

공장 자동화를 위한 영상 처리 기반 위치와 자세 측정 연구

김근영¹, 강민국¹, 류준성¹, 심형철¹, 권진혁², 권성오^{1,2}

울산대학교 전기공학부¹, 전기전자컴퓨터공학과²

{zeus44556, alsrnr1032, fbwns6789, shyug6048}@naver.com, wkehd0301@gmail.com, sungoh@ulsan.ac.kr

Location and Posture Measurement Using Image Processing For Factory Automation

Geunyoung Kim¹, Minguk Kang¹, Junseong Ryu¹, Hyeongcheol Sim¹, Jinhyuk Kwon², Sungoh Kwon^{1,2}

School of Electrical Engineering¹, Department of Electrical, Electronic, and Computer Engineering², University of Ulsan

요약

본 연구는 정밀 용접 공정에서 필요한 작업 영역의 위치와 자세를 측정하기 위한 영상처리 기반 측정 방안을 제안한다. 제안한 방안은 카메라 및 레이저로 구성되며, 영상 처리 알고리즘을 통해 레이저 포인트가 조사된 작업 영역의 중심 좌표와 기울기를 계산한다. 획득된 영상은 전처리, 기하학적 정보 계산 및 지수 이동 평균(EMA) 기반의 데이터 안정화 단계를 거쳐 카메라로부터의 작업 영역까지의 상대 위치와 작업 영역의 기울기를 도출한다. 실험 결과, 제안한 시스템과 알고리즘의 성능을 검증하였다.

I. 서론

4차 산업혁명 시대에 제조업은 사이버 물리 시스템과 인공지능, 사물인터넷(IoT) 기술의 융합을 통해 지능형 생산 체계를 갖춘 스마트 팩토리로 빠르게 전환되고 있다^[1]. 이러한 변화는 단순 자동화를 넘어, 공정 데이터를 실시간으로 수집·분석하여 오차를 제어하는 방향으로 발전하고 있으며, 이에 따라 정밀 측정 기술이 스마트 제조의 핵심이 되고 있다. 특히 정밀 용접과 같은 고정밀 공정에서는 부품 간 위치가 수 mm만 어긋나도 품질 저하와 불량률 증가로 이어지므로, 정확한 위치 측정 기술이 필수적이다.

정밀 거리 측정을 위해 레이저 센서가 제안되었다^[2]. 레이저 거리 센서는 지정된 위치까지의 거리만 측정 가능하므로, 작업 대상의 위치 정보를 얻을 수 없다. 따라서, 용접과 같이 3차원 작업을 위한 측위가 필요한 공정에서 활용의 한계가 있다.

위치 정보를 위해 3D 카메라를 활용한 측정 방안이 제안되었다^[3-4]. 다중의 카메라와 삼각 측량법을 활용하여 객체의 3차원 위치를 측정한다. 그러나 다중 카메라를 사용하므로 시스템 구성이 복잡해지고 카메라의 왜곡 및 비틀림으로 인한 누적 오차가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 카메라와 레이저로 구성된 시스템에서 영상 처리 기법을 활용하여 위치와 각도를 측정하는 방안을 제안한다.

II. 본론

2.1. 전체 시스템 구성

본 논문은 영상처리 알고리즘을 이용하여 레이저 포인트의 위치와 작업 영역(Object)의 기울기를 측정하기 위한 연구로서, [그림 1]과 같이 카메라, 레이저, 그리고 작업 영역으로 구성된다. 레이저는 평면에 원형과 십자 패턴을 작업 영역에 투사하고, 카메라는 이를 촬영하여 영상 데이터를 획득한다. 측정된 카메라로부터 작업 영역까지의 상대 위치와 작업 영역의 기울기는 용접로봇의 제어부로 전송된다.

