

# 시각센서를 이용한 용접 Gap/Profile 모니터링

## Monitoring the Welding Gap/Profile with Visual Sensor

한국과학기술원 전자전산학과 김창현, 최태용, 이주장  
한국기계연구원 서정, 박경택, 강희신

**Abstract** The robot systems are widely used in the welding manufacturing. The essential tasks to operate the welding robot are the acquisition of the position and/or shape of the parent metal. For the seam tracking or the robot automation, many kinds of contact and non-contact sensors are used. Recently, the visual sensor is most popular. In this paper, the development of the system which monitors the shape of the welding part is described. This system uses the line-type structured laser diode and the visual sensor. It includes the correction of radial distortion which is often found in the image from the camera with short focal length. Direct Linear Transformation (DLT) is used for the camera calibration. The three dimensional shape of the parent metal is obtained after simple linear transformation. Therefore, the system operates in real time. Some experiments are carried out to evaluate the performance of the developed system.

**KEY WORD** 용접, 시각센서, 레이저, 화상처리, 카메라 칼리브레이션, 형상, 모니터링

### I. 서론

산업화가 이루어지며 많은 작업들에 대해 자동화가 이루어졌다. 그 중에서도 용접가공은 자동차, 조선, 산업기계 등 과거의 주요 수출업종에서 생산성과 정밀도를 향상시키기 위한 중추적인 역할을 해왔다. 용접가공에서는 오래전부터 로봇이 많이 사용되고 있다. 용접 작업에서 용접로봇을 작동시키기 위한 필수적인 작업이 용접 모재의 위치와 형상의 파악과 용접 로봇을 모재에 어떻게 접근시킬 것인지를 정하는 것이다. 이를 위해 과거 CAD 정보를 이용하거나 여러 가지 접촉식<sup>[1],[2]</sup>, 비접촉식 센서<sup>[3],[4]</sup> 등을 이용하여 용접선 추적이나 로봇제어를 할 수 있었다.

최근에는 이러한 센서들 중 비전센서<sup>[5],[6]</sup>를 이용하는 방식이 많이 사용되고 있다. 처음에는 정밀도와 계산상의 문제 때문에 사용되지 않다가 분해능과 속도가 빨라짐에 따라 여러 분야에서 비전센서가 많이 쓰이고 있는 추세이다. 그 밖에도 비접촉식이고 경량이므로 마모나 충격을 염려하지 않아도 되고 로봇에 쉽게 부착시킬 수가 있는 이점이 있다. 그러나 조명이나 환경에 민감한 특성상 열이나 불꽃이 많이 일어나는 열악한 용접현장에 적용하기 위해서는 주의가 요구된다.

본 연구에서는 시각센서를 이용한 용접 Gap/Profile 모니터링 시스템 제작의 기초연구로 구조화된 레이저 광원과 CCD 카메라를 이용하여 모재의 형상을 추정하고 이를 이용해 로봇의 제어에 적용할 수 있는 유용한 정보들을 추출하는 시스템을 구성하게 된다. 메인 컴퓨터에서 카메라와 연결하여 형상획득 등의 주 알고리즘을 수행하고 필요에 따라 다양한 방법으로 시각화 해 줄 수 있게 된다. 또한 용접작업이 고속화 되고 있는 추세에 따라 실시간으로 모재 형상

과 특징들을 찾을 수 있도록 한다

## II. 시각센서 시스템

용접에서 시각센서를 이용한 시스템은 기본적으로 3차원 정보를 얻는 것이 목적이다 이러한 방법에는 두 대의 카메라를 이용하는 방법이 있으나 용접 모재의 특성상 두 영상에서의 대응점을 찾기 힘들어 사용되기 힘들다 여기에서는 구조화된 레이저 광을 이용하여 3차원 정보를 얻도록 한다 이 방법에서는 660nm의 단색 레이저광을 이용하고 이 파장대만을 통과시켜 외부 노이즈의 간섭을 최소화 하도록 한다 기본적인 시각센서의 구성은 그림 1과 같다

