

# 실루엣 영상을 이용한 3차원 형상 모델간의 유사도 측정

김정식<sup>o</sup> 최수미

세종대학교 컴퓨터공학부

gitamen@hanmail.net<sup>o</sup>, smchoi@sejong.ac.kr

## Similarity Measures between 3D Shape Models Using Silhouette Images

Jeongsik Kim<sup>o</sup> Soomi Choi

School of Computer Engineering, Sejong University

### 요약

3차원 형상 모델의 비교 연구는 의학, 분자 생물학, 컴퓨터 그래픽스 등의 분야에서 다루게 되는 기본적인 문제들 중의 하나이다. 본 논문에서는 3차원 형상 모델간의 유사성을 측정하기 위한 방법을 제안한다. 본 시스템은 삼각형 메쉬 모델을 유사성 평가에 사용한다. 유사성 비교를 위해 실루엣 영상을 이용하고, 유사 정도의 계산을 위한 측도(metric)로는 부피(Volume), 곡률(Curvature), 직선거리(Euclidean Distance)를 사용한다. 또한 다양한 방식에 의해 획득된 형상 모델의 비교를 위하여 먼저 포즈 정규화(Pose Normalization)를 한 후 유사성 평가 작업을 수행한다. 본 논문에서 제시한 3차원 형상 비교 시스템은 형상 비교대상들에 대한 전체 변형 및 부분 변형, 그리고 회전 등에 강인함을 보였다.

### 1. 서론

최근 들어 3차원 스캐너, 모델링 툴과 같은 다양한 방식으로 3차원 모델을 쉽게 획득하게 됨으로써, 많은 3차원 모델들을 다룰 수 있게 되었고 이러한 흐름에서 모델들의 분류 및 검색 등이 중요한 문제로 대두되었다. 특히 최근에 의학, 모델 공학, 분자 생물학 등의 분야에서 이러한 형상 모델 비교 방법들이 활발하게 연구 및 응용되고 있다. 분자 생물학에서는 유전자 형상 비교 및 유사 화학 분자 구조들을 분류하는 작업 등에 이용되거나, 사람의 발에 가장 잘 맞는 신발을 개발하기 위한 역 모델 설계 분야에도 활용되고 있다[1].

본 논문에서는 3차원 형상 모델간의 유사성을 측정하기 위한 시스템을 설계 및 구현하였다. 3차원 삼각형 메쉬 모델을 입력으로 하여 포즈 정규화를 하고, 형상 모델의 실루엣 영상을 이용하여 모델간의 유사성을 측정하는 기하학적 접근법은 두 가지 세부 문제로 나눌 수 있다. 첫째는 두 개의 형상 모델들의 위치와 방향을 결정하는 방위 결정과 크기를 맞춰주는 크기 정규화에 관한 문제이며, 둘째는 어떠한 알고리즘을 사용하여 효과적으로 모델들을 비교할 것인지를 다루는 유사도 측정과 관련한 문제이다.

### 2. 관련 연구

포즈 정규화 작업을 포함한 기존의 형상 비교 연구를 살펴보면 다음과 같다. Saupé는 PCA(Principal Component Analysis)를 기반으로 포즈 정규화를 하고 물체 검색 시스템에 활용하였다[2]. Novotni

는 형상 특징으로 distance histogram을 사용하였다[3]. Novotni는 비교 대상이 되는 모델들의 2차 중심 모멘트(central moments)와 볼륨을 결정하여 모델들의 볼륨 중심을 구하고, 최종적으로 계산된 볼륨 중심이 원점에 위치하도록 모델을 이동한 다음, 모델의 주축을 결정하여 배치 방향을 결정하였다.

2차원 영상으로부터 획득한 형상 특징을 이용한 형상비교 연구로서, Cyr는 다중의 2차원 영상들로 구성되는 Aspect Graph를 이용한 형상 유사성 기반의 3차원 모델 인식 시스템을 개발하였다[4]. Cyr는 3차원 형상 모델로부터 2차원의 투영 영상을 추출하고 그것들로부터 구성되는 Aspect Graph를 통해 형상 비교를 수행하였다. Chen은 모델간의 볼륨 차이를 계산하여 형상의 유사성을 평가하였다[5]. 이 연구에서는 비교 대상 모델들을 Canonical Axis를 중심으로 포즈 정규화하고, 모델들의 볼륨 차이를 계산하여 그 정보들을 유사성 비교에 사용하였다. Mokhtarian은 다양한 스케일 공간에서 표현되는 곡률을 이용한 형상 비교 시스템을 소개하였다[6].

