

Hann 필터의 Cut-off 주파수 변화에 따른 CT 영상의 Artifact 제거효과에 대한 정량적 평가

강보선

대구가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과,

Quantitative Evaluation of CT Artifact Elimination with various Cut-off Frequency of Hann Filter

Bosun Kang

Department of Radiological Science, Catholic University of Daegu

요 약

전산화단층촬영(CT)에 있어서 생기는 artifact를 제거하기 위해서 영상재구성 과정에 다양한 필터를 사용하고 있다. 이러한 artifact는 영상재구성 과정에 사용되는 수학적 오차와, 투영이미지와 실제 해부학적 구조간의 오차, 혹은 데이터 획득과정에서의 오차 등으로 인해 필연적으로 생길 수 밖에 없다. 본 연구에서는 Hann필터를 사용하였을 때 CT 영상에서의 artifact 제거효과를 정량적으로 분석하였다. Cut-off 주파수가 0.1인 경우에서 0.2씩 증가시키며 0.9까지에 대한 다양한 cut-off 주파수의 Hann필터에 대한 artifact제거 효과에 대한 결과를 보였다. 재구성 영상에서의 artifact에 대한 정량적 분석을 위해서 white image에 대한 CT 영상의 Noise Power Spectrum을 비교하였다

Abstract

In the computerized tomography(CT), various filters are using in the reconstruction algorithm to reduce or eliminate the artifacts which are intrinsically induced by the imperfection of mathematical methods for reconstruction, lack of real informations about anatomic structures in the projection image, errors in data acquisition and so on. Hann filter was used to evaluate the filter effects on the elimination of reconstruction artifact in the CT image. The quantitative study was done by changing cut-off frequency of Hann filter from 0.1 to 0.9 with frequency increasement by 0.2. NPS analysis was fulfilled for the quantitative evaluation of filter effect.

Key word CT artifact, Hann filter, Cut-off frequency

I. 서론

디지털영상을 제공하는 진단용 의료방사선영상

기기는 기술적인 측면은 물론이고 임상에서의 활용도 역시 눈부신 발전을 하고 있다. 기존의 진단용 의료방사선영상기기의 성능향상을 위한 연구는 말할 것도 없고, 기존의 진단방법을 결합한

PET-CT, PET-MR 등 새로운 진단방법의 개발을 위해 많은 연구들이 이루어지고 있다. 진단용 방사선 의료영상기기 중에서도 CT는 multi planar reconstruction (MPR) 을 이용하여 MR이나 PET 등과 마찬가지로 가로면(transverse plane), 시상면(Sagital plane), 및 관상면(coronal plane) 등 여러 기준면의 2차원적인 단층영상 및 3차원 영상을 제공할 뿐만 아니라 콘트라스트 해상도(contrast resolution)가 좋으며, 스캔시간이 짧아서 현재의 의료용 방사선영상진단분야에 있어서 아주 중요한 영역을 차지하고 있다. 이러한 전산화단층촬영법(CT)은 여러 개의 다른 각도에서 촬영된 투영이미지(projection image)로부터 수학적 방법에 의해 재구성된 인체 내부의 해부학적 단층영상을 제공한다.

CT는 Godfrey Hounsfield 박사와 Allan MacLeod Cormack 박사에 의해 개발되었으며, 1971년 최초의 임상용 prototype CT가 Atkinson-Morley's Hospital에 설치되었다.^[1] 그 다음 해인 1972년에 brain lesion이 의심되는 여성(최초의 임상 환자)에 대해 CT를 이용한 brain scan을 통해 cyst가 분명하게 구별되는 뇌 단층영상을 촬영하였다.^[2] 이러한 인체 단층영상을 얻는 방법에 대한 연구는 1920년대 초반부터 시작되었으며 1937년 영국의 Watson에 의해 개발된 단층영상기법을 transverse axial tomography라 지칭하면서 tomography란 용어가 처음 사용되게 되었다. Projection image로부터 CT 영상재구성에 대한 정의는 Herman에 의해 다음과 같이 정의되어있다.^[3]

"Image reconstruction from projections is the process of producing an image of a two-dimensional distribution (usually some physical property) from estimates of its line integrals along a finite number of lines of known locations."

