

Application of Total Variation Algorithm in X-ray Phantom Image with Various Added Filter Thickness : GATE Simulation Study

Taeil Park, Sujong Jang, Youngjin Lee*

Department of Radiologist Science, College of Health Science, Gachon University

Received: August 06 2019. Revised: October 01, 2019. Accepted: October 31, 2019

ABSTRACT

Images using X-rays are essential to diagnosis, but noise is inevitable in the image. To compensate for this, a total variation (TV) algorithm was presented to reduce the patient's exposure dose while increasing the quality of the images. The purpose of this study is to verify the effect on the image quality in radiographic imaging according to the thickness of the additional filtration plate through simulation, and to evaluate the usefulness of the TV algorithm. By using the Geant4 Application for Tomographic Emissions (GATE) simulation image, the actual size, shape and material of the Polymethylmethacrylate (PMMA) phantom were identical, the contrast to noise ratio (CNR) and coefficient of variation (COV) were compared. The results showed that the CNR value was the highest and the COV the lowest when applying the TV algorithm. In addition, we can acquire superior CNR and COV results with 0 mm Al in all algorithm cases.

Keywords: TV Algorithm, Added filter, GATE simulation, PMMA phantom

I . INTRODUCTION

최근 보건의학의 발전으로 방사선 피폭의 위험이 없는 초음파 (Ultrasonography), 전산화단층촬영 장치 (Computed Tomography, CT), 자기공명영상장치 (Magnetic Resonance Imaging, MRI) 등의 새로운 기술이 발전했다. 이에 따라 사람들의 평균 수명 또한 늘어나고 의료 환자의 수도 지속적으로 늘어나고 있다. 하지만 여전히 방사선학적 검사의 대부분은 X-선을 이용한 전리 방사선을 사용하여 진단이 이루어지고 있고, 방사선 피폭에 대한 환자들의 우려도 증가하고 있다.^[1-3] 이러한 현상을 해결하기 위해서 Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE) 시뮬레이션 방법을 도입하여 불확실한 상황에서의 의사결정을 줄이고 확률적 시스템을 이용한 모의실험을 가능하게 하여 임상 환자의 피폭 선량을 줄이고자 한다.^[4-5]

하지만 영상을 획득하는 과정에서 진단의 정확성을 떨어뜨리는 noise의 발생은 불가피하다. 그러므로 noise를 줄이기 위해서는 선량을 증가시켜야 하나 이 경우 환자의 피폭선량이 증가한다. 이를 방지하기 위해 불필요한 피폭선량을 줄이면서 noise 제거를 할 수 있는 방법인 알고리즘이 제시되었다. 하지만 기존의 알고리즘으로는 비선형 기법을 기반으로 한 median filter 와 noise의 확률적특성을 고려하여 주파수 영역에서 연산이 이루어지는 Wiener filter가 있다. 앞서 언급한 기준에 제시되었던 알고리즘은 noise를 제거하는데 효과적이지만 고주파에 대한정보 즉, 윤곽선 정보를 손실하는 blurring 현상이 일어나고 특히 영상 내에서 다양한 방사선물리학적 성분들을 추정하여 noise를 제거하는 경우에 큰 어려움이 있다. 이를 보완하기 위해 noise를 제거하면서 윤곽선에 대한 정보는 유지할 수 있는 방법인 total variation (TV) 알고리즘이 제시되었다. 본 연구는 TV 알고리즘과 GATE 시뮬레

* Corresponding Author: Youngjin Lee

E-mail: yj20@gachon.ac.kr

Tel: +82-32-820-4362

이선 방법을 적용시켜 영상의 질을 높이고 임상환자의 피폭선량을 낮추는데 목적을 두고 있다. 목적을 위해 부가 여과판의 두께에 따라 팬텀영상을 획득 후 TV 알고리즘을 적용하여 그 효율성을 보여주하고자 한다.^[6]

