

PSD센서를 이용한 실시간 3차원 위치의 복원

Restoration of Realtime Three-Dimension Positions Using PSD Sensor

최 훈 일*, 조 용 준**, 유 영 기***

(Hun Il Choi , Yong Jun Jo, Young Kee Ryu)

* 신문대학교 전자공학과 (전화:(041) 530-2356, 팩스:(041) 530-2356, E-mail : classchoi@hotmail.com)
 ** 신문대학교 전자공학과 (전화:(041) 520-2356,팩스:(041)530-2356, E-mail : jo770711@sunmoon.ac.kr)
 *** 신문대학교 전자정보통신공학부 (전화:(041) 520-2356,팩스:(041)530-2356, E-mail : ryu@sunmoon.ac.kr)

Abstract : In this paper, optical sensor system using PSD(Position Sensitive Detection) is proposed to obtain the three dimensional position of moving markers attached to human body. To find the coordinates of an moving marker with stereo vision system, two different sight rays of an moving marker are required. Usually, those are acquired with two optical sensors synchronized at the same time. PSD sensor is used to measure the position of an incidence light in real-time. To get the three-dimension position of light source on moving markers, a conventional camera calibration method are used. In this research, we realized a low cost motion capture system. The proposed system shows high three-dimension measurement accuracy and fast sampling frequency.

Keywords : Motion tracking, PSD Sensor, camera calibration, Stereo Vision

I. 서론

컴퓨터를 이용한 멀티미디어의 발전으로 인하여 3차원 가상현실의 구현이 더욱 빠르게 발전되어 멀티미디어 콘텐츠에서의 동작 생성, 로봇제어를 위한 가상현실 세계의 구축 등으로 인해 지금까지 키보드나 마우스에 적응되어 왔던 컴퓨터 환경에서 보다 인간의 감각을 직관적으로 컴퓨터에 전달할 수 있는 컴퓨터 환경으로 발전되어 가고 있다. 모션캡처는 엔터테인먼트분야의 애니메이션과 게임 등에서 캐릭터의 생성에 사용되는데 기존에는 마우스, 조이스틱, 미디 슬라이더(Midi Sliders) 및 기타 장치들을 사용하여 캐릭터를 직접 연기시키는 방법을 사용하였으나 모션캡처에 의한 방법은 이전에 볼 수 있었던 그 어떤 방법보다도 자연스러운 움직임을 만들어낼 수 있어 향후 스캐너나 마우스만큼 보편적으로 사용돼 다양한 분야에서 널리 응용될 것으로 전망된다. 모션캡처방식에는 여러 가지 방식이 있다. 방식을 살펴보면 기계식(Mechanical), 자기식(Magnetic), 음향식(Acoustic), 광학(Optical) 방식의 시스템 등이 있지만 지금까지는 일반 컴퓨터에서 범용으로 사용할 수 있는 저가의 실시간 모션캡처 시스템은 개발되지 않았다.

본 연구에서는 고가의 고속카메라를 사용하는 대신 저가의 PSD 센서를 사용하여 광학방식의 모션캡처 시스템을 구성하였다. 또한 시스템에서 획득한 3차원 데이터의 정확성을 위해 일반적으로 CCD camera에 사용되어지는 카메라 보정 알고리즘을 PSD 모션캡처 시스템에 적용하여 손쉽게 보정을 하면서 적은 오차를 가질 수 있는 방법을 제시하고, 스테레오 비전을 기본으로 한 3차원 데이터의 복원 계산을 통해 2개의 PSD 센서에서 얻어지는 2차원 데이터를 가지고 3차원 데이터를 복원하고 간편하게 보정을 함으로써 약간의 교육으로 누구나 사용할 수 있는 모션캡처 시스템을 개발하고자 한다.[1][3][4]

II. 시스템 구성

전체적인 시스템의 구성은 그림. 1과 같이 발광마커 모듈과 PSD모션캡처 센서모듈, USB를 통한 컴퓨터와의 인터페이스로 구성된다. 본 장에서는 시스템의 하드웨어적인 설계와 시스템을 동작시키기 위한 구동방식에 대하여 설명하였다.

