

가변 구조를 갖는 용접 형상 측정용 시각센서 모듈

Variable Structure Vision Sensor Module for Welding Profile Measurement

**김창현¹, 최태용¹, 이주장¹, 서정², 박경택³, 강희신²

*C. H. Kim(sunnine@odyssey.kaist.ac.kr)¹, T. Y. Choi¹, J. J. Lee¹, J. Suh², K. T. Park³, H. S. Kang²
¹한국과학기술원 전자전산학과, ²한국기계연구원 정보장비연구센터, ³한국기계연구원 나노공정장비연구센터

Key words : Laser Welding, Profile, Vision Sensor, Laser Diode, Variable Structure, Seam Tracking

1. 서론

로봇 시스템은 조립이나 용접 등의 여러 산업분야에서 성공적으로 사용되고 있다. 특히, 레이저 용접의 경우에 매우 좁은 레이저 빔을 이용하기 때문에 용접 모재가 수 mm 내의 높은 정밀도를 가지도록 정렬되어야 한다. 그러나 실제로 정렬이나 용접 대상의 모델링에서 에러가 발생하기 때문에 용접 시스템 스스로 이를 감지하여 적절하게 보상해주어야 한다. 이러한 목적을 위해 주변을 감지할 수 있는 센서 시스템이 필요하며 다양한 접촉식, 비접촉식 센서가 이용되고 있다.

이러한 센서들 중 비전 센서가 현재 가장 많이 쓰고 있다. 용접선 추적이나 형상 측정에서는 선형태의 레이저를 조사하여 물체에 비치는 영상을 얻는 방법을 주로 사용하게 된다. 이밖에도 선 모양을 달리한다거나 개수를 늘리는 방법 혹은 코딩된 빛이나 공간섭을 이용한 방법들도 연구가 되었다. 상용화 제품 중에는 12~50 μ m 정도의 정밀도를 가지는 것이 있으나¹ 이를 포함한 기존의 비전을 이용한 방식에서는 그 동작거리가 100mm 정도로 제한이 되어있다. 동작거리가 고정되거나 제한이 있는 경우 용접 모재에 급격한 변화가 생기게 되면 제대로 형상을 제대로 획득할 수 없다. 따라서 물체와의 거리에 따라 동작거리를 조절할 필요가 있다. 부가적으로 표면 법선벡터 등의 정보를 알게 되면 로봇 제어에 이를 활용할 수 있게 된다.

본 논문에서는 가변 구조를 갖는 용접 형상 측정용 시각센서 모듈을 소개하였다. 동작거리에 따라 레이저 조사각도와 카메라의 줌, 초점을 조정할 수 있도록 하였다. 법선 벡터와 용접선 정보를 이용하여 로봇의 경로를 상황에 맞게 변경할 수 있다.

2. 시각센서 모듈 설계

본 연구에서 선형태의 레이저를 이용하여 3차원 형상정보를 얻게 된다. 선형태의 레이저가 조사되는 가상의 평면이 용접대상의 단면을 따라 곡선형태의 영상을 맺게 되고 이를 변환하여 형상정보를 알 수 있다. 이미지의 다른 영향을 줄이기 위해 레이저 선 대역의 빛만 통과시킬 수 있는 필터가 적용되었다.

