

# 옥트리 기반의 해마의 국부적 형상 분석

김정식<sup>아</sup>, 최수미<sup>†</sup>, 최유주<sup>††</sup>, 김명희<sup>††</sup>

<sup>†</sup>세종대학교 컴퓨터공학부, <sup>††</sup>이화여자대학교 컴퓨터학과

## Octree-based Local Shape Analysis of the Hippocampus

JeongSik Kim, SooMi Choi, YooJoo Choi, MyoungHee Kim

<sup>†</sup>School of Computer Engineering, Sejong University

<sup>††</sup>Dept. of Computer Science and Engineering, Ewha Womans University

### 요약

본 논문에서는 메쉬, 복셀, 골격 데이터를 포함하는 복합적인 옥트리 기반의 형상 표현을 이용하여 해마의 형상을 분석하기 위한 효과적인 방법을 제공한다. 먼저, 자기공명영상으로부터 분할된 해마 영역에 마칭큐브 알고리즘을 적용하여 다단계 메쉬 데이터를 생성한다. 이렇게 생성된 메쉬 모델을 하드웨어 깊이맵을 이용한 복셀화 과정을 통하여, 중간 단계의 이진 복셀 표현으로 변환한다. 마지막으로 광선 추적 방법에 의해 추출된 샘플 메쉬들에 대하여 L2 Norm을 계산함으로써 형상 특징을 생성한다. 본 연구에서 제시한 방법은 사용자 피킹 인터페이스를 이용하여 국부적 부위에서의 계층적 형상 분석을 가능하게 한다. 또한 계층적 Level-of-Detail 접근 방법은 정확도를 유지하며 형상분석의 소요 시간을 절약하도록 한다.

### 1. 서론

해마는 뇌에 포함되어 있는 해부학적 구조로서 학습과 기억 연산을 위한 중요한 역할을 담당한다. 이러한 해마의 구조 및 볼륨에서의 이상이 알츠하이머, 정신분열증, 간질 등과 같은 정신의학적 질환에 깊게 관련되어 있음이 최근 연구들에서 밝혀지고 있다[1].

해마의 국부적 형상 분석을 위한 대표적인 표현 방법에는 3차원 골격을 기반으로 하는 Medial representation (M-rep)[2] 을 들 수 있다.

Styner 등[3]은 해마 구조에 대한 중앙 축 (medial axis)을 기반으로 한 M-rep 표현법을 제안하였다. M-rep는 중앙 축을 중심으로 국부적인 거리와 두께에 대한 측정값을 제공한다. 하지만 형상의 작은 차이만을 반영하는 한계를 지닌다. 또한 국부적 형상 분석에 적합하지만 해마의 전반적 표면에서의 세밀한 변화를 반영하는 전역적 형상 분석 작업에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 3차원 해마 구조를 위한 계층적 LOD (Level-of-Detail) 표현법을 제시하고, 이를 기반으로 사용자가 마우스 피킹 인터페이스를 이용하여 국부적인 형상을 분석할 수 있고, 해마 형상의 형상 분석 작업에 계층적 다해상도 표현을 적용할 수 있는 방법을 개발한다. 먼저, 자기공명영상으로부터 해마

본 논문은 과학기술부 국가지정연구실 사업(NRL)에 의해 지원 되었음 (M1-0204-00-0169)

영역을 분할한 후, 마칭큐브(Marching cube) 알고리즘을 적용하여 여러 상세도의 3차원 형상 모델을 생성한다. 이렇게 생성된 3차원 형상 모델은 옥트리(Octree) 자료 구조를 이용하여 공간적으로 분류된다. 국부적인 형상 분석은 옥트리 자료 구조의 레벨을 사용자가 선택함으로써 이루어지거나 해마의 골격점들을 선택함으로써, 인터랙티브하게 이루어진다. 또한 정량적인 수치 분석과 더불어 컬러코딩 방법을 이용하여 사용자가 육안으로 형상 변화 정도를 쉽게 판별할 수 있도록 그 결과를 시각화 한다.

## 2. 옥트리 기반의 다해상도 형상 표현

### 2.1 해마의 표면 모델 생성

해마에 대한 형상 분석을 위해서 먼저 환자의 뇌 MRI 영상으로부터 해마 부위를 분할한 후, 마칭큐브 알고리즘[4]에 의해 3차원 삼각형 메쉬 모델을 생성한다.