시스템의 하드웨어적인 전체적인 구성을 살펴보면 PSD모션캡처모듈의 원격 제어 신호 발광부⑧로부터 동작신호를 발광마커모듈의 적외선수신기①가 받으면 발광마커의 제어부②는 발광마커③를 동작시키고 이때 발광된 적외선 광은 PSD모션캡처모듈 광학계의 적외선필터④와 렌즈⑤를 거쳐 PSD⑥에 스폿(spot)으로 맺히고 모션캡처제어부의 신호처리회로를 거친 후 디지털화되어 컴퓨터로 전달된다. 최종적으로 컴퓨터는 전달된 3차원 공간 좌표를 응용프로그램에 적용하게 된다. [2]

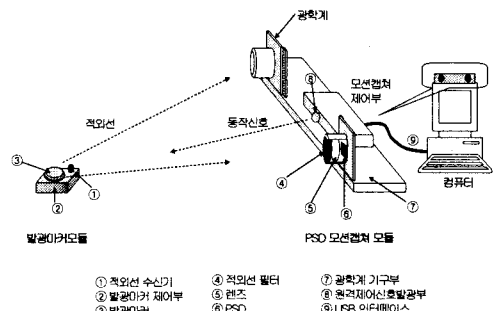


Fig. 1 System configuration

1. PSD 센서 모듈

PSD모션캡처 센서모듈은 두 개의 PSD센서로부터 출력되는 신호를 증폭 변환하여 수렴 스테레오 (Convergence Stereo) 시스템 방식으로 2차원 좌표를 획득한다. 그림. 2 는 PSD모션캡처 센서모듈의 구조를 간략하게 나타낸 블록도이다.

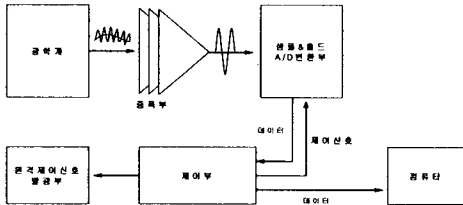


Fig.2 Block diagram of Motion Capture Sensor Module

광학계는 필터와 렌즈, 렌즈 경통으로 구성 된다. 필터를 통해 외부 광을 차단하고 발광마커의 적외선 광만을 통과시키고 렌즈를 통해 적은 량의 광량으로도 PSD 센서를 동작시킨다. 광학계를 통해 PSD에서 출력되는 신호전류는 증폭부를 통해 증폭작용 및 전류신호를 전압신호로 전환 작용을 한다. 다음으로 증폭되어 출력되는 신호를 A/D 변환기를 이용하여 디지털 데이터로 변환한다.

제어부는 원격 제어 신호발광부를 제어하며 여러 개의 발광모듈에서 시분할 방식을 통하여 다르게 발광되는 마커들에 각각 타이밍과 동기 하여 광량의 값을 획득하고 이를 디지털로 변환하여 컴퓨터로 전송한다. 그림. 3는 PSD 모션캡처 모듈 실제 모습이다.



Fig.3 PSD Motion Capture Module

본 시스템에 사용된 2차원 PSD센서는 HAMAMATSU사의 Pin-cushion Type의 S5991-01을 사용하였다. Pin-cushion Type의 S5991-01은 바이어스를 가할 수 있어 암전류가 적고, 고속 응답 특성을 갖으며, 왜곡이 적다는 장점을 가지고 있어 다른 2차원 PSD 센서와 비교하였을 때 성능이 우수하다. 센서의 사이즈는 $9 \times 9mm$ 이며 광전감도는 그림. 4와 같다.

그림. 4의 그래프를 보면 S5991-01은 광전감도(Photo sensitivity)가 $300nm \sim 1100nm$ 이며 $960nm$ 에서 감도가 가장 좋다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 PSD센서의 감도가 적외선뿐만 아니라 가시광선영역에까지 광범위하여 시스템에 사용되는 발광마커 외의 다른 파

장광의 영향을 받을 수 있기 때문에 본 실험에서는 적외선필터를 사용하여 가시광선 영역을 차단함으로써 가시광선에 의한 노이즈를 최소화 하였다.