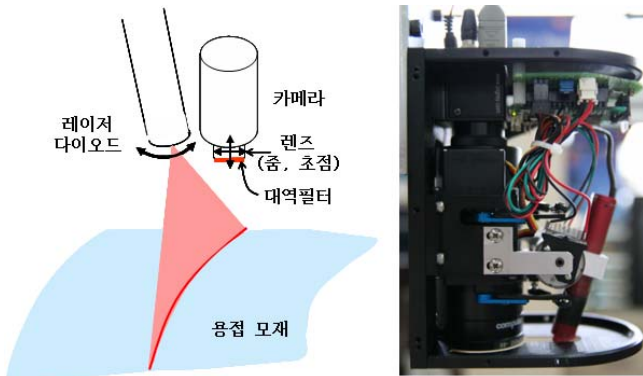


Fig. 1 Vision sensor module and its principle

모듈은 PC 기반 IEEE1394 카메라, 선형태의 레이저 다이오드, 가변 초점 줌 렌즈, 대역필터로 구성이 되어있다. 특히 본 모듈은 다양한 동작거리에서 동작하도록 설계되었다. 이를 위해 레이저 다이오드의 조사각을 조절하고, 이에 따라 선명하고 고화질의 이미지를 얻기 위해 줌과 초점을 맞출 수 있도록 동작부가 추가되었다. 조사각은 DC 모터를 줌과 초점은 RC(Radio Controlled)

서보모터를 이용하여 동작하도록 하였다. Fig. 1에 케이스를 제거한 제작된 비전센서와 동작원리를 나타내었다. 그림에서 보듯이 줌과 초점은 링크를 이용한 메카니즘을 사용하였다.

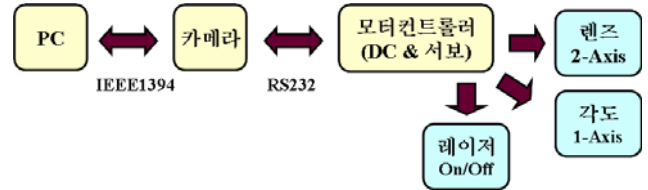


Fig. 2 Block diagram of the vision sensor module

비전센서 모듈의 제어방식은 Fig. 2와 같다. 내부에 모터 제어와 레이저 다이오드 스위칭을 담당하는 제어기가 들어 있으며 카메라에서 제공되는 RS232 시리얼 통신을 통해 명령을 받게 된다.

3. 형상 측정

획득된 이미지로부터 형상 측정을 위해서는 몇 가지 전처리와 변환 과정이 필요하다. 본 절에서는 형상 측정을 위해 필요한 과정을 순차적으로 설명하도록 한다.

레이저선 추출 - 우선 얻어진 영상에서 우리가 필요한 레이저 띠의 영상을 얻어야 한다. 이 과정에서 얻어진 이미지 좌표가 실제로 좌표계상에 쓰이게 되므로 안정적으로 레이저 영상을 얻는 것이 필수적이다. 실제좌표로 변환이 될 점을 구하기 위해 세선화 작업이 필요하며 깊이(세로)방향으로 무게 중심법을 적용하였다. 이 과정에서 영상의 전체영역에 대해 존재하는 노이즈가 있는 경우 얻어지는 좌표 값이 센터로 치우치는 경향이 있기 때문에 작은 레벨의 값은 제거를 해 주었다.

카메라 교정 - 이미지로부터 얻어진 좌표로부터 형상의 3차원 정보를 얻기 위해서는 좌표변환을 해주기 위한 파라미터를 찾는 카메라 교정이 필요하다. 일반적으로는 3차원정보가 2차원으로 투사되었기 때문에 3차원정보를 유일하게 얻는 것이 불가능하지만 여기서는 2차원 상에서 얻어지는 점들이 선형태의 레이저가 지나가는 광평면 상에 존재한다는 것을 알기 때문에 3차원정보를 유일하게 얻을 수 있다. 좌표변환은 동차좌표계상에서 선형변환(DLT: Direct Linear Transformation)²에 의해 쉽게 이루어지며, 정교하게 제작된 교정 블록을 이용하여 몇 개의 점을 교시함으로써 선형변환의 파라미터를 찾을 수가 있다.

거리조정 - 본 모듈은 앞서 기술하였듯이 가변구조를 이용하여 동작영역을 조절할 수 있는 특징이 있다. 어떤 주어진 동작영역에서의 동작은 다음과 같다. 우선 레이저 조사 각도를 동작영역에 맞게 바꾼다. 다음 원하는 정밀도를 낼 수 있도록 Field of View (혹은 줌)와 초점을 맞춘다. 본 논문에서는 원하는 정밀도가 0.3mm이므로 대략 FOV가 5mm가 되도록 하였다. 근거리에서 확대를 많이 하게 되면 반사되는 레이저의 광량이 작게 된다. 따라서 거리에 따라 카메라의 셔터스피드를 느리게 하거나 노출을 적절히 증가시켜 주는 것이 필요하다.

