

이미지 전처리를 이용한 전자현미경 볼륨 렌더링 시스템

정원구¹, 정종만¹, 이지영¹, 이호², 최상수², 권희석¹, 김윤중¹
한국기초과학지원연구원 전자현미경연구부¹, 서울대학교 컴퓨터공학부²,
(wgjung¹, jmjeung¹, lly0601¹)@kbsi.re.kr, (holee,ssangsc)²@cglab.snu.ac.kr,
(hskweon¹, y-jkim¹)@kbsi.re.kr

Volume Rendering System of Electron Microscopy using Image preprocessing

Won-gu Jung¹, Jong-man Jeung¹, Ji-young Lee¹, Ho Lee², Sang-Su Choi², Hee-Seok Kweon¹, Youn-Joong Kim¹

¹Division of Electron Microscopy Research, Korea Basic Science Institute,
²Graphics and Media, Seoul National University

요 약

한국기초과학지원연구원(KBSI, Korea Basic Science Institute)에서는 국내 유일의 초고전압투과전자현미경(HVEM, High Voltage Electron Microscopy)을 비롯하여 3 대의 일반 투과 전자현미경을 보유하고 있다. 전자현미경을 통하여 관찰된 이미지는 각 단계별로 tilting 되어 저장된 이미지로서 관찰자에게 보다 나은 관찰 환경의 구성을 위해 3D로의 reconstruction은 필수 과정이라고 할 수 있겠다. 이 과정 중 카메라 중심에서 벗어난 부분의 왜곡을 워핑기법을 통하여 최대한 감소시킨다. 이런 전처리 과정을 통하여 3D 구조물을 구성하게 되면 초기의 이미지를 그대로 사용하는 것보다 한 단계 더 나은 결과물을 얻어낼 수 있다. 이미지 전처리를 이용한 전자현미경 볼륨 렌더링 시스템의 구축은 관찰자에게 보다 편리하며 빠른 실험 환경을 제공하여 줄 수 있고, 이해하기 쉽고 실제 모습에 가까운 형태의 실험 결과물을 접할 수 있게 된다.

1. 서론

전자 현미경 영상은 세포단위 작은 입자 조직의 형태 및 구조의 관찰 및 분석을 위해 연속적으로 획득한 2차원 투과 이미지이다. 이러한 2차원 이미지들은 세포의 단면만을 볼 수 있기 때문에 이 이미지들만을 이용해서는 세포의 정확한 구조를 파악하기 어렵다. 따라서 적절한 가공을 통해 3차원 이미지로 재구성할 수 있다면, 또한 이 과정을 매우 신속하게 수행할 수 있다면, 세포 구조에 대한 더욱 정확한 이해 및 연구 능력의 향상을 도모할 수 있어 관련 연구 분야에 많은 도움을 줄 수 있다.

본 논문에서는 고배율 전자 현미경을 통해서 얻은 2차원 이미지를 3차원 이미지로 가공해 주는 과정 중 tilt된 2차원 이미지의 변형을 줄이기 위하여 토모그래피 단계 이전에 워핑을 통한 영상 전처리 과정과 볼륨렌더링 기법에 관하여 기술하고 있다.[1] 본 시스템은 고성능 이미지 처리를 위해서 계산 그리드를 이용하며, 화질 개선을 위한 전처리 중에 하나인 워핑 기술, 자동 영상 정렬 기술, 효과적인 삼차원 재구성 기술과 같은 다양한 이미지처리 알고리즘을 이용한다. 본 논문에서는 시스템의 필요성, 아키텍처 및 구성 요소들에 대해서 설명한다.

2. 관련연구

2.1 전자현미경

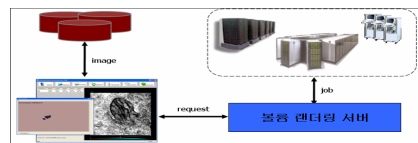
전자현미경은 1931년 독일 베를린공대의 에른스트 루스

카와 마르크스 크놀이 광학 현미경과 같은 형태의 현미경에서 가시광선 대신 전자빔을 이용하여 만든 것이 시초다.

투과전자현미경은 높은 진공 상태에서 고속으로 가속되는 전자선을 광원으로 이용하며 이 전자선이 표본을 투과, 형광관이나 필름에 영상이 나타난다. 기본적으로 광학 현미경과 유사하지만 광선 대신 전자빔을 사용하며, 유리 렌즈 대신 전자 빔을 집중하기 위해 자기 코일을 사용한다.

