

용접 자동화를 위한 주사빔을 이용한 시각센서에 관한 연구

A study on the vision sensor using scanning beam for welding process automation

유 원상* 나 석주*

* 한국과학기술원 기계공학과, 대전

1. 서론

아크용접 공정에서 고도의 자동화를 위해서는 용접을 해야 할 부분을 추적하고 용접변수를 자동으로 조절할 수 있도록 용접선 위치와 용접부 형상을 측정할 수 있는 센서의 개발이 필요하다. 광삼각법의 원리를 이용하는 시각센서는 용접공정과는 무관하게 측정이 이루어지고 용접선의 위치 정보뿐만 아니라 용접부의 형상 정보도 얻어낼 수가 있어서 용접선 추적과 용접 공정 모니터링 및 용접 변수 제어가 가능하다. 본 논문에서는 주사빔(scanning beam)을 이용한 시각센서 설계 및 제작하고, 실제 용접부에 대해 형상 인식 알고리즘을 제시하였다.

2. 주사빔을 이용한 시각센서

광삼각법의 원리(optical triangulation theory)를 적용한 주사빔을 이용한 시각센서는 Fig. 1에서와 같이 집광시킨 점(focused spot) 형태의 레이저빔(laser beam)을 갈바노미터(galvanometer)에 부착된 평면거울로 반사시켜 측정부에 주사해 주는데 이 주사빔이 반사되는 높이에 따라 카메라에서의 영상면에서 상이 맺히는 위치가 달라진다. 주사빔을 이용한 시각센서는 주사빔 상에서의 측정물의 위치를 영상면에서의 영상좌표를 이용해서 구하고 주사기구의 주사각으로부터 주사빔의 방향을 구한 뒤, 이를 통해 측정물의 3차원 위치를 구할 수 있다. Fig. 2와 같이 Scheimpflug's condition을 적용한 레이저와 카메라의 배치에서 영상선상의 변위 δ 에 대한 측정선상의 변위 Δ 는 식(1)과 같다.

$$\Delta = \frac{d_o \sin \phi \delta}{d_i \sin \theta - \delta \sin(\theta + \phi)} \quad (1)$$

3. 주사빔을 이용한 시각센서의 제작 및 보정

3-1 센서제작

Fig. 3은 제작된 센서의 구성 부품인 카메라와 갈바노미터, 레이저와 갈바노미터 콘트롤러, 영상 처리 보드(DT 2856), 카메라 전원 공급 보드(OVB7-LF), 범용 인터페이스 보드(PCL-812), 레이저 출력 제어 보드와 컴퓨터 사이의 연결을 도시한 것이다. Fig. 4는 제작된 주사빔을 이용한 시각센서의 부품들의 배치를 보여준다.

3-2 센서 보정(sensor calibration)

갈바노미터는 가해진 전압에 비례해서 주사각이 결정이 되고 위치센서에서의 전압신호는 주사각에 비례한다. 설계변수를 결정하고 센서를 제작하였을 때 부품들의 배치에는 배치상의 오차가 존재한다. 이러한 오차들 때문에 측정선에서의 측정점의 변위에 따른 영상선에서의 측정점의 변위 사이의 관계는 식(1)과 같이 나타나지 않는다.

3-2-1 갈바노미터-레이저 보정(Galvanometer-Laser Calibration)

갈바노미터 위치센서의 전압신호는 주사각에 비례하므로 전압신호를 V_p 라 하고 주사각을 θ_p 라 할 때, 둘 사이의 관계는 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_s = aV_p + b \quad (2)$$

윗식의 계수 a , b 를 구하기 위해서 갈바노미터의 주사 축에서 $198mm$ 떨어진 곳에서 2.5° 간격으로 흑백을 표시한 표적지를 구성하고 레이저 빔을 그 위로 주사하면서 표적지에서 흑백에 따른 영상신호의 차이를 이용하여 주사각과 이때의 위치센서의 전압신호를 측정하였다. 측정된 데이터로부터 최소 자승 오차법을 이용해서 계수 a , b 를 구한 보정식이 식(3)이다.

$$\theta_s = 5.1346 V_p + 0.5820 \quad (3)$$

3-2-2 카메라 보정(Camera calibration)

요구되는 측정범위와 분해능을 갖도록 카메라와 렌즈, 레이저를 배치하였을 때, 실제로 부품들의 배치와 설계한 거리나 각도 사이에는 오차가 존재한다. Fig. 5에 나타난 바와 같은 배치상의 오차가 있을 때 오차가 없을 경우 배치상의 설계변수들에 의해 식(1)과 같이 나타났던 Δ - δ 관계는 식(4)로 나타난다.

