

PSD센서모듈 기반 단안 모션캡처 시스템

PSD Sensor Module Based Monocular Motion Capture System

*김유진, **유영기, ***오춘석

*Kim Yu-Geon, **Ryu Young-Kee, ***Oh Choon-Suk

Abstract - This paper describes a monocular PSD-based motion capture sensor to employ with commercial video game systems such as Microsoft's XBOX and Sony's Playstation II. The system is compact, low-cost, and only requires a one-time calibration at the factory. The system includes a PSD(Position Sensitive Detector) and active infrared (IR) LED markers that are placed on the object to be tracked. The PSD sensor is placed in the focal plane of a wide-angle lens. The micro-controller calculates the 3D position of the markers using only the measured intensity and 2D position on the PSD. A series of experiments were performed to evaluate the performance of our prototype system. From the experimental results we see that the proposed system's compact size, low-cost, ease of installation, and high frame rates are suitable for high speed motion tracking in games.

Key Words : PSD, Motion Capture, Video Game Interface, Calibration

1. 서론

본 논문은 마이크로소프트(Microsoft)사의 XBOX나 소니(Sony)사의 Playstation II과 같은 상업용 비디오게임의 인터페이스로 사용할 수 있는 모션입력장치로 PSD(Position Sensitive Detector)센서 기반의 단안 모션캡처 시스템에 대하여 기술하고자 한다. 이 시스템은 저가, 소형으로 제작이 가능하고, 제조과정에서 한 번의 카메라 보정만을 필요로 하여 일반 사용자에게 현실적이지 않은 보정 작업이 필요 없는 장점을 갖는다. 광각렌즈의 초점영역에 위치하는 하나의 PSD센서와 여러 개의 적외선 LED마커가 순차적으로 발광되도록 제어되도록 구성되어 있다. 마이크로 컨트롤러는 측정된 PSD센서의 2차원 위치 정보와 적외선 LED마커의 빛의 세기의 정보를 이용하여 3차원측정알고리즘에 의해 위치를 계산하게 된다. 본 연구에서의 시스템 성능 평가를 위한 실험을 수행하였고, 실험결과 제안된 시스템이 저가로 제작이 가능하고, 소형이며, 비디오 게임용으로 설치가 용이할 뿐만 아니라, 고속모션 캡처 게임에서 적용 가능함을 보였다.

2. 시스템의 구성

이 제안된 모션캡처 시스템은 그림 1에서 보여주는 것 같이 모션캡처를 위한 PSD카메라모듈과 적외선 LED가 부착된 능동광학마커, USB 인터페이스를 지원하는 컴퓨터로 구성

된다. 컴퓨터는 USB통신으로 PSD카메라모듈을 제어하고 수신된 캡처 데이터를 처리한다. 능동광학마커는 각각 고유의 마커 식별번호에 따라 정해진 점등시간을 가지고 적외선 LED를 발광시켜 동작한다.

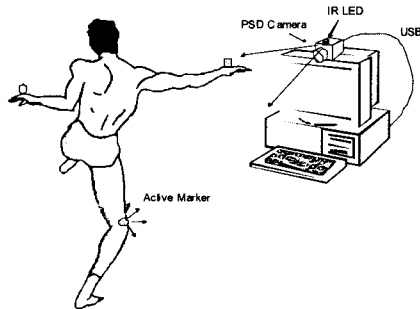


그림 1 단안 PSD 기반의 모션 캡처 시스템의 구성

3. 3차원 위치 측정의 원리

마커의 3차원 위치 계산은 그림 2에서 설명하는 핀홀 카메라 모델을 기본으로 한다. 마커의 위치 $P_m(X_m, Y_m, Z_m)$ 은 핀홀 O 을 통과해서 PSD센서 위에 $P_p(X_p, Y_p, Z_p)$ 위치에 집광되는 것으로 표현된다. PSD센서의 중심 c 와 렌즈중심과는 초점거리 f 의 거리를 두고 있으며, 그림 2와 같은 좌표계에서 각 위치의 좌표값은 다음과 같다.: $O(0,0,0)$, $c(0,0,-f)$, $P_p(X_p, Y_p, f)$. 여기서 f 는 렌즈의 유효한 초점거리(focal length), r 은 중심 c 로부터 점 P_p 까지의 거리이다. R 은 광축 (z)으로부터 P_m 까지의 거리이고, l 과 L 은 O 부터 각각 P_p 와 P_m 까지의 거리를 나타낸다. 거리 l 은 $l = \sqrt{r^2 + f^2}$ 과 같이 표현될 수 있고, 마커의 방사광의 입사 광선과 z 축사이의

