

PSD센서를 이용한 모션캡처센서의 정밀도 향상을 위한 보정에 관한 연구

A Study on the Sensor Calibration of Motion Capture System using PSD Sensor to Improve the Accuracy

최훈일*, 조용준**, 유명기***
Hun-Il Choi, Yong-Jun Jo, Young-Kee Ryu

Abstract - In this paper we will deal with a calibration method for low cost motion capture system using psd (position sensitive detection) optical sensor. To measure the incident direction of the light from LED emitted marker, the PSD is used the output current ratio on the electrode of PSD is proportional with the incident position of the light focused by lens. In order to detect the direction of the light, the current output is converted into digital voltage value by opamp circuits peak detector and AD converter with the digital value the incident position is measured. Unfortunately, due to the non-linearly problem of the circuit poor position accuracy is shown. To overcome such problems, we compensated the non-linearly by using least-square fitting method. After compensated the non-linearly in the circuit, the svstem showed more enhanced position accuracy.

Key Words : PSD Sensor, Motion Capture Calibration, Precision improvement, Stereo Vision

1. 장 서론

최근 들어 멀티미디어 기술의 가속화로 인하여 산업 현장이나 게임, 영화 속에서 물체의 3차원적인 표현이 많이 요구되어진다. 3D 게임이나 영화 속에서 사용되는 3차원 표현 기술은 가상의 세계를 현실적으로 표현하기 위해 쓰이며, 산업 현장에서는 로봇의 제어를 쉽게 하기 위해 3차원으로 표현을 한다. 3차원으로 표현하기 위한 방법으로 모션캡처시스템을 사용하여 오브젝트의 위치와 동작을 캡처하고 캡처된 데이터를 컴퓨터로 3차원 모델에 맵핑시키는 방법은 3차원 표현 기법 중에서도 많은 관심을 받고 있다.

본 논문에서는 동작이 자유롭고 고속의 처리속도로 실시간 처리가 가능한 광학 방식 중에서 고가의 고속 카메라 대신 저가의 PSD센서를 사용하여 저가의 광학방식 모션 캡처 시스템을 구성하였다. 하지만 PSD모션캡처 시스템의 PSD센서에서는 동일 위치의 마커에 대해서 광량의 변화에 따라 마커의 위치가 다르게 인식되어 마커의 좌표가 이동한 것처럼 데이터가 출력된다. 이러한 문제점을 보정하여 PSD센서의 정밀도를 향상시키는 연구를 하였다.

2. 장 시스템 구성

시스템의 구성은 PSD 센서부와 발광 마커부로 이루어졌

다. 본 장에서는 시스템의 하드웨어적인 구조와 구동방식에 대한 설명을 하였다.

2.1 절 PSD 센서부

그림 1은 PSD센서부의 외형으로써 PSD센서부는 광학계와 제어부로 이루어져 있다. 광학계는 렌즈와 적외선 필터로 구성되어 있으며 필터를 통해 발광마커의 적외선만 통과시켜 외부 광에 강인하게 설계되었다. 제어부는 적외선 LED를 제어하며 여러 개의 발광모듈에서 시분할 방식을 통하여 시점이 다르게 발광되는 발광마커들이 각각의 타이밍에 동기 하여 광량의 값을 획득하고 이를 디지털로 변환하여 컴퓨터로 전송 한다.

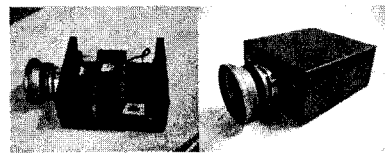


그림 1 PSD 센서부 외형

2.2 절 발광 마커부

발광마커의 구성은 크게 세 부분으로 구분된다. PSD센서로부터 발광마커의 동작신호를 수신하고 수신한 신호를 분석하여 각각의 타이밍에 맞춰 발광마커를 동작시키는 제어부, 위치표시를 위해 적외선을 발광하는 광구동부, 구동을 위한 전원을 공급하는 전원부로 구성된다. 그림 2는 광량변화에 따른 마커의 위치오차 실험에 사용된 캘리브레이션 패턴이다. 각 마커간의 간격 V와 H는 각각 15Cm로 제작 되었으며 각 마커는 8개의 LED를 사용하여 약 4m의 최대 거리에서도 PSD센서에 광 신호가 전달되도록 제작하였다.

