

영상을 이용한 3차원 위치 추적 시스템 개발¹ Video-based 3-dimensional tracking system

박 경 수 · 반 영 환 · 이 안 재 · 임 창 주

한 국 과 학 기 술 원

ABSTRACT

This paper presents the development of video-based 3-dimensional tracking system. Measurement of human motion is important in the application of ergonomics. The system uses advanced direct video measurement technology. Passive retro-reflecting markers are attached to a subject and movements of markers are observed by two CCD cameras. Infrared light emitted near the CCD cameras is reflected by the markers and is detected by the cameras. The image are captured by Samsung MVB02 board and the center of markers is calculated by DSP program. The position of markers are transferred from MVB02 board to the computer through AT bus. The computer then tracks the position of each marker and saves the data. This system has dynamic accuracy with 1% error and the sampling rate to 6 - 10 Hz, and can analyse the trajectory and speed of the marker.

The results of this study can be used for operators motion analysis, task analysis, and hand movement characteristic analysis.

1. 서론

동작분석은 인간공학, 재활의학, 감성공학, 스포츠 과학 등의 분야에서 유용하게 응용되고 있다. 동작 분석을 하기 위해서는 신체의 움직임을 측정할 수 있는 시스템이 필요한데, 이러한 시스템은 신체 부위에 센서나 마커를 부착하여 그 위치를 파악한다. 위치를 파악하기 위해 기계를 몸에 부착하여 움직임을 각도를 전자식으로 측정하는 방법, 초음파를 이용하는 방법, 자기장을 이용하는 방법 등을 사용한다. 하지만 이러한 방법은 몸에 기기나 센서를 부착하여야 하며, 이는 몸의 움직임을 방해하기 때문에 자연스러운 상태에서의 신체 움직임을 측정하기가 어렵다. 그러나 화상(image)을 이용하여 위치를 파악하는 방법은 마커만 측정하려는 위치에 붙이면 되므로 신체의 움직임을 거의 방해하지 않는다.

1) 본 연구는 한국원자력연구소의 지원을 받아 수행되었음을 밝힙니다

따라서 본 연구에서는 자연스런 동작분석을 위해 화상 데이터를 이용하여 위치를 측정하는 시스템을 구축하였다.

2. 화상처리시스템의 개요

본 연구에서 구축하고자 하는 시스템은 그림 1. 에 표시된 것과 같이 전처리 부분인 영점조정 부분, 화상 데이터를 얻는 부분, 화상을 처리하고 분석하는 부분으로 나눌 수 있다. 영점조정단계에서는 카메라의 이미지로부터 3차원 공간상의 물체의 위치를 기하학적으로 구하기 위해서 카메라의 특성과 3차원 공간상의 좌표계와 카메라 좌표계 사이의 관계를 구한다. 이 단계의 결과는 이 후 동작분석시 인체에 부착된 마커의 3차원 공간상의 위치를 알아내는데 쓰인다. 화상입력단계에서는 마커의 위치를 2대의 카메라로 화상 데이터를 얻어 화상 메모리 상에 저장을 한다. 화상분석단계는 컴퓨터에 입력된 화상 정보를 해석하고 응용 자료를 얻는 단계로 마커 인식 알고리즘, 마커 분할 알고리즘, 궤적분석 및 응용 프로그램 등이 포함된다.

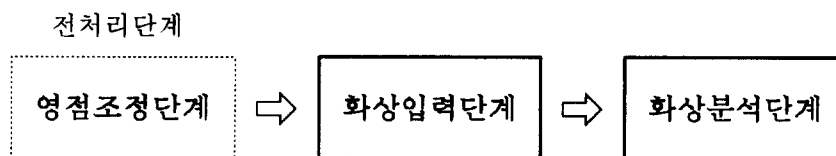


그림 1. 동작 분석 시스템의 구축단계

시스템 구축의 전반적인 내용은 다음과 같다.