$$\Delta' - \Delta_0 = \frac{(d_o + (d_o)_{err}) \sin(\phi + \phi_{err})(\delta' - \delta_0)}{(d_i + (d_i)_{err}) \sin(\theta + \theta_{err}) - (\delta' - \delta_0) \sin((\theta + \theta_{err}) + (\phi + \phi_{err}))} \quad (4)$$

Δ' , δ' 는 임의의 원점을 Δ_0 , δ_0 로 잡았을 때 Δ_0 , δ_0 를 원점으로 하는 Δ 와 δ 축상의 좌표로, $\Delta' = \Delta + \Delta_0$, $\delta' = \delta + \delta_0$ 로 표현된다. 식(4)를 정리하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta' = \frac{(-a\delta_0 + (b + c\delta_0)\Delta_0) + (a - c\delta_0)\delta'}{(b + c\delta_0) - c\delta} = \frac{1 + \alpha\delta'}{\beta + \gamma\delta} \quad (5)$$

이때 세 점의 Δ' 와 δ' 정보를 알면 α , β , γ 를 구할 수가 있다. (Δ_1, δ_1) , (Δ_2, δ_2) , (Δ_3, δ_3) 에 대해서 α , β , γ 를 구해 보면 다음 식(6.1), (6.2), (6.3)과 같다.

$$\beta = \frac{\delta_2\delta_3(\delta_2 - \delta_1)(\Delta_2 - \Delta_3) - \delta_1\delta_2(\delta_3 - \delta_2)(\Delta_1 - \Delta_2)}{\delta_2\delta_3(\Delta_1\delta_2 - \Delta_2\delta_1)(\Delta_2 - \Delta_3) - \delta_1\delta_2(\Delta_2\delta_3 - \Delta_3\delta_2)(\Delta_1 - \Delta_2)} \quad (6.1)$$

$$\gamma = \frac{(\delta_2 - \delta_1) - (\Delta_1\delta_2 - \Delta_2\delta_1)\beta}{\delta_1\delta_2(\Delta_1 - \Delta_2)} \quad (6.2)$$

$$\alpha = \frac{\Delta_1\beta + \Delta_1\delta_1\gamma - 1}{\delta_1} \quad (6.3)$$

식(7)은 측정된 데이터를 이용해 위에서 구한 보정식을 써서 구한 Δ' - δ' 관계식이다

$$\Delta' = \frac{1 - 3.6072 \times 10^{-5}\delta'}{9.8241 \times 10^{-3} - 3.6121 \times 10^{-6}\delta'} \quad (7)$$

4 시각센서의 적응

제작된 시각센서로 비 조인트(vee joint)와 부트 조인트(butt joint), 랩 조인트(lap joint)를 측정하였다.

가우시안 분포의 점형태의 레이저가 측정부에서 반사되 카메라에 맺힌 영상은 마찬가지로 그레이 레벨이 가우시안 분포를 갖는다. 무게중심법을 사용하여 추출한 레이저의 중심, x_m 은 다음의 식(8)과 같이 나타난다. 추출된 레이저의 중심의 영상좌표와 갈바노미터의 위치센서에서의 신호로부터 측정부의 한 점의 위치 정보를 얻을 수가 있다.

$$x_m = \frac{\sum_0^{i-1} i \cdot I_i}{\sum_0^{i-1} I_i} \quad (8)$$

주사기구에 의해서 측정부에 레이저빔이 주사되었을 때 얻어진 측정부의 정보는 영상좌표 δ' 과 갈바노미터 위치센서에서의 전압신호 V_p 인데 앞에서의 센서 보정 결과식 (3)식과, (7)식에 대입하면 주사각 θ_s 와 Δ' 을 알 수 있다. 이 때의 측정 대상의 실제 위치정보 x_i, z_i 는 다음 식(9), (10)과 같다.

$$x_i = \Delta'_i \sin(\theta_s)_i \quad (9)$$

$$z_i = \Delta'_i \cos(\theta_s)_i \quad (10)$$

측정된 측정부의 영상좌표에서 특징점을 추출하기 위해서 z 를 식(11)과 같이 이차미분 하여서, 그 미분값을 이용해 측정부의 특징점들을 추출하였다.

$$s_i = \frac{z_{(i+k)} + z_{(i-k)} - z_i}{2k} \quad (11)$$

Fig. 6은 비 조인트, 부트 조인트, 랩 조인트 s_i 를 구하고 이 값으로부터 특징점들을 추출해 그래프 상에 표시한 것이다. 최종적으로 필요한 용접부의 형상정보는 이 특징점들을 이용하여 구한다.