저자 소개

- * 김유진: 鮮文大學 電子工學科 碩士課程
- ** 유영기: 鮮文大學 正報通新工學部 副教授 · E·博
- *** 오춘석: 鮮文大學 正報通新工學部 教授 · E·博

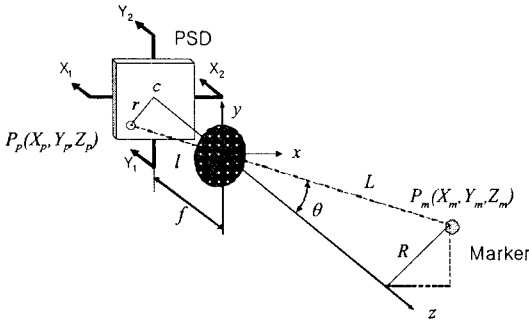


그림 2 단일의 PSD기반 모션캡처 시스템의 카메라 모델 각도는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\cos\theta = \frac{f}{L} = \frac{f}{\sqrt{r^2 + f^2}} = \frac{Z_m}{L} \quad (1)$$

따라서, 식(1)을 정리하면 식(2)와 같이 간단히 표현될 수 있다.

$$Z_m = \frac{f \times L}{\sqrt{r^2 + f^2}} \quad (2)$$

식(2)로부터 초점거리(f)는 상수이고, r은 PSD센서에 측정된 위치로부터 계산된다. 그러므로 L을 구할 수 있다면, z축에 상에 마커의 위치(Zm)는 식(2)를 이용하여 측정되어질 수 있다.

같은 방법으로 x축과 y축 상의 마커위치 Xm과 Ym을 구하기 위한 식은 아래 식(3,4,5)과 같이 구할 수 있다.

$$R = r \frac{L}{l} = r \frac{L}{\sqrt{r^2 + f^2}} \quad (3)$$

$$X_m = \frac{X_p \times R}{r} \quad (4)$$

$$Y_m = \frac{Y_p \times R}{r} \quad (5)$$

식(4),(5)로부터 알 수 있듯이, 마커위치 Pm는 PSD센서에 측정된 위치 Pp(Xp, Yp, -f)와 L의 함수관계임을 알 수 있다. 초점거리 f가 상수이고, PSD 전극의 아날로그 전압으로 Xp와 Yp가 측정되고, 마커와 렌즈사이의 거리 L로부터 마커 위치 Pm(Xm, Ym, Zm)를 구할 수 있음을 보여주고 있다.

빛의 성질에 따라 한 점으로부터 방사된 빛의 밝기는 거리 제곱에 반비례하여 감소한다. 따라서, 밝기(I)와 거리(L)의 관계는 다음의 식으로 간단히 표현된다.

$$I = \frac{a}{L^2} + b \quad (6)$$

여기서, a와 b는 상수이고, 다시 정리하면,

$$L = \sqrt{\frac{a}{I-b}} \quad (7)$$

상수 a와 b는 각 마커의 밝기 I와 거리 L사이의 관계를 정하기 위해서 카메라 보정에 의해 계산된다.

4. 실험결과

4.1 광학마커의 성능

본 시스템은 광학모션캡처 시스템이기 때문에 마커의 광학

적 특성이 중요하다. 특히 식(7)을 보면 마커의 밝기(I)를 이용하여 센서와 마커 사이의 거리 L를 계산할 수 있다. 따라서 마커는 동일한 거리에 어떤 자세에서도 동일한 광량을 방사한다는 가정을 기초로 한다. 그림 3은 두 가지 실험에 대한 환경을 나타내고 있다. 첫 번째 실험(a)은 마커의 적도선(equator line)을 기준으로 회전각(theta)에 따른 밝기 변화를 일정한 각도로 마커를 회전시켜 PSD카메라모듈로 측정하는 실험이고, 두 번째 실험(b)은 PSD센서의 입사각에 따른 밝기 변화를 측정하기 위해 마커를 Δφ 만큼 이동시켜 측정하는 실험이다.