II. MATERIAL AND METHODS

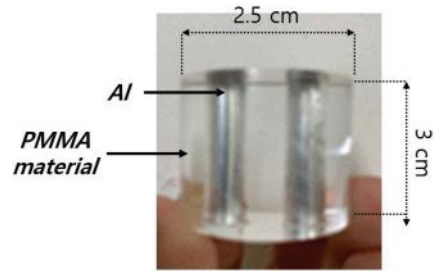
1. GATE 시뮬레이션

GATE는 방사선 진단 영상 수치 시뮬레이션 전용 소프트웨어이다. 또한 Monte Carlo method를 적용하여 확률적인 수치를 무작위 표본을 적용한 실험의 통계로 해결하고 수집 프로토콜의 최적화, 이미지 재구성 알고리즘 및 보정 기술의 개발 또는 평가를 지원할 수 있다. 실제 기기와 같은 현실적인 획득 조건에서 임의의 컴퓨터 내에 지정된 공간 설계가 가능하고 팬텀이나 선원 등의 특성 및 형태를 그대로 사용 가능하다.

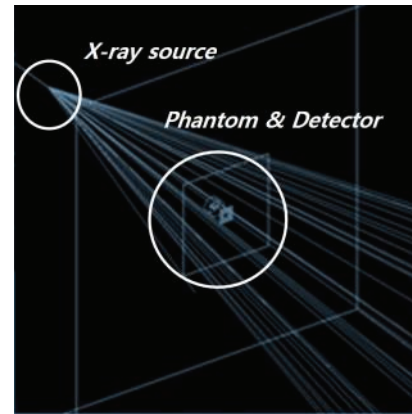
이와 같은 특징을 활용하여 실제 실험을 통해 검증된 데이터를 사용함으로써 결과의 신뢰성이 높다.

2. 입력 X-선 에너지 스펙트럼 모델링

시뮬레이션 모델링은 Siemens사의 X-선 장비를 기반으로 하였다. 그리고 부가 여과판의 두께가 변화함에 따라 영상의 noise 특성에 대한 연구를 수행하기 위해 PMMA (Ploy Methyl Meth Acrylate) 재질로 이루어진 직경 2.5 cm, 높이 3 cm의 알루미늄 (Al) 기둥 2개로 구성 되어 있는 팬텀으로 모델링하였다. X선 장치의 조사 조건은 관전압과 관전류를 70 kVp, 10 mAs 로 고정하고 부가 여과판을 0 mm Al 부터 10 mm Al 까지 변화하여 영상을 획득하였다. GATE 시뮬레이션 상 X-ray 선원 앞과 검출기 사이에 0, 0.5, 1, 3, 5, 그리고 10 mm의 Al을 모델링하였다. Fig. 1(a)는 최종적으로 모델링한 PMMA 팬텀 모습도이다. 본 연구에서는 실제 영상과의 비교를 위해 시뮬레이션 영상을 얻는 데에 사용되었다. Fig. 1(b)는 실제 모델링된 GATE 시뮬레이션 영상 화면이다.



(a)



(b)

Fig. 1. (a) Photo of real PMMA phantom and (b) Schematic illustration of simulation process in GATE program.

3. Noise 제거에 사용된 알고리즘

3.1 Median filter

Median filter는 비선형 저주파 통과 필터로써, 영상을 흐리게 하지 않으면서 noise를 제거할 수 있다. 이것은 구조가 간단하고 잡음 제거에 효과적이지만 영상의 윤곽선에 대한 정보를 제거한다는 단점이 있다. 이것은 영상을 여러 픽셀로 나누어 이웃하는 픽셀들과의 중간 값을 대체하여 활용하는 것으로 반점과 같은 자그마한 noise (Salt and pepper noise) 제거에 아주 효과적이다. 적용되는 공식은 (1) 다음과 같다. 여기서 x_k 에 a 신호가 검출된다고 가정할 때, $k = 1, 2, 3, \dots, a$ 이고 x_k 의 크기는 n번째 값이다.