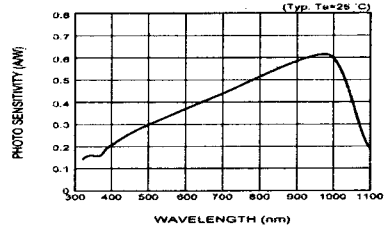


Fig.4 Photosensitivity of the PSD

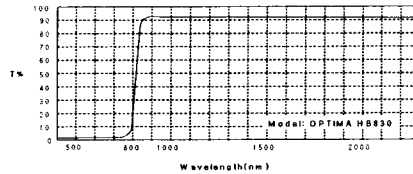


Fig.5 Transmissivity of the IR-pass filter

본 시스템에 사용된 적외선 발광마커의 출력파장이 $940nm$ 이므로 위의 그래프에서 보는 것과 같이 $800nm$ 이하의 파장은 차단되면서 그이상의 적외선 광만을 90% 이상 투과시키는 적외선필터(IR-Pass Filter 그림.5)를 사용하였다. 설계 모습은 아래의 그림. 6과 같다.

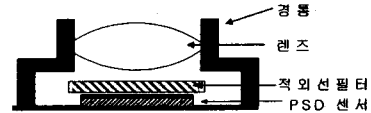


Fig.6 Structure of the optical part

2. 발광 마커 모듈

발광 마커의 구성은 크게 네 부분으로 나눌 수 있다. PSD센서로부터 발광마커 동작신호를 수신하는 원격 제어 수신부와 수신한 신호를 분석하고 각각의 타이밍에 맞춰 발광마커를 동작시키는 제어부, 위치를 알리는 적외선광을 발광하는 발광마커, 마지막으로 구동을 위한 전원을 공급하는 전원부로 구성된다.

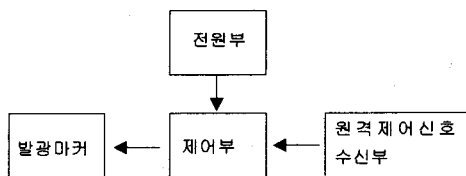


Fig. 7 Block diagram of the Emit Marker Module

PSD센서의 경우 특성상 동시에 여러 광원을 측정할 수 없기 때문에 각각의 모듈마다 동작되는 시간을 다르게 제어하여 근처의 마커를 오 인식 하지 않게 제어하였다. 그림. 8은 발광마커모듈의 실제 모습이다.



Fig.8 Emit Marker Module

III. 연구 내용

본 논문에서는 Tsai's 알고리즘을 이용하여 PSD 센서 보정을 수행 하였다. Tsai's 알고리즘은 컴퓨터 비전 분야에서 제시되고 있는 다양한 2차원 데이터의 보정 방법들 중 카메라 보정의 대표적인 방법이다. 이를 이용하여 렌즈의 왜곡에 의한 비선형적인 기하학적 문제를 해결하고 좌, 우 PSD센서에서 얻어진 2차원 데이터를 스테레오 비전을 기초로 한 방법을 적용하여 3차원 좌표를 복원하는 방법을 사용한다.[1][3]

1. PSD센서 보정

전통적인 카메라 보정 방법은 3차원 공간상에서 3차원 좌표 점들과 이들의 이미지상의 투영 좌표를 이용하여 투영과정과 관련된 외부 및 카메라 내부 보정 인자를 구하는 과정이다. 이러한 보정 과정은 아래의 그림. 9와 같이 3차원 세계 좌표계(world coordinate)에서 2차원 센서 좌표계(image coordinate)로 변환하는 4 단계의 과정으로 나타낸다.[1]

