인공무릎관절의 영상유도수술을 위한 3차원 위치정보추출 연구

서덕찬[1], 박흥석[1], 윤인찬[1], 이문규[1], 유선국[2], *최귀원[1]
[1] 한국과학기술연구원 의과학연구센터, [2] 연세대학교 의과대학 의학공학교실

3D Measurement Research for Image Guide Surgery of TKR operation

*Duck Chan Seo [1], Heung Seok Park[1], In Chan Youn[1], Moonkyu Lee[1], Sun K. Yoo[2], Kuiwon Choi[1]
[1] Korea Institute of Science and Technology, [2] Yonsei Univ.

Key words : 3D Measurement, Stereo Camera, IGS, TKR operation

1. 서론

최근 정확한 수술과 환자의 최소 침습에 대한 높은 관심으로 IGS(Image Guide Surgery)에 대한 연구와 관심이 증가하고 있다. IGS는 기존의 의사들의 경험과 지식에만 의존하던 수술의 모든 과정을 장비에서 제공되는 환자 수술부의 정보를 가지고 수술 전 계획, 모의수술은 물론 수술 시 얻게 되는 실시간 정보를 바탕으로 정확한 수술을 진행할 수 있게 해준다. 이러한 영상유도 수술(IGS)은 Pre-operative 과정과 Intra-operative과정으로 구분할 수 있는데 Pre-operative 과정에서는 수술을 하기 위해 X-ray, CT를 이용하여 환자의 수술부에 대한 3D 모델링을 하여 수술계획과 모의수술을 한다. 반면 Intra-operative 과정에서는 미리 형성된 3D 모델과 실시간으로 수술실에서 얻어지는 환자의 수술부와 의사들의 수술도구의 위치정보를 바탕으로 트랙킹과 영상정합이 이루어진다. 이런 과정을 통해 의사들은 다양한 정보를 바탕으로 정확한 수술을 진행할 수 있게 된다. 위의 Intra-operative 과정에서 실시간으로 환자의 수술정보를 얻기 위해 대부분 스테레오 카메라를 이용하여 환자의 수술부에 삽입된 마커나 프로브를 이용한 Shape의 정보들을 수술이 진행되는 동안 위치정보를 획득하게 된다. 인공무릎관절수술(TKR)에 있어서 인공무릎관절을 삽입하기 위해 절단하는 뼈의 각도와 해부학적 축의 설정이 중요하다. IGS는 환자 개인마다 다른 해부학적인 3D 형상과 스테레오 카메라를 이용한 수술과정의 정보를 제공한다. 이러한 TKR 수술에서 중요한 3차원정보는 수술이 이루어지는 환자의 무릎 뼈의 위치와 수술에 사용되는 도구의 위치가 정확히 측정이 되어야 의사가 볼 수 없는 영역의 정보까지 제공되어 의사는 무릎에 정확한 각도와 위치에 인공관절을 삽입하는 수술을 할 수 있게 된다. TKR에 적용되는 IGS 연구를 통해 의사의 무릎인공관절 수술에 도움을 줌으로 환자의 재활에 효과적인 결과를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 TKR에 적용하기 위한 IGS 시스템의 구축을 위해서 스테레오 카메라의 정확한 3차원 위치정보 추출을 시도하였다.

2. 본론

스테레오 카메라를 이용하여 3차원 위치에 대한 정보를 얻기 위해서는 먼저 카메라에 대한 보정이 필요하며 카메라 특성을 알아야 한다. 카메라의 렌즈와 광학축의 왜곡이 있는 경우라면 3차원 위치정보 추출에 오차가 발생하므로 각각의 카메라에 대해서 Nonlinear, Perspective Error가 발생하는지를 검증 하였다. Nonlinear는 동일한 거리의 물체가 화면의 중심과 테두리에서 다른 크기로 나타나는 것이며 Perspective 는 동일한 거리의 물체가 원근감을 가진 상태로 나타나는 것으로 요약할 수 있다. 아래와 같은 격자를 이용하여 보정을 하였다[2].

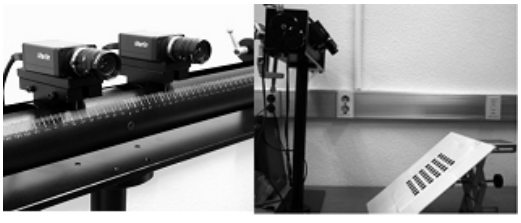

Fig. 1 Camera Frame and Calibration

다음으로 3차원 위치 좌표 추출을 위해서 초점거리(focal length)를 결정하여야 한다. (Fig. 2)와 같은 개념으로 카메라 고유의 초점거리 값을 거리차이가 있는 2장의 영상을 이용해 pixel 단위로 획득한다.