2.2. 제안 방안

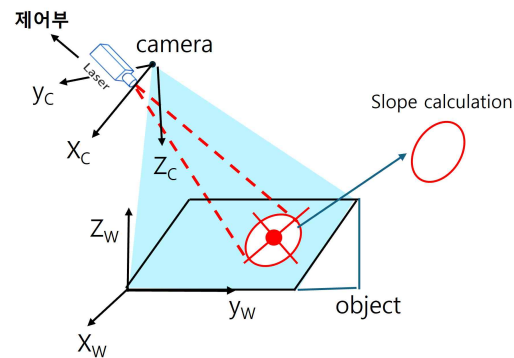


그림 1 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 영상 전처리 및 특징 추출, 기하학적 정보 계산, 데이터 안정화의 3단계로 구성된다. 1단계에서는 카메라로부터 영상을 획득하면, 영상의 가우시안 필터링, 임계값 처리와 같은 전처리를 시행한 후 식별된 윤곽선에 레이저 스폿의 형태를 가장 잘 나타내는 타원의 특징(타원의 중심 좌표(X_c, Y_c), 장축(L_{major}) 및 단축(L_{minor})의 길이)을 추출한다. 추출된 타원의 특징을 바탕으로 주요 기하학적 파라미터인 위치와 각도 정보를 계산한다(2단계). 위치 정보는 타원의 중심 좌표로 구성되며 레이저 스폿의 2D 평면상 위치를 나타낸다. 각도 정보는 타원의 장축과 단축 길이의 비율을 이용하여 투사된 표면의 상대적 기울기 각도를 나타내며 아래 수식 (1)과 같다.

$$\theta = \arccos\left(\frac{L_{minor}}{L_{major}}\right) \quad (1)$$

마지막 3단계에서는 추정된 타원의 위치 정보와 각도 정보는 지수 이동 평균(Exponential Moving Average, EMA)을 적용하여 측정값의 시간적 변동을 완화하고 데이터의 안정성을 확보한다. 실시간으로 계산된 위치 좌표와 기울기 각도는 최종적으로 영상 화면에 출력되어, 사용자에게 현재 상태에 대한 정량적인 데이터를 시각적으로 제공한다.

III. 실험결과

본 절에서는 영상 기반 측정 알고리즘의 성능을 확인하기 위해, 표면의 기울기 측정 정확도 실험과 레이저 스폿의 위치 측정 정확도 실험, 두 가지 실험을 연산 장치로 NVIDIA 젯슨 나노, 원형과 십자가 교차된 레이저와 CSI 카메라 모듈을 사용하였다. 영상 데이터는 1280×720의 해상도와 30 fps의 프레임레이트 조건에서 획득하였으며, 조명은 실내 고정광아래 균일한 조도로 유지하였다. 카메라는 (0, 0, 250mm)에 위치하고 평면 작업 영역(모니터)은 XY평면에 위치하였다.

3.1. 기울기 각도 측정 실험

정밀하게 각도를 조절할 수 있는 평면에 레이저를 투사하고, 실제 물리적 각도와 본 시스템이 측정한 각도를 비교하여 알고리즘의 정확도를 평가하였다. [그림 2] 은 각각 0°, 30°, 45°, 60°로 설정된 평면에서의 측정 결과를 보여준다.

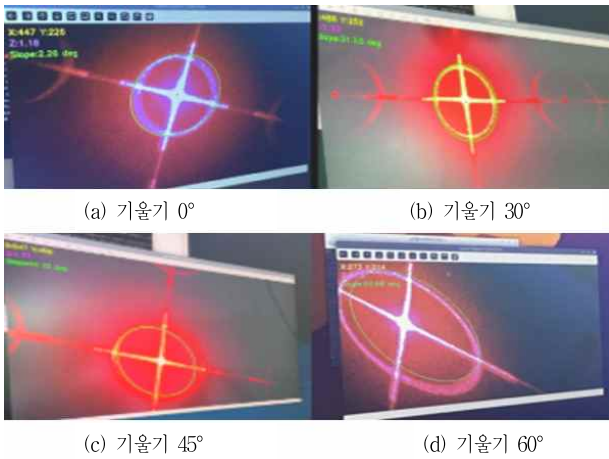


그림 2 각도별 평면에 나타나는 레이저 형태

기울기 각도가 0°일 때, 2.26°로 측정되었다. 30°로 기울어진 평면에 투사된 레이저 스폿은 원형에서 약간 길어진 타원 형태로 31.53°로 측정되었다. 기울기 각도 45°에서 44.12°로 측정되었으며, 60°로 기울어진 평면에서 60.68°로 측정되었다. 각도에 따른 기울기 측정 결과([표 1]) 기울기가 클수록 두 축의 길이(L_{major} 와 L_{minor}) 차이가 커져서 정확도가 더 높았다.

