Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.16, No.3, 1997

화상처리를 이용한 동작분석 시스템에 관한 연구

Motion Analysis System using Image Processing

박경수* · 반영환* · 이안재* · 임창주* · 오인석** · 이현철**

ABSTRACT

This paper presents the development of videobased 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 images are captured by Samsung MVB02 board and the centers of markers are calculated by DSP program. The positions 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 0.7% average error and 4.2% maximum error, and the sampling rate to 6~10 Hz, and this system can analyse the trajectory and speed of the marker.

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

* 한국과학기술원 산업공학과
** 한국원자력연구소

1. 서 론

동작분석은 인간공학, 재활의학, 감성공학, 스포츠 과학 등의 분야에서 유용하게 응용되고 있다. 인체의 동작을 분석하기 위해서는 신체의 움직임을 측정할 수 있는 시스템이 필요하며 이러한 시스템은 신체 부위에 센서나 마커를 부착하여 그 위치를 파악한다. 인체의 동작을 파악하기 위해 보편적으로 사용되는 시스템으로는 전자기적 추적 시스템(Electromagnetic Tracking System), 기계적 추적 시스템(Mechanical Tracking System), 화상처리를 이용한 광학적 추적 시스템(Image Processing Optical Tracking System), 초음파 추적 시스템(Acoustic Tracking System) 등이 있다. 전자기적 추적 시스템은 가장 보편적으로 사용되는 시스템으로 Polhemus, Ascension등의 회사에 의해 상용화 되고 있다. 전자기적 추적 시스템은 가상현실분야 등에서의 추적기법으로 많이 사용되고 있으며 다른 방법들과 달리 사물에 가려져도 추적하는데에 방해를 받지 않는다는 장점을 지니고 있다. 그러나 이 시스템은 추적범위가 상당히 제한적이고 선으로 연결되어 있어 사용자의 움직임을 방해하며, 결정적으로 주위의 자기장에 심각한 영향을 받는다는 단점이 있다. 기계적인 추적 시스템은 가상현실 응용에 제한적으로 사용되고 있는데 높은 정확도와 실시간 데이터 처리를 제공하며 특히 힘의 궤환(Force feedback)을 제공할 수 있다는 장점을 지닌다. 그러나 추적범위가 극히 제한적이고 자연스런 신체의 움직임을 방해하며 동시에 여러 부위를 추적할 수 없다는 단점을 지닌다. 화상처리를 이용한 광학적 추적시스템은 동작분석분야에서 주로 사용되는 방식으로 현재 ELITE(Ferrigno, 1985), VICON 등의 상용화된 제품이 개발되어 있다. 이 시스템은 넓은 추적영역을 제공하며 몸에 마커(marker)만 붙이면 되므로 인체의 움직임을 거의 방해하지 않는다는 장점을 지닌다(Borghese 1990, 1991). 그러나 이 시스템은 사물에 마커가 가려질 경우 추적이 불가능하다는 단점을 지닌다. 마지막으로 초음파 추적 시스템은 값이 싸고 높은 정확도를 지닌다는 장점이 있는반면, 추적영역이 제한적이고 주위 소음의 영향을 많이 받는다는 단점이 있다.

상용으로 시판되는 동작분석 시스템(예, ELITE, VICON)은 주로 화상처리(Ferrigno, 1985, 1990, 1991)를 이용한 것으로 정확도 및 데이터 샘플링 비율이 높지만 가격이 비싸다는 단점이 있다. 본 연구에서는 범용 화상처리 보드와 CCD카메라, PC 등의 하드웨어들을 이용하여 저가로도 구현이 가능하고 샘플링비율이 낮더라도 실시간 데이터분석을 지원하는 동작분석 시스템을 개발하고자 한다. 또한 제작한 동작분석 시스템을 이용하여 컴퓨터 작업시의 손동작을 분석해 보고자 한다.

2. 화상처리를 이용한 동작분석 시스템

본 연구에서 구축하고자 하는 시스템은 그림 1에 나타난 바와 같이 전처리 부분인 영점조정 단계와 화상 데이터를 얻는 단계, 화상을 처리하고 분석하는 단계로 구성되어 있다.

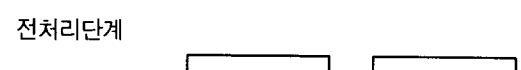

그림 1. 동작분석 시스템의 구축단계

영점조정단계는 카메라의 이미지로부터 3차원 공간상의 물체의 위치를 기하학적으로 구하기 위해서 카메라의 특성과 3차원 공간상의 좌표계와 카메라 좌표계 사이의 관계를 구하는 단계이며, 동작 분석시 인체에 부착된 마커의 3차원 공간상의

