

# Application of Total Variation Optimization for Reduction of Head CT Dose

Seokyoon Choi

Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: October 25, 2018. Revised: November 15, 2018. Accepted: November 30, 2018

## ABSTRACT

The number of CT examinations is increasing, and radiation exposure is also increasing. repeated tests can affect the lens and thyroid. In hospitals, there is a tendency to lack interest in major long-term radiation exposure compared to the interest in increasing image information and image quality with head CT. In this study, we analyzed the improvement of image quality by proposed method to the noisy CT images. The proposed denoising method total variance optimization only for the impulsive noise candidate pixels. Experimental results show that edge information is well preserved and impulse noise can be effectively removed. and worked very well for the images according to tube voltage and rotation time. applied to the clinical setting, it can be used as the lowest exposure condition without worrying about the image quality and it will be helpful for the CT application.

Keywords: Brain CT, Total Variation, Noise, Dose

## I. INTRODUCTION

방사선 검사에서 CT의 검사 건수는 크게 증가하고 있으며, 이에 따른 방사선 피폭도 늘어나고 있고 반복된 두부 CT검사는 수정체 및 갑상선에 영향을 줄 수 있다. 대부분의 병원에서는 영상 정보량과 화질 향상 위주의 관심 대비 주요장기 방사선 피폭에 대한 관심은 부족한 경향이 있다. 영상 화질과 관계있는 기술적 요소는 촬영단면두께, 영상 간격, 슬라이스 수, 관전압, 관전류, 주사시간, 피치 등이 있다. 보통 고화질의 영상을 얻기 위하여 120kVp에서 140kVp 사이의 고관전압을 사용하고 투과력의 증가로 검출효율을 최대화시키는것이 목적이다.<sup>[3,6]</sup> 그러나 저대조도 분해능이 높아야하는 장기에서는효과적이지 않다.

저관전압 사용 시 저대조도 분해능이 증가하나 임펄스 잡음이 발생하여 판독에 영향을 준다. 저관전압을 사용하여 피폭선량을 감소시키고 임펄스 잡음을 제거하는 방법이 필요하다. 문제해결을 위

해서 조영 증강 전 스캔을 하지 않고, 관전압을 낮추고, 영상잡음지수를 높여 방사선량을 줄이는 노력이 있다. 관전압을 줄이고 영상재구성 방법을 달리하여 방사선 피폭을 줄이는 연구와 최적의 노출 파라미터를 찾는 연구등이 진행되었다.<sup>[4,5]</sup> 피폭을 줄일 수 있는 새로운 검출기의 개발과 소프트웨어 처리 기술이 필요한 시점이다.

CT에서 관전압을 낮출 경우 임펄스 잡음이 발생한다. 임펄스 잡음은 무작위로 특정 위치의 화소를 훼손하고 영향을 받지 않는 위치의 화소는 그대로 둔다. 이러한 임펄스 잡음을 제거하기 위하여 미디언 필터를 변형한 알고리즘들이 제안되어왔다. 그러나 잡음화소와 비잡음화소 모두를 변형시키고 영상의 블러를 피할 수 없다. 최소자승조건을 이용한 방법은 미디언 필터보다 더욱 효과적이거나 잡음화소 주변의 픽셀값을 최소화시키는 경향이 있어 다소 부족한 부분이 존재한다.<sup>[2]</sup> 본 연구에서는 CT 영상에 대해 총변량 최적화를 적용하여 사용가능성을 알아보하고자 한다.

\* Corresponding Author: Seokyoon Choi

E-mail: image@cup.ac.kr

Tel: +82-051-510-0585

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 실험영상 획득 및 화질분석

아래의 조건에 대해서 관전압 100kVp, 120kVp, 140kVp 로 바꾸어 팬텀영상을 획득 하였고 제안하는 알고리즘의 결과를 살펴보았다. 수학팬텀은 MATLAB을 이용하여 계산하였다. 실험 영상에 대해 가우지안 노이즈를 첨가하고 알고리즘 적용 전·후 변화에 대해서도 살펴보았다. 영상에 대한 선량은 CT장비에서 제공되는 CTDIvol 값을 이용하여 분석하였다.