$$median(x_k) = \begin{cases} x_{(n+1)a} & = 2n+1 \\ \frac{1}{2}(x_n + x_{n+1})a & = 2n \end{cases} \quad (1)$$

3.2 Wiener Filter

Wiener filter는 입력된 신호를 활용하여 출력신호의 추정치를 찾아 그 값들 사이의 평균 자승 오차가 최소화되도록 해준다. 이를 사용하여 손상된 신호의 noise를 필터링 하여 기본 신호의 추정치를 얻으며 영상 신호들은 기저함수들의 합으로 분리된다.

이 필터는 흔히 최소 평균 자승 오차 필터 (Minimum mean square error filter) 혹은 리스트 스퀘어 오차 필터 (Least square error filter) 라고 불리며 통계적 접근 방식을 기반으로 하고, 이론의 통계적 설명은 최소 평균 제곱 오류 (Minimum mean squared Error) 추정기 기사에서 제공한다. 적용되는 공식은 (2) 다음과 같다.

여기서 $S_o(a,b)$ 와 $S_n(a,b)$ 는 각각 기존 영상의 파워스펙트럼과 잡음의 파워스펙트럼을 의미하고 $X(a,b)$ 는 열화함수를 의미한다.

$$W(a,b) = \frac{X^*(a,b)S_o(a,b)}{|X(a,b)|^2S_o(a,b) + S_n(a,b)} \quad (2)$$

3.3 TV 알고리즘

TV 알고리즘은 마스크와 영상 사이에서 수학적 연산을 수행하는 기존의 알고리즘들과는 달리 마스크에 있는 영상만을 처리하기 때문에 기존 알고리즘의 문제점인 blurring 현상을 보정할 수 있다는 큰 장점이 있다. 그 결과 각 마스크의 영상 픽셀 간 가중 거리를 통해 영상 분포도 반영하기 때문에 영상 처리 결과를 더 잘 얻을 수 있다.

적용되는 공식은 (3) 다음과 같다. 여기서 A와 B은 각각 이미지 x의 행과 열의 수를 의미한다.

또한 신호에서 TV 알고리즘은 이미지의 인접 픽셀에서 정보의 변화와 인접 픽셀의 그레디언트에서의 모든 차이를 합한 것을 나타낸다.

이후 TV 알고리즘의 장점을 이용하여 반복 알고리즘은 이미지의 각 픽셀 그레디언트를 최소화한다.

$$\|k\|_{tv} = \sum_{x=1}^A \sum_{y=1}^B |\nabla k_{x,y}|$$

$$= \sum_{x=1}^A \sum_{y=1}^B \sqrt{(k_{x,y} - k_{x-1,y})^2 + (k_{x,y} - k_{x,y-1})^2} \quad (3)$$

$$k^* = \arg(TV(k))$$

4. 정량적 평가항목

각 알고리즘 간의 차이를 알아보기 위해 영상의 noise의 비율로 영상의 화질을 평가하는 인자인 대조도 대 잡음비 (Contrast to noise ratio, CNR), 변동계수 (Coefficient of variation, COV) 를 평가했다. CNR은 값이 크면 조직이나 병변의 구별이 용이하다는 것을 의미한다. 적용되는 공식은 (4) 다음과 같다.^[7]

CNR을 계산하기 위해 관심영역 (Region of interest, ROI) 과 background 영역에서 신호강도의 평균값을 나타내는 S_i 와 S_n , 관심영역과 background 영역에서 신호강도의 표준편차를 나타내는 σ_i 와 σ_n 을 통해 계산한다.

$$CNR = \frac{|S_i - S_n|}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_n^2}} \quad (4)$$