동작영역에 따라 앞서 설명한 카메라 교정이 달라져야 하므로 몇 가지 정해진 위치에서의 구조와 관계된 정보와 각 파라미터 값들을 미리 구해 놓았다. 본 논문에서는 물체 형상의 평균 거리에 따라 동작영역 간의 변화가 일어나도록 하였다. 또한 기계구조가 변경되는 시간이 걸리기 때문에 이 시간동안(약 100ms 미만)은

형상측정이 불가하다. 동작영역간의 변화가 잦은 경우를 대비하여 히스테리시스를 적용하였다.

3차원 시각화 - 전체 형상 정보는 메모리에 저장되고 사용자가 보기에 쉽고 직관적으로 표현해 줄 필요가 있다. 이 과정을 통해 용접 모재의 상태 진단이나 로봇 모션에 대한 얻을 수가 있다. 특히 용접이 제대로 이루어지기 위해서는 로봇 용접 헤드가 모재에 수직으로 접근하여야 하기 때문에 법선정보를 아는 것이 중요하게 된다. 이를 위해 3차원 점들로 저장되어 있는 데이터들로부터 각 점에서의 법선벡터를 구하였다. 점들이 놓여있는 위치 즉, 코너, 모서리 혹은 안쪽 영역인지에 따라 여러 가지 방향벡터를 얻고 이 벡터들의 외적을 구함으로써 법선벡터를 구할 수가 있다. 3차원 시각화는 OpenGL을 이용하여 구현이 되었으며 표면의 컬러를 깊이에 따라 달리 함으로써 그 변화를 쉽게 알 수 있도록 하였다.

4. 실험

실험 구성 - 로봇 용접에의 적용을 위해 가상의 용접 로봇을 가정하여 실험을 할 수 있도록 하였다. 3축 직교좌표 로봇에 센서를 장착하여 용접 물체를 따라 전진하면서 형상획득과 용접선 추적에 사용하는 실험을 한다. 전체적인 제어는 다음과 같이 이루어진다. USB 모터 컨트롤러가 로봇 각축을 PID 제어를 이용하여 제어를 하고 PC에서 로봇 경로를 생성하고 현재위치를 받아 센서에서 받아들이는 정보를 절대좌표로 변환하게 된다.

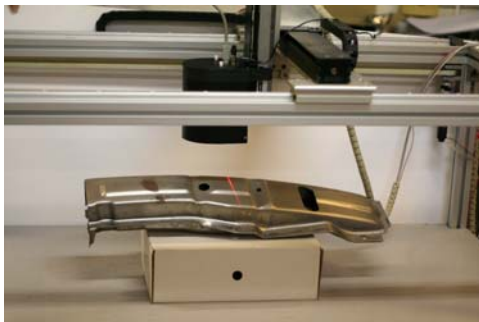


Fig. 3 Experimental setup

정밀도 실험 - 카메라 교정에 이용하였던 교정 블록을 이용하여 정밀도를 측정하였다. 로봇을 1mm씩 20mm를 전진시키면서 형상을 획득하였다. 다양한 동작영역에서의 평균 오차를 Table 1에 나타내었다. 동작거리가 짧을수록 정밀도가 향상되었는데, FOV가 동일한 조건에서 거리가 멀수록 레이저 다이오드의 조사 각이 깊이방향으로 변화가 크기 때문에 이미지 상에서의 작은 차이가 형상정보에서 큰 차이로 나타나기 때문이다.

Table 1 Average error at each working distance

동작거리 (mm)	100	150	200	250	300
오차 (mm)	0.201	0.228	0.274	0.289	0.315

Fig 4는 몇 가지 대상물들에 대한 형상 측정 결과와 이를 시각화 한 것이다. 형상정보가 비교적 부드러운 평면으로 나타나는 것을 볼 수 있으며 이로부터 법선 벡터나 겹정보 등이 비교적 정확하게 얻을 수 있었다. 하지만 곳곳에 레이저가 물체에 가려져서 형상이 얻어지지 않는 부분이 보인다. 따라서, 이를 보완해 줄 수 있는 보간법 등의 적용이 필요하다.

