.75-85, 1992.