

# 다중 감각 인터랙션을 이용한 지능형 형상 분석

김정식<sup>○</sup> 김현중 최수미  
smchoi@sejong.ac.kr

## Intelligent Shape Analysis Using Multi-sensory Interaction

Jeongsik Kim<sup>○</sup> Hyunjoong Kim Soomi Choi  
School of Computer Engineering, Sejong University

### 요 약

본 논문에서는 햅틱 피드백과 스테레오 비주얼 큐를 혼합한 다중 감각 기반의 지능형 3차원 형상 분석 방법을 소개한다. 지능형 형상 분석 방법은 3차원 모델의 구조에 대한 보다 상세한 정보를 제공한다. 특히 의료 분야에 사용될 경우 전문가의 개입을 최소화하여 질병 진단 및 치료 등에 사용될 수 있다. 본 연구에서는, MRI나 CT 영상으로부터 생성된 3차원 매개변수형 모델을 이용하여 유사 모델 집단을 대표하는 통계 형상을 구축한 후, SVM (Support Vector Machine) 학습 알고리즘을 이용하여 두 집단간 형상 차이를 분석한다. 3차원 형상에 대한 신속한 시각적 이해와 직관적 조작감은 물체 표면의 형상 변화를 분석하는데 효과적으로 사용될 수 있다. 본 논문에서는 물체 조작 및 관찰 등의 작업을 수행할 때, 햅틱 피드백과 스테레오 비주얼 큐를 혼합한 인터랙션 기법을 사용하여 공간감과 깊이감을 향상시켜 형상 분석 결과를 효과적으로 분석한다. 본 연구에서는 해마, 관상 동맥, 뇌와 같은 인체 장기를 실험 데이터로 사용하여 제안한 SVM 기반의 분석 방법과 인터랙션 환경의 성능을 평가한다. 본 연구에서 구현한 SVM 기반 이진 분류기는 두 집단간 형상 차이를 효과적으로 분석하며, 또한 다중 감각 인터랙션은 사용자가 분석 결과를 관찰하고 카메라 및 형상을 효율적으로 조작하는 데 도움을 준다.

### 1. 서 론

컴퓨터 기술을 이용한 3차원 형상에 대한 분석 과정에서 사용자가 해당 모델 혹은 모델간의 표면으로부터 거리, 볼륨, 각도 등을 측정하는 것은 어려운 작업이다. 현재 대부분의 모델링 툴이나 의료 어플리케이션에서는 복잡한 3차원 구조를 갖는 형상의 분석을 위해 2차원 투영 디스플레이 장치와 마우스와 같은 2차원 기반의 측정 도구들을 이용한다. 특히 의료 분야의 경우, 의료 영상의 해상도가 점차 증가하고, 방사선 영상 전문가들이 관리해야 할 데이터의 양이 많아짐에 따라 분석 시스템에 3차원 시각화 및 조작 도구의 필요성이 증가하고 있다. 일반적으로 데스크톱 기반의 3차원 분석 시스템들이 2차원 마우스를 통하여 3차원 형상에 인터랙션을 수행하는 작업은 간접적 조작임에 반하여 3차원 입/출력 장치는 사용자에게 기존 방법에 비하여 더욱 자연스럽게 직관적인 조작감을 제공한다. Mason 등은 손과 발을 이용하여 비주얼 피드백을 제공하는 VR Setup이 3차원에서의 효과적인 작업을 수행하는데 중요한 역할을 수행함을 언급하였다[1]. 또한 Schnabel은 제안한 가상현실 시스템을 통하여, 강한 depth cues 가 정확하고 신속한 공간감을 인지하는데 중요한 요소임을 강조하였다[2].