#### 1.1 CT 장비 및 프로토콜

- 64채널 MDCT  
(Light speed VCT, GE, United Kindom)
- 회전시간 0.5sec ~ 1.0 sec
- 관전압 100 kVp, 120kVp, 140kVp
- 관전류 335 mA
- Noise index 2.80
- Coverage 20.0 mm
- 슬라이스 두께 5.0 mm
- 피치 0.531:1

#### 1.2 사용팬텀

- Water phantom calibration (Head 16, GE)
- Shepp-Logan mathematical Phantom

### 2. 총변량최적화 계산 및 영상평가

잡음이 섞이거나 블러에 의한 영상으로부터 원 영상을 복원해내는 것은 제한된 영상 함수가 주어 진 경우 함수  $f$ 로부터  $u$  를 찾는 것이다. 총변량 최적화계산은 이러한 역문제(inverse problem)를 해결하기 위한 방법이고 에너지최소화 문제와 정규화를 사용한다.  $\lambda$  는 가중치 값으로서 스케일링의 역할을 한다. 총변동최적화는 신뢰도(fidelity)와 정규화(regularity)의 합으로 계산된다.<sup>[1,2]</sup> 정규화는  $u$  의 총변량(total variation)이라 한다.

$$F(u) = \frac{1}{2} \lambda \int_{\Omega} |f-u|^2 dx dy + \int_{\Omega} |\nabla u| dx dy \quad (1)$$

-  $\lambda$  : 가중치

-  $\int_{\Omega} |f-u|^2 dx dy$  : 신뢰도

식 1.을 최소화하기 위해 다음의 오일러 라그랑즈를 사용한다<sup>[1-2]</sup>.

$$u = f + \frac{1}{2\lambda} \operatorname{div} \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} = 0$$

이때 발산항이 0이 되는 것을 막기 위하여 극소 값  $\epsilon$ 을 추가한다.

$$u = f + \frac{1}{2\lambda} \operatorname{div} \left( \frac{\nabla u}{\epsilon^2 + |\nabla u|} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} = 0$$

알고리즘의 화질평가를 위해서 픽셀값을 이용 Noise, MSE를 계산하였다.<sup>[9]</sup>

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n (|u(m,n) - v(m,n)|^2) \quad (4)$$

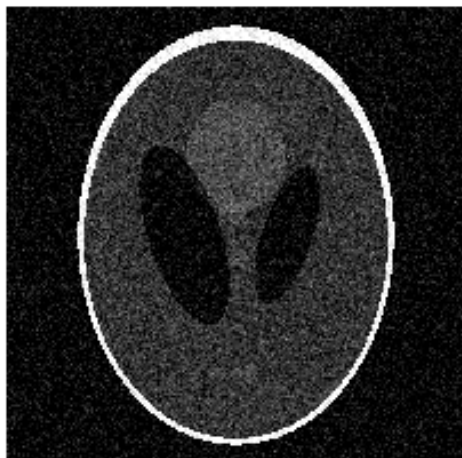
Table 1 . Mean square error with change of kVp and Rotation time

KVP	MES (dB)		
	Rotation time (sec)	input image	denoised image
140	0.5	10.01	9.87
	0.6	9.98	9.86
	0.7	9.97	9.85
	0.8	9.92	9.79
	0.9	9.89	9.77
	1.0	9.88	9.76
120	0.5	10.16	10.04
	0.6	10.15	10.04
	0.7	10.15	10.03
	0.8	10.08	9.97
	0.9	10.07	9.96
	1.0	10.05	9.95
100	0.5	10.26	10.16
	0.6	10.25	10.15
	0.7	10.24	10.14
	0.8	10.18	10.08
	0.9	10.17	10.08
	1.0	10.16	10.07

### III. RESULT

#### 1. Mathematical phantom에 대한 결과

저관전압 CT를 사용할 경우 임펄스 잡음이 발생한다. 본 연구에서는 잡음이 발생한 CT 영상에 본 연구에서 제안한 방법을 적용하여 화질 개선 정도를 분석하였다. 수학 팬텀을 컴퓨터상에 입력하여 영상개선 성능을 평가하였다. 첨가된 가우지안 노이즈는 실제 저관전압 CT에서 발생하는 입상성 저하 현상을 잘 묘사한다. 영상의 개선 정도를 분석하기 위하여 Noise, MSE를 계산하여 성능을 평가한 결과 거의 모든 임펄스 잡음을 제거되었으며, 조직간 대조도가 증가되고 입상성이 매우 개선되었다. 아래의 Fig. 1과 같다.



(a) In put image with gaussian noise



(b) Denoised result

Fig. 1. Denoising result on mathematical head phantom.