저자 소개

- * 崔 薰 日 : 鮮文大學 電子工學科 碩士課程
- ** 趙 龍 潛 : 鮮文大學 電子工學科 碩士課程
- ***柳 英 基 : 鮮文大學 情報通信工學科 教授

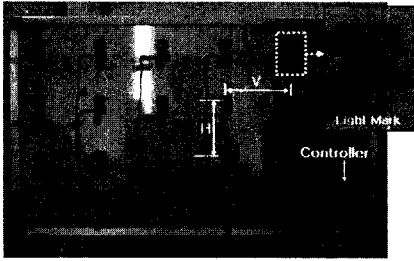


그림 2 켈리브레이션 패턴과 발광 마커

3. 장 연구 내용

동일 거리의 마커에서 광량이 변화했을 경우 PSD센서에서는 마커가 이동한 것처럼 보이는 문제점이 발생한다. 그림 2의 켈리브레이션 패턴에서 마커의 LED 개수를 감소시키면서 광량에 따른 마커의 위치변화를 실험 하였다. 그림 3은 PSD센서로부터 1.2m 거리의 마커를 측정한 실험 결과이다. 그림 3에서 마커의 LED 개수가 줄어 광량이 감소하면 PSD센서의 중심에서 멀어지는 현상을 관찰할 수 있다. 그림에 표시된 원은 각 마커 별로 광량이 줄었을 때 측정된 거리를 지름으로 표시한 것이다. PSD센서의 중심은 광량변화에 따른 마커의 좌표 오차가 적으며 중심에서 멀어 질수록 마커의 광량 차이에 의한 좌표 오차가 크다.

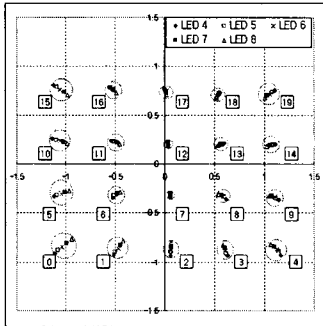


그림 3 LED의 수에 따른 위치 변화

거리 1.2m에서 광량의 변화에 따른 마커의 좌표 오차에 대한 실험 데이터 중 0번과 4번 마커의 최대 이동거리는 표 1과 같다. 광량에 따른 마커의 최대거리는 그림 3에 보이는 원의 지름이다.

마커 번호	광량변화에 따른 마커의 좌표 변화 최대 거리(R)
	$R = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}$
0	0.2252
4	0.1483

표 1 LED의 수에 따른 위치 변화 값

같은 위치의 마커에서 광량에 따라 마커의 좌표 오차가 생기는 원인을 찾기 위해서 PSD센서 드라이버를 확인해 보았다.

그림 4는 PSD모션캡처시스템의 회로도 일부분이다. 회로에서 나오는 파형을 관찰하기 위해 각 파트 별로 오실로스코프를 이용하여 파형을 측정하였다. 그림 4의 회로도도 보며

①은 마커로부터 나온 광이 PSD센서에서 전류로 변환되어 출력되는 부분으로 전류 값이 작아 측정이 어렵다. 그러므로 전압으로 변형 되는 ②부터 출력된 파형을 측정하였다.

