

보행분석을 위한 새로운 운동 측정 방법

이 글에서는 보행분석을 위해 현재 많이 쓰이는 광학적모션캡처시스템 및 특수 보행분석을 위한 마커리스 모션캡처방법과 두 방향 엑스선영상 모션캡처방법에 대하여 소개한다.

구 승 범 중앙대학교 기계공학부, 조교수

e-mail : skoo@cau.ac.kr

현재 가장 널리 쓰이는 인체의 운동측정 방법은 피부나 옷에 광학마커를 붙이고, 이 마커들을 적외선발광 다이오드와 적외선 필터를 갖춘 카메라로 추적하여 운동을 정량화하는 방법, 즉 광학적모션캡처시스템을 이용하는 것이다. 여기서 쓰이는 볼 마커들은 단순하게 반사테이프로 싸여 있어서 카메라 렌즈 주위에서 오는 적외선을 카메라로 잘 반사한다. 카메라는 이 반사되어 들어오는 적외선의 위치와 밀도를 이용하여 마커의 중심을 정확하게 계산한다. 보통 5m×5m×3m 공간에

서 1mm 이하의 정확도로 측정이 가능하다.

최근에는 높은 해상도와 많은 색상 비트를 가진 CCD, 그리고 높은 프레임률을 갖춘 카메라가 개발되어, 더욱 먼 거리에서 많은 수의, 소형의 마커들을 측정할 수 있게 되었다. 예를 들면 농구경기장에서 경기하는 모든 운동선수의 움직임 측정할 수 있을 정도이다.

첨단의 광학적모션캡처시스템도 응용분야에 따라서 한계가 있을 수 있다. 보행분석을 할 경우에는 피부위에 직접 마커들을 붙여야 하고, 보행분석 기법에 따라 수십개의 마커를 붙여야 한다. 이 때 피험자 준비 시간이 적게는 10분에서 많게는 30분까지 걸릴 수 있다. 연구원이 마커 보행분석 기법에 숙련되지 않았을 경우에는 마커를 지정된 해부학적 지점에 정확하게 붙이지 못할 수도 있다. 정형외과적 임상 연구를 위해서는 뼈의 운동을 측정해야 하는 경우도 있는데, 피부에 붙이는 마커를 사용할 경우 피부 움직임오차 때문에 뼈의 운동 측정 정확성에 한계가 있다.

위에서 언급한 광학적모션캡처시스템의 한계성을 극복하기 위해 최근에 개발이 이루어지

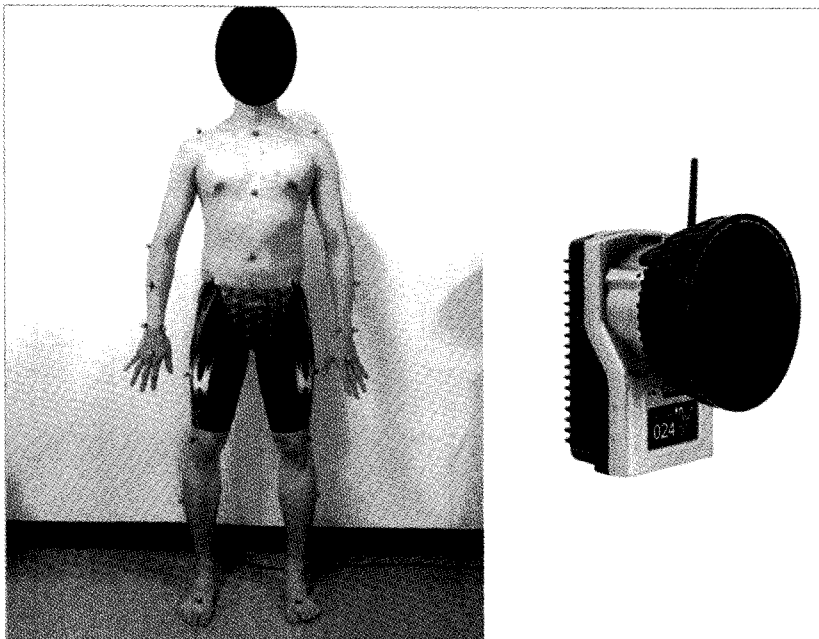


그림 1 광학마커를 이용한 모션캡처 방법. (왼쪽) 피험자의 해부학적 관절 위치에 광학마커가 붙어 있고, (오른쪽) 적외선 카메라를 이용하여 마커들의 3차원 위치를 추적한다.