본 논문에서는 상기에서 소개한 관련 연구들로부터 PCA 기반의 방법을 채택하여 포즈 정규화 작업을 처리하였고, 3차원 형상 모델로부터 투영된 실루엣 영상을 획득하여 곡률과 볼륨 차이, 그리고 각도 기반의 거리 차이를 계산하여 3차원 형상 모델간의 유사도를 측정하였다.

### 3. 형상 비교 시스템

#### 3.1 시스템 구조

3차원 형상 모델간의 유사 정도를 비교하기 위한 시스템은 그림

본 논문은 한국학술진흥재단의 신진교수연구과제 사업(KRF-2002-003-00308)과 보건 의료연구개발 사업에 의해 지원 되었음.

1과 같이 포즈 정규화 컴포넌트, 유사성 비교 컴포넌트, 유사성 비교 가시화 컴포넌트로 구성된다. 포즈 정규화 컴포넌트는 입력된 비교 대상 모델들로부터 추측을 결정하여 모델들의 중심을 원점으로 위치시키고, 방향 및 크기를 정규화 시키는 기능을 수행한다. 유사성 비교 컴포넌트에서는 포즈 정규화 작업이 완료된 후의 3차원 메쉬 모델로부터 2차원의 실루엣 영상을 생성한 후, 형상의 특징으로 사용할 곡률과 각도기반의 거리, 그리고 볼륨 정보들을 추출하여 유사성을 평가하는 역할을 수행한다. 마지막으로 유사성 가시화 컴포넌트는 최종적으로 모델간의 유사 정도를 보여주는 기능을 한다.

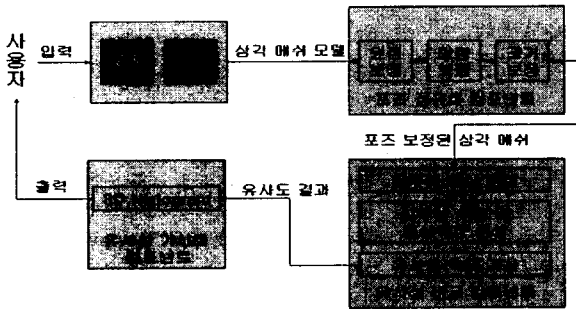


그림 1. 시스템 구조도

### 3.2 포즈 정규화

포즈 정규화 작업은 형상 모델의 유사성을 평가하는데 있어서 중요한 전처리 과정에 포함된다. 3차원 모델링 툴, CAD 시스템, 3차원 스캐너 등의 다양한 방법으로 획득된 모델들을 무작위로 선택하여 유사성 비교를 할 때 당연하게 되는 문제가 포즈 정규화이다. 즉, 서로 다른 방식을 통해 획득된 모델들은 모델 각각의 위치, 방향, 크기가 다르다. 이러한 차이는 유사성 평가에 많은 오차를 가져올 수 있다.

포즈 정규화에는 첫째로 공통 원점을 지정하고 모델들을 이동하는 위치 정규화와, 둘째로 회전축을 결정하여 모델들의 방향을 설정하는 방향 정규화가 있으며, 마지막으로 모델간의 크기를 맞추는 크기 정규화가 있다. 본 시스템에서는 포즈 정규화 컴포넌트에서 상위 세 가지 작업을 처리한다. 위치 정규화는 기하학적 중심을 모델의 원점으로 사용하고, 방향 정규화는 입력된 모델들로부터 공분산(Covariance) 행렬을 구하고 그 행렬에서 서로 직교하는 세 고유벡터(Eigenvector)를 이용하여 모델의 주축(Principal Axis)을 결정함으로써 이루어진다. 또한 크기 정규화는 모델의 각축의 최소 범위와 최대 범위를 계산하여 그 값들을 기준으로 하여 수행된다.

#### 3.3.3차원 형상 모델의 유사성 평가

본 시스템에서 유사성 측정을 위해 사용할 형상 특징의 추출 작업은 다음의 세 단계로 구성된다.