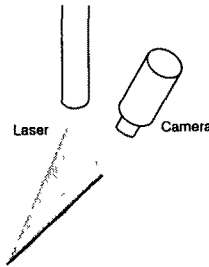


그림 1 시각센서 구조

선 형태를 지니는 레이저광을 이용하는데 조사된 빛이 형성하는 부채꼴 모양의 광평면이 모재의 표면과 교차하는 레이저띠가 모재의 단면 형상을 나타내고 이것을 카메라를 통해 영상으로 획득하게 된다 이것을 선형변환 시켜 정확한 3차원 정보를 얻을 수 가 있다 여기서 로봇의 경우 모재의 평면에 법선 방향으로 접근하는 것이 필요하고, 센서시스템을 로봇에 바로 부착을 시켰을 경우 계산상의 편의를 위해 레이저를 모재에 수직방향으로 조사하도록 한다

사용한 레이저광은 3-Laser Technology사의 제품으로 20mW의 출력을 가지며 45도로 퍼지며 초점과 세기는 조절 가능한 것을 이용하였다 사용되는 카메라는 Pointgrey사의 제품으로 IEEE1394를 이용하여 메인 컴퓨터와 교신하며 최대 640×480의 해상도로 최고 30fps까지 지원하며 추후에 성능향상을 위하여 교체할 수도 있다 사용되는 렌즈역시 초점이 조절되는 모델을 썼고 앞쪽에 660nm의 파장대를 통과시키는 Tholabs사의 대역통과 필터를 부착하였다. 실제 제작된 센서에서는 약간의 융통성을 주기 위해 카메라와 레이저의 상대위치를 조절할 수 있도록 설계하였다 그림 2에 시각센서부의 모양이 나타나 있다



그림 2 실제 시각센서부

### III. 비전처리 알고리즘

#### 3.1 비전처리

CCD 카메라를 통하여 들어오는 영상은 왜곡되는 경우가 많다 특히 사용하는 렌즈에 따라 영상의 품질이 달라지는데 특히 본 시스템과 같이 근거리에서 사용하게 되면 초점거리가 짧아져 그림 3 (a)와 같은 소위 방사왜곡(Radial Distortion)현상<sup>17)</sup>이 생기게 된다 본 연구에서 사용하는 렌즈 역시 고가의 고급 렌즈가 아니기 때문에 이런 현상이 생기며 일반적인 경우를 생각하였을 때 이런 현상을 고려하는 것이 바람직하다 흔히 방사왜곡은 카메라 중심으로부터의 거리에 따른 비선형적인 함수에 의해 왜곡되는 것으로 이 왜곡을 보정하지 않고 3차원 형상을 얻게 되면 얻어진 형상에 상당한 오차가 생기게 된다.

$(\tilde{x}, \tilde{y})^T, (x_d, y_d)^T$ 가 각각 이상적인 좌표와 왜곡된 좌표라고 하면 방사왜곡은 다음처럼 모델링 된다

$$\begin{pmatrix} x_d \\ y_d \end{pmatrix} = L(\tilde{r}) \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \end{pmatrix}$$

여기서  $\tilde{r}$ 은 카메라 중심  $(x_c, y_c)^T$ 로부터의 거리로

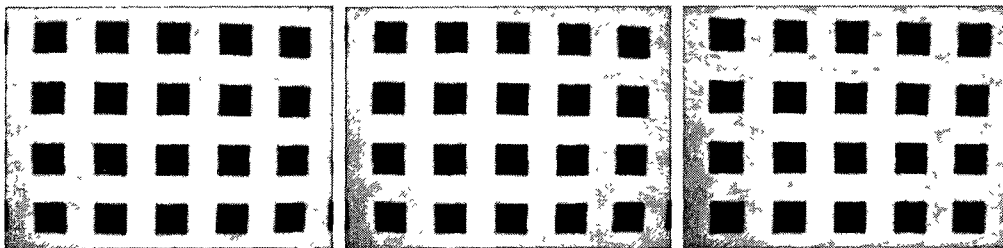
$$\tilde{r}^2 = (\tilde{x} - x_c)^2 + (\tilde{y} - y_c)^2$$