고 있는 두 가지 방법을 소개한다. 첫 번째 방법은 미국 스탠포드대학교 바이오모션 연구실에서 개발하고 있는 마커리스 모션캡처기법(Markerless Motion Capture)이고, 두 번째는 본 저자의 연구실에서 개발하고 있는 두 방향 엑스선영상 모션캡처기법(Bi-plane Fluoroscopic Motion Capture)이다.

마커리스 모션캡처방법

이전부터 컴퓨터비전 연구에서는 CCD카메라로 찍은 인체의 움직임을 자동으로 분석하려는 연구가 있었다. 마커리스 모션캡처는 여러 대의 CCD카메라를 이용하고, 각 프레임에서 인체의 실루엣을 찾아내어, 여러 대의 카메라에서 보이는 실루엣을 조합하여 3차원 인체 형상을 만들고, 연속적인 형상의 움직임을 분석하는 것이 핵심 방법이다. 이 방법은 인체에 마커를 붙이지 않아도 되고, 피험자 준비시간 없이 측정이 가능하고, 데이터 처리의 많은 부분을 자동화 할 수 있기 때문에 연구자의 숙련도에 영향을 덜 받는다.

이 방법에서 카메라는 많을수록 좋고, 기본 8대 정도는 필요하다고 본다. 인체의 운동방향이나 운동 종류에 따라 카메라의 위치 선정도 중요한데, 인체의 정 위에서 내려다보는 카메라가 있으면 후에 형상 조합 때 정확도를 크게 높일 수 있다. 물론 카메라 해상도가 높고 고속일수록 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

카메라의 위치와 방향을 설정하고, 인체가 운동하는 이미지를 얻었으면 모든 카메라에서 얻은 이미지에서 인체의 실루엣을 찾아내야 한다. 이 작업을 쉽게 하기 위하여 배경이 되는 연구실 주위를 깨끗하게 하거

나, 피험자가 특수한 색깔의 옷을 입을 수 있다. 실루엣 추출 작업이 끝나면 이를 쿠키 커팅을 하듯이 조합을 하여 3차원 인체 형상을 만들어 낸다. 카메라 8대 정도로 작업을 하였다면 인체 일부가 제 모습대로 나오지 않을 수도 있다. 이를 극복하기 위해 인체모델 3차원 형상 템플릿을 만들어 놓고, 이를 조합된 3차원 형상에 맞추어 인체의 자세를 예측하기도 한다.

인체 자세에서 관절 각도를 정량화하기 위해서는 조합된 3차원 인체 형상을 각 부위 세그먼트로 나누어 주어야 한다. 그리고 이 세그먼트들 사이의 각도를 계산하여 인체의 운동을 기술한다.

마커리스 모션캡처 장비와 소프트웨어를 공급하는 회사들은 아직 없지만 스튜디오를 운영하는 회사가 소수 존재한다. 이 방법의 장점이라고 하면 짧은 피험자 준비시간과 인체 전체의 모습을 측정하는 것이다. 단점이라고 하면 많은 데이터처리 시간과 인체 위에 다른 보조물을 부착하지 않고는 관절의 축방향 회전을 측정하기 힘들다는 것이다. 즉 연구의 목적에 따라 이 모션캡처 방법이 적합 할 수도, 적합하지 않을 수도 있다.