표 1 각도에 따른 측정 결과

실제 각도	0°	30°	45°	60°
측정 각도	2.26°	31.53°	44.12°	60.68°
측정 오차	2.26°	1.53°	0.88°	0.68°

3.2. 위치 좌표 추적 실험

제안한 방안의 위치에 따른 측위 성능을 평가하기 위해, 카메라가 고정된 상태에서 XY평면에 조사한 레이저의 위치를 변화하였을 때의 상대적 위치 측정 성능을 실험하였다. 이를 위해 (0, 0, 250)에 카메라를 고정하고, (108, 86, 0)과 (124, 86, 0)의 선분 사이에 x-좌표를 달리하여 네 점(그림 3)에 대한 위치를 측정하였다. 측정 결과(표 2) 거리가 증가할수록 오차가 1mm에서 2.2mm로 증가하였다.

표 2 X 좌표 이동에 따른 측정 결과(단위: mm)

실제 위치	(108, 86)	(113, 86)	(119, 86)	(124, 86)
측정 위치	(109, 86)	(114, 87)	(119, 88)	(125, 88)
측정 오차	1	1.4	2	2.2

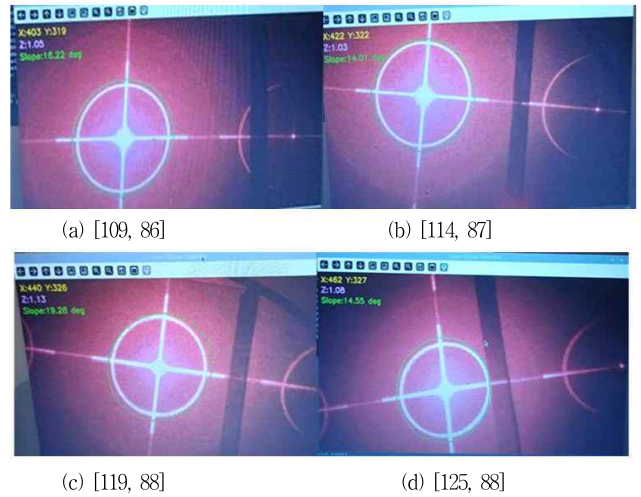


그림 3 위치 이동에 따른 좌표

IV. 결론

본 논문에서는 정밀 용접 공정의 자동화를 위해 영상 처리 시스템을 기반으로 한 실시간 측정 시스템을 제안하고 구현하였다. 제안된 시스템은 레이저 패턴의 기하학적 분석을 통해 작업 영역의 기울기와 위치를 측정하였다. 본 연구 결과는, 향후 용접 공정의 자동화와 품질 향상에 효과적으로 활용될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2025년도 울산대학교 글로벌대학추진단 BTS 프로그램과 2025년도 교육부 및 울산광역시의 재원으로 울산RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE) 사업(2025-RISE-07-001)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] J. Lee, B. Bagheri, and H. A. Kao, "A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems," *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18-23, 2015.
- [2] K. Konolige, J. Augenbraun, N. Donaldson, C. Fiebig and P. Shah, "A low-cost laser distance sensor," 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Pasadena, CA, USA, 2008, pp. 3002-3008
- [3] Y.-J. Go, S. Kwon, and S.-E. Cheon, "Real-time indoor positioning with multiple cameras," *J. KICS*, vol. 45, no. 9, pp. 1612- 1622, 2020.
- [4] J.-H. Kwon, S.-M. Kim and S. Kwon, "3-Dimensional Location and Posture Measurement Using Images for Drones", *J. KICS*. vol. 50, no.10, 2025.