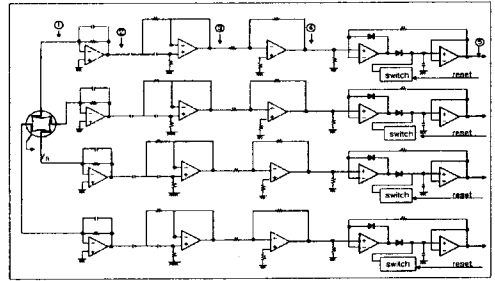


그림 4 PSD 센서부 회로도

그림 4의 ②는 전류가 OP Amp를 거쳐 전압으로 변환된 파형이 출력이 되고 ③은 LED 점멸에 의한 변화만 통과 하고 주변광의 영향을 줄여주는 역할을 하는 High-pass filter를 거쳐 나온 파형이 출력된다. ④는 반전증폭회로를 통해 전압을 증폭시킨 출력 파형이 나온다. ④에서 나온 출력파형이 피크 디텍터 회로를 통해 피크값을 잡아 주어 ⑤에서 출력으로 나온다. 이렇게 나온 아날로그 값이 A/D변환기를 통해 디지털 값으로 변환해 준다. 그림 4의 ②, ③, ④, ⑤는 그림 5의 A, B, C, D와 같은 파형으로 출력이 된다.

그림 5의 파형을 보면 입력 전압이 높아지면 A/D 변환기

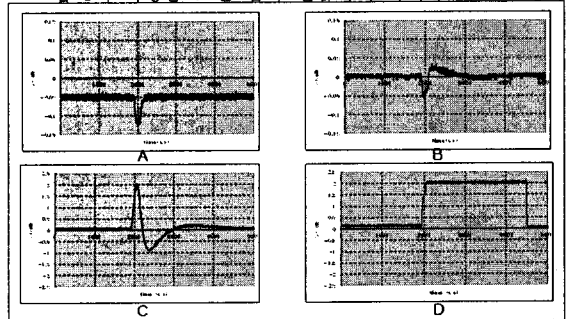


그림 5 PSD 센서부의 출력 신호

를 통해 디지털 값으로 변환이 되는 값들도 선형적으로 높아져야 한다. PSD센서 회로에서 입력 전압에 대해 출력되는 디지털 값이 선형으로 출력되는지 알아보기 위해 그림 4의 ②에 신호발생기에서 나오는 신호에 전압을 높여가며 실험을 하였고 그림 6과 같은 결과가 나왔다.

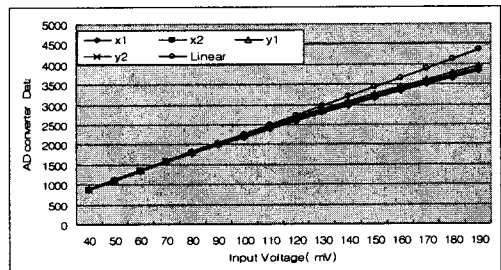


그림 6 신호발생기를 이용한 이상적인 ADC 결과 모델

그림 6을 보면 PSD센서의 값이 선형인 직선과 비교 하였

을 때 선형적이지 않고 전압이 높아질수록 비선형이 된다. 선형적이지 않은 광량의 데이터로 인해 동일한 위치의 마커에서 광량이 변했을 경우 마커의 좌표가 이동하여 오차가 생긴다. 이러한 오차를 줄이기 위해서는 전압 값의 변화에 대한 광량 데이터가 선형이 되어야 한다. 광량에 대한 전압 값이 선형이 되려면 데이터 보정을 통해 광량의 데이터를 선형으로 만들어 주어야 한다. 비선형인 광량 데이터를 선형으로 보정해 주기 위해서 PSD센서의 출력전극에서 나오는 광량에 대해 각각 보정 함수를 만들어 보정을 한다.

