MR 영상에서 중간형상정보 생성을 통한 활성형상모델 기반 반월상 연골 자동 분할

(Automatic Segmentation of the meniscus based on Active Shape Model in MR Images through Interpolated Shape Information)

김 민 정 † 유 지 현 †
(Min Jung Kim) (Ji Hyun Yoo)

홍 헬 렌 ††
(Helen Hong)

요 약 본 논문에서는 MR 영상에서 중간형상정보를 이용한 활성형상모델 기반의 반월상 연골 자동 분할 기법을 제안한다. 첫째, 훈련집합 내의 형상 변형을 반영하기 위해 반월상 연골 통계형상모델을 생성한다. 둘째, 큰 변형을 갖는 반월상 연골의 견고한 분할을 위해 유사도에 따른 가중치 기법을 이용하여 중간형상정보 생성 기법을 제안한다. 마지막으로 활성형상모델 적합을 통해 반월상 연골 자동 분할을 수행한다. 제안 방법의 평가를 위하여 육안평가와 정확성 평가 그리고 수행시간을 측정하였다. 정확성 평가는 자동 분할과 반자동 분할 결과간의 평균거리차이를 측정하였고 이를 컬러맵으로 표현하였다. 실험 결과 평균거리차이는 내측 반월상 연골은 0.54±0.16mm, 외측 반월상 연골은 0.73±0.39mm으로 측정되었고, 수행시간은 평균 4.87초로 측정되었다.

키워드 : MR 영상, 반월상 연골, 자동분할, 중간형상, 활성형상모델

Abstract In this paper, we propose an automatic segmentation of the meniscus based on active shape model using interpolated shape information in MR images. First, the statistical shape model of meniscus is constructed to reflect the shape variation in the training set. Second, the generation technique of interpolated shape information by using the weight according to shape similarity is proposed to robustly segment the meniscus with large variation. Finally, the automatic meniscus segmentation is performed through the active shape model fitting. For the evaluation of our method, we performed the visual inspection, accuracy measure and processing time. For accuracy evaluation, the average distance difference between automatic segmentation and semi-automatic segmentation are calculated and visualized by color-coded mapping. Experimental results show that the average distance difference was 0.54±0.16mm in medial meniscus and 0.73±0.39mm in lateral meniscus. The total processing time was 4.87 seconds on average.

Key words : MR image, meniscus, automatic segmentation, interpolated shape, active shape model

1. 서 론

반월상 연골은 슬관절 기능 유지를 위하여 중요한 역할을 하는 연골로 반월상 연골 이식과 같은 수술 계획 수립 및 성공적인 수술을 위해 3차원 반월상 연골을 분할하고 정량 측정하는 것이 필요하다. 일반적으로 반월상 연골을 포함하는 슬관절 영상으로는 자기공명영상(MRI: magnetic resonance imaging)이 사용되나 그림 1과 같이 반월상 연골은 전방십자인대와 같은 다른 주변 조직과 밝기값이 유사하므로 밝기값으로 그 경계를 정확히 판별하는데 한계가 있다.

MR 영상에서 반월상 연골 분할에 대한 기존 연구는 다음과 같다. Cemal Kose 등[1]은 반월상 연골 파열에 대한 진단을 위해 히스토그램과 통계 정보를 이용하여 반월상 연골의 위치를 판별하고, 삼각형 모양의 반월상 연골 앞쪽과 뒷쪽 부분인 전,후각(anterior, posterior horn) 형태 정보를 이용한 템플릿 매칭 기법으로 반월상 연골을 분할하였다. M. S. Swanson 등[2]은 반월상 연골 변화에 대한 골관절염(OA: Osteoarthritis)과의 연관성 분석을 위해 밝기값 정보를 기반으로 반월상 연골 후보군을 검출하고, 조건적 형태학 팽창 연산 및 밝기값

· 본 연구는 2010학년도 서울여자대학교 교내학술특별연구비의 지원에 의해 수행되었습니다. 본 논문에서 사용한 MR 데이터 및 연구를 위해 조언을 주신 삼성서울병원 정형외과 왕준호 교수님께 감사의 말씀을 전합니다.
· 이 논문은 2010 한국컴퓨터종합학술대회에서 'MR 영상에서 중간형상정보 생성을 통한 활성형상모델 기반 반월상 연골 자동 분할'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 서울여자대학교 미디어학부
mjkim87@swu.ac.kr
jhyu@swu.ac.kr
†† 정 회 원 : 서울여자대학교 미디어학부 교수
hlhong@swu.ac.kr
(Corresponding author임)