2.2 볼륨렌더링

볼륨렌더링 시스템은 계산 그리드 기반 이미지 프로세싱 시스템으로 전체 구성은 그림 1 과 같다. 데이터 서버는 볼륨렌더링 시스템에서 이용되는 이미지 파일들을 공유해서 사용할 수 있는 이미지 파일 저장소이다. 볼륨렌더링 클라이언트는 볼륨렌더링 시스템에 대한 사용자 인터페이스를 제공하며, 다양한 이미지 뷰어 및 3차원 렌더링 도구를 포함하고 있다. 볼륨렌더링 서버는 볼륨렌더링 클라이언트의 이미지 처리 작업 요청을 받아 적절히 스케줄링하고 작업 프로세스를 관리하는 역할을 제공한다.

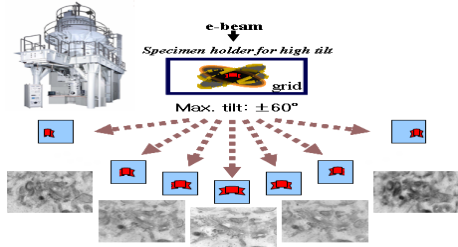


(그림 1) 볼륨 렌더링 구조도

3. 불륨렌더링 시스템

3.1 전자현미경 데이터

기본적으로 전자현미경을 통한 데이터 획득에 있어서는 하나의 실험 주제를 가지고 데이터를 획득하게 된다.



(그림 2) Tilting을 통한 3차원 이미지 재구성

전자현미경로부터 얻는 시료 데이터는 이미지 파일로 전자현미경의 X, Y축 각도를 조절하여 관찰하고자 하는 이미지를 얻는 방식이다. 전자현미경은 Y축을 고정하고, X축만을 $-a^\circ \sim +a^\circ$ 로 약 n° 도 간격으로 촬영하여 동일한 Y축에서 관찰하는 데 이것을 single tilting 이미지라고 한다. 이러한 이미지는 2차원 영상으로써 3차원 영상으로 변환할 수 있으며, 자세한 3차원 영상 정보를 관찰하기 위해서 Y축을 변환하여 고정 후 다시 X축의 각도를 움직이며 사진을 촬영한다. 따라서 a° 각도의 크기가 크고 n° 의 밀도가 조밀 할수록 tilting 이미지의 정보를 담은 파일을 더 많이 확보할 수 있다.

3차원 재구성 과정은 전자현미경으로부터 획득한 이미지 데이터를 정렬이미지 → Tomo이미지 → 3D이미지라는 단계를 통하여 이루어진다.[2]

정렬이미지란 전자현미경으로부터 획득한 데이터를 3차원으로 구성할 수 있도록 이미지를 정렬하는 단계이다. 정렬하는 과정에서 중심축에서 멀리 떨어진 부분의 이미지는 중심 부분에 비하여 왜곡 현상이 일어날 수 밖에 없는데 이렇게 왜곡을 최소화 시키는 과정에 워핑 기법을 사용하였다. Tomo 이미지는 정렬된 이미지로부터 3차원구조를 재구성한 실사 이미지이다. Tomo 관련 소프트웨어를 통해서 전자현미경의 이미지를 3차원으로 변환한다. 3D 이미지란 tomo 이미지를 갖고서 전자현미경을 통해 관찰한 시료를 3차원으로 재구성하는 단계이다.[3]

3.2 워핑

어파인 기하학적 변환(affine transform)은 영상을 비선형적으로 왜곡시킬 수 없다. 그런데 입력 영상이 렌즈의 오류와 다른 비선형 처리를 통해 왜곡되어졌을 때는 역으로 왜곡을 시키는 연산이 필요하다. 고무시트 변환(rubber sheet transform)이라고도 불리는 왜곡 변환(warping)은 지정된 점에 대해 늘이거나 줄일 수 있다. 왜곡 변환을 설명하기 위하여 먼저 어파인 변환에 대하여 알아보자. 이동, 회전, 신축 변환을 포함하는 순방향 변환 방정식을 살펴보면 다음과 같이 그것들을 결합할 수 있음을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} x' &= (x \cos \theta + y \sin \theta)S_x + T_x \\ &= (S_x \cos \theta)x + (S_x \sin \theta)y + T_x \end{aligned} \quad (3.2.1)$$

더욱 일반화된 형태로는,

$$x' = a_2x + a_1y + a_0 \quad \text{식 3.2}$$

여기서 계수 a_2, a_1, a_0 은 각각 $S_x \cos \theta, S_x \sin \theta$ 그리고 T_x 의 값을 갖는 상수값이다.

$$\begin{aligned} y' &= (-x \sin \theta + y \cos \theta)S_y + T_y \\ &= (-S_y \sin \theta)x + (S_y \cos \theta)y + T_y \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

이를 한단계 더 일반화한 형태로는,

$$y' = b_2x + b_1y + b_0 \quad \text{식 3.2.3}$$

여기서 계수 b_0, b_1, b_2 는 각각 $-S_y \sin \theta, S_y \cos \theta$, 그리고 T_y 의 값을 갖는 상수값이다.

