

인공무릎관절 수술에서의 영역기반 ICP 알고리즘

기재홍*, 이문규, 이창양(한국과학기술연구원), 김동민(홍익대), 유선국(연세대),
최귀원(한국과학기술연구원)

Region-based ICP algorithm in TKR operation

Jaehong Key*, Moonkyu Lee, Changyang Lee(KIST), Dong M. Kim(HKU), Sun K. Yoo(YSU),
Kuiwon Choi(KIST),

ABSTRACT

Image Guided Surgery(IGS) system has been developed to provide exquisite and objective information to surgeons for surgical operation process. It is necessary that registration technique is important to match between 3D image model reconstructed from image modalities and the object operated by surgeon. Majority techniques of registration in IGS system have been used by recognizing fiducial markers placed on the object. However, this method has been criticized due to its invasive protocol inserting fiducial markers in patient's bone. Therefore, shape-based registration technique using geometric characteristics of the object has been invested to improve the limitation of IGS system. During Total Knee Replacement(TKR) operation, it is challenge to register with high accuracy by using shape-based registration because the area to acquire sample data from knee is limited. We have developed region-based 3D registration technique based on anatomical landmarks on the object and this registration algorithm was evaluated in femur model. It was found that region-based algorithm can improve the accuracy in 3D registration. We expect that this technique can efficiently improve the IGS system.

Key Words : registration, 3D, medical image, ICP, IGS

1. 서론

IGS (Image Guided Surgery) 시스템은 수술 진행 상황에 대한 정교하고 객관적인 정보를 제공하기 위해 개발되고 있는 수술 방식이다. IGS 시스템의 구축을 위해서는 환자의 환부로부터 획득된 부위와 다양한 영상 장비로부터 재구성된 3차원 영상 간의 정합(registration)에 대한 기술이 필수적이다. 일반적으로 IGS 시스템에서 적용되고 있는 영상정합 기술은 환자에 부착된 참조 마커(fiducial marker)를 통해 이루어진다. 하지만 본 방식은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째는 참조 마커의 삽입은 환자에게 침습적(invasive)이다. 둘째, 현재 수술에서 사용되는 참조 마커의 대부분이 금속 재질로 되어 있기 때문에 의료 영상의 화질을 감소시키는 노이즈를 발생시킬 수 있다. 마지막으로 대부분의 참조 마커들은 수술 중에 물리적으로 환부의 외부에 노출되어 있기 때문에, 추가적인 손상 및 수술에 지장을 초래할 수 있다. 따라서 최근 IGS 분야에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 형상적인 고유 특성들을 활용하여 정합하는 시도들이 다양하게 이루어지고 있다[1]. 따라서 본 논문에서는 참조 마커 기반의 정합 방식에 대

한 대안으로 shape기반의 정합 방식 중 환부로부터 추출된 샘플 점들과 3차원 영상 모델의 표면을 구성하는 점들(vertex)간의 관계를 바탕으로 영역 기반의 3차원 영상 정합을 시도하였다.

2. 본론

영상정합방법으로 3차원 영상모델과 환부를 일치시키는 ICP 알고리즘이 있다[2][3]. ICP 알고리즘은 3차원 영상모델과 환부의 일치하는 점들 간의 거리를 최소화 시키는 회전 및 이동변환을 통해 정합을 하는 과정이라고 요약할 수 있다.

$$\min_t d[M, t(D)]$$

여기서 M은 3차원 영상 모델을 의미하고 D는 수술 중 환자의 환부를 통해 획득된 샘플 데이터를 의미한다. t는 회전과 이동의 변환을 의미하고, d는 3차원 영상 모델과 샘플 데이터간의 거리를 나타낸다.

ICP 알고리즘은 일치하는 데이터 쌍의 위치가 정확할 때, 그 정합의 정확도가 높아진다. 하지만 샘플 데이터의 위치가 3차원 영상모델의 어느 부분인지를 모르는 상태에서 일치하는 점의 위치를 찾아가야 하

기 때문에 이에 대한 정확도를 높이기 위한 과정이 필요하다. 일치점을 잘못 찾아가는 경우, 잘못된 정합 결과를 나타내는 local minima를 형성하게 된다. 따라서 본 논문에서는 일치하는 점을 찾아 가는 데에 대한 오차를 줄이기 위해서 femur의 영역을 구분하였다.