출력전극	보정 함수
x1	$1.94e^{-8x^3} - 5.57e^{-5x^2} + 1.07x + 29.67$
x2	$1.66e^{-8x^3} - 3.47e^{-5x^2} + 1.01x + 11.25$
y1	$1.60e^{-8x^3} - 3.85e^{-5x^2} + 1.01x - 1.09$
y2	$1.65e^{-8x^3} - 3.95e^{-5x^2} + 1.01x + 12.19$

표 2 광량에 대한 전압의 값을 선형화하기 위한 보정 함수

표 2는 광량에 대한 전압 값을 선형적으로 보정해 주기 위해서 구한 보정 함수이다. 4차 이상의 고계도 함수는 오차보정에 대한 차이가 적어 3차 보정 함수를 사용하여 보정을 하였다. 그림 7은 표 2의 보정 함수를 사용하여 PSD센서와의 거리 1.2m에서 광량변화에 따른 마커의 좌표 이동을 측정 한 그래프이다. 그림 7을 보면 좌표의 이동을 나타내는 원의 크기가 줄어든다는 것을 관찰 할 수 있다.

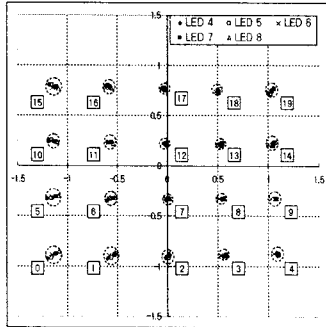


그림 7 보정 함수에 의한 오차감소

표 3을 보면 보정 함수를 통해 광량의 변화에 따른 마커의 최대 이동 거리를 볼 수 있다.

마커 번호	광량변화에 따른 마커의 좌표 변화 최대 거리(R)
	$R = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}$
0	0.1396
4	0.0374

표 3 보정함수를 통한 마커의 위치 변화

보정 전과 후를 비교하기 위해 그림 8에서는 보정 전과 보정 후 데이터를 비교하였다. 그림 8을 보면 원의 크기 변화를 통해 보정 함수를 사용한 값이 보정 함수를 사용하지 않은 값보다 광량의 변화에 따라 마커 좌표의 이동이 현저하게 줄어든 것을 관찰 할 수 있다.

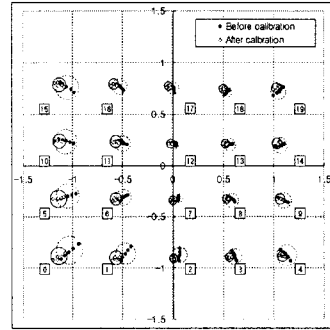


그림 8 보정 전과 후의 마커 위치 비교

표 4를 보면 보정 전 마커의 최대 이동거리와 보정 후 마커의 최대 이동거리를 비교해 놓았다. 마커 0번 같은 경우 보정 전에는 광량 변화에 따른 마커의 최대 변화 거리가 0.2252이고 보정 후에는 최대 변화 거리가 0.1396으로 광량에 따른 마커의 좌표 변화가 줄어든 것을 확인하였다.

마커 번호	보정 전 최대 거리	보정 후 최대 거리
0	0.2252	0.1396
4	0.1483	0.0374

표 4 보정 전과 후의 거리오차 비교

4. 장 결론

하드웨어 특성상 광량에 대한 전압이 선형적이지 않지만 보정 함수를 사용해 전압 값에 대한 광량의 데이터를 선형적으로 보정하였다. 이렇게 보정된 데이터를 사용하여 마커의 좌표를 계산 하였을 때 광량의 변화에도 마커의 좌표 이동 오차가 작아졌다. 이렇게 보정된 마커의 좌표를 가지고 Tsai의 카메라 보정 방법을 이용하여 인자들을 얻고 스테레오 비전을 사용하여 3차원 데이터를 복원 한다면 보다 정확한 3차원 좌표값을 얻을 것이다.

참고 문헌

- [1] Roger Y. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Camera and Lenses", IEEE Journal of Robotics and Automation, No. 4, August, 1987
- [2] 이준호, "PSD를 이용한 실시간 3차원 모션캡처 시스템 개발", 전문 대학교 대학원 전자공학석사학위논문, 2003
- [3] 김상진, "실용 OP앰프로 디지털 회로", 성안당, 2002