따라서 이동, 회전, 신축을 포함하는 순방향 기하학적 변환을 일반적으로 쓰면 다음과 같은 다항 방정식이 된다.

$$x' = a_2x + a_1y + a_0 \quad (3.2.4)$$

$$y' = b_2x + b_1y + b_0$$

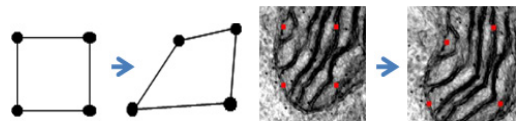
위의 방정식을 사용한 변환을 어파인 변환이라고 한다.

워핑은 어파인 변환을 나타내는 다항식 (3.2.4)에 x^2, y^2, x^3, y^2 등과 같은 더 높은 차수 항을 첨가한 일반화된 다항식으로 표현된다. 왜곡은 대개 몇차 왜곡이라고 이야기 하는데 이는 다항식 중의 가장 큰 차수를 의미한다. 1차 왜곡은 단지 x 나 y 항이 존재하며, 이것은 선형적인 이동, 회전, 신축을 의미한다.

2차 왜곡은 x^2, y^2 항이 포함하며, 3차는 x^3, y^3 항을 포함한다. 더 높은 차수의 변환일수록, 더 복잡한 기하학적 변환을 제공한다. 얼마나 높은 차수의 변환을 수행하느냐의 선택은 전적으로 응용 프로그램의 요구에 좌우된다. 워핑을 계산하는 시간은 변환의 차수에 따라 증가된다. 그러므로 가능하다면 최소 차수의 변환 수행이 바람직하다. 선형 변환에서와 마찬가지로 종종 입력 픽셀의 위치가 정수의 출력 픽셀 위치로 변환되어지지 않기 때문에, 픽셀 보간법은 여기서도 필요하다. 어파인 변환에 바탕을 둔 간단한 워핑 방정식은 어파인보다 약간 복잡하게 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{a_{11}u + a_{21}v + a_{31}}{a_{13}u + a_{23}v + a_{33}} & y &= \frac{a_{12}u + a_{22}v + a_{32}}{a_{13}u + a_{23}v + a_{33}} \end{aligned} \quad (3.2.5)$$

(u, v) 는 변환 전의 좌표이고, (x, y) 는 변환 후의 좌표이다. a_{11}, \dots, a_{33} 는 변환 계수이고 원하는 변형을 정의한 4개의 제어점에서 구할 수 있다.

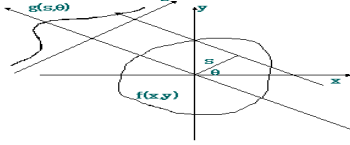


(그림 3) 워핑 변환을 정의하는 4개의 제어점

3.3 효과적인 삼차원 재구성 기술

3.3.1 라돈 변형(Radon transformation)

삼차원 재구성 영상을 구한다는 것은 $g(s, \theta)$ 로부터 $f(x,y)$ 를 얻어내는것을 의미한다.

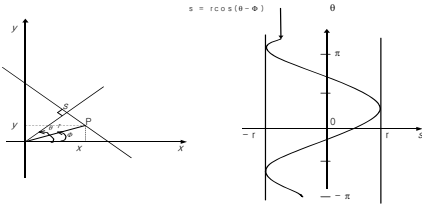


(그림 4) projected image 원리

$f(x, y)$ 를 라돈변환한 함수 $g(s, \theta)$ 는 각도가 θ 일 때 $f(x, y)$ 의 일차원적으로 전사(Projection)한 결과이다. 즉 x, y 좌표대신 r, ϕ 좌표를 사용하면 식은 다음과 같이 매우 간단해 진다.

$$s = x \cos \theta + y \sin \theta = r \cos \phi \sin \theta + r \sin \phi \cos \theta$$

$s = r \cos(\theta - \phi)$ 이 관계를 아래 그림에 적용시키면 주어진 원통 좌표계의 임의의 점은 사인함수로 s, θ 로 나타난다.[4]