#### 2. Water phantom에 대한 결과

Fig. 2과 같이 다음은 실제 CT영상에서의 영상개선 효과를 알아보기 위하여 Water Phantom을 사용하여 실험하였다. 관전압의 증가에 따른 노이즈값은 8.30(100kVp), 8.25(120kVp), 8.18(140kVp)로 감소하였고 회전시간의 증가에 따라서도 감소하였다. Fig. 3에서 100kVp일 때 회전시간변화에 따른 결과를 제시하였다. 영상개선 전 CT영상은 Noise 평균 8.18을 나타내고 회전시간의 증가에 따라 감소하였다. 영상개선 후의 Noise 평균은 8.06로 감소하였고 회전시간의 증가에 따라 감소하였다. Fig. 4 ~ Fig. 5와 같이 120kVp, 140kVp 에서도 원 영상에 비해 영상개선 후 Noise 평균은 동일하게 감소하였고 회전시간의 증가에 따른 감소도 선형적으로 나타났다. Table 1에서는 MSE 결과를 보여준다. kVp와 회전시간에 대해 Noise와 동일한 결과를 나타낸다.



(a) In put water phantom image(120 kVp, 1.0 sec)



(b) Denoised water phantom image (120kVp, 1.0 sec)

Fig. 2. Denoising result on water phantom.

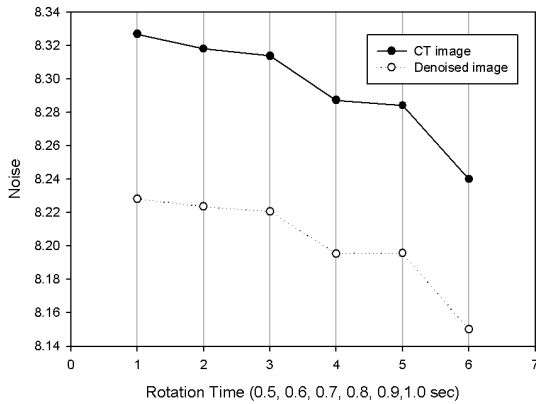


Fig. 3. Noise result on water phantom with 100kVp.

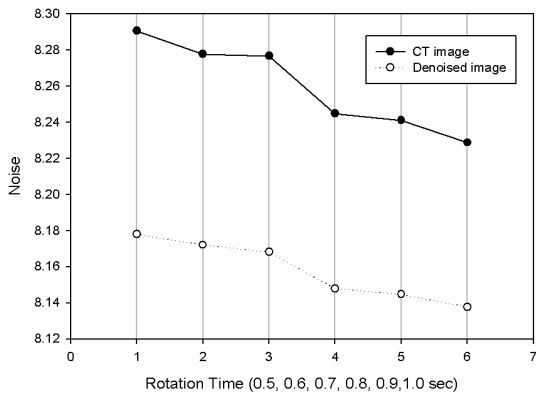


Fig. 4. Noise result on water phantom with 120kVp.

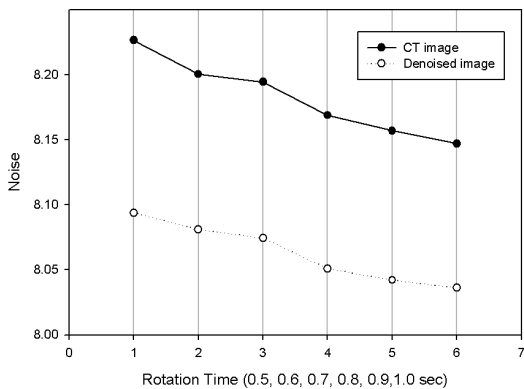


Fig. 5. Noise result on water phantom with 140kVp

#### IV. DISCUSSION AND CONCLUSION

두부 CT 검사의 검사 건수는 증가폭이 크고 흉부와 척추의 경우에도 증가하고 있어 다양한 검사 기법이 개발되고 있어 CT의 사용률은 증가할 전망

이고 조직흡수선량은 암의 확률을 증가시킨다는 것이 알려져 있고 피폭선량 저감과 환자방어에 대한 노력이 필요한 실정이다.<sup>[7-9]</sup>

kVp를 절반으로 낮출 때 방사선량은 최대 65%까지 감소할 수 있고, 이러한 감소는 영상의 잡음 증가와 관계가 있다. 임상에서 저선량 파라미터를 선택하여 사용할 수 있으나 노이즈 증가가 불가피하다. 두부조직 영상에서도 조직간 흡수선량이 비슷하기 때문에 공간분해능 보다는 노이즈 증가가 큰 문제가 되고, 이에 따른 본 연구의 제안은 임상에서 의미가 크다. CT사용 시 적용한다면 저관전압 사용 및 회전시간을 최소화 하여 환자를 검사하고 평균 검사방법에 대비 피폭선량을 50% 이상 감소할 수 있다고 판단한다.<sup>[9]</sup>