COV는 표준편차를 평균으로 나눈 수치를 의미하는 것으로, 상대적인 일탈도를 알아보기 위해 사용된다. 이 계수가 작을수록 평균치 가까이에 분포하고 있음을 의미한다. 여기서 σ 는 ROI 영역의 신호강도의 표준편차를 의미하며, S는 평균값으로 정의된다.^[8]

$$COV = \frac{\sigma_i}{S_i} \quad (5)$$

III. RESULTS AND DISCUSSION

현재의 방사선학적 검사의 대부분은 X-선을 이용한 전리방사선을 사용하여 진단이 이루어지고 있고 방사선 피폭 안전에 대한 환자들의 인식은 점점 높아지고 있다. 이에 임상 환자의 피폭선량을

줄이기 위해서는 불확실한 상황에서의 GATE 시뮬레이션 확률적 시스템을 이용하여 환자 피폭 저감을 이루어 낼 수 있다. 또한 본 연구에서는 영상을 획득하는 과정에서 생기는 noise 제거 방법으로 비선형 저주파 통과 필터인 median filter와 입력신호를 활용하여 출력신호의 측정치를 찾아 그 값 사이의 평균 차의 오차가 최소화 하는 Wiener filter 그리고 그 중에서도 TV 알고리즘의 타당성을 입증하기 위하여 고정된 관전압과 관전류 조건에서 GATE 시뮬레이션을 사용하여 각 알고리즘 사용 시 부가 여과판의 두께 변화에 따른 TV 알고리즘 특징을 CNR, COV 로 비교 분석하여 GATE 시뮬레이션의 효과를 입증 하고자 한다.

Fig. 2는 부가 여과판의 두께변화에 따른 각 알고리즘 사용 시 시뮬레이션 영상이며 Fig. 3은 부가 여과판의 두께변화에 따른 각 알고리즘 사용 시 CNR 값을 Fig. 4는 COV 값을 나타낸다.

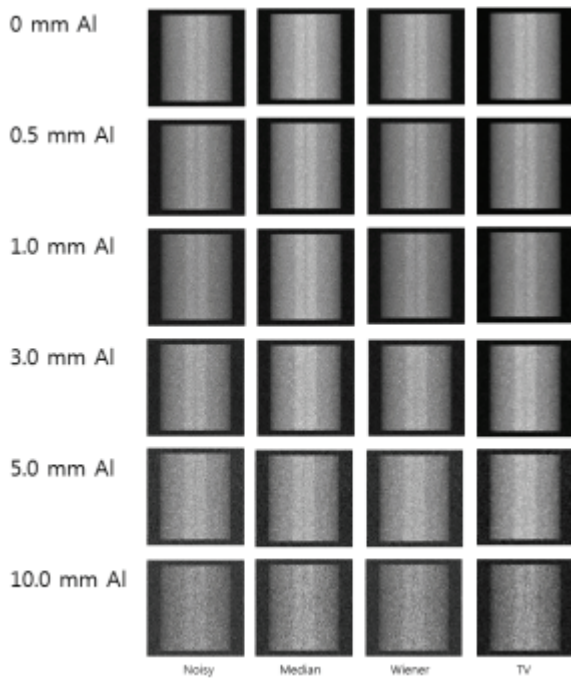


Fig. 2. Acquired phantom images with respect to added filter thickness in simulation.

Fig. 3에서 관전압과 관전류량을 일정하게 고정 한 뒤 부가 여과판의 두께 변화에 따른 값을 CNR 로 비교한 그래프로 0 mm Al 일 때 의 영상에

noisy 영상, median filter, Wiener filter, TV 알고리즘을 적용하면 CNR 값은 0.0587, 0.0707, 0.0815, 그리고 0.1512 으로 noisy 영상에 비해 TV 알고리즘을 적용하였을 때 CNR 값이 3.4배 상승하였다. 5.0 mm Al 의 영상에서는 0.00091, 0.0011, 0.0087, 그리고 0.0109 으로 noisy 영상에 비해 TV 알고리즘을 적용하였을 때 CNR 값이 10배 상승하였다. 10.0 mm Al 로 변화하였을 때 에서는 0.00015, 0.00093, 0.0012, 그리고 0.0085로 CNR 값이 15배 증가하였다. CNR 값은 부가 여과판이 증가 할수록 noise가 감소하여 TV 알고리즘 사용 시 다른 알고리즘과 비교하였을 때 CNR 값은 가장 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