Herman의 정의처럼 인체를 투과하면서 감쇠되는 X-선의 선적분(line integral) 값인 projection image로부터 2차원적인 물리적 특성인 밀도가 다른 인체 조직들에 대한 분포를 구하기 위해서는 특정한 수학적 방법이 사용되어야 하는데 이러한 영상재구성에 대한 이론적 토대는 1917년에 Radon에 의해 확립되었다. 결론적으로 CT 단층영상은 여러

개의 서로 다른 각도에서 촬영된 projection image로부터 얻어진 데이터를 수학적 방법을 이용하여 X선원과 검출기 사이에 존재하는 물질특성을 공간 분포로 재구성한 영상이다. 하지만, 영상재구성에 사용되는 input data인 projection 영상자체에도 각 검출기배열 요소간의 gain의 차이 및 환자의 움직임, 금속류에 의한 산란선, 환자를 투과하는 동안의 X선 beam hardening 및 partial volume effect 등으로 인해 발생하는 환자의 실제 해부학적 구조에 의한 projection 정보와 다른 오차가 포함되어 있기 때문에 이를 재구성한 CT영상에는 허상(artifact)이 나타날 수 밖에 없다. 뿐만 아니라 back projection 과정의 수학적 방법에 의해서도 피사체의 정보가 손실되거나 재구성영상의 가장자리 쪽 영상이 흐려지는 등의 artifact가 발생한다. 이러한 artifact를 제거하기 위하여 Low pass filter, High pass filter 등이 사용되고 있으며, 각각에 대해서도 다양한 종류의 필터가 사용되고 있고, 이들을 서로 결합한 형태의 필터도 사용되고 있다. 각각의 필터마다 특징이 다르고, 필터의 사용이 CT 영상에 미치는 영향이 매우 크므로, CT 영상의 화질개선 및 새로운 필터의 개발이 CT성능의 향상을 위해 매우 중요하며, 이를 위해 기존 필터가 CT 재구성영상에 미치는 영향에 대한 정량적인 평가가 필요하다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서는 Toshiba에서 제작된 X-ray tube LTN-25과 Agfa CR 30-X digitizer를 이용하여 촬영한 white 이미지를 대상으로 수행하였다. white 이미지를 그림 1(a)에 영상값의 분포를 그림 1(b)에 나타내었다.

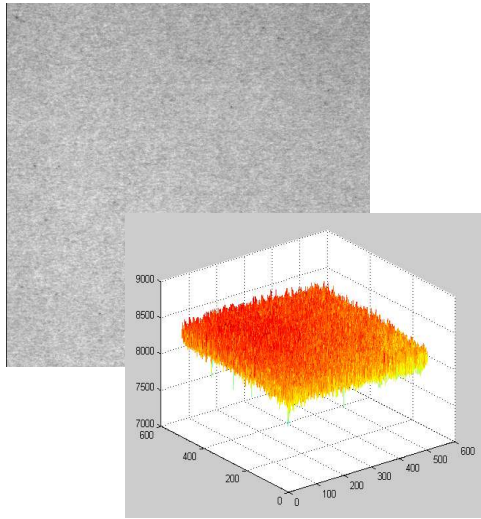


그림 1. 조사조건 80keVp 100mA 25msec인 X선 조사를 통해 얻어진 CR white image. CT reconstruction 후 NPS 계산을 위해서 white image를 단층영상 패턴으로 사용하였다.

얻어진 white image를 Radon transform하여 그림 2. 에 보이바와 같은 sinogram을 구하였다. sinogram을 푸리에변환하여 주파수 공간 (frequency domain)으로 맵핑 시킨 후 필터를 적용하였다. 이렇게 frequency domain에서 필터가 적용된 영상을 2D 역 푸리에변환하여 CT영상을 얻었다. 필터는 Hann 필터를 적용하였으며, Hann 필터의 cut-off frequency를 0.1일 때부터 1까지 변화시키면서 얻어진 각각의 CT 영상에 대해 Artifact 분석을 실시하였다. 영상의 재구성 및 필터의 적용에 관한 CT 알고리즘 개발은 MatLab을 이용하여 작성하였다.^[4]

