

레이저 비전센서를 이용한 비드높이의 실시간 제어 및 용접선 추적에 관한 연구

A Study on Real-time Control of Bead Height and Joint Tracking Using Laser Vision Sensor

김 현 규*, 이 세 현**, 엄 기 원**

한양대학교 정밀기계공학과 대학원

한양대학교 정밀기계공학과

1. 서론

용접물의 품질은 특히 비드 폭(bead width)과 용입(weld penetration)에 의해 결정된다. 또한 이러한 요소들은 비드의 외형과 밀접한 관계를 갖는 것은 기존에 밝혀진 사실이다.

본 연구에서는 심선 추적 및 모니터링과 같은 여러 용도에 적용될 수 있는 비전 시스템을 다이오드 레이저(diode laser)와 CCD 카메라를 이용하여 구성 및 제작하였으며, 기존에 임의의 비드 폭으로부터 유추해 내는데 그쳤던 비드 높이를 용접 후가 아닌 실시간에 계측하여 수평 필릿 용접에서의 증력의 영향과 미리 교시(teaching)된 용접 경로(weld path)로부터의 각각 3°, 4°, 그리고 5° 만큼의 오프셋 각도(offset angle)로 주어지는 외란에 대하여 실시간의 비드 높이 제어 및 이를 이용한 용접선 추적이 효과적으로 수행됨을 보였다.

2. 비전 시스템 제작 및 구성

2.1 비전센서의 제작

본 연구의 실험에 사용된 비전 센서는 구조화된 빛을 이용하는 방법을 채택하여 제작하였으며 용접선 추적(weld seam tracking) 및 용접성 평가(weld quality estimation)의 두 목적에 모두 사용될 수 있도록 제작하였다. 상용화된 소형 카메라 및 다이오드 레이저를 사용하였으며 레이저 발진기로부터의 평행광(collimated beam)을 원통형의 렌즈(cylindrical lens)에 통과시켜 구조화된 빛의 한 형태인 레이저 슬릿(laser slit)을 만들어 내었다. 비전 센서의 내부 구조는 Fig. 1 과 같으며 Fig. 2 는 실제의 비전 센서가 로봇의 토치에 장착되어 있을 때의 사진이다.

2.2 시스템 구성

구성된 시스템은 Fig. 3 과 같다. DSP(TMS320C31)가 탑재된 비전 보드를 프레임 그래버 및 이미지 프로세서로 사용하였으며, 강도 4.25 mW, 파장 670 nm 의 IIIA 급의 다이오드 레이저, 소형 카메라 및 670 nm 의 파장을 갖는 간섭 필터를 사용하였다. 그림에서 보여진 용접 방향으로 용접이 진행될 때 30 mm 후방에 장착된 비전 센서는 비드와 용접선(weld seam)의 화상을 취득하여 비전 보드로 보내게 되며, 비전 보드를 통하여 이러한 화상에 필요한 화상 처리를 하고 그로부터 특징 데이터를 얻어낸다. 이 데이터는 PC 상의 퍼지 제어기(fuzzy controller)의 입력값이 되며, 제어기의 출력값은 RS232C 통신을 통하여 로봇 제어기(robot controller)에 전달되어진다. Fig. 4 는 실험상 설정된 좌표계이다.