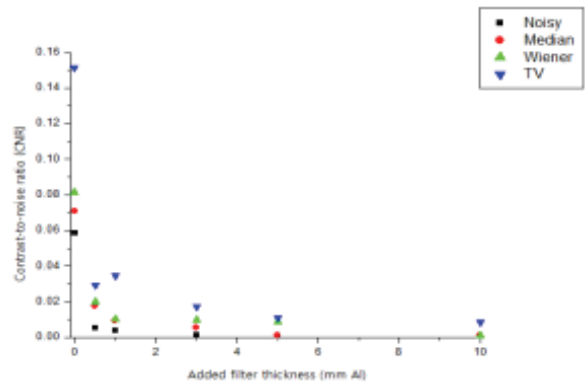


Fig. 3. Result for CNR with respect to added filter thickness using GATE simulation.

Fig. 4는 관전압과 관전류량을 일정하게 고정 한 뒤 부가 여과판의 두께 변화에 따른 값을 COV 로 비교한 그래프이다. 0 mm Al 에서의 영상에 noisy 영상, median filter, Wiener filter, TV 알고리즘을 적용 하였을 COV값은 8.57, 6.68, 6.12 그리고 5.58로 noisy 영상이 TV 알고리즘을 적용한 영상에 비하여 약 1.3배가 상승하였다. 5 mm Al 에서는 COV 값은 38.97, 36.77, 35.97 그리고 27.58이 나왔으며, Noisy 영상이 TV 알고리즘을 적용한 영상에 비하여 COV 값이 2.7배가 상승하였으며 10.0 mm Al 일 때는 38.97, 36.77, 35.97, 그리고 27.58로 noisy 영상이 TV 알고리즘을 적용한 영상에 비하여 약 1.5배가 상승하였다. CNR 값은 부가 여과판이 증가할수록 증가하였으며, COV 값은 가장 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 실제 팬텀에서 관전압과 관전류를 고정하여 부가 여과판에 따른 실험 하였을 때 TV 알

고리즘의 방법이 median filter, Wiener filter에 비하여 모든 조사 조건에서 매우 효과적으로 noise을 제거시키는 것을 알 수 있었다.

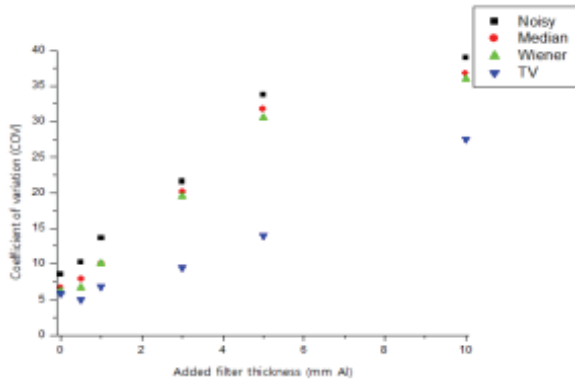


Fig. 4. Result for COV with respect to added filter thickness using GATE simulation.

IV. CONCLUSION

GATE 시뮬레이션을 이용하여 영상을 획득하는 과정에서 여러 알고리즘을 사용하였고, 부가 여과관에 두께의 따른 CNR, COV 값들의 변화추이를 비교하였다. 부가 여과관의 두께가 증가할수록 CNR 값은 감소하고 COV 값은 증가 한다는 것을 확인하였고, TV 알고리즘 사용 시 시뮬레이션 영상에서 영상의 질이 가장 향상하는 것을 확인할 수 있었다.