과거의 3차원 모델링 툴이나 의료 시각화 시스템은 3차원 모델의 조작 및 분석 작업을 위해 주로 1차원 혹은 2차

원 입/출력 장치들을 사용하였다. 결과적으로 이러한 장치들은 비 직관적이고 복잡한 인터페이스를 구성하여 사용자로 하여금 불편함을 주었다. 이를 해소하기 위하여 최근 다중 감각 가상환경을 도입한 기술들이 소개되고 있다. 이러한 시스템들은 기본적으로 사용자의 자연스럽게 직관적인 인터랙션을 제공하기 위하여 3차원 비주얼 큐, 햅틱 피드백, 3차원 사운드, 음성 등의 다양한 입/출력 장치들을 채택한다. 본 연구와 유사하게 햅틱과 비주얼 정보를 혼합한 인터페이스를 이용하여 가상환경에서 사용자 인터랙션의 성능을 평가한 연구들은 주로 시뮬레이션 어플리케이션의 주요 작업에 초점을 두어 그 작업을 수행 완료하는데 걸리는 시간과 정확도를 주로 평가하였다. Wall [3]은 3차원의 가상환경에서 특정 물체를 목표로 하는 작업들을 수행하는데 햅틱 피드백과 스테레오 그래픽을 이용했을 때의 효과를 예상하고, 그 결과를 제시하였다. 인터페이스의 구성을 위하여 스타일러스가 장착된 PHANTOM 햅틱 피드백 장치와 Reaching 디스플레이를 사용하였다. 실험 결과 "virtual magnets" 를 이용한 햅틱 인터페이스는 작업의 정확성을 향상시켰다. 하지만 작업의 속도는 향상되지 않았다. 그리고 스테레오 큐의 경우 targeting의 공간적 정확성과 수행 성능의 시간적 성능을 향상시켰다. Feygin [4]은 haptic guidance라 부르는 skill 트레이닝을 위해 햅틱 장치와 비주얼 디스플레이 장치를 사용한 연구이다. 3차원 모션 학습 실험을 통하여 Feygin은 haptic guidance가 3차원 모션 트레이닝에 효과적임을 확인하였다. 물론 시각적 학습이 경로 학습을 지도하는 데 더욱 효과적이었지만, 시간적 측면에서는 햅틱이 더욱 효과적이었다.

\* 본 논문은 한국학술진흥재단 (KRF-2005-205-D00105)의 지원으로 수행되었습니다.

## 2. 다중 감각 기반의 지능형 3차원 형상 분석

본 연구에서는 가상 환경에서 3차원 형상에 대한 분석을 효과적으로 수행하도록 하기 위해, 햅틱 피드백과 3차원 스테레오 비주얼 큐를 혼합한 다중 감각 인터랙션 방법과 지능형 형상 분석 방법을 설계하고 구현한다. 그림 1은 다중 감각 인터페이스를 이용한 형상분석 시스템의 전체 구조를 보여준다. 사용자는 3차원 스테레오 디스플레이 장치와 PHANTOM 햅틱 장치를 이용하여 형상 분석을 위한 가상 환경과의 인터랙션을 수행한다. 이 때, 3차원 스테레오 출력 피드백에 햅틱 입/출력 피드백을 동기화 하여 사용자의 인터랙션을 처리한다.