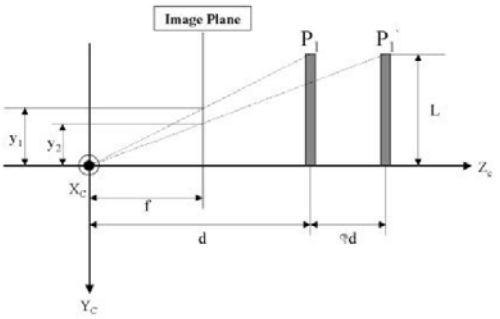

Fig. 2 Diagram of Camera Focal length Calculation

다음으로 두 대의 카메라를 이용하여 동일한 위치 점에서의 영상차이 (Disparity)를 이용하여 3차원 위치정보를 측정하는 개념은 (Fig. 3)과 같다.

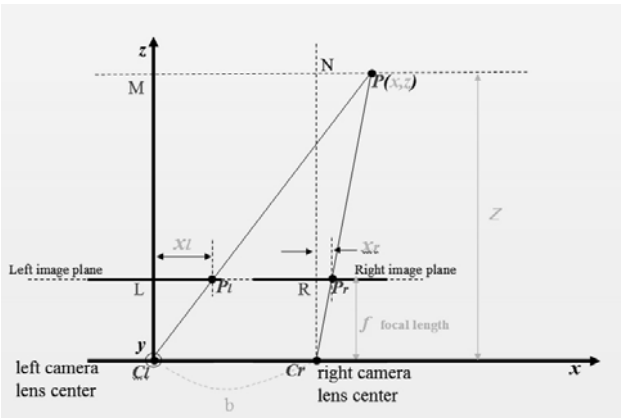

Fig. 3 Diagram of 3D Measurement with Stereo Camera

$$x = b\frac{(x_l' + x_r')/2}{x_l' - x_r'} \quad y = b\frac{(y_l' + y_r')/2}{x_l' - x_r'} \quad z = b\frac{f}{x_l' - x_r'}$$

위의 개념을 바탕으로 3차원 위치정보를 추출하였다. 이러한 개념을 적용하기 위해서 각각의 카메라를 통해 들어오는 다른 영상에 Corresponding point를 지정하고 영상차이를 이용하여 3차원 위치정보를 계산하여야 한다[2][3]. Corresponding point를 찾기 위해 본 연구에서는 LabVIEW IMAQ Vision 툴을 이용한 패턴매칭기법을 적용하였다 [4]. 패턴매칭 기법이란 템플릿 이미지와 동일한 물체를 영상에서 비교분석하여 찾아내는 영상처리를 말한다. 빛에 반응하는 마커를 대퇴골(Femur)의 내측과와 외측과 (Condyle)에 부착 하고 패턴매칭의 영상전처리를 적용하여 카메라를 통해 들어오는 영상에서 마커의 위치를 찾았다. 마커의 위치를 이용하여 스테레오 카메라의 영상에서disparity를

계산하여 3차원 위치에 해당하는 마커들의 (X,Y,Z) 의 좌표를 계산하였다.

3. 실험

실험을 위해 AVT Marlin 카메라를 이용하여 8bit 레벨, 800x600 pixel 크기의 이미지로 매초 15 프레임의 영상을 얻었으며 IEEE-1394 영상보드를 컴퓨터와의 인터페이스로 사용하였다. 또한 전체적인 프로그램의 구현은 National Instrument사의 LabVIEW를 이용하여 3차원 위치정보를 측정하였다.

Femur에 부착한 마커를 가지고 하나는 원점 (0,0,0)으로 설정하고 이를 기준으로 다른 마커의 상대적인 위치 (X,Y,Z)를 구하였다. 이러한 마커들의 위치는 의사들이 TKR수술 진행에 도움이 될 수 있는 부분과 해부학적인 특징이 있는 점들로 선정하였다. 이러한 마커들의 3차원 위치를 스테레오 카메라를 이용하여 측정하였다. 아래의 (Fig. 4)는 마커의 템플릿 이미지를 바탕으로 2D 이미지에서 마커들의 위치를 찾는 그림이며 (Fig. 5)는 왼쪽과 오른쪽의 각각의 카메라로 부터 마커를 부착한 femur의 실시간 영상에서 3차원 위치정보를 계산하여 보여주는 LabVIEW 인터페이스이다.