논문접수 : 2010년 8월 11일
심사완료 : 2010년 10월 6일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

그림 1 MR 영상에서 반월상 연골 예

기반의 후처리 작업을 이용하여 반월상 연골을 분할하였다. Ioannis Boniatis 등[3]은 텍스쳐 분석 기법 기반으로 정상과 변형된 반월상 연골의 자동 판별을 위해 밝기값 기반의 영역 성장법을 수행하여 반월상 연골 후각 영역 분할을 수행하였다. Jurgen Fripp 등[4]은 반월상 연골의 정량적 측정을 위해 반월상 연골 주변 골조직과 연골을 추출하여 반월상 연골의 위치를 판별하고, 통계모델을 이용하여 반월상 연골을 적합시킨 후 밝기값 기반으로 분할을 보정하였다. T. Sasaki 등[5]과 Y. Hata 등[6]은 T1 강조 영상과 T2 강조 영상의 밝기값 정보를 기반으로 반월상 연골 후보군을 검출하고, 밝기값 및 위치 정보를 이용한 퍼지 분류 기법으로 반월상 연골 반자동 분할 기법을 제안하였다. 기존 제안기법의 경우, 다양한 형태의 템플릿 정보 및 T1/T2 강조 영상과 같은 추가적인 정보가 필요하거나 퍼지 분류 기법 사용 시 사용자의 상호작용이 필요하며, 복잡한 알고리즘으로 수행 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

본 논문에서는 추가 정보 및 사용자의 상호작용 없이 활성형상모델 기반의 반월상 연골 자동 분할 방법을 제안한다. 이 때, 변형이 큰 반월상 연골 데이터의 중간형상정보를 생성하여 통계형상모델의 다양한 변형을 생성함으로써 변형이 큰 데이터에 대해서도 견고하게 분할할 수 있는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 2장에서 중간형상정보 생성을 통한 활성형상모델 기반의 반월상 연골을 자동 분할하는 방법을 설명하고, 3장에서 육안평가와 정확성 평가 및 컬러 맵을 통한 실험 및 분석 결과를 제시하며, 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 중간형상정보 생성 및 활성형상모델을 이용한 반월상 연골 자동 분할

그림 2는 본 논문에서 제안하는 반월상 연골 자동 분할 방법의 순서도를 나타낸다. MR 영상에서의 반월상 연골은 큰 변형을 갖고 있을 경우 활성형상모델 기반 적합 시 큰 변형에 대해 최적의 위치로 수렴하는데 한계가 있기 때문에 변형이 큰 반월상 연골의 중간형상정보를 생성하여 통계형상모델의 다양한 변형을 생성함으로써 활성형상모델 기반의 견고한 반월상 연골 자동 분할을 수행한다. 제안하는 반월상 연골 자동 분할은 반월상 연골 통계형상모델 생성과 중간형상정보 생성 및 활성형상모델 기반의 형상 적합 3단계로 구성된다.

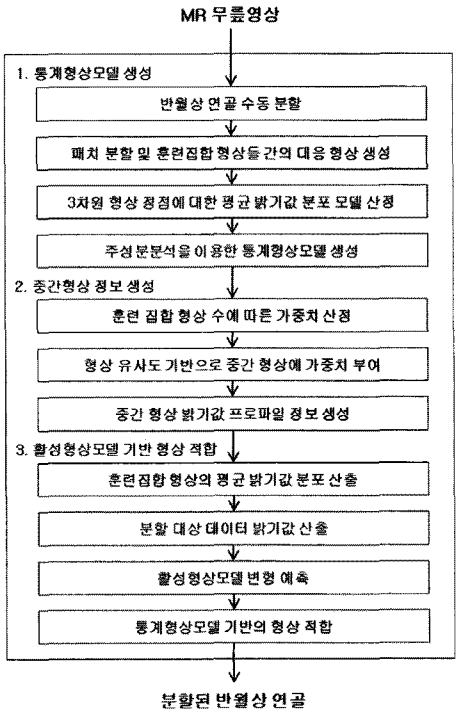


그림 2 제안 방법 수행 과정

2.1 반월상 연골 통계형상모델 생성

활성형상모델 적합을 통한 자동 분할 수행 시 분할하고자 하는 데이터의 변형을 반영할 수 있는 통계형상모델의 생성이 필요하다.