의 관계가 있고  $L(r)$ 은 비선형 함수로 Taylor 전개를 이용하면

$$L(r) = 1 + \kappa_1 r + \kappa_2 r^2 + \kappa_3 r^3 \dots$$

으로 나타낼 수 있다 방사왜곡을 보정하기 위해서는 카메라 중심  $(x_c, y_c)^T$ 와 왜곡 함수  $L(r)$ 의 계수인  $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \dots$ 를 찾아야 한다 이 계수를 찾기 위해서 일반적으로 찾아야 하는 계수의 개수보다 많은 테스트점들을 알고 있어야 한다 테스트점들을 주기 위하여 그림 3에 나오는 Tsai 격자를 많이 이용한다. 모든 테스트 점들에 대해 알고 있는 실제 좌표와 구해진 계수를 이용해 변형을 했을 때 옮겨지는 좌표간의 거리의 합이 최소가 되도록 계수들을 결정한다 일반적으로 이 문제는 비선형 최소 자승 최적화 문제로 Levenberg-Marquardt 방법을 이용하여 왜곡계수와 카메라 중심을 반복적(iterative)으로 구하게 된다

격자점을 자동적으로 찾고 격자점의 실제 좌표를 모르고도 구할 수 있게 하기 위하여 직선상에 있어야 하는 점들을 이용할 수 있다. Harris 코너 추출기를 이용하여 격자의 꼭지점을 자동으로 찾고, 그 꼭지점들 중 일직선상에 있어야 하는 점들을 변환시켰을 때 그 직선으로부터 떨어진 거리의 합들을 최적화 함수로 이용하여 계수를 구할 수 가 있다 그림 3 (b)에 나오는 것이 Harris 코너 추출기의 결과이고 그림 3 (c)에 나오는 것이 얻어진 계수를 이용하여 왜곡 영상을 보정한 결과이다



(a) 왜곡된 영상

(b) 꼭지점 추출

(c) 보정 영상

그림 3 방사왜곡의 보정

### 3.2 카메라 교정 (Camera Calibration)

레이저띠 형태로 되어있는 영상을 방사외곡을 보정한 후 3차원 형상을 복원하기 위해서는 카메라 교정 단계를 거쳐야 한다. 카메라 영상이라고 하는 것이 3차원상의 물체를 2차원 평면으로 투사하여 나타내므로 투사중심으로 향하는 광선상의 어떤 점에 있는 영상이 실제로 맺힌 것인지 모호하게 된다. 여기에서는 다행히 구조화된 레이저광이 이루는 평면위에 점이라는 것을 알기 때문에 그 점을 유일하게 결정할 수가 있다. 일반적인 영상처리에서는 실제 차원에 한 차원씩을 더한 동차좌표계(Homogeneous Coordinate)를 많이 사용하며 이 때 실공간(Object Space)상의 점  $O, (x, y, z)$ 와 이에 해당하는 상평면(Image Plane)위의 점  $I, (u, v)$ 와는 선형 변환  $T$ 를 이용해 다음의 관계가 있다. 여기에서 레이저띠가 레이저광 평면 상에 있다는 조건이 사용되었다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \\ j & k & l \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix}$$

12개의 미지수가 있는데 일반적으로 하나를 고정해 시켜도 되어 미지수가 11개이고 하나의 대응점을 알 때 식이 3개가 나오게 되어 적어도 4점 이상의 대응점을 알면 모든 미지수를 구할 수 있게 된다. 대응점들이 주어졌을 때 얻어지는 식들을 정리하여 미지수에 대해 정리하여 결국에는 Pseudo Inverse를 이용하여 최소 자승근을 구할 수 있게 된다. 일반적으로는 이러한 영향을 줄이기 위해 충분한 수의 대응점을 주게 된다. 이러한 식으로 구하는 방법을 DLT(Direct Linear Transformation)<sup>[8]</sup>이라 한다.

대응점을 주기 위해 그림 4와 같이 정교하게 제작된 교정 블록이 이용된다. 설계된 실제 좌표와 영상을 통해 획득되는 점을 이용하여 변환 행렬을 구하게 되고 이 행렬이 구해지게 되면 영상으로 들어온 레이저띠를 변환하여 실공간에서의 형상을 얻을 수 있게 된다.

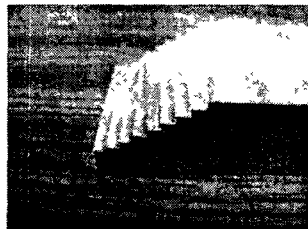


그림 4 교정 블록

최종적으로 모재나 시각센서가 부착된 로봇을 이동시키면서 레이저 평면상에서 구해진 단면 정보들을 종합하여 전체 표면 형상 Profile을 구할 수 있게 된다. 구하여진 형상 Profile로부터 로봇 제어에 필요한 법선 정보라든지 Gap정보는 간단한 계산의 의해 쉽게 구할 수 있다.