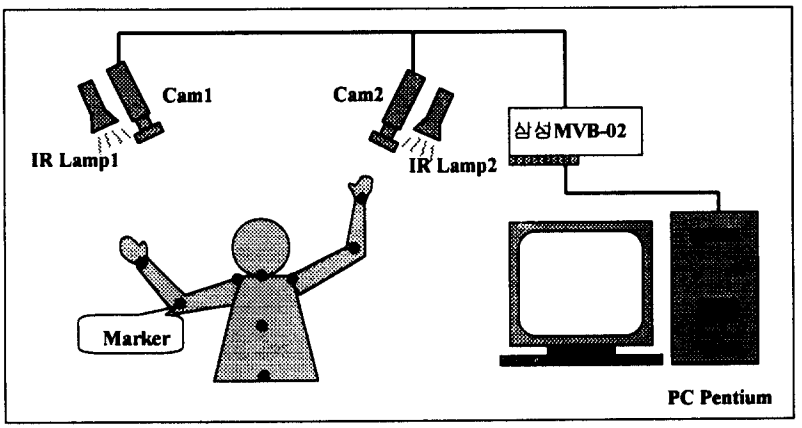

그림 2.
동작분석 시스템의 구성도

위치를 알아내는데 사용된다(Tsai, 1987). 영점조정단계는 카메라 보정과 3차원 좌표 재구성으로 나뉘어진다. 카메라 보정 방법은 계산시간이 빠른 Direct Linear Transformation(DLT) 방법을 이용하였다. 이 방법은 비선형 최적화를 하지 않지만 최근의 카메라는 렌즈의 왜곡이 심하지 않기 때문에 정확도가 크게 떨어지지 않는다(Tsai, 1986).

화상입력단계는 2대의 카메라로부터 화상 데이타를 얻어 화상 메모리 상에 저장하는 단계이다. 이 때 카메라는 화상처리보드의 입력 포트에 연결되며 입력 부분은 아날로그 멀티플렉서로 4대의 카메라까지 연결이 가능한데, 본 시스템에서는 2대의 카메라를 연결하였다. 카메라에 잡힌 아날로그 화상은. 640×480의 해상도와 256 계조로 화상메모리에 저장되며, 메모리 상으로 저장할 때 LUT(Look Up Table)을 이용하여 실시간으로 데이타를 변환시킬 수 있다.

화상분석단계는 컴퓨터에 입력된 화상 정보를 해석하고 응용 자료를 얻는 단계로 마커 인식 알고리즘, 마커 분류 알고리즘, 분석 및 응용 프로그램 등이 포함된다. 마커 인식 알고리즘으로는 모양감지 방식과 무게중심 방식이 많이 이용되는데, 모양감지 알고리즘 (SDA ; Shape Detecting Algorithm)은 마커를 정확하게 인식할 수 있으나 계산량이 많고 무게중심 알고리즘은 정확도는 모양감지 알고리즘보다 떨어지나 계산량이 적은 장점이 있다. 본 연구에서는 무게중심 알고리즘을 이용하였다.

본 시스템은 영점조정대, 적외선 조명, 마커(적외선을 반사하는 재질로 이루어짐), CCD 카메라(Sony XC-75), 화상처리전용보드(삼성 MVB-02), PC(Pentium 90) 등의 하드웨어들로 구성되어 있다. 다음의 그림 2는 본 연구에서 개발한 동작분석 시스템의 구성도이다.

3. 시스템 평가

3.1. 정적 안정도(static stability)

정적 안정도는 고정된 마커의 3차원 위치를 장시간 측정하여 그 위치의 변화를 파악함으로써 시스템의 안정성을 평가하는 것으로 1시간 동안 10분 간격으로 30초동안 마커를 측정하여 그 데이타를 분석한 결과 마커의 3차원 좌표는 평균 0.1mm 단위의 변화도 없이 일정하였다.

3.2. 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

좌 표 축	평균오차(cm)	최대오차(cm)
x	0.04	0.15
y	0.03	0.16
z	0.09	0.31

3.3. 동적 정확도(dynamic accuracy)

움직이는 마커에 대한 시스템의 정확도를 평가하기 위해, 막대 위에 두개의 마커를 부착(간격 28cm)하여 랜덤하게 움직이고 이 때 100개의 데이타를 획득하여 분석하였다. 분석결과 평균 27.8cm, 표준편차 0.31cm, 최대오차 1.2cm였다.

4. 시스템 응용 사례 : 컴퓨터 작업자의 손동작 분석

본 절에서는 지금까지 구축한 동작분석 시스템 사용 예의 하나로써 컴퓨터 작업에서 가장 많은 부분을 차지하는 워드프로세싱 작업을 대상으로 동작분석을 실시하여 그 결과를 분석해 보고자 한다.

4.1. 실험장비 및 소프트웨어

본 실험에 사용된 장비는 지금까지 제작한 동작분석기의 구성요소로서 PC(Pentium 90), 범용 화상처리보드(삼성 MVB-02), 2대의 CCD camera (Sony XC-75, IR pass filter장착), 적외선 조명, 영점조정 프레임, 마커 등과 같은 장비들을 포함한다.