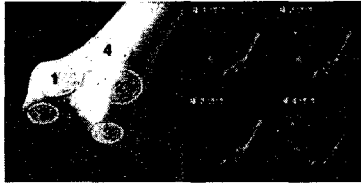


Fig. 1. Four regions in femur

Femur의 영역은 총 4개의 영역으로 구분하였다. 영역을 구분한 조건은 첫째, 수술 중에 의사가 볼 수 있는 영역으로 제한하였다. 둘째, 의사가 수술에서 쉽게 구분할 수 있는 anatomical landmark 부위로 선정하였다(그림5.5). 셋째, 영역의 수는 영역 내에서 선정된 샘플들만으로 3차원 좌표계 내에서 femur의 위치를 정의할 수 있도록 선정하였다. 영역기반 ICP 알고리즘의 순서도는 다음과 같다(Table 1).

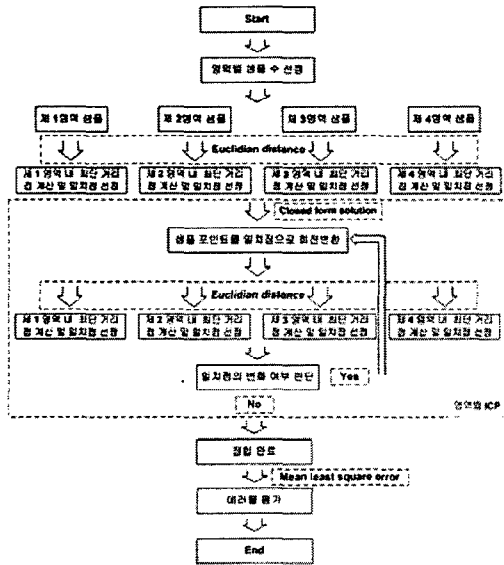


Table 1. Region-based ICP algorithm

3. 실험

본 논문에서 구현된 영역기반 ICP 알고리즘의 정확도를 평가하기 위해 일반적으로 사용되는 ICP 알고리즘과 영역기반 ICP 알고리즘을 femur 모델을 대상으로 비교하였다. 실험방법은 환부로부터 획득된 입의의 샘플 데이터를 바탕으로 정합의 결과를 비교하였다. 초기 조건은 샘플 데이터를 x, y, z 축에 대해서 각각 45°씩 증가시키면서 회전변환을 설정하였고, 초기 이동변환은 (10, 15, 5)로 각 축에 대해서 설정하였다. 그리고 femur 모델을 구성하는 총 20065의 점들 중에서 샘플 데이터는 4~160포인트로 증가시키

면서 평가하였다(Table 2)

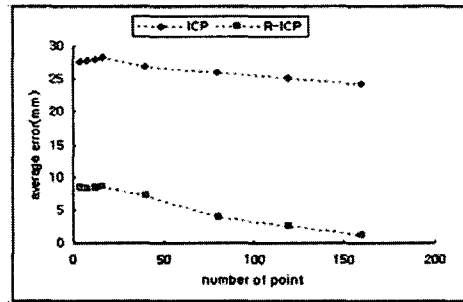


Table 2. ICP and region based ICP

분석 결과 영역기반 ICP 알고리즘에서 정합의 정확도가 우수하게 나타남을 확인 할 수 있었다. 그리고 영역 기반 ICP 알고리즘에서 local minima가 적게 발생하는 것을 확인 할 수 있었다(Fig 3).

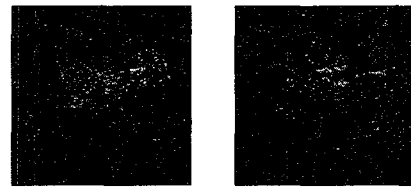


Fig. 2. 3D registration in femur

4. 결론

영역기반 ICP 알고리즘은 기존의 ICP 알고리즘에 비해 우수한 영상정합결과를 나타내었다. 본 알고리즘은 IGS 시스템에서 shape 기반의 영상정합 방식에 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 기대한다. 향후 연구 방향은 영역의 세분화 및 정합종료 조건의 다양화를 통한 보다 높은 정합도를 나타낼 수 있는 알고리즘을 개발하는 것이다.

후기

본 연구는 2005년도 산업자원부지정 핵심연구개발사업 실버의료기기 핵심기술개발 연구비에 의하여 연구되었음.(과제번호: 10022725-2005-12)

참고문헌

[1] W. E. L. Grimson et al., "Automated registration for enhanced reality visualization in surgery", In Proceedings of the First International Symposium on Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, pp. 82-89, 1994.
 [2] P. J. Besl et al., "A method for registration of 3-d shapes", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol 14(2), pp.239-256, 1992
 [3] K.P. Berthold et al., "Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions", Journal of the Optical Society of America A, Vol. 4, pp. 629, 1987