## IV. 실험결과

현재 용접 Gap/Profile 모니터링 시스템은 개발중이며 현재까지 개발된 프로그램은 그림 5와 같다. 그림에서 왼쪽에 있는 창이 카메라로부터 획득된 영상이고 오른쪽에 있는 것이 처리된 결과이다. 획득된 영상에서 배경이 검게 나오는 것은 원형의 대역통과필터를 거쳐 레이저영

상만 획득이 되었기 때문이다 그림에 나오는 것은 교정 블록을 가지고 교정을 하고 다시 이를 이용하여 테스트를 한 결과이다 교정블록을 이용하였기 때문에 비교적 정확하게 모재의 형상을 추적하는 것을 알 수 있다.

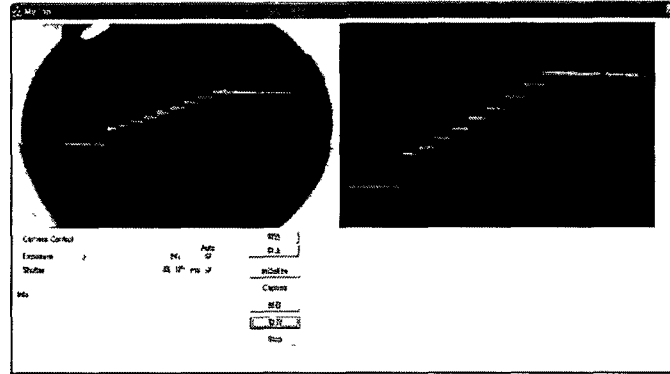


그림 5 실행 프로그램 결과

개발된 시스템을 용접 로봇에 부착할 것을 고려하여 실제 용접작업을 하면서 얼마나 잘 동작하는가를 검증하기 위해 그림 6과 같은 실험환경을 구축하였다 실험환경에서는 간단한 제어를 위하여 XYZ축의 직교좌표로봇을 제작하여 이용하고 있다 용접 진행방향으로 이동하면서 형상을 획득하고 이를 종합하여 전체 형상을 얻을 수가 있다



그림 6 실험용 직교좌표로봇

## V. 결론

본 연구에서는 직선형태의 구조화된 레이저와 시각센서를 이용하여 용접 형상을 모니터링 하는 시스템의 개발에 대해 설명하였다. 시스템에서 비교적 저가의 렌즈와 카메라를 이용할 경우를 이용하여 본 응용에서와 같이 짧은 초점거리를 가질 때 발생하는 방사왜곡을 없애는 부분이 포함되어 추후에 다양한 카메라에서도 활용가능하다. DLT 방법을 이용하여 카메라의 교정을 수행하고 간단한 선형 변환을 통해 카메라 영상으로부터 모재의 3차원 형상을 구할 수 있어 실시간으로 적용가능하다

현재 시스템이 개발 중이기 때문에 아직 로봇을 이용한 실험은 하지 못했으며 추후에 실제 CAD 데이터와의 비교 등을 통해 개발된 시스템 3차원 형상 모니터링 성능을 평가할 예정이다

## V. 참고문헌

- 1 H Nomura Sensors and Control Systems in Arc Welding, CHAPMAN & HALL
- 2 J D Lane ROBOTIC WELDING, IFS ITD uk, PP 91-101, (1987)
- 3 김호학, 부광석, 조형석 자동 아크 용접고정의 용접개선변수 측정을 위한 시각 시스템", 대한 용접학회지 8(2), (1990)
- 4 WF Clocksin, JSE. Bromley, P.G. Dvey, A R Vidler and CG Morgan. An implementation of model-based visual feedback for robot arc welding of thin sheet steel", The Int J. of Robotics Research 4(1), pp 13-26, (1985)
- 5 배철오, 김현수 비전센서를 이용한 용접선 추적에 관한 연구, 한국해양정보통신학회논문지 6(8), pp 1374-1380, (2002)
- 6 성기은, 이세헌 멀티 라인 레이저 비전 센서를 이용한 고속 3차원 계측 및 모델링에 관한 연구, 한국용접공학회 춘계학술대회논문집, pp. 169-172, (2002)
- 7 R. Hartley and A Zisserman Multiple View Geometry in computer vision, Cambridge University Press, (2000)
- 8 YI Abdel-Aziz and HM Karara Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry, Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry, pp 1-18, (1971)