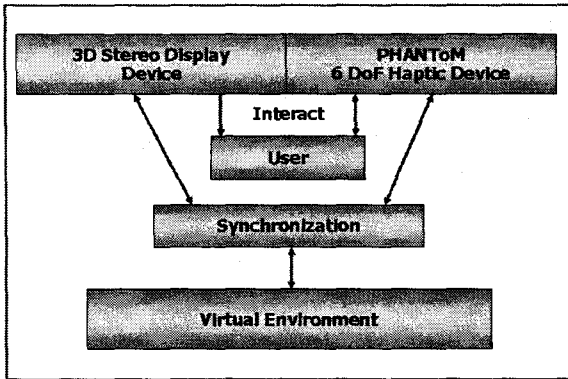


그림 1 형상 분석 시스템 전체 구조

### 2.1 지능형 형상 분석

본 연구의 SVM 학습 알고리즘을 기반으로 한 지능형 형상 분석 방법은 크게 세 가지 단계로 구성된다. 첫째, 3차원 형상으로부터 정량적인 형상 특징들을 추출한다. 이렇게 추출된 데이터는 모델 variation 기반의 generative 모델을 생성하거나 모델에 대한 두 집단간 분류를 위한 discriminative 모델을 생성하는데 사용될 수 있다. 본 방법에서는 후자 모델을 적용하여 3차원 모델들에 대한 두 집단간 분류를 수행한다. 둘째, 3차원 모델의 형상 분석을 위하여, 매개변수형 모델링 방법과 PDM (Point Distribution Model) 방법을 사용하여 유사 형상 집합에 대한 통계 모델을 만든다 [5]. 매개변수형 모델 표현은 3차원 형상의 전역적, 국부적 통계 분석에 유용하게 사용된다. 최종적으로 SVM 기반의 분류기를 이용하여 집단간 이진 분류 작업을 수행한다.

PDM 방법에 의해 생성된 각 집단의 통계 모델들과 매개변수형 모델들은 집단간 형상 차이를 계산하고 이진 분류기의 학습 및 테스트에 사용된다. 예를 들어 본 연구에서는 정상인의 해마 모델 집단과 간질 질환을 갖는 집단간의 형상 차이를 분석하기 위하여 우선, 미리 수집한 표본 모델들을 입력으로 사용하여 SVM 기반 분류 모델을 학습 시킨

다. SVM은 학습 모델 중에서도 특히 over-fitting 문제로부터 자유롭고, 적은 표본 데이터로부터 비교적 정확한 결과를 제공하는 방법이다 [6]. 본 연구에서는 학습된 이진 분류기의 정확성을 평가하고, 선형 및 비선형의 분류기 모델의 최적의 매개변수 조합을 결정하기 위하여 cross-validation 기술을 적용하였다. 또한 네 가지 커널 (linear, polynomial, RBF, sigmoid)을 학습 및 분류 테스트에 사용하였다.

### 2.2 3차원 스테레오 디스플레이 환경

본 연구에서는 3차원 스테레오 비주얼 피드백을 사용자에게 제공하기 위하여 크게 두 가지 장치 setup 을 구성한다. 첫 번째 셋업은 액티브 스테레오 디스플레이 환경이다. 나머지는 오토 스테레오 디스플레이 셋업이다.

인간의 두 눈 사이의 거리는 약 6.5cm 이다. 이 거리에 따른 양안 시차로 인하여, 바라보는 물체를 인지하기 위하여 단일 물체에 대하여 양쪽 눈을 통하여 두 개의 2차원 이미지를 받아들인 후, 두 영상을 뇌에서 혼합하여 원근감을 갖는 하나의 상을 생성한다. 3차원 스테레오 비주얼 피드백의 생성은 바로 이러한 원리에 기인하여 시뮬레이션 된다. 본 연구에서는 스테레오 피드백을 제공하기 위하여 CRT 모니터, 적외선 에미터, 그리고 에미터와 동기화되어 작동되는 안경으로 구성되는 액티브 스테레오 하드웨어 셋업과 헤드 트래킹이 가능한 센서를 내장한 TFT LCD 모니터와 반사체가 부착된 헤드 프레임으로 구성된 3차원 오토 스테레오 셋업을 제공한다. 하드웨어 설정에 추가적으로 OpenGL 라이브러리를 이용하여 액티브 스테레오 렌더링과 오토 스테레오 렌더링 소프트웨어 모듈을 개발했다. Eye-glasses를 필요로 하는 스테레오 이미지를 만드는 과정은 크게 두 부분으로 나뉜다. 우선, 왼쪽과 오른쪽 눈 각각에 영상을 투영할 뷰를 생성한다. 그런 후, 스테레오 효과를 생성하기 위해, 두 개의 perspective 카메라를 활용하여 단일 이미지에 대하여 약간 다른 형태의 뷰 프러스텀을 구성한다. 이 때 각 카메라로부터 생성되는 다른 프러스텀을 비 대칭적으로 배치되는 asymmetric frustum perspective projection 방법을 이용하여 두 개의 이미지를 단일 스크린에 투영하고, 최종적으로 OpenGL 하드웨어 픽셀 버퍼에 저장된 두 개의 다른 이미지들을 번갈아 직접 투영하여 렌더링 결과를 디스플레이 한다. 이와는 달리 오토 스테레오 렌더링은 프리즘 마스크 (column prisms)에 의해 실현된다. OpenGL의 스텐실 마스크 버퍼를 사용하여 왼쪽과 오른쪽 각각의 뷰에 투영되는 두 개의 영상은 동시에 디스플레이 된다. Even prism mask column들은 왼쪽 눈에 굴절되고, 오른쪽의 것들은 오른쪽 눈에 굴절된다. 이러한 디스플레이 원리를 D4D format (vertically interlaced) 이라고 한다. 그림 2는 액티브 스테레오 (왼쪽)와 오토 스테레오 (오른쪽) 렌더링의 원리를 보여 준다.

