

# 자유형상을 갖는 용접선에서 레이저센서를 이용한 용접로봇의 자동교시

Automatic teaching of welding robot in free-formed seam using laser vision sensor

김평현\*, 이세현\*\*, 엄기원\*\*

\*한양대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\*한양대학교 정밀기계공학과

## 1. 서론

용접 자동 교시 시스템은 모재(Workpiece)에서 용접선의 위치 및 경로 정보를 찾아내고 그 정보로부터 용접 로봇의 위치와 자세를 결정하는 것으로 이루어진다. 이것은 CAD 데이터와 센서 시스템으로 이루어지는데, 본 논문에서는 레이저 비전센서에서 얻은 모재의 거리 데이터로부터 용접선의 경로를 찾아내어 용접 로봇의 경로를 생성하는 방법을 제시한다. 기존의 레이저 비전을 이용한 용접선 추적, 자동 교시 시스템은 한 개의 스캐라인에서 얻은 이미지로부터 용접선을 인식하고 있어 로봇의 자세에 대한 정보를 얻는데 한계가 있다.<sup>[1][2][3]</sup> 본 연구에서는 용접 대상의 기하학적 모델을 이용한 거리 데이터로 처리 방법을 이용하여 조인트, 용접선 등의 모델을 얻고, 이로부터 로봇의 위치와 자세를 결정하는 용접 로봇의 자동 교시 방법에 대해 제안하였다.

## 2. 시스템 구성 및 보정

용접 교시를 위해 사용된 시스템은 Fig. 1과 같이 6축 다관절 용접 로봇, 레이저 비전센서, 용접기, 그리고 이를 제어하는 제어 시스템과 알고리즘을 구현하는 컴퓨터로 구성된다. 레이저 비전센서가 로봇에 장착되어 미리 설정된 경로를 움직이면 용접 대상의 거리 데이터를 획득하게 된다. 교시를 위한 용접 대상의 거리 데이터를 얻기 위한 스캐닝 경로는 Fig. 2와 같다. 용접선의 시작점과 종료점을 찾기 위해 시작부와 종료부는 용접선에 대각선 방향으로 스캐닝 하였다.

## 3. 기하학적 모델링을 이용한 거리 데이터 처리

본 연구에서는 물체의 기하학적 모델을 이용한 거리 데이터 처리 방법을 제안하였다. 용접 로봇의 경로를 얻기 위해 필요한 모델을 미리 정의하고, 용접 대상의 거리 데이터로부터 미리 정의된 모델과 매칭 또는 실시간 모델링을 통하여 용접 경로의 정보를 얻게 된다.

### 3.1. 조인트 모델링

모재의 거리 데이터로부터 형상을 간략화 하기 위해서 ESA(Enhanced strip algorithm)<sup>[4]</sup>와 선성분의 각도를 이용한 데이터 합병 방법(Merging method)을 이용하였다. 용접 조인트 타입은 두 모재의 두께와 모재가 이루는 각도 등에 의해 정의가 되므로, 본 연구에서는 이러한 인자

를 이용하여 조인트의 특징을 Table. 1 과 같이 정의하고, 거리 데이터로부터 템플릿 매칭 (Template matching) 방법을 이용하여 조인트를 인식하였다. 각도와 길의 물리량이 다르므로 정규화하여, 템플릿과 실제 거리 데이터에서 얻은 특징 간의 절대값거리를 식(5)와 같이 구하여 최소가 되는 특징부가 조인트로 인식하게 된다.

$$d = \sum_{i=1}^n |f_i - T_i| \quad (1)$$

위식에서  $f$  는 실제 형상의 선분의 특징을 나타내는 벡터,  $T$  는 템플릿 벡터이다. Fig. 3 에는 이와 같은 방법으로 조인트를 인식한 결과와 최소 절대값 거리를 보여 주고 있다.

### 3.2. 용접선의 시작과 종료점

용접선의 시작과 종료점은 2 개의 모재의 시작부를 나타내는 4 개의 직선 모델과 조인트 모델, 작업대의 평면 모델로부터 결정된다. 평면 모델은 고정 모델로 미리 정의 되어 있고, 용접선의 시작부에서 모재와 작업대의 거리 데이터를 영역분할 하는데 이용된다. 그리고 2 모재의 시작부의 모서리를 나타내는 4 개의 직선 모델은 영역 분할된 거리데이터로부터 최소오차 자승법에 의해 결정된다. 이렇게 결정된 4 개의 직선 모델에서 각 모재의 직선이 만나는 점으로부터 시작부의 조인트 모델을 구할 수 있다. Fig. 3 은 겹치기 이음의 용접 시작부의 거리 데이터로부터 얻은 4 개의 직선과 용접 시작점의 조인트 모델을 보여주고 있다.

### 3.3. 용접선 모델링

자유 곡선의 용접선을 Ferguson 곡선으로 모델링하였다. Ferguson 곡선 모델은 다음과 같이 곡선 양 끝의 위치 벡터와 접선 벡터를 알고 있으면 정규화 된 매개변수,  $t$  에 대해서 다음과 같이 표현 된다.

$$p(u) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -1 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p(0) \\ p(1) \\ p'(0) \\ p'(1) \end{bmatrix}, 0 \leq t \leq 1 \quad (2)$$

그리고 각각의 점에서의 접선 벡터는 곡률의 연속성의 특징을 이용하여 구하게 된다. 조인트 모델링에 얻은 추적점과 용접선의 시작부와 종단부의 모델링에서 얻은 접선 벡터를 이용 용접선을 모델링 할 수가 있다. Fig. 4 는 겹치기 이음에서 조인트와 용접선의 Ferguson 모델의 결과를 보여주고 있다.