- (1) 실루엣 영상 획득
- (2) 체인코드(Chain Code) 생성
- (3) 볼륨, 곡률, 형상 중심 거리 계산

상위 세 단계에서 사용한 알고리즘은 다음과 같다. 첫째, 실루엣 영상은 삼각형 메쉬들을 평면상에 투영하고, 투영된 삼각형 영역을 주사선 채우기 알고리즘을 사용하여 채움으로써 생성한다. 둘째, 체인코드는 8-Connected 체인코드 알고리즘을 사용한다. 마지막 단계인 형상 표현자의 추출에서 볼륨은 각도 기반의 삼각형 영역을 계산하여 얻게 되며, 곡률은 체인코드의 각 노드들에 할당되어 있는 정점들에서의 벡터들을 이용하여 계산된다. 형상 중심 거리의 경우 외곽선 형상의 중심으로부터 각 체인코드 노드들에 할당된 정점까지의 거리를 계산함으로써 얻게 된다. 식 1, 2, 3은 각각 볼륨과 볼륨 차이, 곡률과 곡률차이, 그리고 형상 중심 거리와 그 차이를 식으로 정리한 것이다.

$$V = \sum_{i=0}^{n-1} Area_{Triangle}^i,$$

$$V_{diff} = \sum_{j=0}^{n-1} (Area_{TriangleA}^j - Area_{TriangleB}^j) \quad (식 1)$$

where,  $V_{diff}$  is volume difference

$$\vec{a} = (x(i) - x(i-k), y(i) - y(i-k))$$

$$\vec{b} = (x(i) - x(i+k), y(i) - y(i+k)) \quad (식 2)$$

$$r(n) = \frac{\vec{a}\vec{b}}{\|\vec{a}\|\|\vec{b}\|}$$

where,  $\vec{a}$  and  $\vec{b}$  is vector,  $r(n)$  is curvature

$$Dist = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$$Dist_{diff} = (Dist_A - Dist_B) \quad (식 3)$$

where, A and B are an Object

### 3.4 유사성 가시화

본 시스템에서는 유사성 가시화 컴포넌트를 통하여 사용자에게 모델간 유사 정도를 3차원 히스토그램을 사용하여 시각적으로 보여준다. 그림 2는 신장 모델의 중심거리 차이를 이용하여 타 모델과의 유사성을 측정한 결과이다. 분홍색, 노란색이 각각 원본 모델과 대상 모델의 중심 거리값, 그리고 그 사이의 다중의 색으로 표현된 부분이 두 모델간의 중심거리의 차이를 보여준다.

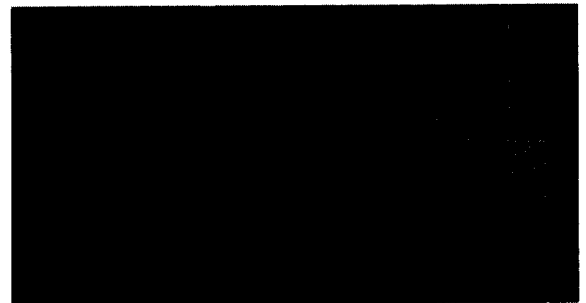


그림 2. 3차원 히스토그램

4. 실험 및 결과

본 논문의 실험에서는 간과 신장, 그리고 폐를 기본 모델에, 추가적으로 전체 크기가 변형된 두 종류와 부분적인 크기를 변형시킨 열 두 종류의 모델을 포함한, 총 45개의 모델을 유사성 비교 평가에 사용하였다. 그림 3은 실험에 사용한 신장 모델의 몇 가지 예를 보여준다.

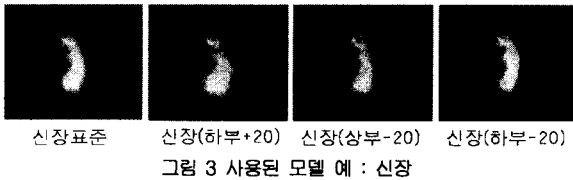


표 1은 신장 모델에 대한 유사 정도를 측정된 일부 결과를 수치로 보여 준다. 실험을 통해서, 제안한 형상 비교 시스템은 전체 변형과 부분 변형에 강인하고, 유사 모델과 그렇지 않은 모델간의 차이를 정량적으로 평가할 수 있었다.

