

다해상도 실루엣 영상을 이용한* 인체 장기 모델에 대한 형상 비교

김정식⁰, 최수미
세종대학교 컴퓨터 공학부
gitamen@hanmail.net⁰, smchoi@sejong.ac.kr

Shape Comparison for Human Organ Models Using Multi-resolution Silhouette Images

Jeong-Sik Kim⁰, Soo-Mi Choi
School of Computer Engineering, Sejong University

요 약

본 논문에서는 다해상도 2차원 실루엣 영상들을 이용하여 3차원 모델간의 형상 유사성을 비교하기 위한 방법을 제안한다. 제안 시스템은 포즈 정규화 모듈, 유사성 계산 모듈, 3차원 시각화 모듈로 구성된다. 형상 비교를 위해서 먼저, 3차원 인체 장기 모델을 입력으로 받아서 정규화를 수행하고, 다해상도 깊이맵을 획득한다. 이어서 유사성 비교를 위해 실루엣 영상을 추출한 후, 유사도 측정을 위해 시그니처를 축도로 사용한다. 최종적으로 계산된 결과들은 3차원 글리프 및 컬러 코딩을 이용하여 시각화된다. 본 논문에서 제시한 3차원 형상 비교 시스템은 전처리 단계에서의 정규화 수행을 통하여 스케일 및 회전 변환에 불변하는 특성을 보인다. 그리고 다양한 레벨의 깊이맵을 형상 비교에 사용하여 다해상도 기반의 유사성 평가를 지원하며, 평가 계산 속도와 정확성간의 유연성을 제공한다. 또한 3차원 히스토그램, 3차원 글리프, 컬러 코딩 시각화 기법들과 2차원 실루엣 피킹 인터페이스를 통하여 인체 장기 모델간의 정량적 형상 차이를 사용자가 직관적으로 평가할 수 있도록 한다. 본 시스템은 차후 데이터베이스를 이용한 원격 진료 시스템에서의 질병 진단, 추적 관찰, 치료계획 등에 활용될 수 있을 것이다.

1. 서 론

최근 대량의 3차원 데이터를 웹 상에서 손쉽게 획득할 수 있게 되면서, 3차원 데이터의 분류, 검색, 전송 등이 중요한 문제가 되었다. 특히 데이터베이스와 웹 환경을 복합적으로 활용한 3차원 검색 엔진의 연구가 활발하게 진행되고 있다[1]. 빠르고 정확한 검색을 위해서는 3차원 모델간의 유사 정도를 평가하는 것이 필수적이다.

3차원 모델의 형상 비교에 대한 기존 연구들은 크게 다해상도 기반, 위상기하학 기반, 통계학 기반, 2차원 영상 기반의 네 가지로 분류할 수 있다. 다해상도 기반의 연구에서는 다양한 레벨의 형상 특징들을 제공하여 형상 비교를 위한 모델 표현과 비교 속도에서의 유연성을 제공한다. 그리고 위상기하학 기반의 연구는 모델의 기하학적 특성뿐만 아니라 구멍을 포함한 복잡한 구조를 갖는 모델의 비교를 가능하게 한다. 또한 통계학 기반의 연구는 기하학 기반의 형상 비교에서 전처리로 수행되는 포즈 정규화나 잡음, 변형 등에 강인한 형상 비교 결과를 제공한다. 2차원 영상 기반의 연구는 비교적 간단한 방법으로 형상 비교를 수행할 수 있다는 장점을 갖는다.

영상 기반 연구의 대표적인 예로 Cyr[2]는 3차원 모델을 다양한 뷰포인트에서 투영한 2차원 영상 집합으로부터 aspect graph를 사용하여 대표 영상들을 추출하고, shock graph를 이용하여 유사성을 평가하였다. 또한 Funkhouser[1]는 2차원 스케치 영상을 이용한 3차원 모델 검색 시스템을 설계, 구현하였다. Cyr와 Funkhouser의 연구는 2차원 실루엣 영상을 형상 특징으로 사용하여 단일 모델간의 빠른 형상 비교 속도를 제공하지만, 비교 모델의 수가 많아질수록 비교 수행 시간이 급격하게 증가하는 한계점을 가진다. 또한 비교 수행에 따른 모델간의 비 유사 정도를 정량적으로 보여주지는 못한다.