통계형상모델 생성 과정으로는 첫째, 훈련집합 내 반월상 연골을 반자동 분할한다. 이 때, MR 영상에서 주변 조직과 분리될 수 있는 밝기값 임계치를 이용하여 반월상 연골 후보군을 추출한 후 자체 개발 수정도구[7]를 사용하여 반자동으로 반월상 연골을 분할한다. 둘째, 반자동 분할한 3차원 반월상 연골 형상에 대해 패치 분할을 수행한다[8]. 3차원 형상의 패치 분할은 해부학 정보를 기반으로 내측과 외측으로 나누어 수행한다. 셋째, 훈련 집합 형상들 간의 대응 형상을 생성한다. 마지막으로 강체 변환을 이용하여 형상을 정렬하고, 주성분 분석(PCA: Principal Component Analysis) 기법[9]을 이용하여 반월상 연골 통계형상모델을 생성한다.

그림 3은 생성한 반월상 연골의 통계형상모델을 나타내는 것으로 모델의 주요 특징 변화를 표현한 모드 1,2의 결과 영상이며 평균 형상을 중심으로 고유값(λ)에

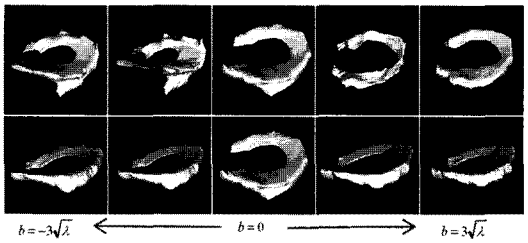


그림 3 반월상 연골 통계형상모델

대한 표준 편차 $-3\sqrt{\lambda}$에서 $+3\sqrt{\lambda}$까지의 변화를 보여준다.

2.2 통계형상모델의 다양한 변형 생성을 위한 중간형상정보 생성

활성형상모델 기반의 반월상 연골 적합 수행 시 큰 변형에 대한 데이터를 견고하게 최적의 위치로 수렴시키기 위해 중간형상의 정보 생성이 필요하다.

중간형상은 그림 4와 같이 S_0와 S_N 형상 사이에 형상 유사도에 따른 가중치 기반으로 생성하며 중간형상 표면의 3차원 좌표는 식 (1)과 같이 계산한다.

$$S_i(x,y,z)=S_0(x,y,z)(1-w_i)+S_N(x,y,z)(w_i) \quad (1)$$

이 때, S_0와 S_N은 두 원본 형상을 나타내고, S_i는 중간형상을 나타내며 전체 형상 개수는 N+1개이다. w는 두 원본 형상에서 형상 정보의 반영 정도를 결정하는 요인으로 0.0에서 1.0 사이의 값을 갖게 되며, 생성된 중간형상의 개수만큼 두 원본 형상 정보의 반영 정도가 달라지므로 i/N로 계산된다.

활성형상모델 기반의 형상 적합 시 전체 형상에 대한 평균 밝기값 프로파일 정보가 필요하므로 중간형상에 대한 밝기값은 좌표 계산과 유사하게 식 (2)와 같이 계산한다.

$$I_{S_i}(x,y,z)=I_{S_0}(x,y,z)(1-w_i)+I_{S_N}(x,y,z)(w_i) \quad (2)$$

이 때, $I_{Si}(x,y,z)$는 S_i 형상 표면에서 3차원 좌표(x, y, z)에 대한 밝기값 정보를 나타낸다.

그림 4는 제안 방법을 이용하여 S_0와 S_N 사이에 중간형상들을 생성한 결과이다.