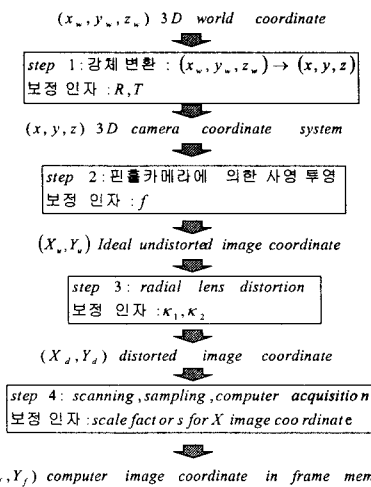


Fig. 9 4-step for image coordinate transformation to 3D world coordinate

Tsai의 보정 방법에는 보정을 위해 단일 평면상의 점들을 이용하는 방법과 여러 평면상의 점들을 이용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 발광센서 위치의 정확성 보다는 간편하면서도 빠른 보정을 하기 위해 모든 점들이 동일 평면상에 위치한다는 가정 아래 카메라 파라메타를 구하는 방법을 이용하였다. 단일 평면에서는 세계 좌표계의 z평면을 평면이라 가정하면 모든 보정 성분들의 z값이 0이 된다. Tsai's 보정은 파라메타를 구하는데 크게 두 단계로 나누어진다. 첫 번째 단계에서 얻어지는 파라메타는 카메라의 회전행렬(Rotation : R)과 이동거리(Transformation : T)이며 두 번째 단계를 통해 유효 초점거리(Effective focal length : f), 렌즈의 반경방향 왜곡계수(distortion factor : k₁), z축의 이동거리 (Transformation : T_z) 등을 구한다. [5]

2. 스테레오 비전을 이용한 3차원 데이터의 복원

Tsai's 알고리즘을 이용한 PSD센서 보정을 하면 회전행렬(Rotation : R)과 이동거리(Transformation : T), 유효 초점거리(Effective focal length : f), 렌즈의 반경방향 왜곡계수(distortion factor : k) 등을 구할 수 있다. calibration을 통해 얻은 파라메타를 이용하여 Stereo Vision을 기본으로 한 3차원 데이터를 복원하면, PSD 센서로 측정된 발광 마커의 위치를 3차원 공간상의 위치로 표현 할 수 있다. [3]

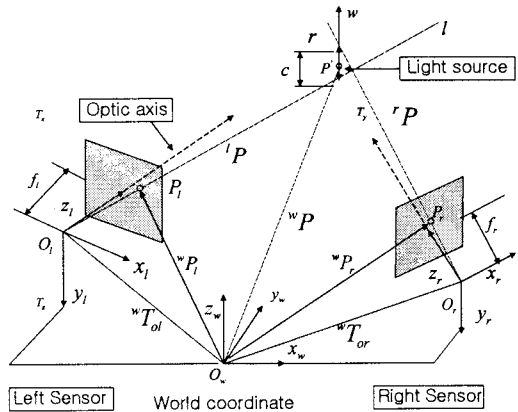


Fig.10 3D Position restoration Using two Sensor

그림. 10은 2개의 PSD센서를 이용하여 임의의 세계 좌표계를 정한 후 세계 좌표계의 원점 (O_w)을 중심으로 왼쪽 PSD센서를 이동 벡터 ^wT_{ol}만큼 이동 한 다음 회전행렬 ^wR_l만큼 회전을 시킨 그림이다. 왼쪽 PSD센서에서 P_l는 센서 좌표계의 한 점으로 광원을 보는 직선상의 위치에 있는 점이며 ^lP는 광원을 보는 직선벡터이다. 3차원의 점 P'을 구하기 위해 그림. 10을 이용하면 각 센서로부터 광원까지의 직선의 벡터인 ^lP와 ^rP 만나는 점이 광원의 위치가 되므로 직선 벡터 ^lP와 ^rP

를 구해 교차하는 점을 찾으려 하지만 오차가 존재 하고 3차원 공간상에서는 서로 교차 하지 않을 수 있으므로 두 직선 벡터의 외적(w)을 구하여 두 직선벡터간의 최단거리를 구한 다음 그 중간을 광원(P)라 정의 하였다. P'는 아래와 같은 순서로 구한다. 우선 세계 좌표계로부터 왼쪽 PSD센서 좌표계의 원점 O_l 과 P_l 의 좌표를 알고 있으므로 다음과 같은 식으로 방향벡터를 표시할 수 있다. 그림. 10에서 ${}^wT_{ol}$ 와 wP_l 이동벡터를 구한 후 아래의 식과 같이 방향 벡터를 계산 후 단위벡터를 구해준다. wP_l 은

$${}^wP_l = ({}^wR_l) \cdot P_l + {}^wT_{ol} \quad (1)$$

로 구할 수 있다. 여기서 P_l 는 PSD센서로부터 얻을 수 있는 센서 좌표계의 P'에 대한 좌표 값으로 다음과 같이 정의 된다.