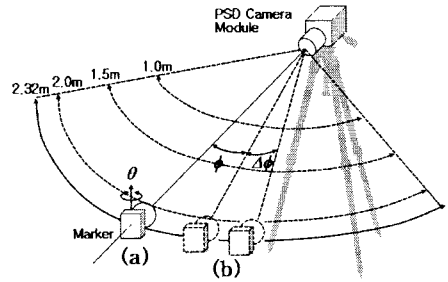


그림 3 회전각과 입사각에 마커의 밝기 변화 측정을 위한 실험 환경

그림 4는 첫 번째 실험의 결과로 6개의 다른 모양의 디퓨저를 적용한 마커의 각도에 따른 밝기를 측정된 결과를 나타낸다. (a)의 경우, 4개의 LED를 집적하여 만든 LED모듈을 직접 측정된 결과이고, 그래프에서 각도 0도에서는 밝기가 세고, 각도가 커질수록 완만히 감소하다가 급하강 하는 특성을 알 수 있다. 아교를 몰딩한 원통모양의 (b)와 반구모양의 (c)의 경우에는 마커의 밝기가 (a)보다는 완만한 분포를 가지고 있지만 균일하지 않다. (d),(e),(f)는 구형 디퓨저를 LED모듈의 발광점 높이를 바꾸어 가면서 실험한 결과이다. 그림 3의 실험결과 그래프에서 가장 균일한 밝기 분포를 나타내는 (e)의 형태를 발광마커의 LED 모듈로 사용하였다.

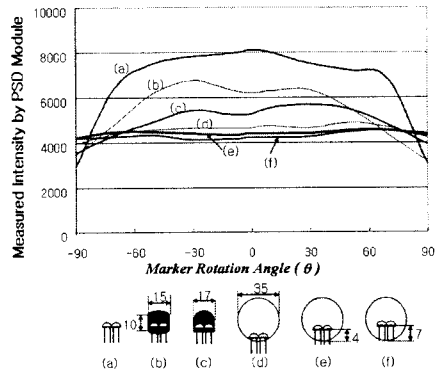


그림 4 100cm 거리에서의 6개의 각기 다른 마커 디퓨저의 밝기 분포

그림 5는 두 번째 실험결과로 PSD센서의 입사각에 따른 밝기 변화의 실험결과를 보여준다. 입사각이 커질수록 측정된 밝기는 감소하고, 그 결과 정확도가 떨어지는 것을 확인할

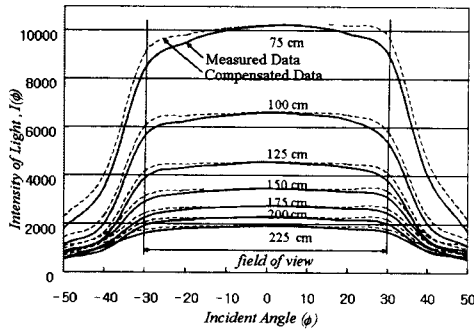


그림 5 PSD 입사각과 거리에 따른 밝기 변화 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 그림 5의 FOV(field of view)영역에서의 실선 $I(\phi)$ 를 점선곡선 $I'(\phi)$ 으로 근사했다. 점선의 근사 곡선 $I'(\phi)$ 는 다음 식(8)으로 나타 낼 수 있다.

$$I'(\phi) = I(\phi) / \sqrt{\cos(\phi)} \quad (8)$$

$I'(\phi)$ 은 FOV 영역 안에 상대적으로 균일한 밝기레벨이 보여주지만, 입사각이 증가함에 따라 곡선과 요구된 균일분포 사이에 굴곡이 증가함을 알 수 있다.