용접선 추적 - 마지막으로 본 시스템의 용접선 추적에의 응용 가능성을 살펴보았다. 형상 정보가 얻어지므로 이를 이용하면 용접선을 추출할 수 있다. Fig 5와 같이 완만한 커브를 가지는 맞대기 용접선을 가지는 물체를 가정하여 전진하면서 용접선 추종을 하는 실험을 수행하였다. 용접선이 그림과 같이 가운데 지점으로 추종하고 있음을 알 수 있다.

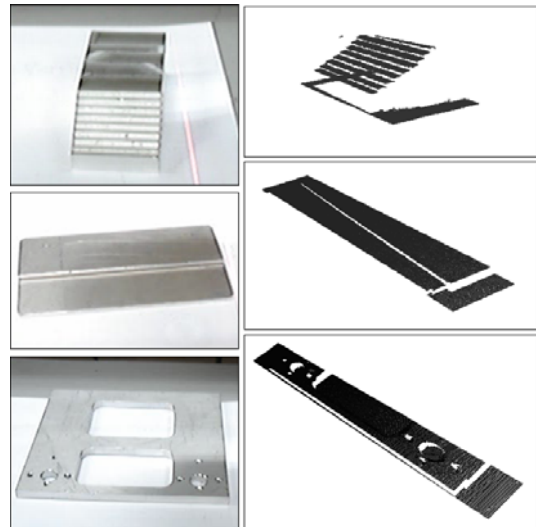


Fig. 4 Sample specimens and their profile visualization

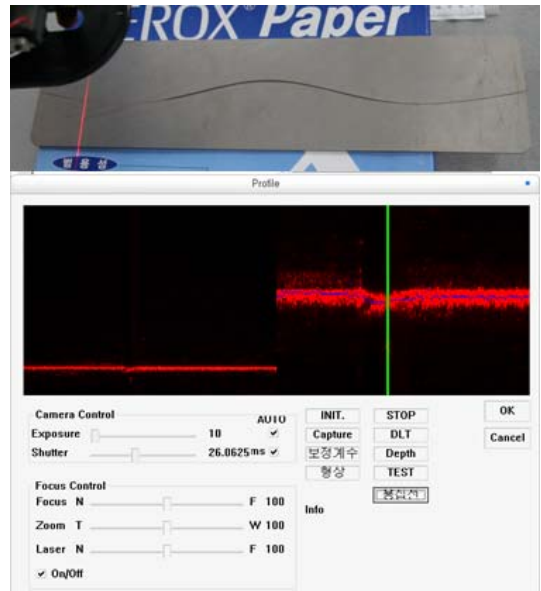


Fig. 5 Application to seam tracking

5. 결론

본 논문에서는 가변 구조를 갖는 용접 형상 측정용 시각센서 모듈의 개발에 대해 설명하고 있다. 선형태의 레이저와 카메라를 이용하여 가변구조를 통해 다양한 동작영역에서 사용가능하도록 하였다. 형상 측정과 정보추출 및 시각화를 위해 선추출, 카메라 교정, 법선추출, 용접선 추출 등 몇 가지 이미지 처리방법이 적용되었다. 실험을 통해 개발된 센서의 정밀도와 용접선 추적에의 적용가능성을 알아보았다.

추후연구에서는 공백영역의 보간법의 적용과 이미지 처리의 안정성과 효율을 높이는 것이다. 마지막으로 실제 용접로봇 적용 시험이 필요하다.

후기

본 논문은 산업자원부 성장동력사업에서 지원하여 연구하였습니다.

참고문헌

1. Forest J. and Salvi J., "A Review of Laser Scanning Three-dimensional Digitisers," IEEE Proc. of Intelligent Robots and Systems, 73-78, 2002.
2. Hartley R. and Zisserman A., Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, U.K., 2000.