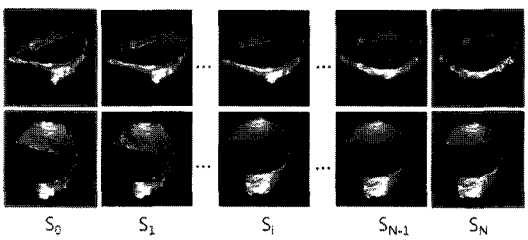


그림 4 반월상 연골 중간형상 생성 결과

2.3 활성형상모델 기반 형상 적합

이전 단계에서 생성된 통계형상모델로부터 활성형상모델 기반의 형상 적합을 통해 반월상 연골 자동 분할을 수행한다.

형상 적합 과정은 밝기값 분포 모델 생성, 형상 예측 및 변형 과정으로 이루어진다. 먼저, 훈련집합 내 모든 형상의 표면점에서 밝기값 프로파일을 생성하여 평균 밝기값 분포 모델을 생성한다. 생성된 평균 밝기값 분포 모델은 그림 5와 같이 분할하고자 하는 데이터에서 평균형상 표면점의 밝기값 프로파일과의 정규화된 유클리디안 거리 비교를 통해 최소 거리가 되는 지점을 산정한다. 마지막으로 예측형상과 활성형상간의 차이를 최소화하는 통계형상모델 변형모드를 적용하여 활성형상모델을 변형한다. 이 때, 본 논문에서 제안하는 방법으로 중간형상정보를 생성함으로써 다양한 통계형상모델 변형모드를 반영할 수 있다.

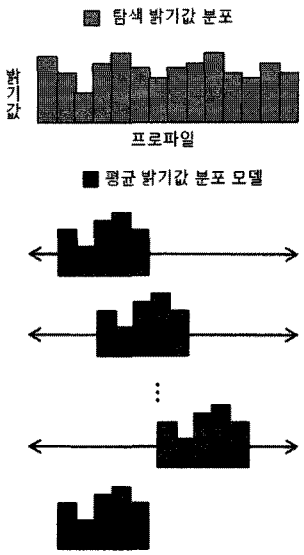


그림 5 평균 밝기값 분포 모델과 탐색 밝기값 분포 간 최적화 과정

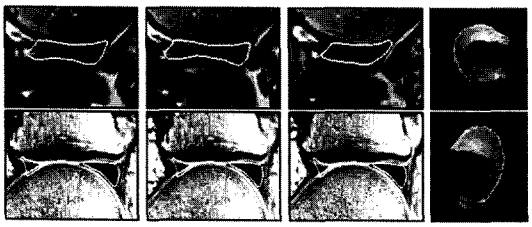
3. 실험 및 결과 분석

본 실험은 2.40GHz CPU와 2.0GB 메모리를 장착한 PC에서 수행하였고, 사용자 인터페이스는 FLTK를 사용하였으며 영상 분할을 위한 프로그래밍은 C++로 개발하였다. 실험 데이터는 변형이 큰 반월상 연골 MR 영상 두 개 데이터에서 왼쪽과 오른쪽 무릎의 내측 및 외측 반월상 연골 부분으로 나누어 사용하였으며 영상의 크기는 290×320, 픽셀 크기는 0.5×0.5mm이고, 슬라이스 간격은 1.0mm인 슬라이스 100장의 데이터를 사용

하였으며 16개의 중간형상을 생성하여 총 18개의 반월상 연골 형상을 이용하여 실험하였고, 적절한 중간형상 개수는 실험적으로 얻어 실험하였다. 결과 분석을 위해서는 육안 평가와 정확성 평가와 수행시간 평가로 나누어 실험하였다.

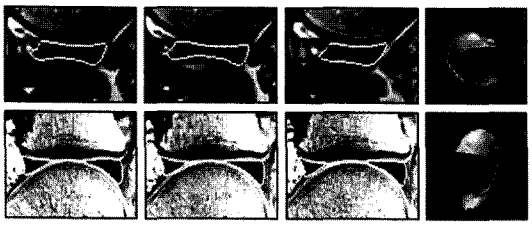
3.1 육안 평가

육안 평가를 위하여 그림 6은 변형이 큰 데이터를 이용하여 반월상 연골을 자동 분할한 결과이고, 그림 7은 제안 방법으로 중간형상들을 생성하여 자동 분할한 결과이다. 그림 6,7의 (a-c)는 인접한 2차원 단면 결과 영상들을 나타내며 (d)는 분할 결과를 3차원 표면 렌더링 한 결과 영상이다. 그림 6(a-c)의 2차원 단면 결과를 통해 변형이 큰 두 개의 데이터를 사용하여 자동 분할 수행 시 분할 오차가 큰 결과를 나타내는 반면, 그림 7 (a-c)의 2차원 단면 결과에서는 제안 방법을 사용하여 분할 수행 시 다양한 형상 정보를 반영함으로써 반월상 연골이 주변 조직과 견고하게 분리됨을 알 수 있다.