표 1 신장 모델에 대한 유사도 측정 결과

	불통 차	거리 차	곡률 차	종합	순위
신장(3배 확대)	0.00	0.00	0.00	0.00	1
신장(5배 축소)	0.00	0.00	0.00	0.00	1
폐	45.67	23.72	0.99	23.52	6
+10%(윗부분)	33.76	4.17	0.94	10.76	4
-10%(윗부분)	10.02	4.52	0.94	5.00	2
+20%(윗부분)	34.34	4.96	1.00	11.32	5
-20%(윗부분)	10.47	7.28	0.92	6.49	3

그림 4는 신장 표준 모델과 윗부분을 20% 확대 변형한 모델간의 중심거리 차이를 이용한 유사성 측정 결과를 3차원 히스토그램이다. 그림에서, 모델의 윗부분에 해당하는 히스토그램 막대 그래프들의 일정한 값을 갖는 중심거리 차이의 분포가 다른 두 부분에 비하여 좀더 균일함을 볼 수 있다. 이것은 비교 대상이 되는 모델간의 형상 차이가 윗부분에서 나타남을 보여 준다.

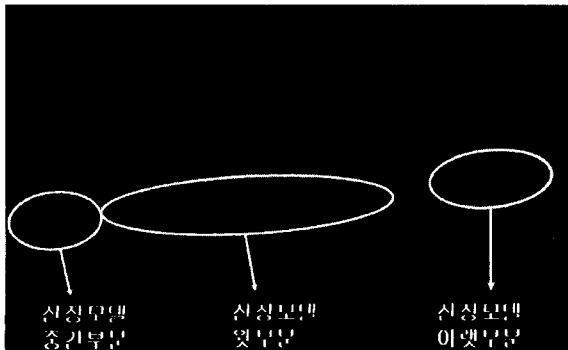


그림 4 중심거리 차이를 이용한 신장 모델의 유사성 측정

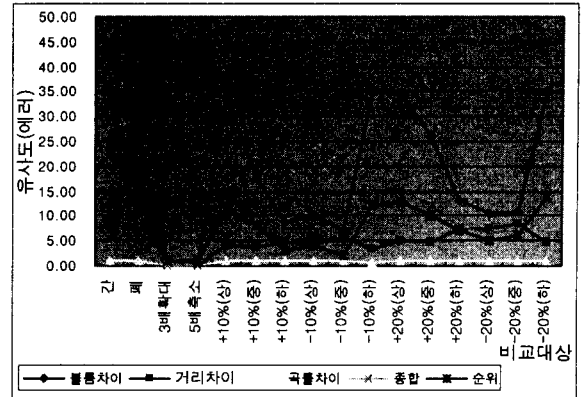


그림 5 신장 모델의 유사성 측정결과 그래프

그림 5는 신장 모델과 그 외 비교 대상 모델간의 유사성을 불통, 곡률, 거리의 차에 따라서 측정하고, 세 가지 평가 기준을 복합적으로 측정된 결과(거리차(50%), 곡률(25%), 불통(25%))에 대한 가중치 부여를 그래프로 보여 준다. 가로축과 세로축 각각은 비교 대상과 유사도(에러)를 표현한다. 거리차에 50%의 가중치를 부여한 것은 경험적 실험에 의한 것이다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 3차원 형상 모델간의 유사성을 평가하기 위한 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 시스템의 유사성 평가 능력을 측정하기 위하여 신체 장기 모델에 대한 유사성 평가 실험을 수행하였다. 실험 결과 본 논문에서 제시한 3차원 형상 비교 시스템은 형상 비교대상물에 대한 전체 변형 및 부분 변형, 그리고 회전 등에 강인함을 보였다. 향후 연구를 통하여 현재 시스템에 추가적으로 3차원 형상 특징들을 이용한 방법들을 복합적으로 적용하고, 모델의 단순한 기하학적 특징과 함께 위상적 특징을 활용할 예정이다.

[참고문헌]

- [1] Marcin Novotni, Geometric 3D Comparison - an Application, Proc. ECDL WS Generalized Documents, 2001.
- [2] D. Saupe, Content-based 3D model retrieval, <http://www.informatik.uni-leipzig.de/cgip/>, 2000.
- [3] M. Novotni, R. Klein, A Geometric Approach to 3D Object Comparison, Proc. of international Conference on Shape Modeling and Applications, pp.167-175, 2001.
- [4] Christopher M. Cyr, 3D Object Recognition Using Shape Similarity-Based Aspect Graph, ICCV2001, pp. 254-261, 2001.
- [5] Chen, Similarity Measure for Superquadrics, VISP(144), No.4, pp.237-243, 1997.
- [6] Mokhtarian, Efficient and Robust Retrieval by Shape Content through Curvature Scale Space, Proc. International Workshop on Image DataBases and MultiMedia Search, pp.35-42, 1996.