마칭큐브 알고리즘을 이용한 해마의 표면 재구성 과정은 다음과 같다. 우선, 분할된 해마 부위에 대한 영상 슬라이스로부터 정육면체를 생성한다. 그런 후에 정육면체의 인덱스를 계산하고, 각 인덱스와 연결된 에지 리스트를 탐색함으로써 표면 에지의 분할 위치에 따른 해당 분할점의 단위 노말을 계산하여 재구성된 3차원 메쉬 좌표 값들을 얻게 된다.

### 2.2 옥트리 기반의 계층적 LOD 표현: 메쉬,복셀,골격

본 연구에서는 3차원 메쉬, 복셀, 골격과 같은 세 가지 다른 유형의 데이터를 옥트리 자료구조 내에 구성함으로써, 계층적 LOD 표현을 생성한다.

- Step 1. 깊이맵 기반의 복셀화를 수행한다.
  - Step 2. 복셀로부터 골격을 추출한다.
  - Step 3. 옥트리를 구축한다.
  - Step 4. 메쉬, 복셀, 골격 데이터를 옥트리에 공간 분할하여 넣는다.

[그림 1] 옥트리 기반의 계층적 LOD 표현 생성과정

그림 1은 옥트리 기반의 계층적 LOD 표현을 생성하는 과정을 나타낸다.

옥트리는 개념적으로 각 노드 당 최대 여덟 개의 자식 노드들을 가질 수 있는 하나의 트리(tree, 비순환적 그래프의 일종)이다. 옥트리를 이용한 다해상도 접근 방법은 형상 표현의 계층적 다해상도를 지원한다. 특히 이러한 계층적 공간 구조는 전역적, 부적 다해상도 표현에 용이하다.

깊이맵 기반의 복셀 표현의 생성 과정은 크게 세 단계로 구성된다. 우선, 모델의 바운딩 박스를 계산한 후, 박스의 각 면을 뷰 평면으로 하는 곳에 모델의 상을 투영하게 된다. 그런 후 깊이맵의 해상도  $n$  ( $n^3$  voxels)을 지정하고, 세 축에 대한 세 쌍의 버퍼로부터 3차원 모델에 대한 최소거리와 최대거리를 구함으로써 오브젝트에 해당하는 복셀 공간을 정의하게 된다. 본 논문에서 채택한 방법[5]은 3차원 모델의 메쉬 수나 형상 골격과 같은 요소에 영향을 받지 않는다.

3차원 모델의 골격 표현은 골격을 중심으로 한 형상 특징 추출에 사용된다. 골격 추출 알고리즘은 크게 세 단계를 거친다. 첫째,  $y$ 축 기준으로 하여 3차원 복셀 공간을  $n$ 개의 2차원 복셀 영상으로 나눈다. 둘째, 각 영상의 오브젝트 영역으로부터 중심점을 계산하여 골격점들을 결정한다. 마지막으로 선형 보간 작업으로 골격을 구성하는 이웃 골격점 쌍들의 간격을 균일하도록 해준다.



(a)메쉬 (b)복셀 (c)골격 (d)옥트리구축

[그림 2] 옥트리 기반의 계층적 LOD 표현들

그림 2의 (a)부터 (c)까지는 해마 모델로부터 생성된 메쉬, 복셀, 골격 표현이며, (d)는 세 가지 표현들이 옥트리에 의해 공간적으로 분류된 것이다.

### 3. 계층적 LOD 기반의 국부적 형상 분석

#### 3.1 모델 정규화

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

본 연구에서는 포즈 정규화를 위해 세 가지 작업을 수행한다. 첫째, 위치 정규화는 기하학적 중심을 모델의 원점으로 사용한다. 둘째, 방향 정규화는 PCA(Principal Component Analysis)를 이용하여 모델의 주축(principal axis)을 결정함으로써 이루어진다. 셋째, 크기 정규화는 두 모델의 최소 범위와 최대 범위를 평균하여 구해진 바운딩 박스를 기준으로 한다.