본 실험에 사용된 프로그램들은 Boland C(ver. 3.0)로 구현되었으며, 마커의 인식을 위해서는 DSP 프로그램을 사용하였다. 실험에 사용된 워드프로세서는 HWP 3.0이다.

4.2. 피실험자

정상적인 신체 조건을 가지고 있으며 오른손잡이이고 워드프로세싱작업에 익숙한 대학원생(만 26세) 1명을 대상으로 실험을 실시하였다.

4.3. 실 험

먼저 장비를 세팅하고 공간상에 좌표를 부여하기 위해 영점 조정(calibration)과정을 수행하였다. 그리고 모니터, 키보드, 마우스의 영역을 정하기 위해 모니터화면, 키보드, 마우스에 각각 4개의 마커를 부착하고 이들의 3차원 위치정보를 구하였다. 본 실험에서 측정대상은 워드프로세싱 작업을 하고 있는 피실험자의 양손이며, 이를 위해 피실험자의 양손에 서로 다른 크기의 마커를 부착하여 왼손과 오른손을 구별하였다. 실험을 실행하기에 앞서 피실험자에게 실험의 목적과 방법 등을 충분히 숙지시켰으며, 자연스러운 실험이 이루어지도록 약 10분간의 연습을 하게 하였다. 본 실험은 5분간 수행되었고 이 시간 동안 피실험자는 양손의 손등에 마커를 부착하고 주어진 문서를 상용 워드프로세서인 HWP(ver 3.0)에서 입력하는 작업을 수행하였다. 실험을 수행하는 동안 양손에 부착한 마커의 3차원 좌표는 자동으로 파일에 저장된다.

4.4. 결과 및 분석

먼저 워드프로세싱 작업 동안의 양손의 움직임을 알아보기 위해 양손에 부착한 마커의 궤적을 분석한 결과, 대부분의 움직임이 키보드영역에서 이루어졌고 가끔씩 마우스의 영역으로 이동됨을 알 수 있었다. 또한 오른손이 왼손에 비해 더 넓은 영역을 움직이는 것을 알 수 있었는데 이는 피실

험자가 오른손잡이이며, 오른손으로 마우스를 움직이기 때문인 것으로 파악된다.

다음으로 양손 움직임의 속력을 분석해 본 결과, 오른손의 평균속력은 초당 774.6mm이고 왼손의 평균속력은 초당 525.1mm로써 오른손이 왼손보다 빨리 움직였음을 알 수 있었다. 또한 각 손의 움직임이 일정한 속력을 유지하지 않는다는 것을 알 수 있었으며, 특히 각 손의 최고속력은 초당 5000mm이상이어서 급격한 움직임이 존재한다는 것도 알 수 있었다.

이상의 결과는 워드프로세싱 작업의 특성을 생각할 때 직관과도 잘 맞는다는 것을 알 수 있다. 또한 이 실험을 통해 본 과제에서 제작한 동작분석 시스템이 마커의 움직임을 잘 추적하며 샘플링 비율(프레임당 0.1초)의 측면에서도 타당함을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 신체의 움직임을 파악하기 위해 화상처리를 이용한 동작분석 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 2대의 카메라(적외선 패스 필터 장착), 범용 화상처리보드(삼성 MVB-02), 영점조정 프레임, 적외선 조명, 개인용 컴퓨터 등의 하드웨어들로 구성되었다. 마커를 쉽게 감지하기 위해 적외선 파장의 광원과 이를 반사하는 재질로 이루어진 마커를 사용하였으며, 데이터 획득속도를 증가시키기 위해 화상처리 보드상에서 마커의 중심을 구하였다. 본 연구에서 개발한 동작분석 시스템은 6~10 Hz의 샘플링 비율과 평균 동적 오차 0.7%, 최대 동적 오차 4.2%의 정확도를 보인다. 시스템의 정확도는 카메라의 위치에 따라 조금씩 변하게 되는데, 카메라의 위치와 정확도의 관계를 파악하기 위해서는 보다 많은 실험이 요구된다. 또한 인체 전체의 동작을 측정하기 위해서는 마커의 분류를 위해 인체모형에 관한 연구가 필요하며 아울러 데이타 획득속도를 높이기 위한 연구도 수행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] Borghese, N.A., Di Rienzo, M., Ferrigno, G., and Pedotti, A., "ELITE : A goal oriented vision system for moving objects detection." Robotica, 9, 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., 37(12), 1221~1225, 1990.

[3] Ferrigno, G., Borghese, N.A., and Pedotti, A. "Pattern recognition in 3D automatic human motion analysis." ISPRS Journal of Photogrammerty and Sensing, 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., 32(11), 943~950, 1985.

[5] 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, RA-3(4), 323~344, 1987.

[6] Roger, Y. Tsai, "An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision." IEEE, 1986.