두부 CT 검사 사용 프로토콜은 병원마다 각각 다르고 병원 환경상 업무과중으로 피폭선량을 고려할 만한 여건이 부족한 현실이다. 본 연구에서 제안하는 방법을 적용한다면 화질 걱정 없이 피폭 최저건의 검사 프로토콜을 고정하여 사용할 수 있고 단독에 도움이 되는 결과를 얻을 것으로 판단한다.

#### Reference

- [1] S Choi, "Dose Reduction Method in Mammogram System Using Noise reduction Algorithm Based on Total Variation, Patent(Korea): 10-2012-0158747, 2012.
- [2] I. lee, "Impulse Noise Removal Using Noise Detector and Total Variation Optimization," The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 6, No. 4, pp. 11-18. 2006.
- [3] H. J. Kim, J. H. Cho, C. S. Park, "evaluation of image quality in low tube voltage chest CT scan," Journal of radiation protection, Vol. 35, No. 4, pp. 165-141, 2010.
- [4] GangHwan Kim, KiBaek Lee, JeongHoon Kim, "The Study on Image quality and dose when using IRIS(Iterative Reconstruction in Image Space) and ASIR(Adaptive Statistical iterative reconstruction)," Journal of Korean Society of Computed Tomographic Technology, Vol. 13, No. 1, pp. 29-37, 2011.
- [5] WonJeong Lee, BongSeon Ahn, YoungSun Park,

"Radiation Dose and Image Quality of Low-dose Protocol in Chest CT: Comparison of Standard-dose Protocol," Journal of Radiation Protection, Vol. 37, No. 2, pp. 84-89, 2012.

- [6] S. Choi, "Denoising of Digital mammography images using Wavelet Transform," Journal of the Korean society of Radiology, Vol 7, No. 3, 181-189, 2013.
- [7] M. Y. Kim, H. S. Kim, "The Evaluation of Radiation Dose by Exposure Method in Digital Magnification Mammography," JRST, Vol. 35, No. 4, pp. 293-298, 2012.
- [8] S. Obenauer, K. P. Hermann and E Grabbe, "Dose reduction in full-field digital mammography: an anthropomorphic breast phantom study," Br. J. Radiol, Vol. 76, No. 907, pp. 478-482, 2003.
- [9] S. Choi, "Noise Reduction on Low tube voltage CT Images," Journal of the Korean society of Radiology, Vol. 11, No. 1, pp. 63-68, 2017.

## 두부 CT 선량감소를 위한 총변량 최적화의 적용

최석윤

부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

### 요 약

CT의 검사 건수는 크게 증가하고 있으며, 이에 따른 방사선 피폭도 늘어나고 있는 실정이다. 반복된 두부 CT검사는 수정체 및 갑상선에 영향을 줄 수 있다. 대부분의 병원에서는 두부 CT검사로 영상 정보 증가와 영상 질 향상에 대한 관심에 비해 주요장기 방사선 피폭에 대한 관심은 부족한 경향이 있다. 사용 프로토콜은 병원마다 다른 경향이 있고 업무과중으로 피폭선량을 고려할만한 여건은 부족한 편이다. 피폭감소를 고려한 저관전압 CT를 사용할 경우 임펄스 잡음이 발생한다. 본 연구에서는 잡음이 발생한 CT 영상에 대해 제안한 방법을 적용하여 화질 개선 정도를 분석하였다. 제안하는 영상개선 방법은 임펄스잡음후보 화소에 대해서만 총변량 최적화 방법을 적용하였다. 실험결과 에지 정보가 잘 보존되는 특징이 있었고 임펄스 잡음을 효과적으로 제거 할 수 있었다. 관전압과 회전시간에 따라 획득된 영상들에 대해서 매우 잘 작동하였다. 본 연구에서 제안하는 방법을 적용한다면 화질 걱정 없이 검사 프로토콜을 피폭 최저조건으로 설정하여 사용할 수 있고 CT에 적용시 도움이 될 것으로 판단한다.

중심단어: 두부CT, 총변량, 노이즈, 피폭선량

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	최석윤	부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과	교수