#### 3.2 형상 분석을 위한 형상 특징 및 측도

본 연구에서는 형상 분석을 위하여 광선 추적 알고리즘을 기반으로 한 메쉬 샘플링 작업을 수행하고, 이렇게 추출된 샘플 메쉬들에 대한 L2 Norm 을 측도로 사용하여 유사성을 계산한다.

메쉬 샘플링 기반의 형상 특징 추출은 골격틀을 구성하는 각 골격점들과 원형 맵의 정점들이 이루는 광선들과 오브젝트 메쉬간의 충돌을 검사함으로써 수행된다[6]. 이때 원형 맵은 해당 골격점이 존재하는 슬라이스 평면에 존재한다. 원형 맵의 생성은 식 1로 정의된다.

$$S(\theta, r) = (r * \cos(\theta), r * \sin(\theta)) \quad (\text{식 1})$$

$$(0 \leq \theta \leq 360)$$

3차원 모델간의 형상적 차이를 정량적으로 측정하기 위해서 유사 정도를 평가하는 측도가 필요하다. 본 논문에서는 기본 어파인 변환들(회전, 이동, 스케일)에 강인한 특성을 보이는 L2 Norm 을 측도로 이용한다.

$$x = [x_1, x_2, x_3]$$

$$|x| = \sqrt{\sum_{k=1}^3 |x_k|^2} \quad (\text{식 2})$$

식 2의 수식으로 정의되는 L2 Norm은 입력된 두 모델로부터 추출한 샘플 메쉬간 거리를 측정에 사용된다. 본 방법에서는 L2 Norm의 입력으로 분석 대상이 되는 두 모델의 샘플 메쉬의 중심점을 선택하였다.

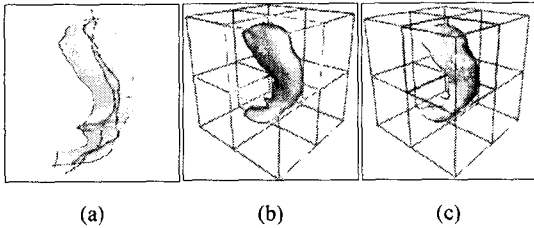
### 4. 구현 결과

본 연구에서는 계층적 LOD를 이용한 국부적 형상 분석 방법의 실험을 위하여 마칭큐브 알고리즘을 적용하여 재구성한 정상인과 간질 환자의 3차원 해마 모델들을 사용한다. 본 구현에서는 그리드 2의 해상도를 갖는 해마 데이터를 기본 실험 데이터로 채택하였다. 추가적으로, 해마 형상에 대하여 국부적으로 크기를 변형시키고 메쉬의 해상도를 달리함으로써, 총 72개의 모델을 형상 분석 실험에 사용하였다. 실험에 사용되는 해마 모델들은 최소 500개부터 최대 14,400개의 메쉬들로 이루어져 있다.

본 방법에서 제시한 마우스 피킹 인터페이스는 사용자가 모델의 특정 부위에 대하여 형상 분석 및 그 결과를 시각화할 수 있도록 해준다. 사용자 피킹에 의한 국부적 형상 분석은 우선, 입력 모델로부터 옥트리틀을 구축하고, 피킹 인터페이스를 사용하여 모델간 유사성 평가를 위한 특정 골격점이나 옥트리 세부 노드를 지정한다. 마지막으로, 해당 공간에 할당된 샘플 메쉬 형상특징들을 이용하여 형상 유사성 계산 및 시각화를 수행한다.

그림 3은 피킹 인터페이스를 이용한 국부적 형상 분석 결과를 보여준다. 그림 3-(a)는 골격점 피킹에 의한 국부적 형상 분석 결과이고, 그림 3의 (b)와 (c)는 옥트리 노드 피킹에 의한 특정 공간을 대표하는 노드에서의 형상분석 결과를 보여준다. 제시된 옥트리 자료구조는 본 연구에서 두 가지 중요한 역할을 수행한다. 첫째, 전역적 유사성 평가뿐만 아니라, 국부적 유사성 평가를 위한 세부적인 공간적 접근법

을 제공한다. 둘째, 옥트리 자료구조에 메쉬, 복셀, 골격 데이터를 공간적으로 분할 저장하여, 샘플링에 소요되는 시간들을 효과적으로 줄이도록 구현하였다.