(그림 5) 라돈 변형

3.3.2 삼차원 모델링을 위한 표면기반 렌더링기술

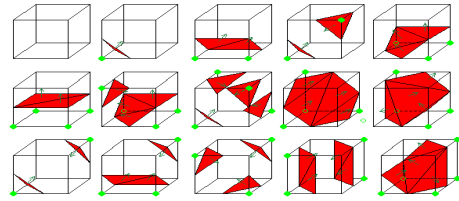
편집도구를 통하여 분할된 관심영역을 삼차원으로 가시화하기 위하여 marching cube 알고리즘을 적용하였다. marching cube는 isosurface를 재구성하기 위한 알고리즘으로 볼륨을 작은 cube로 분할하고 각 cube에 대하여 테이블에서 가장 적합한 형태의 모델을 찾아 그 형태로 isosurface를 계산하는 방법이다.

아래 그림은 2차원 grid를 통하여 isosurface 추출을 표현한 것이다.



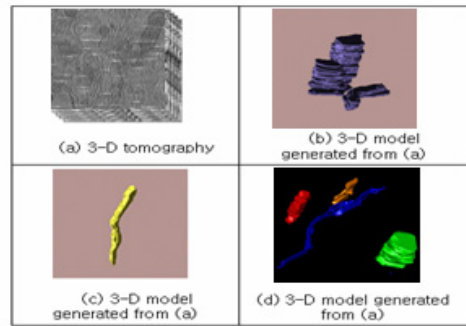
(그림 6) grid isosurface 추출 사례

marching cube 알고리즘은 전체 데이터를 작은 영역으로 분할하여 cube로 구성하고 그림과 같은 marching cube의 모델과 비교하여 가장 유사한 형태의 모델을 선택한다. 아래 그림은 3차원 볼륨데이터에 marching cube 알고리즘을 적용시키기 위한 3차원 grid에서 marching cube 모델이다.[5]



(그림 7) 3-D grid marching cube 모델

편집도구를 관심영역에 따라 0 이외의 label로 저장한다. label을 통하여 동일한 영역인지를 구분할 수 있게 되고, 각 label 별로 컬러 영상을 달리해서 삼차원으로 가시화하는 것이 가능하다. 아래 그림은 marching cube 알고리즘을 적용하여 관심영역을 삼차원으로 가시화 결과이다.[6]



(그림 8) 관심영역 3-D visualization

4. 결론 및 향후 계획

Warping 기반의 이미지 전처리를 통한 전자현미경 Tomography 볼륨 렌더링 시스템을 설계해 하였다. 초고전압투과현미경을 통해 얻은 데이터의 경우 2차원 이미지이므로 좀 더 효율적인 표현 방법이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 초고전압투과전자현미경을 통해 저장된 이미지 데이터를 메타 데이터로 이용하여 관리하는 시스템을 설계하였고, 저장된 2차원 이미지 데이터를 워핑을 통한 전처리 이후 볼륨 렌더링을 이용하여 3차원으로 재구성하였다.

향후 계획으로는 사용자들이 데이터베이스를 통하여 쉽게 데이터에 접근하는지 파악하고, 볼륨 렌더링 작업의 편의성과 시스템 사용에 대한 성능 평가도 측정해 볼 것이다. 더불어 타 프로그램과의 연동에 대한 모색과 장비 및 데이터의 보안 그리고 높은 접근성을 취하기 위한 연구 또한 필요 할 것이다.

참고문헌

[1] Beier. T and Neely. S, "Feature-Based Image Metamorphosis," Computer Graphics (Proc. Siggraph 92), Vol. 26(2), pp.35-42 1992.

- [2] F. Maes, A. Collignon, G. Marchal, P. Suetens, "Multimodality Image Registration by maximization of Mutual Information," IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol.16(2), pp.187-198, Apr. 1997.
- [3] J.B.A. Maintz, M.A. Viergever, "A survey of medical image registration," Medical Image Analysis, Vol.2(1), pp.1-36, Nov. 1998.
- [4] J-J. Fernandez, C.O.S.Sorzano, "Image processing and 3-D reconstruction in Electron Microscopy," IEEE Signal Processing Magazine, Vol.23(3) pp. 84-94. May, 2006.
- [5] M.W.Jones, M. Chen, "A New Approach to the Construction of Surfaces from Contour Data", EROGRAPHICS'94, Vol.13(3), 75-84, 1994
- [6] J. C. Carr, R. K. Beatson, J.B. Cherrie, T. J. Mitchell, W.R.Fright, B. C. McCallum and T. R. Evans "Reconstruction and Representation of 3D Objects with Radial Basis Functions" ACM SIGGRAPH 2001, Los Angeles, CA, Vol.28(1), pp67-76, August 2001.