

# 칼라 볼륨 데이터의 3차원 입체 영상 재구성

김보형, 이철희, 정동균, 신영길, 김종효\*, 강홍식\*  
서울대학교 전산학과 및 서울의과대학 진단 방사선과\*

## 3D Reconstruction of Color Volume Data

Bo-Hyoung Kim, Cheol-Hi Lee, Dong-Kyun Jung, Yeong Gil Shin, Jong-Hyo Kim\* and Heung Sik Kang\*

Department of Computer Science, Seoul National University, Seoul, Korea

Department of Radiology, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea\*

### ABSTRACT

In this paper, we present a 3D reconstruction method of color volume data for a computerized human atlas. Binary volume rendering which takes the advantages of shear-warp factorization and new normal vector calculation method visualizes 3D organs in real time. Various manipulations such as rotation, multiple object rendering, removal, and transparency effect improve the usefulness and comprehensiveness of the computerized atlas.

### 1. 서론

최근 들어 의학 해부도 응용 프로그램[1-3]의 필요성이 증가되면서 visible human data(NLM의 'Visible Human' 프로젝트에서 생성한 의료 데이터)의 사진 촬영 데이터를 이용하여 가시화를 수행하거나 고화질의 렌더링을 위한 경계 추출과 관련된 여러 가지 연구가 이루어지고 있다[4-6]. 하지만 이러한 연구 대부분은 대화식 수준의 렌더링을 위해 동일 표면 추출(isosurfacing)[7]과정을 거쳐 특정한 컴퓨터 모델링 소프트웨어나 하드웨어를 사용하는데, 이러한 표면 렌더링(surface rendering) 방법은 면 표현을 위한 전처리 시간이 엄청날 뿐만 아니라, 원래의 데이터가 면 근사(surface approximation)에 부적합하여 상실되거나, 면으로 표현하기가 불가능한 구조물이 있다는 단점[8]이 있다. 또 면 렌더링에서 음영 처리나 투명 표현과 같은 광학 효과를 내기 위해서는 3-D 텍스처 맵핑을 이용해야 하며 이러한 텍스처 맵핑이 가능한 장비의 비용 또한 엄청나다. 이러한 단점을 보완하기 위해 볼륨 렌더링을 이용하여

RGB 칼라 볼륨 가시화를 수행하는 경우에도 방대한 볼륨 데이터의 양 때문에 대화식 수준의 렌더링을 위해 고가의 장비에 의존하고 있어 연구 결과의 대중적인 응용이 현실적으로 어려운 실정이다.

본 연구에서는 의학 해부도 응용 프로그램의 필수 기능인 3-D 렌더링을 방사선 영상 데이터가 아닌 경계추출된 칼라 슬라이스로 구성된 볼륨 데이터를 이용하여 특정 하드웨어의 도움없이 일반 PC에서 대화식 수준의 속도로 수행할 수 있는 가시화 방법을 제안한다. 이 방법들은 [11-12]에서의 시각 변환 행렬 분해에 근거하여 1벌의 인코딩 데이터만을 사용하여 임의의 방향에서의 렌더링을 수행한다.

본 연구에서 다루는 데이터는 visible human data 중에서도 절단면의 사진 촬영에 의해 얻은 RGB 칼라 화상이다. 이러한 칼라 슬라이스로 이루어진 2차원 데이터에서 3차원 입체 영상을 재구성하기 위해서는 구조물의 레이블링과 경계 추출이 선행되어야 한다. 이를 위해 이미지 스냅핑(image snapping)과 인텔리전트 시저즈(intelligent scissors)기법[9-10]을 사용하여 보다 효율적인 경계 추출을 가능하게 하였다.

### 2. 해부학적 구조물의 레이블링과 반자동화된 경계 추출 방법

Visible Human 데이터에서 유용한 정보를 얻기 위해서는 구조물의 레이블링과 경계 추출이 먼저 수행되어야 한다. 본 연구에서는 관심있는 구조물의 경계 추출을 위하여 이미지 스냅핑(image snapping)과 인텔리전트 시저즈(intelligent scissors)기법을 사용하여 마우스나 펜을 이용하여 보다 용이한 경계 추출을 가능하게 한다.