두 방향 엑스선영상 모션캡처기법

골형상(프로젝션된 모습)을 가장 손쉽게 관찰하는 방법은 엑스선영상을 이용하는 것이다. 엑스선영상은 다른 의료영상기법들(CT나 MRI)보다 손쉽게 얻을 수 있다. 뼈의 운동을 측정해야 하는 경우는 생각보다 흔하게 있다. 임상적인 면을 보면 뼈와 뼈를 붙잡고 있는 인대가 손상되었을 경우 관절의 기능을 고려하여 인대의 재건 수술을 결정해야 한다. 관절의 기능이라고

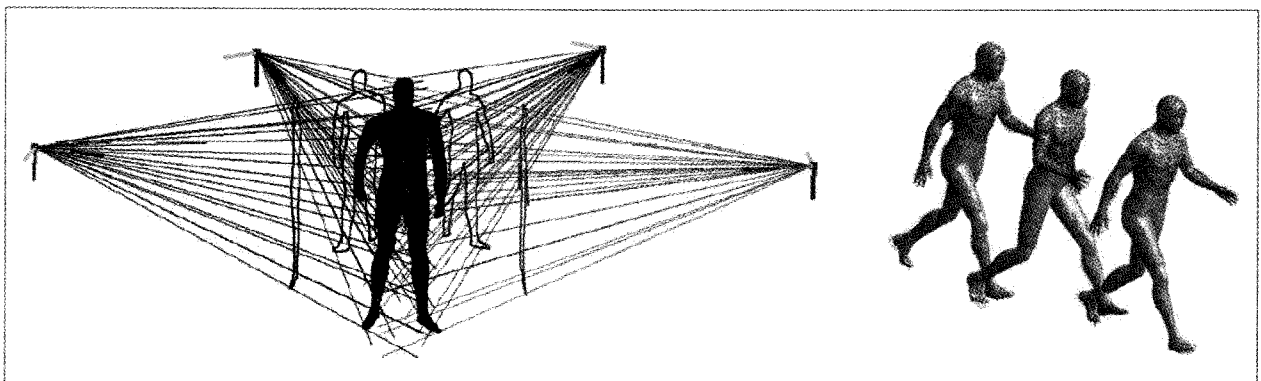


그림 2 마커리스 모션캡처방법. (왼쪽) 여러 카메라에 보이는 인체 실루엣을 조합하여 3차원 형상을 만드는 방법과 (오른쪽) 연속된 3차원 형상에서 인체 세그먼트를 나누어 운동을 정량화하는 과정

하면 두 뼈의 상대적인 운동이 가장 중요하다. 또한 가장 많은 정형외과 시술 중의 하나인 인공관절 시술의 경우, 인공관절 시술의 결정은 물론이고 시술 후 관절의 기능을 판단하기 위해서는 뼈의 운동을 정확하게 측정할 수 있어야 한다. 두 방향 엑스선영상 모션캡처법의 핵심은 대상 관절을 엑스선영상 장비 두 대를 이용하여 연속으로 촬영하여 이 이미지로부터 관절의 자세 및 운동을 정량화 하는 것이다.

엑스선 영상을 연속적으로 얻는 장비를 Fluoroscropy라고 한다. 이 장비는 기존 엑스선영상에서 쓰는 필름을 쓰는 것이 아니라 Image Intensifier와 이에 연결된 CCD 카메라를 이용하여 연속 엑스선영상을 촬영할 수 있다. 혈관조영실에서 쓰는 장비로 이 Fluoroscropy 두 대를 직각으로 위치시켜 혈관 수술을 하며 실시간으로 수술장비 및 혈관의 3차원 위치를 모니터링 할 수 있는 상용 장비들이 다수 있다. 현재까지 Fluoroscropy 두 대를 연결한 장비는 혈관조영용 장비 밖에 없는데, 이 장비들은 최고 촬영 속도가 30장/초이고, Image Intensifier의 크기도 9인치 이하이다. 보행분석과 같은 관절 운동 분석을 위해서는 120장/초 정도의 속도가 필요하고, 트레드밀 위에서 보행분석을 한다고 해도 무릎이 움직이는 거리를 고려할 때 14인치 정도의 Image Intensifier가 필요하기 때문에 맞춤형 장비를 제작하여야 한다. 세계적으로 2-3곳 정도의 연구소가 두 대의 Fluoroscropy를 이용한 모션캡처 장비를 갖추고 있고, 그 외 몇 곳은 한 대의 Fluoroscropy를 이용하기도 한다.