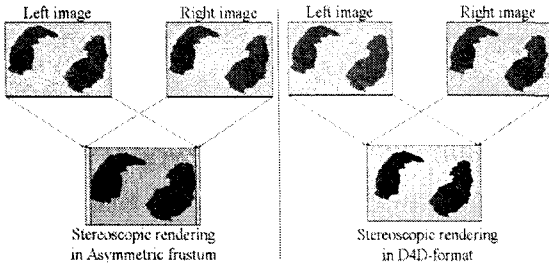


그림 2 3차원 스테레오 렌더링 원리: (왼쪽) 액티브 스테레오 렌더링; (오른쪽) 오토 스테레오 렌더링

### 2.3 햅틱 피드백 환경

햅틱 피드백 장치는 가상의 3차원 해부학적 모델을 만지고 모델 표면의 재질을 느끼고 조작하기 위한 입/출력 인터페이스로 사용될 수 있다. 지금까지 소개되었던 대부분의 햅틱 렌더링 연구들은 크게 세 가지로 분류된다. 1) 3 DoF vs. 6 DoF 햅틱 렌더링, 2) constraints-based vs. penalty-based 햅틱 렌더링, 3) point-object vs. object-object 햅틱 렌더링. 본 시뮬레이션 환경에서는 point-based 햅틱 렌더링을 사용하여 사용자 인터페이스를 구현하였다. Point-based 햅틱 렌더링 방식에서는 HIP (Haptic Interface Point)에 해당하는 햅틱 장치의 스타일러스 펜의 end-effector의 위치가 encoder를 통하여 이산화되고, 그 정보가 가상의 물체와의 충돌을 감지하고 힘을 계산하는 데 사용된다. 일단 충돌이 감지되면, IHIP (Ideal Haptic Interface Point)와 같은 접촉 지점이 결정되고 IHIP와 HIP 좌표간 거리차이로부터 계산된 penetration 깊이를 벡터로부터 최종 힘을 구하여 햅틱 스타일러스에 반영한다. 이러한 힘 모델의 계산은 Sensable사의 OpenHaptics 라이브러리를 사용하였다. 이 라이브러리는 충돌검사와 햅틱 및 그래픽 렌더링 작업을 다중 스레드와 동기화 기법을 적용하여 1000Hz의 햅틱 갱신률과 30Hz의 그래픽 갱신률을 보장한다. 결과적으로 사용자는 해부학적 모델과의 자연스럽게 직관적인 인터랙션을 수행할 수 있다.