화상 데이터의 기준점과 크기를 알기 위해 영점조정할 수 있는 프레임을 구축해야 하는데, 구축된 프레임의 화상 데이터를 이용하여 마커의 위치를 결정할 수 있다. 2대의 카메라는 화상처리 전용보드를 통해 컴퓨터에 연결된다. 마커를 쉽게 탐지하기위해 적외선 파장의 광원을 이용하고, 이 때 마커는 적외선 파장의 빛을 잘 반사하는 재질로 이루어진 구 또는 반구 형태의 것을 사용한다. 마커의 실제 위치를 파악하기 위해 카메라 영점조정, 마커 인식, 마커 분할을 할 수 있는 프로그램을 개발하고, 응용 S/W를 개발을 하며, 또한 이 자료를 이용하여 분석할 수 방법들에 대해 연구를 한다. 또한 구축된 시스템이 허용할 만한 성능(정확도, 속도 등)을 가지고 있는지 실험을 통해 평가한다.

시스템의 하드웨어 구성은 영점조정대, 조명, 마커, 카메라, 화상처리보드, PC 등으로 구성되어 있다.

- 영점조정대

컴퓨터 화면에서의 좌표와 실제 마커의 좌표를 대응시키고 카메라를 보정하는데 사용하며, 보관 및 이동이 편리하도록 조립식으로 만들었다. 마커는 x축으로 20cm, y축으로 15cm, z축은 사용자가 임의로 결정할 수 있게 만들었다.

- 조명

적외선 전구를 이용하여 조명을 하는데 카메라가 마커를 잘 인식하기 위해서는 조명의 방향이 카메라의 방향과 일치해야 한다. 조명은 카메라 바로 뒤에 위치하는 것이 좋다. 150W 전구 2개를 각각 카메라 뒤에서 비추었다.

- 마커(marker)

모양은 반구(半球) 또는 구형인 것을 사용하는데, 이는 마커가 한 축에 대칭하게 회전할 때 마커의 화상이 변화지 않고 다른 두 축에 대해서도 70도 정도까지는 심각한 변화가 없기 때문이다. 마커의 크기는 대략 직경이 1cm정도인 것을 사용한다. 마커는 적외선 빛을 반사하는 재질로 구성이 된다. 신체에 부착할 때는 양면 테이프를 이용한다.

- 카메라

두 대의 카메라가 화상처리보드에 연결이 된다. 본 시스템에서는 Sony XC-75 카메라를 사용하였다. 해상도는 768x494 pixels이고, 외부동기 방식을 지원한다. 렌즈에는 적외선 패스 필터를 장착한다.

- 화상처리보드

카메라에서 얻은 아날로그 데이터를 디지털 화상 데이터로 바꾸어 메모리상에 저장한다. 본 시스템에서는 삼성 MVB02 보드를 사용하였다. 4대의 카메라까지 연결이 가능하고, 640x480의 해상도에 256계조의 색상지원이 가능하다. 4장의 프레임 메모리를 사용할 수 있고 16개의 LUT(Look Up Table)의 사용이 가능하다. LUT은 입력 영상 데이터 또는 출력 영상 데이터를 실시간으로 변환하는 역할을 수행한다. 또한 사용자가 직접 DSP 프로그램을 작성하여 다운로드 시킬 수 있다. DSP의 프로그램 RAM은 128K x 32 비트의 용량을 가지고 있으며 DSP에서 뿐만 아니라 PC에서도 액세스할 수 있게 되어 있다. DSP에서의 메모리 맵은 0x00000 - 0x01FFFF 의 영역으로서 128K의 어드레싱 영역을 갖추고 있으므로 많은 양의 프로그램과 데이터를 저장 할 수 있다. 또한 프로그램 RAM은 25ns의 액세스 속도를 가진 고속 SRAM으로 되어 있다.

- PC

펜티엄 PC를 사용하였다. 화상처리보드는 IBM PC/AT 버스를 통하여 컴퓨터와 연결한다. 마커의 처리 및 동작분석에 필요한 제반 기능들을 수행한다.

2.1 영점조정단계

영점조정단계는 위치를 알고 있는 3차원 공간상의 좌표와 카메라 상에 나타나는 좌표의 관계를 알아내는 단계인데, 이 과정의 결과는 이 후 동작분석시 인체에 부착된 마커의 3차원 공간상의 위치를 알아내는데 쓰인다. 영점조정단계는 카메라 영점조정과 3차원 좌표 재구성으로 나누어진다. 카메라 보정 방법은 계산시간이 빠른 Direct Linear Transformation 방법을 이용하였다. 이 방법은 비선형 최적화를 하지 않지만 최근 나오는 카메라는 렌즈의 왜곡이 심하지 않기 때문에 정확도가 크게 떨어지지 않는다.