본 논문은 2차원 영상 기반의 기존 연구[3]를 확장하여 다해상도 기반의 방법을 적용한 형상 비교 시스템을 설계하고 구현하였다. 3차원 메쉬 모델들을 입력으로 사용하는 본 시스템은 포즈 정규화, 유사성 계산, 3차원 시각화에 관한 컴포넌트들로 구성된다. 본 시스템에서는 3차원의 인체 장기 모델을 입력으로 받아서 정규화를 수행하고, 다해상도 깊이맵을 획득한다. 이어서 실루엣 영상을 추출하여 유사도 측정을 위해 시그니처를 축도로 사용한다. 최종적으로 계산 결과들은 컬러 코딩을 이용하여 시각화 된다.

*본 연구는 한국 과학재단 목적기초연구(R04-2003-000-10017-0) 지원으로 수행되었음

2. 다해상도 기반 형상 비교 시스템

2.1 시스템 구조

3차원 형상 모델간의 유사 정도를 비교하기 위한 시스템은 그림 1과 같이 포즈 정규화 컴포넌트, 유사성 비교 컴포넌트, 유사성 시각화 컴포넌트로 구성된다. 포즈 정규화 컴포넌트는 입력된 비교 대상 모델들로부터 주축을 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 시그니처 데이터를 추출하여 유사성을 계산한다. 마지막으로 유사성 시각화 컴포넌트는 최종적으로 모델간의 유사 정도를 보여주는 기능을 한다.

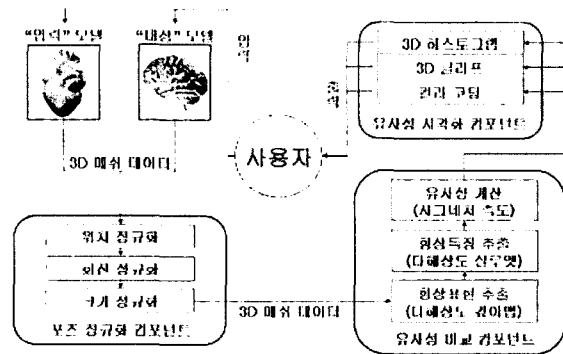


그림 1 시스템 구조도

2.2 포즈 정규화

포즈 정규화 작업은 3차원 모델의 형상 비교에 있어서 중요한 전처리 과정에 포함된다. 포즈 정규화란 서로 다른 모델들의 위치, 방향, 크기를 일치시켜 주는 작업이다.

본 시스템에서는 포즈 정규화를 위해 세 가지 작업을 처리한다. 첫째, 위치 정규화는 기하학적 중심을 모델의 원점으로 사용한다. 둘째, 방향 정규화는 PCA를 이용하여 모델의 주축(Principal Axis)을 결정함으로써 이루어진다. 셋째, 크기 정규화는 두 모델의 최소 범위와 최대 범위를 평균 계산하여 구해진 경계 상자를 기준으로 한다.

2.3 다해상도 형상 특징 추출

다해상도 방법은 동일 모델에 대한 다양한 상세 레벨의 표현을 제공한다. 본 시스템에서는 다해상도 기반의 실루엣 영상을 형상 특징으로 하기 위해 OpenGL 라이브러리와 그래픽 하드웨어의 z 버퍼를 이용하여 다양한 레벨의 실루엣 영상을 획득한다[4].

하드웨어 z 버퍼를 이용한 다해상도 실루엣 영상의 생성은 세 가지 단계를 거친다. 첫째, 3차원 메쉬 모델을 불러온다. 둘째, 생성될 영상의 해상도를 결정한다. 셋째, z 버퍼를 사용하여 모델을 둘러싸는 경계 상자의 여섯 면에 대하여 깊이 정보를 획득한다. 그림 2는 3차원의 뇌와 위장 모델에 대하여 추출된 4 X 4의 해상도부터 128 X 128의 해상도까지의 깊이맵들이다. 그림에서 세로 방향의 여섯 개의 영상들은 각각 +X축, -X축, +Y축, -Y축, +Z축, -Z축 방향에서 획득한 것이다.