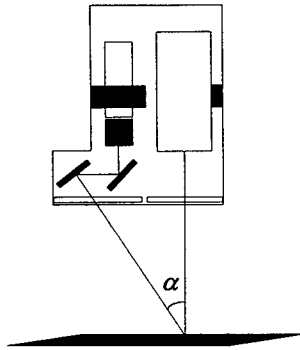


Fig. 1 Schematic diagram of vision sensor



Fig. 2 Vision sensor mounted to the welding robot

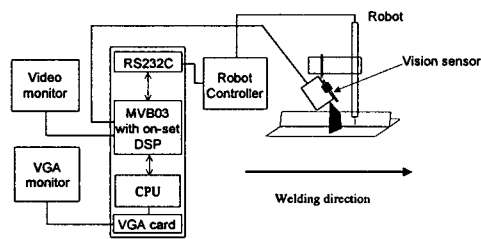


Fig. 3 System configuration

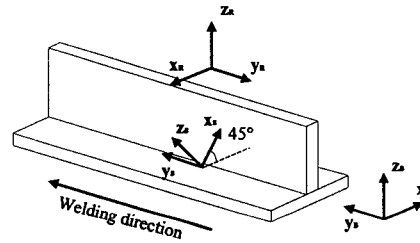


Fig. 4 Coordinate systems used in the experiment

- {B}: Base coordinate frame
- {R}: Robot coordinate frame
- {S}: Sensor coordinate frame

3. 화상 처리

본 연구에서는 백색 영역 축소(erosion)와 협대역 필터링(band-pass filtering)을 거친 화상의 200×100 로 지정된 ROI(region of interest)상의 첫번째 칼럼(column)에서 세로 방향으로 일정한 수의 픽셀들로 정의되는 윈도우를 적용하여 각 픽셀의 밝기값의 합이 최대가 되는 윈도우에서의 최대 밝기값을 갖는 픽셀의 위치를 레이저 띠의 시작 위치로 판단하고 그 다음의 칼럼 즉 u 축상에서, 그 픽셀 위치의 v 축 좌표와 동일한 좌표를 중심으로 하는 일정한 크기를 갖는 윈도우를 재적용하여 최대값을 구하며 이러한 과정을 반복하여 레이저 띠를 찾고 세선화를 수행하는 알고리즘을 적용하였다. 이러한 알고리즘은 매 화상마다 레이저를 찾기 위한 밝기값(gray value)들의 임계값을 새로 정해주어야 하는 기존의 방법보다 신속한 결과를 가능하게 하였다. 특징점으로는 제어의 입력값이 되는 최대 비드 높이를 갖는 점의 위치와 기준이 되는 필릿(fillet)의 이음점(joint point)의 위치 및 최대 비드 높이로 정의된다. Fig. 5 는

제시된 알고리즘을 개략화 하여 보여주며, Fig. 6 에는 센서 좌표계상에서 이음점(joint point)과 최대 비드 높이를 갖는 점 및 이음점의 x_s 좌표와 동일한 x_s 좌표를 갖는 비드 위의 점이 계산되어 표시되어진 이미지를 나타내었다.

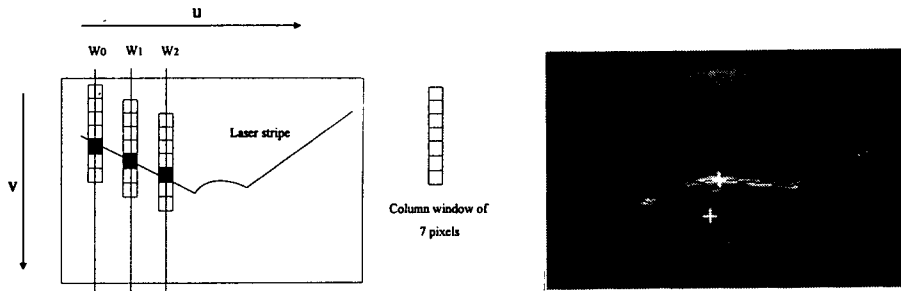


Fig. 5 Schematic diagram of laser stripe finding Fig. 6 Processed image and the found feature points and thinning algorithm