2.2 화상입력단계

카메라는 화상처리보드의 입력 부분에 연결되며, 입력 부분은 아날로그 멀티플렉서로 4대의 카메라까지 연결이 가능한데, 본 시스템에서는 2대의 카메라를 연결하였다. 카메라에 잡힌 아날로그 영상은 화상

메모리로 저장된다. 640x480의 해상도와 256 계조로 저장된다. 메모리 상으로 저장할 때 LUT(Look Up Table)을 이용하여 실시간으로 데이터를 변환시킬 수 있다.

2.3 화상분석단계

화상분석단계는 컴퓨터에 입력된 화상 정보를 해석하고 응용 자료를 얻는 단계인데, 마커 인식 알고리즘, 마커 분할 알고리즘, 궤적분석 및 응용 프로그램 등이 포함된다.

1) 마커 인식 알고리즘

마커인식 알고리즘은 모양감지방식과 무게중심방식을 이용하였다. 모양감지 알고리즘(SDA; Shape Detecting Algorithm)은 마커를 정확하게 인식할 수 있으나 계산량이 많고 무게중심 알고리즘은 정확도는 모양감지 알고리즘보다 떨어지나 계산량이 적은 장점이 있다.

2) 마커 분류 알고리즘

마커의 분류는 암호화되지 않은 수동적 마커(마커간에 구별이 안되는 것을 의미함)를 사용할 경우 반드시 해결해야 한다. 마커 분류를 하기 위해서는 인체 모형이 미리 정의되어야 하며, 이 인체 모형에 따라 마커를 부착한다.

3) 분석 프로그램

기본적인 데이터는 마커의 위치 데이터이다. 시간별로 마커의 위치 데이터를 나타낸다. 또한 속도, 궤적, 공간빈도(spatial frequency)등의 분석이 가능하다.

3. 시스템 평가

1) 정적 안정도(static stability)

동일한 위치에 있는 마커를 시간에 따라 변동없이 위치를 파악하는지를 알기 위한 검사이다. 1시간 동안 10분 간격으로 30초동안 마커를 측정하여 그 데이터를 분석한 결과 마커의 3차원 좌표는 0.1mm 단위의 변화도 없이 일정하였다.

2) 정적 정확도(static accuracy)

카메라와 마커간의 거리는 2m이고, 두 카메라 사이의 각도는 30deg 인 상태에서 측정하여 실측(實測)한 위치와 비교하였다. 그 결과는 다음 표 1. 과 같다.

표 1. 정적 오차

좌표축	평균오차(cm)	최대오차(cm)
x	0.04	0.15
y	0.03	0.16
z	0.09	0.31

3) 동적 정확도(dynamic accuracy)

움직이는 마커의 위치를 측정하기 위해 자 위에 두개의 마커를 부착(간격 28cm)하여 랜덤하게 움직일 때 100개의 데이터를 측정하여 분석하였다. 분석결과 평균 27.8cm, 표준편차 0.31cm, 최대오차 1.2cm이었다.

4. 결론

본 연구에서는 신체의 움직임을 파악하기 위해 비디오 화상을 이용한 동작분석 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 2대의 카메라 (적외선 패스 필터 장착), 삼성 MVB02보드, 영점조정 프레임, 적외선 광원, 개인용 컴퓨터 등의 하드웨어들로 구성되었다. 마커를 쉽게 감지하기 위해 적외선 파장의 광원과 마커를 사용하였으며, 데이터 획득속도를 증가시키기 위해 화상처리 보드상에서 마커의 중심을 구하였다. 이렇게 하는 것이 컴퓨터상에서 마커의 중심을 찾는것에 비해 처리속도가 50배이상 빠르다. DSP를 이용해서 마커의 위치를 구하는 경우 샘플링비율은 6~10 Hz 이며 1%이내의 정확도를 보장한다. 시스템의 정확도는 카메라의 위치에 따라 조금씩 변하게 되는데, 카메라의 위치와 정확도의 관계를 파악하기 위해서는 보다 많은 실험이 요구된다.