이와 함께 셰이프-베이스드 보간(shape-based

interpolation)기법을 이용하여 경계 추출과정의 반자동화를 수행하였다. 여기서 “반자동화”란 일정간격 떨어진 슬라이스를 이용하여 구조물의 모양을 추정하는 것을 의미한다. 실제 레이블링과 경계 추출은 어떤 슬라이스 인터벌 간격으로 수행이 되고 그 사이의 슬라이스에서의 구조물의 모양은 웨이프-베이스드 보간기법을 이용하여 생성한다.

이 알고리즘은 경계 추출이 수행되지 않은 슬라이스에서 원하는 구조물의 모양을 얻기 위해서, 실제 손으로 레이블링이 수행된 슬라이스내에서의 구조물의 모양을 이용한다. 구조물의 모양은 실제 경계 추출이 수행된 경계로부터의 거리에 의해 추정이 되는데, 이 거리는 필터링 계산으로 쉽게 얻어질 수 있는 체임퍼 디스턴스(chamfer distance)에서 계산이 된다.

그리고, 데이터의 양을 줄이기 위해서 3\*3 인접 화소의 값을 평균을 내어 0.33mm의 슬라이스 해상도를 1mm로 낮추었다. 경계 추출과 레이블링을 수행한 후에 같은 레이블을 갖는 영역의 경계를 추출하여, 그 값들을 런-길이 인코딩을 하여 관련 데이터의 양을 현저히 줄여 렌더링 시간의 향상을 꾀하였다.

### 3. RGB 볼륨 데이터 이진 렌더링

일반적인 볼륨 렌더링에서 다루는 데이터는 분류된 볼륨 데이터(classified volume data) - 불투명도 변환 함수(opacity transfer function)를 적용하여 얻은 데이터-로서 0에서 1사이의 불투명도와 칼라값을 복셀값으로 가진다. 반면 본 연구에서와 같은 칼라 화상으로만 이루어진 볼륨 데이터의 가시화는 각 샘플 포인트가 r,g,b 값 만으로만 구성되어 있기 때문에 불투명도가 0과 1로만 이루어진 볼륨을 가시화하는 이진 볼륨 렌더링이 필요하다. 이 절에서는 런-길이 인코딩(run-length encoding)된 데이터를 쉬어-왓 분해에 근거하여 PC기반에서 대화식 수준으로 3-D 칼라 입체 영상을 구성하는 두 가지의 이진 볼륨 렌더링 방법에 대하여 설명하겠다.

일반적인 볼륨 렌더링에서는 광선을 따라가면서 그 광선과 만나는 비투명 복셀들의 칼라값과 불투명도값을 누적하여 최종 투영 평면에서의 음영 값을 결정한다. 하지만 RGB-칼라 화상의 슬라이스로 구성된 3차원 볼륨 데이터와 같이 전처리단계에서 복셀의 법선 벡터의 값을 미리 계산할 수가 없는 경우에 사용되는 이진 볼륨 렌더링에서는 샘플링된 볼륨 데이터에서 이진 깊이 화상(binary depth image)을 만들어내는 일이 필수적이다. 이진 깊이 화상은 3차원 데이터를 시각 방향에 수직인 평면상에 평행 투영하고, 투영된 각 화소에는 관측점에서 보이는 복셀의

깊이 값(depth value)을 부여하여 만들어 낸 2차원 이미지이다. 일단 이진 깊이 화상이 구성되고 나면, 이진 깊이 화상에서 추정된 법선 벡터와 원래 볼륨에서의 칼라값을 이용하여 최종 평면에서의 화소값을 계산할 수 있다.

여기에서 제시하는 렌더링 방법은 물체 순서(object-order)에 근거한 볼륨 탐색 방법을 이용하여 일반 PC에서 대화식 수준으로 렌더링을 수행한다. 이 방법은 시각 변환 행렬을 3단계로 분해하는 쉬어-왓 분해에 근거한다. 쉬어-왓 분해는 볼륨에서의 복셀의 행과 중간 투영 평면에서의 픽셀의 열이 서로 평행을 이룬다는 속성을 가지고 있다. 이 속성은 볼륨과 중간 투영 평면에 있는 공간 상관관계를 이용하여 두 개를 동시에 탐색하는 것을 가능하게 해준다.