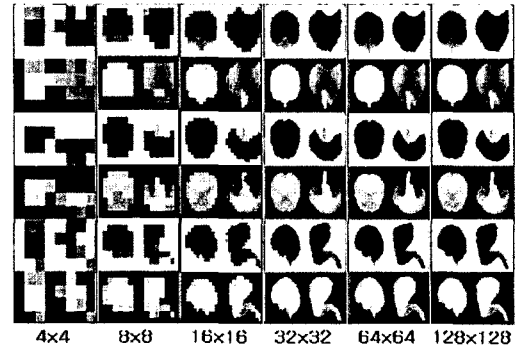


그림 2 뇌와 위장 모델에 대한 다해상도 실루엣영상

다해상도 실루엣 영상들은 그래픽 하드웨어의 z 버퍼를 이용하여 빠르게 획득되고, 모델의 유사성 계산을 위한 시간을 단축할 수 있는 유연성을 제공하기 때문에 웹 기반 및 데이터베이스 기반의 형상 비교 시스템에 응용될 수 있다.

2.4 3차원 모델의 형상 유사성 계산

본 시스템에서는 유사성 측정을 위한 형상 특징으로서 다해상도 실루엣 영상들로부터 획득한 체인코드(Chain Code)를 사용한다. 체인코드는 8-Connected 체인코드 알고리즘을 사용한다.

유사성 계산은 모델간 시그니처를 구함으로써 수행된다. 시그니처는 외곽선 형상의 중심으로부터 각 체인코드 노드들에 할당된 정점까지의 거리를 계산하여 얻는다.

2.5 유사성 시각화

본 시스템에서는 컬러 코딩을 사용하여 모델간 유사 정도를 시각적으로 표현한다. 또한 사용자가 3차원 모델의 특정 시각에서의 형상적 차이를 볼 수 있도록 2차원 실루엣 피킹(picking) 인터페이스를 제공한다. 그림 3은 신장과 심장 모델에 대한 유사성 평가 결과에 대한 컬러 코딩 시각화와 2차원 실루엣 피킹 인터페이스를 보여준다. 사용자는 그림 3의 우측에 있는 실루엣 영상을 마우스로 피킹하여 3차원 모델의 특정 부위에 대한 형상적 차이를 컬러 코딩으로 확인하게 된다. 모델 표면상의 비유사도(에러)가 클수록 표면은 파랑색으로 표현된다.

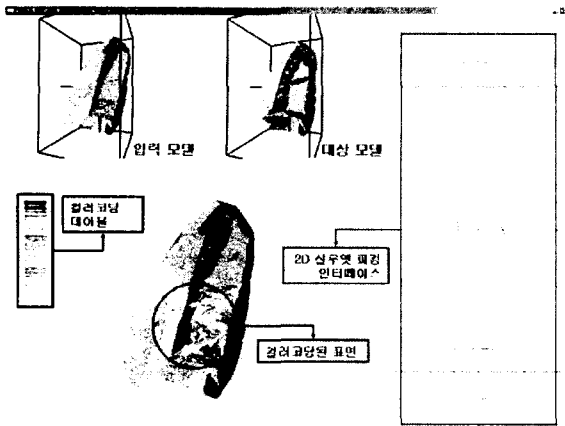


그림 3 폐와 부분적 변형된 폐 모델간의 유사성 결과 시각화와 피킹 인터페이스

3. 실험 및 결과

본 논문의 실험에서는 간, 신장, 폐, 심장, 뇌, 위장을 기본 모델로 하여, 추가적으로 전체 크기가 변형된 두 종류와 부분적인 크기를 변형시킨 여섯 종류의 모델을 포함한, 총 40개의 모델을 유사성 비교 평가에 사용하였다.