4.2. 파라미터 추정

측정된 밝기(I)로부터 거리(L)를 측정하기 위해서는 식(7)의 파라미터 a 와 b 를 구해야 한다. 그림 6은 0.5m에서 2.2m 사이에 0.1m 간격으로 PSD카메라 모듈과 마커와의 거리(d)에 대한 밝기(I)를 측정된 그래프이다. 다음 식(9)은 마커의

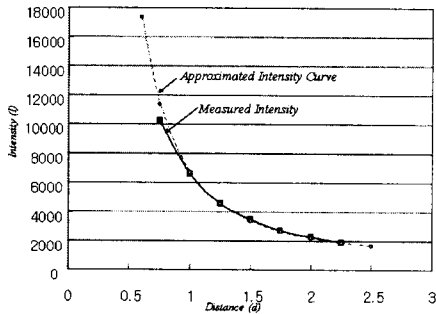


그림 6 센서와 마커사이의 거리에 따른 밝기 측정 및 근사식 그래프

거리와 밝기의 근사식을 나타낸다.

$$I(d) = 698.8 + \frac{5999.5}{L^2} \quad (9)$$

4.3 PSD모션캡처 모듈의 정확도 측정

그림 7은 본 시스템의 정확도 측정평가를 위한 실험환경을 보여주고 있다. PSD센서 모듈은 삼각대 위에 격자모양 보정판의 중심을 바라보면서 설치되어 있고, 2m x 2m의 보정판에 X, Y축 방향으로 0.2m 간격으로 측정하고, Z축 방향으로 0.25m 간격으로, 0.75m에서 2.25m 거리에서 측정하였다. 표 1은 각 거리에 대한 측정예러를 보여주고 있다. 표 1에서 측정된 에러(e)는 식(10)으로 정의된다.

$$e = \sqrt{(x_m - x_{em})^2 + (y_m - y_{em})^2 + (z_m - z_{em})^2} \quad (10)$$

Measurement at distance (cm)	Maximum Error, e (cm)
75	8.9
100	6.3
125	10.8
150	27.1
175	26.6
200	29.9
225	27.2

표 1 Measurement Error

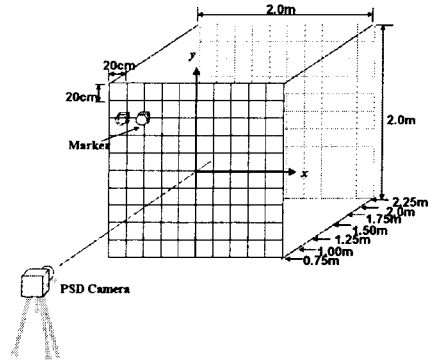


그림 7 센서의 수행평가를 위한 실험환경

5. 결론

본 논문에서는 간단하면서, 저비용의 고속의 모션캡처 시스템을 소개했다. 이 시스템은 작은 크기와 저비용의 설치, 높은 프레임으로 복싱게임과 같은 고속의 모션 트레이닝에 적합하고, XBOX와 Playstation의 콘솔 상업용 비디오게임 적용에 이상적이다. 또한 설치할 때, 한 번의 카메라 보정만을 요구하는 간단한 시스템이다. 논문을 통하여 다음과 같은 성과를 이루었다.

- 저비용이고 소형이면서 사용하기 쉬운 인간의 모션을 추적하기 적합한 고속의 PSD기반의 모션캡처 시스템 개발.
- 밝기 분포가 균일한 능동광학마커 구현.
- 30cm보다 적은 평균오차를 가지는 3차원 위치 측정가능.

그러나 본 논문에서 발표한 이 시스템은 고속 모션캡처 시스템은 두 가지 한계를 가지고 있다. 첫 번째로 센서와 마커의 거리가 증가함에 따라 SNR은 감소한다. 두 번째로 3차원 위치에 대한 어려운 큰 각도의 입사각에서 큰 오차를 가진다. 향후에 이러한 문제를 마커들 사이에 각 마커로부터 절대 밝기측정을 토대로 한 위치측정 대신에 상대적인 밝기측정 제시할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 이인호, 박찬중, "모션캡처 기술의 현황," 한국멀티미디어 학회지 제3권 제 1호, pp.42-44, 1999.
- [2] 이희만, 서정만, 정순기, "모션 캡처 애니메이션을 위한 거리 측정방법", 정보처리학회 논문지, 제9-B권, 제1호, pp.129-138, 2002.
- [3] 전자기술, "PSD에 의한 거리 센서의 설계와 제작", pp.49-59, 3월호, 2002.
- [4] 이준호, "PSD를 이용한 실시간 3차원 모션캡처 시스템 개발", 선문대학교 대학원 석사논문, 2003.