시각 변환 행렬  $View$ 의 분해는 아래와 같다.

$$M_{int} \bullet M_{shear} \bullet M_{warp} = View \text{-----}(1)$$

$M_{int}$ 는 실좌표계를 중간 투영 좌표계로 변환하는 행렬이고,  $M_{shear}$ 는 볼륨을 쉬어된 물체 공간으로 변환하는 행렬이다.  $M_{warp}$ 는 쉬어된 물체 공간을 최종 이미지 좌표계로 변환한다.

이 절에서 제시하는 방법은 중간 깊이 화상의 화소값 결정을 간소화하고 중간 깊이/칼라 화상에서 음영 처리를 수행할 수 있는 새로운 법선 벡터 계산법을 적용하여 중간 음영 화상을 구성한 후, 효율적인 2차원 워핑[13]에 의해 최종 영상을 얻는다.

1°) 합성 :  $M_{int} \bullet M_{shear}$ 에 따라서 볼륨 데이터를 중간 화상에 투영하여 중간 깊이 화상과 중간 칼라 화상을 만든다.(워핑 후 음영 처리 이진 렌더링의 1°)과 동일)

2°) 음영 처리 : 새로운 법선 벡터 계산법을 적용하여 중간 깊이 화상과 중간 칼라 화상에서 찌그러진 중간 음영 화상을 얻는다.

3°) 워핑 :  $M_{warp}$ 에 따라서 중간 음영 화상을 워핑시켜 최종 음영 화상을 얻는다.

위의 볼륨 렌더링과정을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

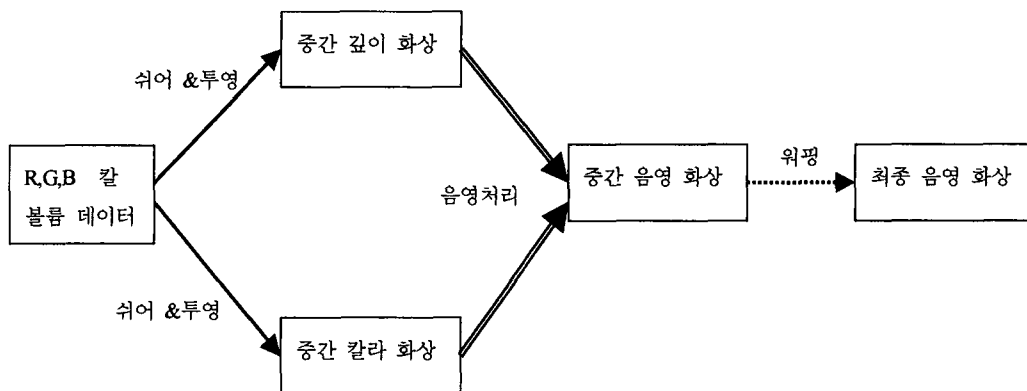


그림 1. 워핑 전 음영 처리 이진 렌더링

참고 문헌

4. 실험 및 결과

지금까지 신체 아래 부분에 있는 근육, 건, 뼈들의 경계추출과 레이블링을 수행하였다. 링-길이 인코딩된 데이터와 3 절에서 제시한 렌더링 방법을 이용하던 하나의 프레임을 0.5 초내외로 만들수 있다. 화질은 구조물을 이해하기에는 만족스럽지만 경계추출과정에서의 오차로 인한 문제점들이 발견되었다. 제공되는 렌더링 조작 기법은 회전, 삭제, 인공색상 입히기, 투명 표현 등이다.

그림 2는 신체 고관절에 해당하는 곳에 있는 근육들을 경계추출하여 얻은 280\*280\*128 RGB 칼라 볼륨 데이터로 6 개의 근육을 가시화하고 그 중 3 개의 3 개의 근육을 인공적인 색상으로 렌더링하였다. 그림 3은 투명 효과를 보여 주는 것으로서 피부를 투명하게 렌더링하였다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 PC에 기반한 사진 해부도를 위한 경계 추출 방법과 렌더링 방법을 제시하였다. 경계추출은 마우스 스냅핑(mouse snapping)과 인텔리전트 시저즈(intelligent scissors) 방법을 이용하여 수행하였고, 웨이프-베이스드 보간 방법에 근거한 반자동화된 경계 추출 방법은 레이블링과 경계 추출 과정에서 필요한 단순 작업을 현격히 줄인다. 쉬어-왓 분해에 근거한 이진 볼륨 렌더링은 2D 슬라이스로 구성된 데이터에서 다양한 조적을 대화식 수준으로 재구성하여 PC에 기반한 인체 해부도의 실시간 조적을 가능하게 하였다. 화질의 손실 없이 관련 데이터의 양을 현격하게 줄여 주어 렌더링 시간을 향상시켜주는 3D 경계 인코딩 방법과 여러 개의 구조물을 동시에 가시화하는 기법도 제시하였다.