두 대의 Fluoroscropy로 뼈 운동을 측정하기 위한 핵심 알고리즘은 Radiostereometric Analysis (RSA) 방법과 2D-3D 정합 방법이다. RSA는 두 대의 엑스선영상에서 보이는 작은 구슬의 위치를 계산하는 것이고, 2D-3D 정합은 두 대의 엑스선 영상에서 보이는 물체의 위치와 방향을 이 물체의 3차원형상모델을 이용하여 예측하는 것이다.

이 방법의 첫 번째 단계는 엑스선소스의 위치 및 이미지 평면의 위치를 계산하는 작업이다. 작은 구슬들이 박힌 육면체 상자를 이용하여 이 상자의 두 방향 이미지를 얻으면, 이 이미지에서 보이는 구슬들의 2차원 좌표와 상자위에 있는 구슬들의 상대적인 위치를 이용하여 두 엑스선 소스의 위치와 두 이미지 평면의 위치를 계산할 수 있다.

측정하고자 하는 뼈의 3차원 형상을 얻기 위하여 CT나 MRI를 이용하여 3차원 볼륨영상을 얻고, 이를 처리하여 뼈의 형상을 추출해 낸다. 앞에서 얻은 결과를 이용하여 컴퓨터의 가상공간에 엑스선소스를 위치시키고, 또한 두 방향에서 얻은 엑스선영상을 일정 위치에 위치시킨다.

이 상태에서 뼈의 3차원 형상을 두 엑스선이 교차하는 지점에 위치시키고 엑스선소스 위치에서 이미지 평면으로의 프로젝션 이미지를 만든다. 이 단계에서 프로젝션 이미지를 얻을 때 엑스선영상과 비슷한 영상을 얻기 위해 Digitally Reconstructed Radiograph(DRR) 기법을 사용하기도 하고, 다른 볼륨렌더링 기법을 사용하기도 한다. 뼈 형상의 위치를 바꾸면

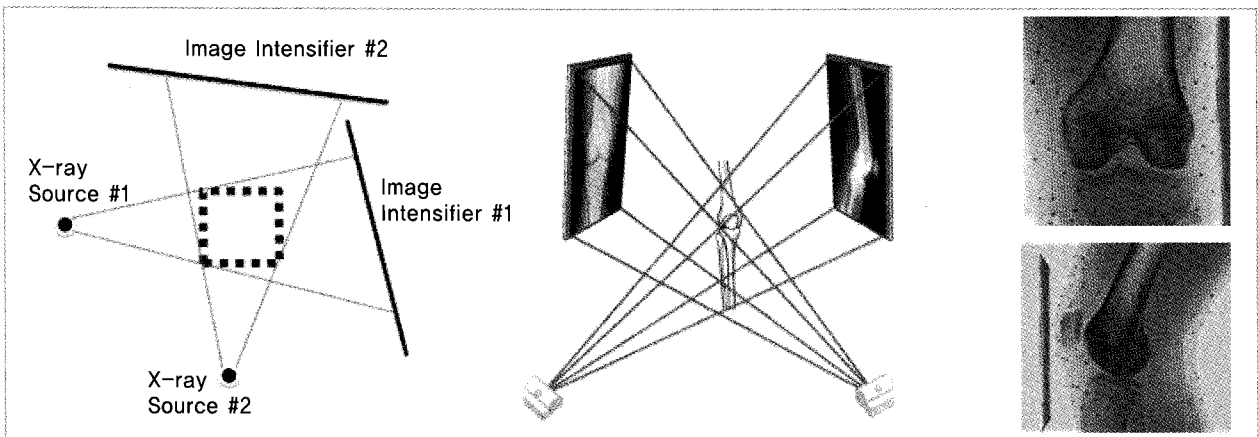


그림 3 엑스선 영상을 이용한 2D-3D 정합. (왼쪽) 엑스선소스와 이미지평면 계산을 위한 캘리브레이션 과정, (중간) 컴퓨터 가상 공간에 두 엑스선 소스와 두 엑스선영상을 위치시키고, 그 사이에 뼈의 3차원 형상을 위치시킨 모습, (오른쪽) 뼈의 3차원 형상을 움직이며 프로젝션 이미지를 만들고 이 이미지를 엑스선영상에 맞추어 보는 모습

서 프로젝션 이미지를 생성하고, 이 프로젝션 이미지와 실제 엑스선영상 이미지가 정합되었을 때 이 뼈의 정확한 3차원 위치와 방향을 찾아 낼 수 있다. 이 단계에서는 최적화 기법이 사용되게 된다.

