# 선택적 Filtering을 이용한 효율적 전자현미경 Electron Tomography 시스템

정원구, 조혜진, 박성옥, 채희수, 제아름, 이경환, 정현석, 권희석
한국기초과학지원연구원 전자현미경연구부
e-mail : wgjung, hjcho0603, pso0519, hschae, areum83, lkh92, hyunsukjung, hskweon@kbsi.re.kr

# Efficient Tomography System of Electron Microscopy using Selective Filtering

Won-Goo Jung, Seong Oak Park, Hye-Jin Cho, Hee-Su Chae
A-Reum Je, Kyoung Hwan Lee, Hyun Suk Jung, Hee-Seok Kweon
Division of Electron Microscopic Research, Korea Basic Science Institute

요 약

Electron tomography를 이용한 3차원적 영상 시각화는 electron microscopy를 통해 하나의 실험 대상으로부터 연속된 이미지를 생산함으로써 이루어진다. 이미지 데이터 내부에는 대용량의 정보값을 포함하고 있어 3차원 구조물로의 변환이 가능하다. electron tomography 작업 과정 중 고해상도 원본 이미지에 pattern recognition 알고리즘이 적용된 필터링을 적용하면 실험에 필요한 데이터의 정보 손실을 최소화한 상태에서 electron tomography 시스템의 효율성을 높일 수 있다. 또한 tomographic reconstruction이 진행되는 각 단계에 hanning windowing을 적용하면 불필요한 정보 값이나 노이즈 등을 효과적으로 제거할 수 있다. 윤곽선 데이터의 효과적 활용을 위하여 sobel 필터 처리를 할 경우 관찰하고자 하는 대상의 윤곽선 특징을 뚜렷하게 시각화 할 수 있었다. 본 연구를 통하여 데이터의 시각화 과정에서 실험의 신뢰성 확보를 위해 원본 이미지를 기반으로 하는 tomogram과 필터링을 적용한 tomogram을 비교하여 최종 결과물의 정확도를 높이고, electron tomography를 통한 결과물의 질적 향상을 유도할 수 있음을 확인하였다.

## 1. 서론

전자현미경 영상은 세포내 작은 입자 조직의 형태관찰과 구조분석에 활용된다. 전자현미경으로부터 획득한 시료 데이터의 이미지 파일은 전자현미경의 X축과 Y축 각도를 조절하여 얻은 관찰 대상의 projection 이미지이다. 세포의 전체 구조를 정확하게 분석하기 위해서는, projection 이미지를 기반으로 한 새로운 이미징 기술법이 요구되었다. 이를 위해 고안된 방법이 electron tomography이다 [1]. 관찰 대상으로 부터 획득한 연속적인 Angular titling projection 이미지들의 특징적 구조물들을 필터링 기술을 통해 3차원 영상으로 신속하게 재구성할 수 있다면, 관찰대상의 보다 정확한 구조적 이해와 연구 능률의 향상을 도모할 수 있어 관련 연구 분야에 많은 도움을 줄 수 있다 [2][3].

본 논문에서는 고배율 전자현미경을 통해서 얻은 2차원 이미지들을 Inspect 3D 프로그램 (Electron tomographic reconstruction software, FEI, U.S)을 이용하여 3차원 이미지로 reconstruction하였다. 이때 Projection 이미지를 원본 그대로 사용한 경우와 특성에 맞는 필터를 적용한 projection 이미지를 사용한 경우에 발생하는 실험 시간의 차이 및 결과물의 차별성을 확인하고자 하였다.

## 2. 선택적 필터 적용을 통한 실험

### 2.1 소벨연산자를 이용한 윤곽선 검출 (Sobel filtering)

윤곽선 검출의 가장 대표적인 미분연산자인 소벨 연산자는 수직과 수평 방향의 윤곽선보다 대각선 방향의 윤곽선에 효과적인 연산 방법이다. 윤곽선 검출에 사용되는 소벨 마스크의 행렬은 다음과 같다 [4].

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| -1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| -2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| -1 | 0 | 1 | -1 | -2 | -1 |
| 수평방향 | | | 수직방향 | | |

(Fig. 1) Sobel Mask Matrix

### 2.2 해닝 창함수를 이용한 윤곽선검출 (Hanning windowing)

상호상관계수 연산을 이용한 이미지 정렬 과정에 적당한 윈도우를 선택하여 연산 구간을 설정하게 되는데 본 논문에서는 해닝 윈도우(hanning window)를 적용하여 실험을 진행하였다. 해닝 윈도우는 관찰의 중심부분을 특정화하여, 프로세싱 시간의 단축을 통한 연구 효율성을 극대화 하였고 특징적 구조정보를 효율적으로 얻을 수 있게 하였다 [5].

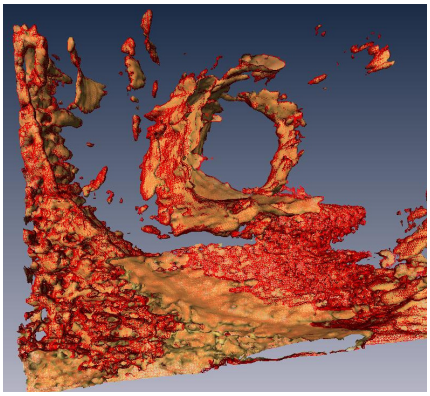
## 3. 실험결과 및 분석

객관적인 실험결과를 유도하기 위하여 원본이미지를 기반으로 한 대조군과 필터링 과정들을 거친 이미지를 가지고 실험을 진행하였다. 실험은 선택되어진 필터를 가지고 적용할 수 있는 경우의 수를 적용하여 각각의 실험 진행 시간을 table 1과 같이 얻을 수 있었다.

