

## 용접 형상 측정용 시각 센서 모듈 개발

김창현\*, 최태용, 이주장(한국과학기술원 전자전산학과), 서정, 박경택, 강희신(한국기계연구원)

### Development of Vision Sensor Module for the Measurement of Welding Profile

C. H. Kim, T. Y. Choi, J. J. Lee(Elec. Eng. & Comp. Sci. Dept., KAIST),  
J. Suh, K. T. Park, H. S. Kang(KIMM)

#### ABSTRACT

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 vision sensor is most popular. In this paper, the development of the system which measures the profile of the welding part is described. The total system will be assembled into a compact module which can be attached to the head of welding robot system. This system uses the line-type structured laser diode and the vision sensor. It implemented Direct Linear Transformation (DLT) for the camera calibration as well as radial distortion correction. The three dimensional shape of the parent metal is obtained after simple linear transformation and therefore, the system operates in real time. Some experiments are carried out to evaluate the performance of the developed system.

**Key Words** : Welding (용접), Vision Sensor (비전센서), Laser (레이저), Camera Calibration (카메라 교정), Welding Profile (용접형상)

#### 1. 서론

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, 비접촉식 센서 등을 이용하여 용접선 추적이나 로봇제어를 할 수 있었다. 최근에는 이러한 센서들 중 비전센서를 이용하는 방식이 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 용접 현상 측정용 비전 센서 모듈 시스템 제작의 기초연구로 구조화된 레이저 광원과 CCD 카메라를 이용하여 모재의 형상을 측정하고 이를 토대로 로봇의 제어에 적용할 수 있는 유용한 정보들을 추출하는 시스템을 구성하게 된다. 또한 용접작업이 고속화 추세에 따라 실시간으로 모재 형상과 특징들을 찾을 수 있도록 한다.

#### 2. 시각 센서 시스템

본 연구에서는 선 형태의 구조화된 레이저 광을 이용하여 3차원 정보를 얻도록 한다. 또한 660nm의 단색 레이저광을 이용하고 이 파장대만을 통과시키는 대역필터를 이용하여 외부 노이즈의 간섭을 최소화 하도록 한다. 계산상의 편의를 위해 레이저를 모재에 수직방향으로 조사하도록 한다. 기본적인 시각 센서의 구성은 Fig. 1과 같다.

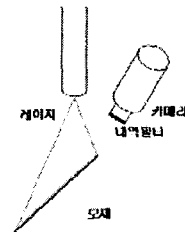


Fig. 1 Component Configuration

사용되는 카메라는 IEEE1394를 이용하며 1024×768의 해상도, 30fps(frame per second)까지 지원하며 렌즈는 초점이 조절되는 모델로 실험용으로 제작된 센서에서는 필요에 따라 카메라와 레이저의 상대위치와 각도를 조절할 수 있도록 하였다. 현재 측정 모재의 거리에 따라 카메라의 초점을 변경하고 카메라와 레이저의 각도를 조절할 수 있는 소형 모듈을 제작 중에 있다.

#### 3. 영상 처리

##### 3.1 방사왜곡 보정

CCD 카메라를 통하여 들어오는 영상은 왜곡되는 경우가 많고 근거리에서 사용하게 되면 초점거리가 짧아져 소위 방사왜곡(Radial Distortion)현상[1]이 생기게 된다. 이 왜곡을 보정하지 않고 3차원 형상을 얻게 되면 얻어진 형상에 상당한 오차가 생기게 된다. 방사왜곡을 보정하기 위해 왜곡함수를 모델링하

고 이 계수를 찾아 역으로 보정을 해 주게 된다. 이 작업을 위해 Tsai 격자를 이용하여 테스트 점들에 가장 잘 들어맞도록 계수들을 결정한다. 일반적으로 이 문제는 비선형 최소 자승 최적화 문제로 Levenberg-Marquardt 방법을 이용하여 왜곡계수와 카메라 중심을 반복적(iterative)으로 구하게 된다.

격자점의 실제 좌표를 사용자가 모르는 상태에서 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 이용하도록 하였다.