이렇게 한 프레임에 대해서 2D-3D 정합이 끝나면 다음 프레임에 대해서도 같은 방법을 이용하여 뼈의 위치와 방향을 알아낸다. 이를 연속적으로 적용하면

뼈의 3차원 운동을 정량화 할 수 있다.

연구의 목적에 따라 보행분석은 지면을 걷는 동안 인체 특정 관절의 각도의 변화와 힘 분석을 할 수도 있고, 넓은 공간에서 인체의 전체적인 관절의 운동 또는 트레드밀과 같은 작은 공간에서 특정 관절의 뼈의 운동을 분석할 수도 있다. 이 글에서는 다양한 운동 측정을 위한 영상 기법들을 소개하였다.

기계용어해설

수냉 엔진(Water-cooled Engine)

실린더나 실린더 헤드 등의 주위에 갖춘 물 제킷에 물을 저장 또는 순환시켜 엔진을 냉각시키는 방식의 엔진.

역전축(逆轉軸: Weighbar Shaft)

각변위를 준 이 축에 고정된 암을 통하여 스프링 장치의 작용을 전진 또는 후진으로 변환하는 것으로, 역전장치를 구성하는 일부분. =reversing shaft

웨지 브레이크(Wedge Brake)

써기를 오일 실린더 또는 에어 চে임버로 밀어붙이고 브레이크 슈를 열어 브레이크를 작동시키는 방식의 대형 차량용 브레이크의 일종.

위빙(Weaving)

용접을 할 때 아크를 유효적절하게 써서 완전한 용접을 하기 위하여 용접봉의 끝을 용접선 양쪽으로 교대로 움직여 진행하는 용접봉의 운봉법.

왁스 주형법(Wax Pattern)

금형에 왁스를 녹여 넣어 모형을 만들어 주형재 속에 묻어 건조시킨 후 가열하여 모형을 녹여 내고 그 다음 완전히 연소시켜 주형을 만드는 정밀 주조법의 일종.

샘플러 제어(Sampled Data Control)

자동제어에서 오차 또는 제어량의 검출을 일정한 시간간격으로 하여 조작출력을 결정하는 방식의 제어방법의 일종.

샌드 블라스트(Sand Blasting)

주물이나 강재 등의 표면에 붙어있는 모래나 스케일 등을 제거하기 위하여 모래분사기로 모래를 금속 표면에 분사하는 작업.

모래분사기(Sand Blasting Machine)

담금질한 강에 광택을 내거나 그의 용도로 쓰이는 것으로, 모래를 강하게 내뿜는 분사기.

염욕(鹽浴: Salt Bath)

솔트 배스, 염화바륨, 염화나트륨 등의 염류를 용해하고 그 속에서 강 등의 금속재료를 고르게 가열하여 열처리 효과를 거둘 수 있는 가열법의 일종.

염수속도법(鹽水速度法: Salt Velocity Method)

식염수의 전기전도도가 보통의 물에 비해서 매우 높다는 것을 이용하여 물의 유량을 측정하는 방법.

모래살포장치(Sanding Device)

기관차의 동륜이 레일면 위에서 미끄러지거나 공전하는 것을 막기 위하여 레일 위에 모래를 뿌리는 장치.

감화(鹼化: Saponification)

유지나 지방 에스테르 등을 알칼리로 처리하면 알코올과 산으로 분해되어 결국 알칼리염을 생성하는 반응.

소기(掃氣: Scavenging)

2사이클 기관에서 새로운 혼합기가 일정 압력으로 실린더 속에 밀려들어들면 소기구를 열어서 배기를 배출하는 작용.