<Table 1> Time table resulting from filtering and windowing applications.

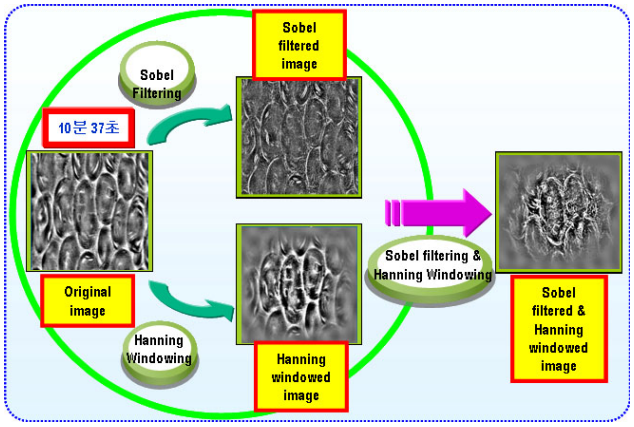
| | Original Image | Original Image + (Sobel) | Original Image + (Hanning) | Original Image + (Sobel) + (Hanning) |
|---|---|---|---|---|
| BP | 36″ | 48″ | 26″ | 24″ |
| SIRT | 17′ 40″ | 23′ 36″ | 11′ 12″ | 10′ 37″ |

Table 1에서 확인할 수 있듯이 Sobel필터를 적용하면 역전사 (back-projection, BP)와 동시반복 영상구성기법 (simultaneous iterative reconstruction technique, SIRT)의 전체 computing 시간이 40 % 증가하였다. 이는 hanning 윈도우 과정을 통하여, 관찰범위를 한정시켜, computing 시간을 단축시킬 수 있었다.



(Fig. 2) Comparative analysis taken from control and experimental 3D volumes. Yellow and red colored densities were taken from control (reconstructed from original image) and experimental (reconstructed using sobel filtering and hanning windowing) volumes, respectively.

Fig. 2에서 빨간색 메쉬로 표현된 부분들이 Sobel 필터를 통해 추가로 reconstruction 되어진 구조적 정보이다. 대각선 방향의 뚜렷한 윤곽선을 나타냄으로써, 관찰대상의 추가적 구조정보를 확인할 수 있었다. 또한 sobel filtering과 hanning windowing을 함께 사용하여, BP 와 SIRT의 연산 시간을 단축시키는 효과와 효율적 reconstruction 실험을 진행할 수 있었다 (Table 1, Fig. 2)




(Fig. 3) Eletron tomographic images following to sobel filtering and hanning windowing.

## 4. 결론

전자현미경을 통하여 얻은 Tilting 이미지에는 단순한 관찰로는 발견할 수 없는 수많은 정보값들을 포함하고 있다. 각기 다른 특성을 가진 정보값을 최대한 활용하기 위하여 다양한 필터를 수차례 적용하고 분석함으로써 최적화된 필터를 선택하여 아래와 같은 결과를 도출할 수 있었다. 1) Sobel 필터를 적용하여 불필요한 정보나 노이즈 등을 제거하여, 원본이미지들을 기반으로 한 대조군의 3D reconstruction에 존재하지 않는 윤곽선에 대한 뚜렷한 추가정보를 획득할 수 있었다. 2) Hanning 윈도우를 동시에 적용하여, sobel filtering의 효과를 유지하면서, 실험시간을 약 33 % 단축할 수 있었다. Sobel filtering과 hanning windowing을 함께 사용하면, 이미지 데이터의 특성상 자칫 간과하기 쉬운 윤곽선 데이터를 좀 더 효과적으로 시각화 할 수 있었다.

본 연구는 더욱 세분화된 실험군을 대상으로 다양한 필터를 적용하여 결과를 획득하고 이들 결과에 대한 분석을 실시함으로써 보다 향상된 결과물을 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

[1] Kremer, J. R., Mastronarde, D. N. and Mcintosh, J. R. (1996). Computer visualization of three-dimensional image data using IMOD. Journal of Structural Biology, 116, 71-76.

[2] Zabih, R., Miller, J. and Mai, K. (1995). A Feature-based algorithm for detecting and classfying scene breaks. ACM International Conference on Multimedia, 189-200.

[3] Maes, F.. Collingnon, A., Marchal, G. and Suetens, P. (1997). Multimodality Image Registration by maximization of Mutual Information. IEEE Transaction on Medical Imaging, 16, 187-198.

[4] Ng, R. and Han, J. (1994). Efficient and effective clustering methods for spatial data mining. Proceedings of the 20th VLDB Conference, 144-155.

[5] Patel, N. V. and Sethi, I. K. (1997) Video shot detection and characterization for video databases. Pattern Recognition, 30, 583-592.