

삼면반사체를 이용한 6 자유도 미소 변위 측정

Measurement of Fine 6-DOF Displacement using a 3-facet Mirror

°박원식*, 조형석**, 변용규***, 박노열***

* ㈜만도 기술연구소(Tel : +82-31-680-5288; Fax : +82-31-680-5481; E-mail : pws@lca.kaist.ac.kr)

** 한국과학기술원 기계공학과(Tel : +82-42-869-3213; Fax : +82-42-869-3210; E-mail : hscho@lca.kaist.ac.kr)

*** 삼성종합기술원 정밀기계 Lab(Tel : +82-31-280-9226; Fax : +82-31-280-6955; E-mail : nypark@sait.samsung.co.kr)

Abstracts In this paper, a new measuring system is proposed which can measure the fine 6-DOF displacement of rigid bodies. Its measurement principle is based on detection of laser beam reflected from a specially fabricated mirror that looks like a triangular pyramid having an equilateral cross-sectional shape. The mirror has three lateral reflective surfaces inclined 45° to its bottom surface. We call this mirror 3-facet mirror. The 3-facet mirror is mounted on the object whose 6-DOF displacement is to be measured. The measurement is operated by a laser-based optical system composed of a 3-facet mirror, a laser source, three position-sensitive detectors(PSD). In the sensor system, three PSDs are located at three corner points of a triangular formation, which is an equilateral triangular formation lying parallel to the reference plane. The sensitive areas of three PSDs are oriented toward the center point of the triangular formation. The object whose 6-DOF displacement is to be measured is situated at the center with the 3-facet mirror on its top surface. A laser beam is emitted from the laser source located at the upright position and vertically incident on the top of the 3-facet mirror. Since each reflective facet faces toward each PSD, the laser beam is reflected at the 3-facet mirror and splits into three sub-beams, each of which is reflected from the three facets and finally arrives at three PSDs, respectively. Since each PSD is a 2-dimensional sensor, we can acquire the information on the 6-DOF displacement of the 3-facet mirror. From this principle, we can get 6-DOF displacement of any object simply by mounting the 3-facet mirror on the object. In this paper, we model the relationship between the 6-DOF displacement of the object and the outputs of three PSDs. And, a series of simulations are performed to demonstrate the effectiveness of the proposed method. The simulation results show that the proposed sensing system can be an effective means of obtaining 3-dimensional position and orientation of arbitrary objects.

Keywords 3-dimensional pose, 6-DOF displacement, 3-facet mirror, optical metrology, position-sensitive detector

1. 서론

기구적으로 구속되지 않은 강체는 6 자유도의 운동이 가능하다. 따라서 어떠한 강체의 운동을 엄밀히 기술하기 위해서는 6 개의 자유도에 대한 측정치를 구해야 한다. 일반적으로 6 자유도의 운동은 x, y, z 병진이동과 roll, pitch, yaw 회전운동으로 나뉜다. 6 자유도 운동을 측정하기 위해 컴퓨터 비전, 마스터-슬레이브(master-slave) 시스템의 마스터 기구, 관성 측정 장치와 같은 방법들이 개발되어 사용되고 있다.

시각인식 방식[1,2]은 카메라 영상에서 추출하기 쉽도록 설계된 특징적인 패턴 또는 물체를 측정대상에 부착하여 이를 인식하여 상대적인 위치와 자세를 구하는 방법이다. 이동로봇 주행시의 랜드마크나 슬릿 레이저광을 이용한 거리측정 등이 이러한 시각인식 방법의 예이다. 그러나 범용성이 뛰어난 반면에 측정의 정밀도는 수 mm 또는 수백 μm 정도에 그치는 현실이다.

마스터-슬레이브(master-slave) 시스템[3,4]에서 마스터(master)는 6 자유도 운동을 슬레이브로 전달하기 위한 일종의 6 자유도 입력 수단이다. 따라서 6 자유도 운동을 측정하는 것으로 생각할 수 있다. 일반적으로 마스터 기구는 링크와 링크 사이의 조인트에 엔코더를 장치하여 6 축 조인트의 엔코더 출력을 획득하여 마스터 기구의 6 자유도 운동을 산출한다. 따라서 이러한 측정방법의 측정 정밀도는 수 mm 에서 수백 μm 정도로 로보트의 정밀도와 유사하다.

항공기, 이동로봇 등의 자세와 위치를 예측하는데 사용되는 가속도계와 자이로스코프[5,6]는 6 자유도의 측정이 가능한 대표적인 장치이다. 그러나 이 방법은 시간의 흐름에 따라 오차가 누적되는 단점이 있어 정밀 측정에 적용되기 어렵다.

정밀도의 측면을 고려할 때, 광학적인 계측방법[7,8]은 앞에서 설명된 방법들보다 유리한 장점을 갖는다. 일반적으로 많이 사용되는 간섭계, LDV 등의 측정기는 현재 수십 nm 정도의 정밀도를 보이는 실정이다. 그러나 이러한 장비들은 기본적으로 1 차원의 길이를 측정하기 위한 것들이기 때문에 이들을 사용

하여 각도, 3 차원 위치 등을 측정하기 위해서는 매우 복잡하고 까다로운 광학계를 구성해야 하며, 따라서 적용대상에도 상당한 제약이 따른다.

이와 같이, 기존의 측정방법으로는 정밀측정과 6 자유도 운동에 대한 정보 획득을 동시에 구현하기 어렵다. 본 논문에서는 이러한 요구를 충족하기 위한 새로운 센서 시스템을 제안하고자 한다. 제안되는 측정장치는 삼각뿔 형상으로 고안된 반사체와 3 개의 PSD (position sensitive detector), 레이저 광원 등으로 구성된다. 본 논문에서는 제안되는 측정장치를 모델링하고 모의 실험을 통하여 측정원리를 검증한다.

2. 측정원리

2.1 측정시스템 구성

그림 1 은 본 논문에서 제안하는 6 자유도 변위 측정 장치의 구성도이다. 레이저 광원을 출발한 레이저 광선은 삼각뿔 형상의 반사체의 정상부분에 입사하게 되어 있다. 삼각뿔은 레이저 광선에 노출되는 삼면이 거울면으로 되어 있기 때문에 레이저 광선은 그림 2와 같이 세 갈래로 갈라져 반사되어 나간다. 본 논문에서는 이 삼각뿔을 삼면반사체라 한다. 반사된 세 갈래의 레이저 광선은 각각 2 차원 소자인 PSD (position sensitive detector)에 입사한다. 이때 세 갈래의 레이저 광선은 삼면반사체의 위치와 자세에 따라 2 차원 PSD 에 맺히는 위치와 광량이 변한다. 본 논문에서는 세개의 PSD 에 맺힌 광점의 좌표와 입사 광량을 이용하여 삼각뿔의 위치와 자세를 측정한다. 따라서 삼면반사체는 레이저 광선의 내부에서만 측정될 수 있다.

2.2 센서 모델

삼면반사체의 6 자유도 위치와 자세의 변화에 의해 3 개 PSD 에 맺힌 레이저 광점의 위치와 광량 간의 관계를 구하기 위해 본 논문에서는 광선추적(ray tracing)을 기초로 한 모델을 구한다. 본 모델은 삼면반사체의 위치와 자세가 주어진 것을