5 요약 및 결론

1. 주사빔을 이용한 센서를 제작하고 제작된 센서의 보정기법을 제시하였다. 센서의 보정은 갈바노미터-레이저 보정과 카메라 보정으로 나누어서 실행하였다.
2. 주사빔을 이용하는 시각센서를 여러 조인트를 측정 대상으로 하여 영상신호와 갈바노미터의 위치신호로부터 필요한 형상정보를 추출해 내기 위한 알고리즘을 제시하였다.

참고문헌

- [1] 유 원상, "용접 자동화를 위한 주사빔을 이용한 시각센서에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1995
- [2] D.Nitzan, "Three-Dimensional Vision Structure for Robot Applications", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol.10, No.3, May 1988, pp.291-309
- [3] N.Nayak and A.Ray, *Intelligent Seam Tracking for Robotic Welding*, Springer-Verlag New York, 1993
- [4] Z.Smali, D.Yapp and C.J.Smith, "Laser Guidance System for Robots", *Robotic Welding*, IFS Ltd, UK, 1987, pp.91-103

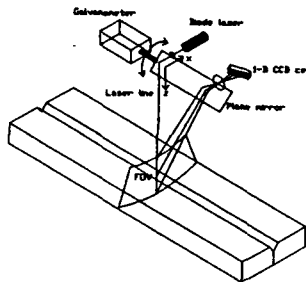


Fig. 1 Vision sensor using scanning beam

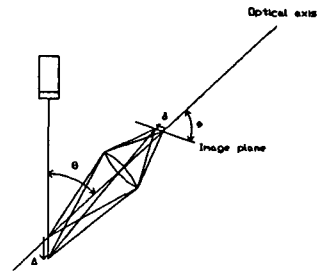


Fig. 2 Sensor structure using Scheimpflug's condition

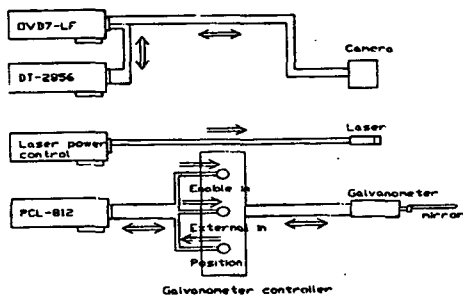


Fig. 3 Schematic configuration of sensor system

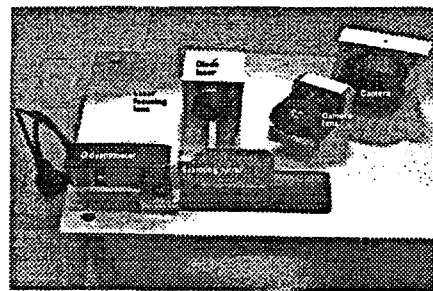


Fig. 4 Photograph of vision sensor

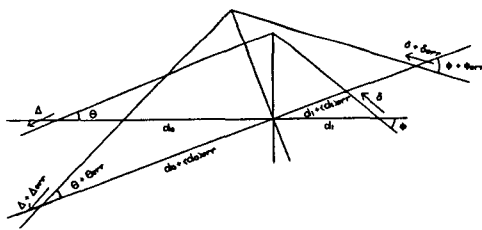
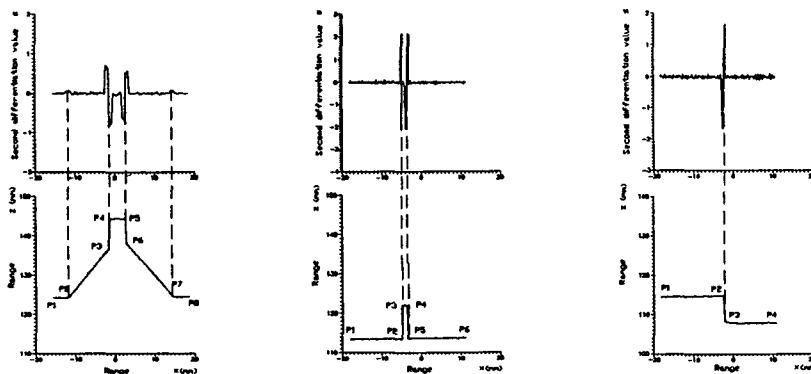


Fig. 5 Sensor geometry considering geometric errors



(a) vee joint (b) butt joint (c) lap joint
Fig. 6 Extracted feature points from image by second differentiation