Fig. 4 Femur marker pattern matching

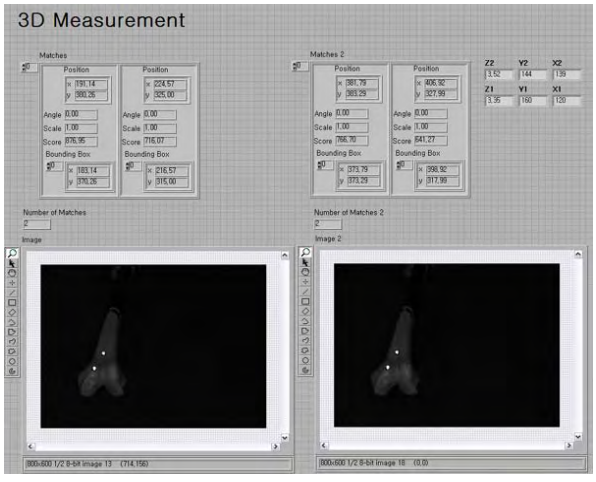

Fig. 5 3D Measurement Interface of femur markers

위의 실험을 통해서 하나의 마커를 기준으로 다른 마커 위치들의 상대적인 3차원 위치를 얻게 되었다. 하지만 이러한 상대적인 3차원 위치정보가 정확한지 검증을 하기 위한 또 다른 과정이 필요하였다. 이를 위하여 동일한 femur모델을 3D스캔을 통해 CATIA 프로그램에서 모델 형상화 작업을 하였다. CATIA는 mechanical CAD소프트웨어로 스테레오 카메라를 이용해서 측정한 마커간의 3차원 위치를 CATIA를 통해 동일한 위치의 마커간의 거리 차이를 컴퓨터 공간상에서 측정을 하여 비교를 하기 위해 femur 모델을 구성하였다 [5](Fig. 6).

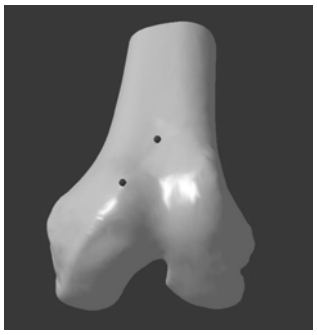

Fig. 6 3D measurement of markers using CATIA

위의 그림은 스테레오 카메라를 통해 3차원 위치를 얻은 동일한 femur 모델에 같은 위치에 마커를 위치시키고 마커간의 상대적인 거리를 측정하는 그림이며 마커간의 상대적인 좌표를 컴퓨터 공간상에서 측정을 할 수 있다.

4. 결론

스테레오 카메라를 이용한 3차원 위치정보 추출연구는 TKR 수술의 IGS를 위해서는 핵심적인 기술이라 할 수 있다. 본 연구의 femur에 대한 3차원 위치정보 추출 연구는 아직 많은 검증 단계를 거쳐야 할 것으로 생각되지만 IGS 연구에 있어서 효과적인 결과라고 볼 수 있으며 앞으로도 기대가치가 높다고 본다. 또한 본 연구의 3차원 위치정보를 측정하는데 있어서 추가적인 부분들이 필요로 한다. 컴퓨터 공간상의 좌표계 위치정보를 실제 공간상의 좌표계에서의 규명으로 의사들에게 실제 길이와 위치정보도 제공해 주는 부분과 femur의 움직임에 따른 3차원 위치측정 부분도 추가적으로 이루어져야 한다고 생각된다. 향후 연구계획으로는 다른 방법의 검증과정과 마커기반이 아닌 실제 수술과 같은 환경에서의 프로브를 이용한 3차원 위치측정 연구가 필요하다고 생각되어 진다.

후기

본 연구는 2006년도 산업자원부지정 핵심연구개발사업 실버의료기기 핵심기술개발 연구비에 의하여 연구되었음. (과제번호: 10022725)

참고문헌

1. M. Xie, C. M. Lee, Z. Q. Li, S. D. Ma, "Depth Assessment by Using Qualitative Stereo-Vision", IEEE International Conference on Intelligent Processing System, October 28-31,Beijing, China, 1997

2. Emanuele Trucco, Alessandro Verri, "Introductory Techniques for 3-D Computer Vision", Prentice Hall 1998

3. 양주웅, “스테레오 비젼을 이용한 이동물체의 추적에 관한 연구”, 연세대학교, 2000

4. Thomas Klinger, "Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision", Prentice Hall 2003

5. Zamanir, Nader G, Weaver, Jonathan M, “ CATIA V5 Tutorials”, Schroff Development Corp 2005