## 4. 로봇의 경로 생성

용접선의 Ferguson 모델에서 로봇의 위치를 직접 구할 수 있고, 로봇의 진행방향을 나타내는 방위 벡터(Orientation vector)는 식(3)과 같이 곡선의 접선 벡터(Tangential vector)로부터 구할 수 있다.

$$\mathbf{o} = \left( \frac{\partial p_x}{\partial u} \mathbf{i} + \frac{\partial p_y}{\partial u} \mathbf{j} + \frac{\partial p_z}{\partial u} \mathbf{k} \right) / \left| \frac{\partial p_x}{\partial u} \mathbf{i} + \frac{\partial p_y}{\partial u} \mathbf{j} + \frac{\partial p_z}{\partial u} \mathbf{k} \right| \quad (3)$$

용접토치의 자세를 결정하는 로봇의 접근 벡터(Approach vector)는 조인트 모델에서 원점이 추적점인 2 개의 벡터로의 합으로부터 구한 분할 벡터,  $\mathbf{b}$ 로부터 구할 수 있다.

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{b} - (\mathbf{b} \cdot \mathbf{o})\mathbf{o}}{|\mathbf{b} - (\mathbf{b} \cdot \mathbf{o})\mathbf{o}|} \quad (4)$$

조인트 모델과 Ferguson 모델로부터 로봇의 위치와 자세를 결정할 수 있고, 이로부터 로봇의 경로를 생성할 수 있다. Fig. 5 는 맞대기 이음의 기하학적 모델로부터 생성된 로봇의 경로를 보여 주고 있다.

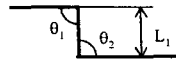

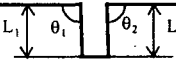
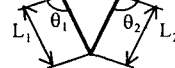
## 5. 결론

- (1) 기하학적 모델을 이용한 거리 데이터 처리 과정을 제시하여 레이저 센서를 이용한 용접 로봇의 자동 교시에 적용하였다.
- (2) 템플릿 매칭 기법을 이용하여 범용적인 조인트 인식 방법을 제안하였다.
- (3) 용접 대상의 기하학적 모델로부터 용접 로봇의 위치와 자세를 결정하고 로봇의 경로 생성 방법을 제안하였다.

## 6. 참고 문헌

- [1] Z. Smati, D. Yapp, and C. J. Smith., "Robotic welding: Laser guidance system for robots", Springer-Verlag, 1987
- [2] W. F. Clocksin et al., "An implementation of model-based visual feedback for robot arc welding of thin sheet metal", The international journal of robotics research", Vol. 4, No. 1, Spring 1985
- [3] J. E. Agapakis, "Approaches for recognition and interpretation of workpiece surface features using structured lighting", The international journal of robotics research, Vol. 9, No. 5, October 1990
- [4] J. Roberge, "A data reduction algorithm for planar curves", Computer vision, graphics, and image processing, 29, 1985
- [5] V. B. Anand, "Computer graphics and geometric modeling for engineers", John Wiley & Sons Inc., 1993

Table 1. Template definition for joint modeling

Joint type	Lab	Fillet	I-butt	Fillet
Joint feature				
Template	$\mathbf{T} = [\theta_1 \quad \theta_2 \quad L_1]^T$	$\mathbf{T} = [\theta_1]$	$\mathbf{T}_{w_1} = [\theta_1 \quad L_1]^T$ $\mathbf{T}_{w_2} = [\theta_2 \quad L_2]^T$	$\mathbf{T}_{w_1} = [\theta_1 \quad L_1]^T$ $\mathbf{T}_{w_2} = [\theta_2 \quad L_2]^T$

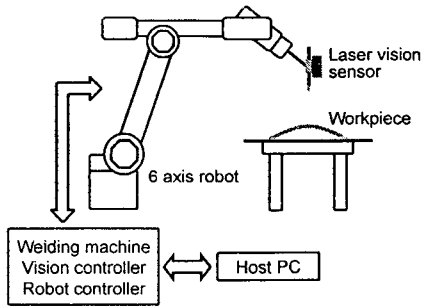


Fig. 1 System configuration

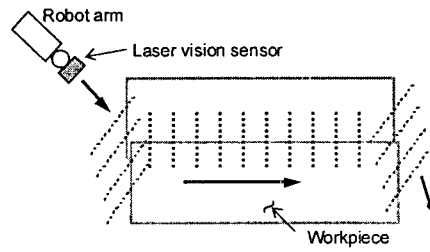


Fig. 2 Scanning path for range data acquisition

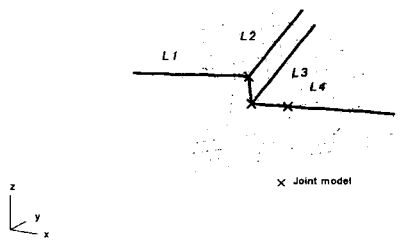


Fig. 3 Result of detecting the weld start point

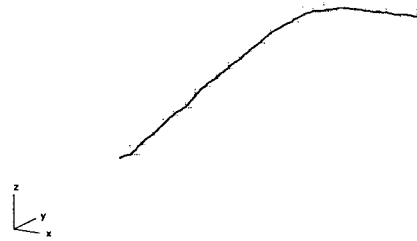


Fig. 4 Ferguson model of weld seam

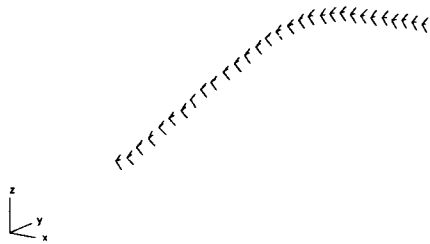


Fig. 5 Robot path generation from geometric model