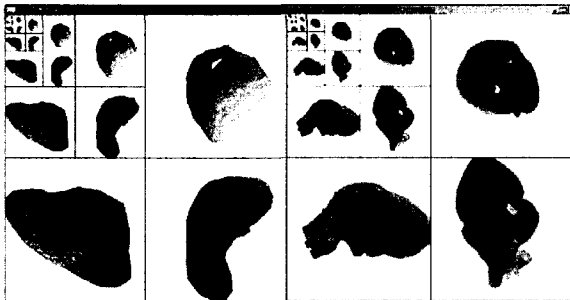


그림 4 간과 심장 모델에 대한 다해상도 깊이맵

표 1은 폐 모델에 대한 유사 정도를 측정한 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 폐 모델에 대한 유사도 측정 결과

	거리 차			종합	유사 순위
	XY평면	YZ평면	XZ평면		
폐(3배확대)	0.00	0.00	0.00	0.00	1
폐(3배축소)	0.00	0.00	0.00	0.00	1
폐 +20%(상부)	4.65	3.46	6.30	14.41	5
폐 +20%(중간)	1.59	1.70	1.21	4.50	2
폐 +20%(하부)	3.25	2.57	2.76	8.58	4
폐 -20%(중간)	1.44	3.20	1.76	6.40	3
간(표준)	13.78	19.41	18.36	51.54	6

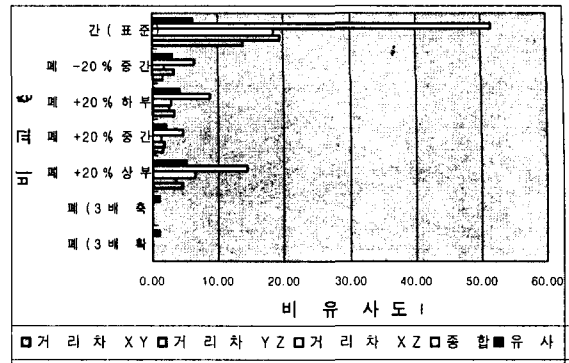


그림 5 폐 모델의 유사성 측정결과 그래프

그림 5는 폐 모델과 그 외 비교 대상 모델간의 유사성을 XY평면, YZ평면, XZ평면 각각으로부터 획득한 실루엣 형상특징들에 대한 시그니처 에러 정도를 측정한 결과를 그래프로 보여 준다. 가로축과 세로축 각각은 비유사도(에러)와 비교대상을 표현한다. 종합 비유사도는 XY, YZ, XZ평면에서 계산된 에러의 합으로 결정된다.

표 2는 다해상도 맵을 이용한 유사성 평가 계산 속도를 평가한 것이다. 해상도에 따른 평가 속도와 정확도의 관계는 반비례한다.

표 2 폐-간 모델의 해상도별 유사성평가 속도(단위:초)

	4X4	8X8	16X16	32X32	64X64	128X128
폐-간	0.02	0.03	0.06	0.08	0.17	0.35

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 3차원 모델간의 형상 유사성을 평가하기 위한 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 시스템의 유사성 평가 능력을 측정하기 위하여 인체 장기 모델에 대한 유사성 평가 실험을 수행하였다. 실험 결과 본 시스템은 형상 비교 시 전체 변형 및 부분 변형, 그리고 스케일, 회전 등의 어파인(affine) 변환에 강인함을 보였다. 또한 다해상도 형상 특징들을 사용하여 유사성 평가 시간과 정확성 측면에서 유연성을 제공하였다. 향후 연구를 통하여 현재 시스템에 추가적으로 3차원 형상 특징들을 이용한 방법들을 복합적으로 적용하고, 모델의 단순한 기하학적 특징과 함께 위상적 특징을 활용할 예정이다.

[참고 문헌]

[1] Thomas Funkhouser and Patrick Min, "A Search Engine for 3D Models", in ACM Transactions on Graphics, pp. 83-105, 2003.
 [2] Christopher M. Cyr and Benjamin B. Kimia, "3D Object Recognition Using Shape Similarity-Based Aspect Graph", ICCV 2001, pp. 254-261, 2001.
 [3] 김정식, 최수미, "실루엣 영상을 이용한 3차원 형상 모델간의 유사도 측정", 한국정보과학회 봄 학술발표 논문집, 2003. 4.24-26.
 [4] Karabassi, E.A., Papaioannou, G., Theoharis, T. "A Fast Depth-Buffer-Based Voxelization Algorithm", Journal of Graphics Tools, ACM, Vol.4, No.4, pp.5-10, 1999.