4. 실험

실험에는 앞서 제시된 바와 같이 제작된 비전 시스템을 사용하였다. 이 비전 시스템은 토치(torch) 뒤 30 mm 후방의 위치에서 비드의 외형 치수를 측정하며, 이 측정된 데이터는 용접시 열로 인한 모재의 뒤틀림(warping) 등과같이 비선형적이고 정확히 정의되지 않는 공정을 포함하는 분야에 적용되도록 제작된 퍼지 제어기에 입력값으로 주어진다. 제어기는 출력값을 RS232C 를 통하여 로봇 제어기(robot controller)에 보내게 되며 출력값은 토치의 실 좌표상에서의 x, z 의 변위량(shift quantity)으로 주어진다. 퍼지 변수를 경험적으로 설정해주기 위하여 실제 용접을 수행하면서 주어진 용접 조건에서 얻어지는 최적의 비드의 외형 치수를 구하였으며, 이러한 과정을 반복하여 퍼지 변수 및 기준 입력값(reference input)을 설정하였다. 외란으로는 수평 필릿 용접에서 흔히 나타나는 현상인 비드의 처짐을 유발하는 중력의 영향과 실제의 용접선과 로봇에 교시된 용접선 사이에 강제로 설정된 오프셋 각도(offset angle)를 고려하였으며, 각각 3°, 4°, 5°에 대하여 실험을 하였다.

5. 결과 및 고찰

강한 아크광과 스페터 등의 노이즈에도 불구하고 효과적으로 비드를 검출하였으며, 응용에 맞게 제작된 차광막의 사용으로 강제 설정된 오프셋 각도를 갖는 용접선(weld path)을 아크광의 영향에 무관하게 효과적으로 추적하였다. 또한, 카메라의 시야(field of view)에 침입한 스페터 노이즈는 알고리즘상으로 구현한 협대역 필터(band-pass filter)와 백색 영역 축소 필터(erosion filter)를 사용하여 제거할 수 있었다. 용접선 추적의 과정에서 9mm 두께의 필릿 용접 시편에서 육안으로도 확인될 수 있는, 열변형으로 인한 시편의 뒤틀림(warping)과 변형이 있었으며 주어진 외란과 더불어 고려되었다. Fig. 7 은 5°의 오프셋 각도에서 비드의 높이를

일정하게 제어하며 용접선(weld seam)을 추적했을 때의 용접 결과이다. Fig. 8은 이때의 용접 방향에 따른 센서 좌표 x_s, z_s 를 3차원 좌표계로 나타낸 것이다. 계측의 기준이 되는 용접선과 레이저 슬릿과의 교차점은 O으로, 설정된 각도 내에서 이 점으로부터 가장 먼 거리에 존재하는 비드 표면상의 점은 *로 나타내었다. 외란에 의해 바뀌는 교차점의 좌표에 대해 최대의 비드 높이값을 갖는 비드 표면상의 점들이 일정한 간격을 갖도록 제어가 되고 있음을 알 수 있다.



Fig. 7 Controlled experiment result against 5 degrees deviation in horizontal fillet welding

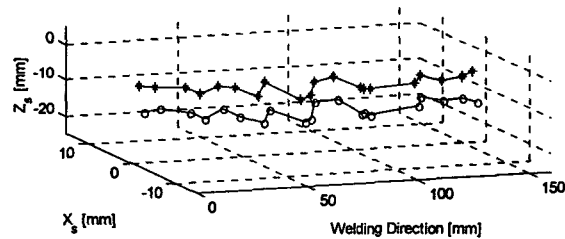


Fig. 8 Controlled x, z coordinate values against 5 degrees deviation

6. 참고 문헌

- [1] P. Banerjee, B. A. Chin, "Gradient technique for dynamic bead width control in robotic GTAW", Trends in welding research, 1995.
- [2] P. L. Taylor, et al., "An integrated optical sensor for GMAW feedback control", Trends in welding research, 1995.
- [3] R. J. Barnett, G. E. Cook, A. M. Strauss, "A vision-based weld quality evaluation system", Trends in Welding Research, Proceedings of the 4th International Conference, 5-8 June 1995
- [4] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown, "Computer vision", Prentice-Hall, Inc.
- [5] Timothy J. Ross, "Fuzzy logic with engineering applications", McGraw-Hill, Inc.