### 3. 실험 및 결과

본 연구에서는 3차원 비주얼 렌더링에 햅틱 피드백을 혼합한 다중 감각 인터페이스 환경이 해부학적 모델들에 대한 3차원 형상 분석을 효과적으로 지원하는지를 평가하기 위하여, 인체 뇌 모델, 뇌의 하루 구조인 해마 모델, 그리고 관상 동맥 혈관 모델에 대한 형상 변형 차이를 이용한 집단간 분류 실험과 사용자 인터랙션의 성능을 평가하는 실험을 하였다. 그림 3은 실험에 사용한 모델을 나타낸다.

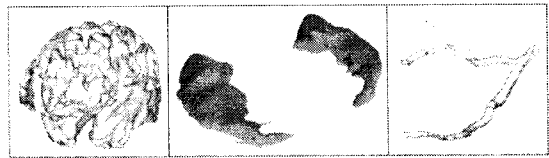


그림 3 실험 모델들: (왼쪽) 뇌; (중양) 해마; (오른쪽) 관상 동맥

본 실험에서 해마의 형상 분석을 위해 우선 인체 뇌의 MRI 데이터로부터 해마 영역을 추출한다. 이렇게 추출된 데이터는 마칭큐브 알고리즘에 의해 메쉬 모델로 재구성되고, 그런 후 3차원 모델링 툴을 이용하여 80개의 샘플 모델을 생성한다. 이 모델들은 이진 분류기 생성을 위한 학습과 분류 테스트에 이용된다. 본 실험에서는 네 가지 커널을 이용하여 두 유사 형상 집단간 분류 성능을 평가하였다. 실험 결과 polynomial 커널 기반의 분류기가 가장 좋은 학습 및 분류 결과를 보여 주었다. 표 1은 상기의 네 가지 커널을 이용한 학습 및 분류 테스트 결과를 보여 준다.

표 3 해마 모델에 대한 집단간 분류 결과

kernel \ estimate	linear	RBF	polynomial	sigmoid
error	35.1%	16.4%	5.8%	43.8%
precision	54.5%	69.6%	95.7%	38.5%
recall	57.3%	71.2%	98.9%	41.2%

본 실험에서는, 형상 분석의 대상이 되는 해부학적 모델을 조작 (object grasping, material feeling)과 카메라 시점을 변경 (translating, rotating, zooming)하고, 국부적 형상 분석 및 관찰을 수행하는 데 PHANTOM 6 DoF 햅틱 장치를 사용하였다. 3차원 스테레오 디스플레이와 햅틱 장치를 복합적으로 구성한 시스템 환경이 시각적 분석 과정에서 사용자의 몰입감과 형상에 대한 인터랙션의 정확성을 증강시킬 수 있다는 가정을 증명하기 위하여, 본 실험에서는 크게 세 가지 환경 (2D 디스플레이 + 햅틱 피드백, 3차원 액티브 스테레오 디스플레이 + 햅틱 피드백, 3차원 오토 스테레오 디스플레이 + 햅틱 피드백)을 실험에 적용하였다. 두 번째 실험 환경에서는 그림 4에서 볼 수 있듯이 Stereographics사의 CrystalEyes 액티브 스테레오 디스플레이 환경에 햅틱 센서리를 혼합하였다. 그림 4의 왼쪽은 사용자가 특수 안경을 착용한 후, 햅틱 스타일러스 핸들을 이용하여 국부적으로 형상 분석을 수행하고, 그 결과를 관찰하는 모습을 보여준다. 마지막 실험 환경에서는 SeeReal사의 3차원 오토 스테레오 디스플레이 장치를 비주얼 렌더링에 이용하였다. 그림 5는 SeeReal사의 디스플레이 장치를 이용한 3차원 오토 스테레오 하드웨어 구성을 보여 준다. 구현한 인터페이스에 대한 사용성 평가를 위하여 3차원 스테레오 디스플레이와 햅틱 장치에 대한 경험이 없는 총

다섯 명의 피 실험자들을 선정하여 크게 세 가지 평가 항목으로 1) 모델에 대한 접근 용이성과, 2) 계층적 형상 분석 용이성, 그리고 3) 카메라 시점 변경 용이성을 조사하였다. 첫 번째, 두 번째 평가 결과로서, 두 번째와 세 번째 장치 환경이 첫 번째 환경보다 더 물체를 조작하고 접촉하는데 효과적이었음을 확인하였고, 세 번째 평가로부터 두 번째 장치 환경이 형상 분석을 위한 가장 효과적인 결과를 보여 주었다.