2대의 카메라를 사용하였기 때문에 한대의 카메라에서만이라도 마커가 보이지 않게 되면 위치를 정확히 구할 수 없다. 이는 3차원 위치를 파악하기 위해서는 적어도 2개의 화상 데이터가 필요하기 때문이다. 삼성MVB02 보드는 4대의 카메라를 연결할 수 있으므로 카메라를 한 대 더 연결하여, 3대의 카메라 중 한대에서 마커가 보이지 않더라도 그 위치를 구할 수 있게 하는 것은 가능하다. 하지만 카메라를 한 대 더 늘리게 되면 데이터의 샘플링비율은 4~7 Hz 로 떨어지게 된다.

신체의 움직임을 분석하고자 할 때, 적외선 파장의 광원과 적외선을 반사하는 마커를 사용하는 것이 반드시 필요한데, 이는 가시광선의 빛을 이용하게 되면 배경이 단색이거나 마커가 크지 않으면 쉽게 마커를 감지하는 것이 불가능하기 때문이다. 물론 적외선 카메라를 사용하는 것이 가장 좋지만 가격이 비싸므로, 본 연구에서는 범용 카메라를 구입하여 적외선 패스 필터를 장착하였다.

소프트웨어는 DOS용으로 구축하였는데 사용편의성을 고려하여 되도록 사용하기 쉽도록 메뉴를 구성하였다. 시스템을 사용하기 전에 화상보드에 프로그램을 다운로드하고, 카메라를 다시 셋팅한 경우에는 영점조정을 한 다음 실험을 하여 데이터를 얻는다. 신체의 손, 팔, 어깨 등에 마커를 부착한 경우에는 왼손 오른손을 구별하는 것이 가능한데, 손이 어깨보다 많이 움직이는 것을 가정하면 어깨를 기준으로 마커를 추적해 나갈 수 있기 때문이다. 하지만 손에만 부착하는 경우에는 왼손과 오른손에 부착한 마커를 구별하는 것이 어려우며, 특히 순간적으로 양손의 위치가 바뀌게 되면 프로그램상에서 분리하기가 어렵다. 그런데 직무분석에서 주로 관심있는 것이 손의 움직임이기 때문에 양손에 마커를 부착하였을 때 왼손에 부착한 마커와 오른손에 부착한 마커를 구별할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 각 손에 서로다른 크기의 마커를 부착함으로써 해결하였는데, 실험결과 유용한 방법임을 확인할 수 있었다.

인체 전체 움직임을 파악하기 위해서는 마커의 분류를 위해 인체모형에 관한 연구가 필요하며, 특히 데이터 획득속도가 고속이 아니기 때문에 좀더 집중적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Borghese, N.A., Di Rienzo, M., Ferrigno, G., and Pedotti, A.
ELITE: A goal oriented vision system for moving objects detection,
Robotica, Vol.9, pp.275-282(1991)
- [2] Borghese, N.A., and Ferrigno, G.,
An Algorithm for 3-D Automatic Movement Detected by Means of
Standard TV Cameras, IEEE Trans. BME., Vol.37, No.12, pp.1221-1225(1990)
- [3] Ferrigno, G., Borghese, N.A., and Pedotti, A.
Pattern recognition in 3D automatic human motion analysis, ISPRS Journal
of Photogrammetry and Sensing, pp.227-246(1990)
- [4] Ferrigno, G., and Pedotti, A.
ELITE: A Digital Dedicated Hardware System for Movement Analysis Via
Real-Time TV Signal Processing, IEEE Trans. BME., Vol.32, No.11,
pp.943-950(1985)
- [5] Lena Karlqvist, Mats Hagberg, and Kristina Selin
Variation in upper limb posture and movement during word processing with
and without mouse use, Ergonomics, Vol.37, No.7, pp.1261-1267(1994)
- [6] Roger, Y. Tsai
A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D
Machine Vision Metrology Using Off-the Shelf TV Cameras and
Lenses, IEEE J. of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No.4,
pp.323-344(1987)
- [7] Roger, Y. Tsai
An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D
Machine Vision, IEEE(1986)
- [8] 원송희 CCTV 시스템 설계의 기법, 세화(1993)
- [9] 南宮在贊 畫像工學의 基礎, 機電研究社(1989)