[그림 3] 피킹 인터페이스를 이용한 국부적 형상분석

본 실험에서는 국부적 형상 분석을 위하여 L2 Norm 측도를 이용하였다. 표 1은 간질 환자의 해마 그룹간의 국부적 형상 분석 결과의 일부이다. 표 1에서 REF는 형상 분석의 참조가 되는 간질 환자의 왼쪽 해마 모델이며, T1은 REF 모델의 옥트리 레벨 1에서의 upper-front-right에 해당하는 부분을 확대한 변형된 형태의 모델이다. T2의 경우는 옥트리 레벨 1에서의 bottom-front-left 부분을 확대 변형한 모델이다. N1부터 N8까지는 옥트리의 레벨 1에 해당하는 노드 번호가 된다. 표 1에서 회색으로 표시된 영역은 스케일 변형이 이루어진 부위에 대한 옥트리 노드에서의 형상 분석 결과이다. 결과적으로 표 1에 제시된 결과를 통하여 본 연구에서 제시한 옥트리 기반의 국부적 형상 분석 방법이 해마의 국부적인 형상 변화를 비교적 정확한 평가 결과를 보여줌을 볼 수 있다.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
REF:T1	0.15	0.77	0.84	3.15	0.00	0.00	0.00	0.15
REF:T2	1.20	0.00	0.00	0.00	3.12	2.00	1.00	1.44

### 5. 결론

본 연구에서 제시한 옥트리 기반의 계층적 다해상도 표현은 복합적인 형상 데이터(메쉬, 골격, 복셀)를 이용하여 3차원 모델이 갖는 기하학적, 위상학적 특성을 복합적으로 반영한 형상분석 방법을 제공한

다. 또한 사용자 피킹 인터페이스와 옥트리의 연동을 통하여 3차원 모델의 국부적 및 계층적 형상분석을 가능하게 하였고, 그 결과를 정량적, 정성적으로 판별할 수 있도록 하였다.

향후 연구로는 첫째, 옥트리 탐색 및 구축에 있어서의 시간 복잡도를 줄이는 것이다. 둘째, 현재의 골격화 방법을 해마 외의 보편적인 모델들에도 적용 가능하도록 기존 방법을 개선할 필요가 있다. 또한 기하학적 표현과 더불어 위상적 표현을 형상 분석에 반영해야 할 것이다. 셋째, 본 연구 방법은 coarse-to-fine 형태로 모델간의 형상적 차이를 분석하도록 해준다. 향후에는 이러한 특성을 이용하여 Support Vector Machine(SVM)과 같은 다중 분류기를 이용하여, 정상인과 환자의 장기들을 특정 그룹들로 분류하는 알고리즘을 개발하는 작업이 수행될 것이다.

### [참고문헌]

- [1] D. Dean, P. Buckley, F. Bookstein, J. Kamath, D. Kwon, L. Friedman and C. Lys, "Three dimensional MR-based morphometric comparison of schizophrenic and normal cerebral ventricle," Vis. In Biom. Computing, Lecture Notes in Comp. Sc., 1996, pp.363-372.
- [2] S.Pizer, D. Fritsch, P. Yushkevich, V. Johnson, and E. Chaney, "Segmentation, registration, and measurement of shape variation via image object shape," IEEE Trans. Med. Imaging, Vol.18, Oct. 1999, pp.851-865.
- [3] M. Styner, J. A. Lieberman, G. Gerig, "Boundary and Medial Shape Analysis of the Hippocampus in Schizophrenia," MICCAI, 2003, pp.464-471.
- [4] W.E. Lorensen, H.E. Cline, "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm," Computer Graphics Vol.21, No.4, 1987, pp.163-169.
- [5] E. A. Karabassi, G. Papaioannou and T. Theoharis, "A Fast Depth-Buffer-Based Voxelization Algorithm," Journal of Graphics Tools, ACM, Vol.4, No.4, 1999, pp.5-10.
- [6] T. Möller and B. Trumbore, "Fast, minimum storage ray-triangle intersection," Journal of graphics tools, Vol.2, No.1, 1997, pp.21-28.