$$P_l = [x_l \ y_l \ f_l] \quad (2)$$

보정을 통하여 알고 있는 ${}^wT_{ol}$ 와 계산 하여 얻은 wP_l 을 이용하여 (3)식과 같이 방향벡터를 구한 후 (4)식과 같이 방향벡터의 단위벡터를 구한다.

$$v = ({}^wP_l x - {}^wO_l x)i + ({}^wP_l y - {}^wO_l y)j + ({}^wP_l z - {}^wO_l z)k \\ = v_x i + v_y j + v_z k \quad (3)$$

$$\hat{v} = \frac{v_x i + v_y j + v_z k}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}} = \hat{v}_x i + \hat{v}_y j + \hat{v}_z k \quad (4)$$

(4)식에서 구한 단위벡터(\hat{v}_l)를 이용하여 왼쪽 PSD센서의 P'에 대한 직선방정식을 구한다.

$$l = {}^wO_l + \hat{v}_l \cdot a \quad (5)$$

오른쪽 PSD센서도 같은 방법으로 단위벡터(\hat{v}_r)을 구한 후 P'에 대한 직선의 방정식을 구한다.

$$r = {}^wO_r + \hat{v}_r \cdot b \quad (6)$$

(여기서 a, b는 상수)

여기서 구한 l과 r을 이용하여

$$w = l \times r \text{을 구한다.} \quad (7)$$

그림. 10을 보면 (8)식이 성립함을 볼 수 있다.

$${}^wT_{ol} + \hat{v}_l \cdot a + w \cdot c = {}^wT_{or} + \hat{v}_r \cdot b \quad (8)$$

(8)식을 행렬식으로 변환하여 a, b, c를 구한 후, a, c 값을 이용하여 (9)식을 계산 하면 세계 좌표계를 기준으로 한 점 P'의 위치를 알 수 있다.

$${}^wP = {}^wT_{ol} + a \cdot \hat{v}_l + (c/2) \cdot w \quad (9)$$

IV. 결론

모션캡처 시스템은 기존에 다양한 방식으로 개발되어 많은 분야에 사용되고 있다. 하지만 고가이고 범용으로 사용하기에 편리하지 못하다는 단점을 가지고 있으며, 산업 전반에 미치는 영향력에도 불구하고 이 분

야에 대한 연구가 활성화가 되지 않고, 이 기술을 보유한 해외 업체로부터 고가의 시스템을 도입하여 이의 운용에 대한 노하우를 축적하는 수준에 머무르고 있기 때문에 본 연구에서는 국산화와 더불어 저가이면서 고속으로 동작할 수 있는 PSD센서를 이용하여 저가의 실시간 모션캡처 시스템을 개발하여 이를 일반 사용자들이 사용할 수 있도록 하고자 하였다. 아직은 보정을 이용하여 위치에 대한 왜곡을 보정하고 2개의 센서를 이용한 스테레오 비전을 통해 3차원의 데이터를 복원하는 것은 전문가들의 손을 필요로 하지만 보정 알고리즘과 3차원 데이터 복원에 관한 계속적인 연구와 시스템의 개선을 통해 정밀도를 향상시키고, 상업적으로 이용할 수 있도록 모든 작업이 간편화 된다면 저가의 상업용 모션캡처 시스템으로써 많은 발전이 기대된다.

참고문헌

- [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, VOL. RA-3, NO.4, AUGUST 1987
- [2] 이준호 " PSD를 이용한 실시간 3차원 모션캡처 시스템 개발 " 선문대학교 대학원 전자공학과 석사학위논문, 2003
- [3] EMANUELE TRUCCO, ALESSANDRO VERRI, "INTRODUCTORY TECHNIQUES for 3-D COMPUTER VISION", Prentice-Hall, 1998
- [4] RICHAND P.PAUL "Robot Manipulators : Mathematics, Programming, and Control" The MIT Press , 1982
- [5] 정유호, 이종수, "디지털 줌 카메라의 캘리브레이션 시험 및 분석" 우산대학교 공학연구논문집 제 30권 2호 pp.397~407, 1999