[1] K. H. Hohne, A. Pommert, M. Riemer, Th. Schiemann, R. Schubert, and U. Tiede, "Anatomical Atlases Based on Volume Visualization", Proceedings of Visualization, pp. 115-122, 1992

[2] T. Greitz, C. Bohml, S. Holte, and L. Eriksson, "A computerized brain atlas: Construction, anatomical content, and some application", J. Comput. Assist. Tomopt, 15, 1, pp. 26-38, 1991

[3] A. Pommert, R. Schubert, M. Riemer, T. Schiemann, U. Tiede, and K.H. Hohne, "Symbolic Modeling of Human Anatomy for Visualization and Simulation", Visualization in Biomedical Computing, pp. 412-423, 1994

[4] Thomas Schiemann, Karl Heinz Hohne, Christoph Koch, Adreas Pommert, Martin Riemer, Rainer Schubert, Ulf Tiede, "Interpretation of tomographic images using automatic atlas lookup", Visualization in Biomedical Computing, pp. 457-465, 1994

[5] John Kerr, Peter Ratiu, and Mike Sellberg, "Volume Rendering of Visible Human Data for an Anatomical Virtual Enviroment", IOS Press and Ohmsha, 1996

[6] Thomas Schiemann, Jochen Nuthmann, Ulf Tiede, and Karl Heinz H ne, "Segmentation of the Visible Human for High Quality Volume based Visualization", Visualization in Biomedical Computing, pp. 13-22, 1996

[7] Levoy, M. "Display of Surfaces from volume data", IEEE Computer Graphics and Applications, 8,5, pp. 29-37, 1988

[8] Mokrzycki, W. "Algorithms of discretization of algebraic spatial curves on homogenous cubical grids.", Computers and Graphics, 12, pp. 477-487, 1988

[9] Michael Gleicher, "Image Snapping", Computer Graphics Proceedings, pp. 183-190, 1995

[10] Eric N. Mortensen and William A. Barrett, "Intelligent Scissors for Image Composition", Computer Graphics Proceedings, pp. 191-198, 1995

- [11] Lacroute, Philippe and Levoy, Marc. "Fast Volume Rendering Using a Shear-Warp Factorization of the Viewing Transformation," *Computer Graphics*, 28, 5, pp. 451-458, 1994.
- [12] Choel-Hi Lee, Yun-Mo Koo, and Yeong Gil Shin. "Template-Based Rendering of Run-Length Encoded Volumes". *Proceedings of Pacific Graphics*, 1997
- [13] Wooberg G., *Digital Image Warping*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1990

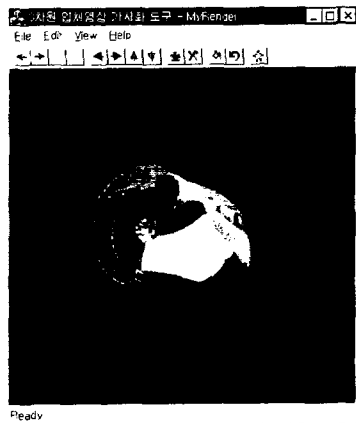


그림 2. 허벅지 부위의 6 개의 근육 가시화

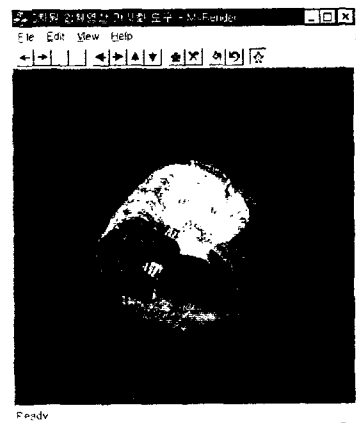


그림 3. 피부를 투명하게 가시화