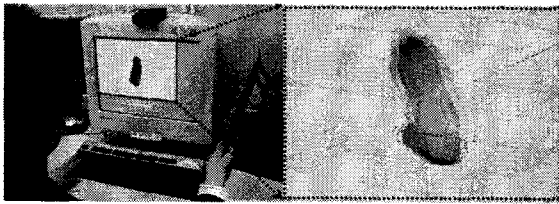


그림 4 액티브 스테레오 디스플레이와 햅틱을 혼합한 다중 감각 인터랙션 기반 형상 분석 환경 1

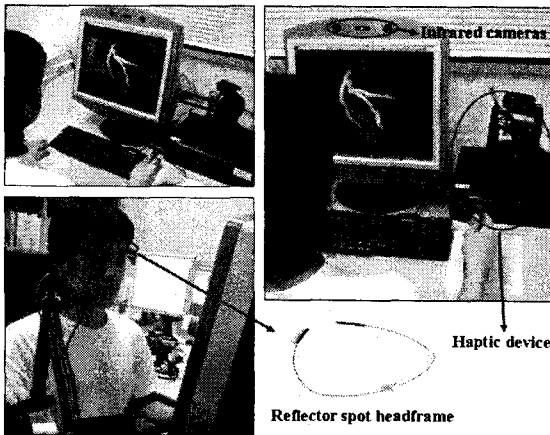


그림 5 오토 스테레오 디스플레이와 햅틱을 혼합한 다중 감각 인터랙션 기반 형상 분석 환경

#### 4. 결 론

본 논문에서는 SVM 이진 분류기 기반의 지능형 형상 분석 방법을 이용하여 두 형상 집단간 분류 작업을 수행하였다. 그리고 햅틱 장치와 스테레오 디스플레이 장치를 혼합한 다중 감각 인터랙션 방법을 이용하여 형상 분석 결과를 관찰하고 물체를 조작하기 위한 장치 환경을 구성하고 관련 소프트웨어를 구현하였다. 실험을 통하여, polynomial 커널을 이용한 SVM 기반 분류기가 집단간 분류에 가장 좋은 성능을 보여 주었으며, 오토 스테레오 디스플레이 장치와 햅틱 장치를 혼합한 인터랙션 환경이 형상 분석 결과를 관찰하고, 형상을 조작하는 데 가장 효과적이었다. 향후에는 다중 감각 인터랙션에 대한 좀

더 정량적인 사용성 평가를 수행할 것이다.

#### [참고문헌]

- [1] A.H. Mason, M.A. Walji, E.J. Lee, and C.L. Mackenzie. Reaching movements to augmented and graphic objects in virtual environments. In CHI '01: Proc. Of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp. 426-433. ACM Press, 2001.
- [2] M.A. Schnabel and T. Kvan. Spatial understanding in immersive virtual environments, Int. Journal of Architectural Computing (IJAC) Vol. 1, No. 4, pp. 435-448, 2003.
- [3] S.A. Wall, et.al., "The Effect of Haptic Feedback and Stereo Graphics in a 3D Target Acquisition Task," Proc. Of Eurohaptics 2002, pp. 23-29, 2002.
- [4] D. Feygin, et.al., "Haptic Guidance: Experimental Evaluation of a Haptic Training Method for a Perceptual Motor Skill," Proc. Symp. Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 40-47, 2002.
- [5] S.M. Choi, et.al., "Shape reconstruction from partially mission data in modal space", Computer & Graphics, Vol. 26, No. 5, pp. 701-708, 2002.
- [6] V.N. Vapnik, "The nature of statistical learning theory, Springer, 1995.