CT 영상의 artifact를 분석하기 위하여 noise power spectrum (NPS)를 계산하여 비교하였다. 일반적으로 NPS는 영상시스템의 노이즈를 분석하기 위해 사용되는 파라미터로서 디지털 영상뿐만 아니라 필름-스크린 시스템의 아날로그 영상에서도 영상의 노이즈 평가를 위해 사용되고 있다. NPS는 아날로그영상에서는 Wiener Spectrum이라고도 한다. 이러한 NPS는 영상에 포함된 Noise를 주파수별 성분으로 분해하여 각 주파수에 해당하는 Noise Power를 나타낸 것이다. CT영상에서의 artifact는 노이즈와는 다른 성질의 것이지만 white image에서

의 일반적인 노이즈 특성이 고주파수 구간으로 갈수록 완만한 감소를 보인 것과 달리 artifact는 특정한 주파수에 해당하는 값들만 가지고 있다는 것에 착안하여 NPS 특성으로 artifact를 분석할 수 있었다. CT영상의 artifact는 back projection과정에 의해 발생하므로 strick line 형태의 특성을 보이며, 특정한 주파수를 갖는다. NPS의 수학적으로 노이즈의 auto-covariance함수의 푸리에변환을 뜻하며 다음의 식과 같다.^[5]

$$NPS_{normalized}(u, v) = \lim_{X, Y \rightarrow \infty} \frac{1}{XY} \left\langle \frac{\left| \iint_{XY} \sigma(x, y) e^{-2\pi i(ux+vy)} dx dy \right|^2}{S_{mean}^2} \right\rangle$$

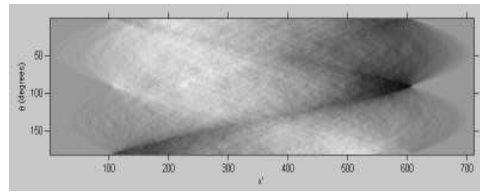


그림 2. White image를 0~180까지 1o간격으로 projection하여 얻어진 sinogram. CT reconstruction algorithm의 입력파일로 사용된다.

III. 결과 및 고찰

Projection image를 reconstruction 할 때 필터를 적용하지 않았을 경우 그림 3. 에 보이 바와 같이 여러 개의 strick line이 보인다.

이러한 strick line들은 CT 영상에서 나타나는 artifact의 특징이다.^[6] 그림 3.에서 확인되는 것과 같이 CT 영상재구성과정에서 발생하는 artifact는 특정한 주기를 가지고 반복되므로 NPS를 측정했을 때 특정주파수에서 큰 값을 나타내게 된다. 그러므로 서로 다른 cut-off 주파수의 Hann 필터를 적용하여 filtered back projection하여 reconstruction된 이미지에 대한 NPS를 측정하였다.

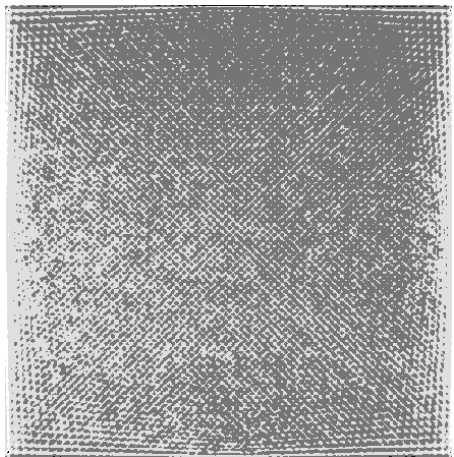


그림 3. White image를 필터를 적용하지 않고 reconstruction한 CT 영상. CT 영상의 artifact인 strick line들이 많이 생성되었음을 볼 수 있다.

그림 4.에 White image에서 측정된 NPS(-o-로 표시)와 white image으로부터 얻어진 projection 영상을 필터를 사용하지 않고 back projection한 CT 영

상의 NPS 및 서로 다른 cut-off 주파수의 Hann 필터를 적용한 후 filtered back projection한 CT 영상의 NPS를 나타내었다. 그림 4.의 결과로부터 필터를 적용하지 않은 경우 원래 영상에는 존재하지 않는 artifact가 생성됨과 동시에 고주파 영역에서의 정보손실이 발생함을 알 수 있다. 이런 현상은 실제 환자의 CT 영상에서도 필터를 사용하지 않을 경우 고주파 부분에 해당하는 해부학적 구조의 경계면에 대해 blurring이 발생함을 보여준다. 필터를 적용하지 않은 경우와는 달리 Hann 필터를 적용한 경우에는 artifact가 제거됨을 알 수 있다. 이는 당연한 사실이라 할 수 있으나, 본 연구 결과에서 확인된 사실은 Hann 필터를 적용할 경우 cut-off 주파수가 0.5 이하이어야 필터의 효과를 기대할 수 있다는 것을 정량적으로 확인하였다는 것이다. Hann 필터를 적용하였을 경우 고주파 영역에서의 정보손실이 나타나는데 이는 Hann 필터가 저주파 통과(low pass filter)이기 때문에 생기는 당연한 결과이다.