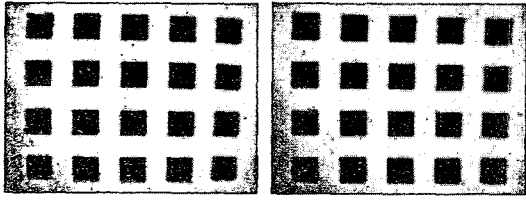


Fig. 2 Radial Distortion Correction

### 3.2 카메라 교정 (Camera Calibration)

레이저띠 형태로 되어있는 영상을 3차원 형상으로 복원하기 위해서는 카메라 교정 단계를 거쳐야 한다. 카메라 영상은 2차원 평면으로 투사하여 나타내어 모호성이 존재하게 되는데 여기에서는 화면에 맺히는 상이 구조화된 레이저광이 이루는 평면위에 점이라는 것을 알기 때문에 그 점을 유일하게 결정할 수가 있다. 이를 위해 교정블록 등을 이용하여 미리 알고 있는 점을 주게 되며 일반적으로는 여러의 영향을 최소화하기 위해 충분한 수의 대응점을 주게 된다. 이러한 식으로 구하는 방법을 DLT(Direct Linear Transformation)[2]이라 한다.

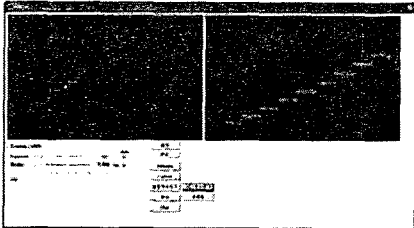


Fig. 3 Camera Calibration

### 3.3 형상 모니터링

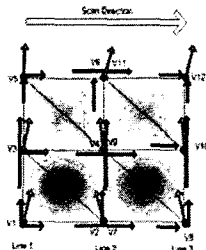


Fig. 4 Normal Vector Calculation

로봇의 헤드에 장착된 시각센서부가 읽어 들이는 정보를 이용하여 용접하고자 하는 물체의 3차원 정보를 측정하여 컴퓨터의 모니터에 표시한다. 이 정보를 이용하여 Gap이나 Fig. 4와 같이 Normal Vector 성분을 추출해서 용접로봇에게 제공한다.

## 4. 실험 결과

3축 직교좌표로봇을 이용하여 센서시스템의 실험을 수행한 결과 교정블록에 대하여 0.302mm의 오차(Root Mean Squared Error)를 가졌다. Fig. 5는 실제 용접 대상물이 될 자동차 범퍼의 프레임을 가지고 실제로 형상을 모니터링 하는 모습을 보이고 있다. 전진 방향으로 1mm씩 전진을 하며 영상을 획득하고 좌표를 얻도록 하였다. 두 번째 그림은 일정 시간이 지난 후 획득된 좌표들을 3차원 영상으로 시각화해 준 결과를 보여준다. 그림에서 구멍이 있는 부분이 제대로 나타남을 알 수 있다.

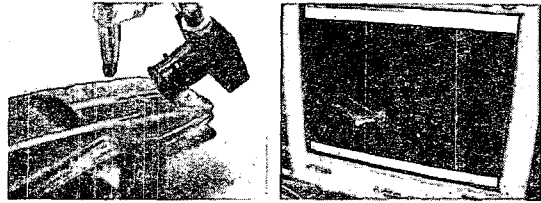


Fig. 5 Experiment Result

## 5. 결론

시각센서를 이용한 용접 Gap/Profile 형상 모니터링 시스템을 구축하기 위한 기본연구와 요소기술을 개발하였다. 이를 위해 방사왜곡보정, 카메라 교정, 법선벡터 등의 필요한 정보를 추출하는 부분을 구현하였으며, 실험용 직교좌표로봇을 이용하여 간단한 테스트를 통해 그 동작을 확인하였다. 추후에 성능 평가를 위한 샘플을 제작하여 실제 CAD 데이터와의 비교를 통해 개발된 시스템 3차원 형상 모니터링 성능을 평가할 예정이다.

### 후기

본 논문은 산업자원부 성장동력산업에서 지원하여 연구하였습니다.

### 참고문헌

1. Hartley, R. and Zisserman, A., Multiple View Geometry in computer vision, Cambridge University Press, 2000.
2. Abdel-Aziz Y. I. and Karara, H. M., "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.