(a) (b) (c) (d)

그림 6 변형이 큰 두 개의 데이터에서 활성형상모델을 이용한 연골 자동 분할 수행 결과 (a) - (c) 2차원 단면 결과 (d) 3차원 표면 렌더링 결과



(a) (b) (c) (d)

그림 7 변형이 큰 두 개의 데이터에서 제안한 활성형상모델을 이용한 연골 자동 분할 수행 결과 (a) - (c) 2차원 단면 결과 (d) 3차원 표면 렌더링 결과

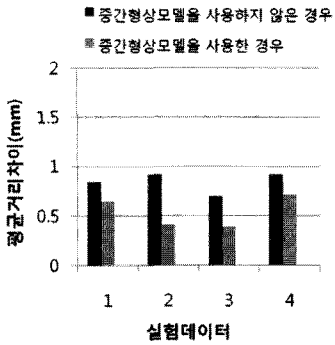
3.2 정확성 평가

정확성 평가를 위하여 반자동으로 분할한 결과와 제안 방법을 이용한 자동 분할 결과에 대해 3차원 형상 표면간 평균거리차이를 측정한다. 평균거리차이는 식 (3)과 같이 측정한다.

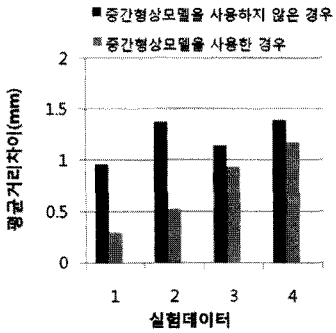
$$d(x,S') = \frac{1}{N}\sum_{x'\in S'}^{N} \|x - x'\|^2 \quad (3)$$

이 때, x는 반자동 분할 결과 표면을 구성하는 점을 나타내고, x′은 자동 분할 결과 표면 S′ 위의 한 점을 나타내며 N은 반자동 분할 결과 표면을 구성하는 점의 개수이다.

그림 8은 반월상 연골 실험데이터를 내측과 외측으로 나누어 평균거리차이를 측정한 결과로 중간형상모델을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우에 대한 결과를 비교하였다. 내측 반월상 연골의 경우 중간형상모델을 사용하지 않았을 때 평균거리차이는 0.84±0.10mm인 반면, 0.54±0.16mm로 측정되었으며, 외측 반월상 연골의 경우도 중간형상모델을 사용하지 않았을 때 평균거리차이는 1.21±0.20mm인 반면 중간형상모델을 사용한 경우 0.73±0.39mm으로 측정되었다. 이에 따른 내측 반월상 연골 오차율은 35%의 감소를 보였으며, 외측 반월상 연골 오차율은 39%의 감소를 보였다. 두 데이터의 변형이 큰 외측 반월상 연골의 경우 오차율 감소가 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있었다.

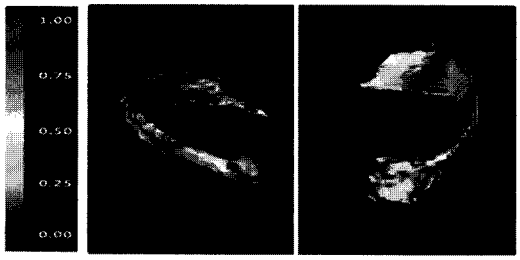


(a) 내측 반월상 연골 평균 거리 측정 결과



(b) 외측 반월상 연골 평균 거리 측정 결과

그림 8 반자동 분할과 자동 분할에 대한 표면 평균 거리 차이 측정 결과



(a) (b)

그림 9 반자동 분할과 자동 분할 간 거리 차이 컬러맵 영상 (a) 외측 반월상 연골 컬러맵 영상 (b) 내측 반월상 연골 컬러맵 영상

그림 9는 반자동 분할과 자동 분할 간의 거리 차이를 컬러맵으로 제시한 결과로 반자동 분할을 기준으로 자동 분할과 거리 차이가 크면 빨간색으로 표현되며, 거리 차이가 작으면 파란색으로 표현되어 분할 오류를 가시적으로 알 수 있다. 실험한 결과 제안 방법의 자동 분할 결과가 반자동 분할과 유사하게 분할 되었음을 알 수 있다.