Acknowledgement

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF- 2016R1D1A1B03930357). Also, Taeil Park and Sujong Jang contributed equally to this work.

Reference

- [1] S. Nam, "Trend of medical device (center of medical device)," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*. Vol. 26, No. 1, pp. 15-23, 2013.
- [2] P. C. Shrimpton, D. G. Jones, B. F. Wall, "The influence of tube filtration and potential on patient dose during X-ray examinations," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 33, No. 10, pp. 1205-1212, 1988.

- [3] O. Daniel, G. Ogbange, S. A. Jonah, "X-rays and Scattering from Filters Used in Diagnostic Radiology," *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 3, No. 7, pp. 1-11, 2013.
- [4] C. H. Baek, D. H. Kim, Y. G. Lee, Y. Lee, "Validation Study for Image Performance of I-131 Using GATE Simulation Program," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*. Vol. 55, No. 5, pp. 133-137, 2017
- [5] S. Stute, T. Carlier, K. Cristina, C. Noblet, A. Martineau, B. Hutton, L. Barnden, I. Buvat, "Monte Carlo simulations of clinical PET and SPECT scans: impact of the input data on the simulated images," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 56, No. 19, pp. 6441-6457, 2011.
- [6] Y. Lee, S. Kang, Y. Lee, W. Yu, "Evaluation of Image Performance with Various Regularization Parameters using Total Variation (TV) Noise Reduction Algorithm," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*. Vol. 55, No. 3, pp. 144-148, 2018.
- [7] W. J. Yu, S. H. Kang, Y. G. Lee, Y. Lee, "Study on Analysis of Noise Characteristics and Improvement Effectiveness using combination of two filters with Various Exposure Parameters based on Digital X-ray Imaging System," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*. Vol. 55, No. 1, pp. 127-131, 2018.
- [8] A. Goncalves, J. M. D. A. Rollo, M. Goncalves, F. H. Neto, F. N. Boscolo, "Effects of aluminum-copper alloy filtration on photon spectra, air kerma rate and image contrast," *Brazilian Dental Journal*, Vol. 15, No. 3, pp. 214-219, 2004.

다양한 두께의 부가 여과판을 적용한 X-선 영상에서의 Total Variation 알고리즘 적용 : GATE 시뮬레이션 연구

박태일, 장수종, 이영진*

가천대학교 보건과학대학 방사선학과

요 약

X-선을 이용한 영상은 진단에 필수적인 요소지만 영상에서의 noise 발생이 불가피하다. 이를 보완하기 위해 환자의 피폭선량은 낮추면서 영상의 질은 높여주는 total variation (TV) 알고리즘이 제시되었다. 본 연구의 목적은 시뮬레이션을 통해 부가 여과판의 두께에 따라 방사선 영상 촬영 시 영상의 화질에 미치는 영향을 확인하고, TV 알고리즘의 유용성을 평가하는 것이다. 부가 여과판의 두께변화에 따른 각 알고리즘 적용 시 Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE) 시뮬레이션 영상을 이용하여 Polymethylmethacrylate (PMMA) 팬텀의 실제 크기, 모양과 재질을 동일하게 하고 대조도 대 잡음비 (contrast to noise ratio, CNR)과 변동계수 (coefficient of variation, COV)값을 비교하였으며 그 결과 TV 알고리즘 적용 시 CNR 값이 가장 높고 COV 값이 가장 낮다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 모든 알고리즘에서 0 mmAl을 사용할 경우 가장 우수한 CNR과 COV값을 얻을 수 있었다.

중심단어: TV 알고리즘, 부가 여과판, GATE 시뮬레이션, PMMA 팬텀

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	박태일	가천대학교 방사선학과	학부생
(공동저자)	장수종	가천대학교 방사선학과	학부생
(교신저자)	이영진	가천대학교 방사선학과	교수