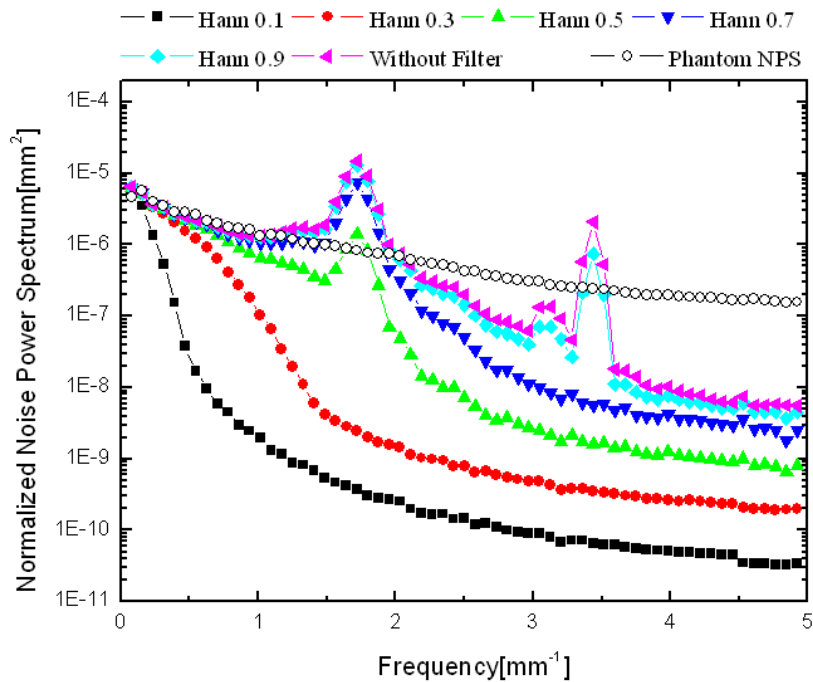


그림 4. White image의 NPS와 필터를 적용하지 않고 back projection하여 얻어진 CT 영상 및 Hann 필터를 적용한 후 filtered back projection 하여 얻어진 CT 영상의 NPS 결과.

실제 CT 영상재구성에 필터를 사용할 경우 low pass filter만을 사용하지 않고 고주파통과 필터와 결합된 형태의 필터를 사용하는 이유가 고주파 영역에서의 정보손실을 막고자 함인데 이 때 어느 정도의 크기까지의 저주파를 통과시키고, 어느 정도 크기 이상의 고주파를 통과시킬 것인지를 결정할 때 본 연구의 결과가 매우 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Bull J., "History of Computed Tomography" In Newton TH, Potts, DG(Eds.), Radiology of Skull and Brain. Technical Aspects of Computed Tomography., St. Louis, MO: The C. V. Mosby Company, 1981, Vol. 5, Ch. 108, pp. 3835-3849
- [2] Hounsfield, G.N.: Computed medical imaging. Nobel Award Address. Med. Phys. 7:283-290, 1980
- [3] Herman, G.T.: Image Reconstruction From Projections. The Fundamentals of Computerized Tomography. New York, Academic Press, 1980
- [4] 여영구 역, MatLab 고급 GUI 개발, 도서출판 아진, 서울, 2008.
- [5] J. T. Dobbins III, "Image Quality Metrics for Digital Systemss", in Handbook of Medical Imaging, Physics and Psychophysics, J. Beutel, H. L. Kundel, R. Van Metter, Eds. Bellingham, WA: SPIE, 2000, vol. 1, ch. 3, pp. 161-222.
- [6] Avinash C. Kak, Malcolm Slaney, "Principals of Computerized Tomographic Imaging",. New York, IEEE Press, 1999, Ch. 5, pp.177-201