제안방법을 적용한 반월상 연골 자동 분할 수행 시간은 두 개의 실험데이터에 대해 평균 4.87초로 측정되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 MR 영상에서 중간형상정보를 생성하여 활성형상모델 기반의 기법을 이용하여 반월상 연골을 자동으로 분할하는 방법을 개발하였다. 두 원본 반월상 연골 형상간의 형상 유사도에 따른 가중치 기반의 중간형상정보를 생성함으로써 견고하게 반월상 연골을 자동 분할 할 수 있었다. 제안 방법의 실험결과는 반자동 분할과 제안방법을 적용한 분할 결과 간의 평균거리 차이를 측정하였으며 내측 반월상 연골은 0.54±0.16mm, 외측 반월상 연골은 0.73±0.39mm의 정확성을 보였다. 오차율 감소는 내측 반월상 연골의 경우35%의 감소를 보였으며, 외측 반월상 연골의 경우 39%의 감소를 보였다. 총 수행 시간은 평균 4.87초로 측정되었다. 제안방법을 이용하여 자동 분할된 3차원 반월상 연골 모델은 반월상 연골 이식술 계획 수립에 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Cemal Kose, Okyay Gencalioglu, Ugur Sevik, "An automatic diagnosis method for the knee meniscus tears in MR images," *Expert Systems with Applications*, vol.36, no.2, pp.1208-1216, Mar. 2009.

[2] M. S. Swanson, J. W. Prescott, T. M. Best, K. Powell, R. D. Jackson, F. Haq and M. N. Gurcan, "Semi-automated segmentation to assess the lateral meniscus in normal and osteoarthritic knees," Osteoarthritis Cartilage, vol.18, no.3, pp.344-353, Mar. 2010.

[3] Ioannis Boniatis, George Panayiotakis, Elias Panagiotopoulos, "A Computer-Based System for the Discrimination Between Normal and Degenerated Menisci From Magnetic Resonance Images," *Proc. of IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques*, pp.335-339, Sep. 2008.

[4] Jurgen Fripp, Pierrick Bourgeat, Craig Engstrom, S´ebastien Ourselin, Stuart Crozier, Olivier Salvado, "AUTOMATED SEGMENTATION OF THE MENISCI FROM MR IMAGES," *Proc. of IEEE International Conference on Symposium on Biomedical Imaging*, pp.510-513, Jun. 2009.

[5] T. Sasaki, Y. Hata, Y. Ando, M. Ishikawa, and H. Ishikawa, "Fuzzy rule-based approach to segment the menisci regions from MR images," *Proc. of SPIE Medical Imaging*, vol.3661, pp.258-265, Feb. 1999.

[6] Y. Hata, S. Kobashi, Y. Tokimoto, M. Ishikawa, and H. Ishikawa, "Computer Aided Diagnosis System of Meniscal Tears with T1 and T2 Weighted MR Images Based on Fuzzy Inference," *Proc. of Conference on Computational Intelligence*, vol.2206, pp.55-58, Oct. 2001.

[7] Helen Hong, Joo Hwi Lee, Hyun Hee Jo, Ji Hyun Yoo, "Automatic Generation of the Mandible Bones using Statistical Shape Model in CT Dataset," *Proc. of CARS*, vol.2, pp.522-526, Jun. 2007.

[8] Ji Hyun Yoo, Helen Hong, "Building a Robust 3D Statistical Shape Model of the Mandible," *Journal of KIISE : Software and Applications*, vol.35, no.2, pp.118-127, Feb. 2008. (in korea)

[9] M. B. Stegmann, D. D. Gomez, "A Brief Introduction to Statistical Shape Analysis," *Image Analysis and Computer Graphics*, Mar. 2002.