

Application of Dual Tree Complex Wavelet for Performance Improvement of CT Images

Seokyoon Choi

Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: November 01, 2019 Revised: December 25, 2019 Accepted: December 31, 2019

ABSTRACT

Computed tomography (CT) has been increasing in frequency and indications for use in clinical diagnosis and treatment decisions. Multidetector CT has the advantage of shortening the inspection time and obtaining a high resolution image compared to a single detector CT, but has been pointed out the disadvantage of increasing the radiation exposure. In addition, when the low tube voltage is used to reduce the exposure dose in the CT, noise increases relatively. In the existing method, the method of finding the optimal image quality using the method of adjusting the parameters of the image reconstruction method is not a fundamental measure. In this study, we applied a double-tree complex wavelet algorithm and analyzed the results to maintain the normal signal and remove only noise. Experimental results show that the noise is reduced from 8.53 to 4.51 when using a complex oriented 2D method with 100kVp and 0.5sec rotation time. Through this study, it was possible to remove the noise and reduce the patient dose by using the optimal noise reduction algorithm. The results of this study can be used to reduce the exposure of patients due to the low dose of CT.

Keywords: Tube voltage, Slice thickness, Noise, Head CT

I. INTRODUCTION

환자의 진단 및 치료 결정을 위해서 전산화단층 촬영(computed tomography; CT)은 해부학적 정보가 뛰어나고 질병의 관독을 위해서 사용이 증가하고 있는 추세이고 영상의학 영역에서 방사선 피폭이 가장 큰 비중을 차지한다. 다중검출기 CT (multidetector CT)는 단일검출기 CT에 비하여 검사 범위의 확대로 오히려 방사선 노출이 증가되는 현상이 있다고 알려져 있다.^[4] 일반적으로 CT에서 잡음지수는 포아송 분포에 따라 발생한다. 방사선량의 억제에 비례하고 약간의 잡음지수 변화도 방사선량과 관계가 높다. 영상의 질을 유지하는 범위 내에서 최상의 화질을 찾기 위한 연구들이 있다. 16채널 CT에서 잡음지수를 기존의 10.5보다 높였

을 경우 12.5까지는 영상의 질이 떨어지지 않는다고 보고되었다. ^[5] 방사선 검사 시 kVp를 절반으로 감소하면 방사선량은 65%까지 감소하고 kVp의 감소는 노이즈의 증가에 대한 영향이 있다고 알려져 있다. 최근 환자 검사 시 최대허용 저선량을 사용하고 싶으나, 노이즈의 증가로 사용하지 못하는 실정이다.^[1] 방사선량을 줄이면 노이즈가 증가해서 진단에 나쁜 영향을 만들게 된다. 이상의 문제를 해결하기 위해서 장비사별로 반복 재구성 기법인 IR (iterative reconstruction) 기법이 도입되기도 하였다.^[2] CT에 의한 방사선 피폭을 최소화 하기 위해서 자동노출 조정, 영상재구성 알고리즘의 개발, 고전적 방법인 관전압, 관전류, 피치조절, 스캔범위 등의 프로토콜 조정 방법들이 사용된다. 이 중 프로토콜 조정은 특별한 물리적 장치와 프로그램이 필요하지 않아 기존 장비에서 바로 적용 해 볼 수

있는 방법으로 편리한 이점이 있다.^[4] ALARA 원칙에 의하면, 가능한 최소의 방사선량으로 화질이 조금 떨어지더라도 피폭이 최소가 되도록 하는 것이 최적의 검사라고 할 수 있다. 저관전압 CT를 사용하면 피폭은 줄어들지만 노이즈가 증가하는 현상이 발생한다. 기존의 여러 연구에서는 영상재구성 방법에 대한 노출 조건을 조절하는 방법 등을 시도해서 최적의 화질을 찾는 방법을 찾고 있으나 근본적 문제해결은 되지 못한다.^[1] 본 연구에서는 정상 신호를 유지하고 노이즈를 제거하기 위해서 복합트리 웨이블릿 알고리즘을 제안하고 임상에 적용 가능한지에 대해서 평가하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험장비

실험을 위한 장비로는 384채널 Dual-source CT(MSCT) system(SOMATOM Force, SIEMENS Healthcare, Germany)과 Water phantom calibration(AAPM CT performance, USA)을 사용하였다. CT 매개변수는 관전류량 250 mAs, 회전시간 1.0 sec, 관전압 80, 100, 120, 140 kVp, 슬라이스 두께 5 mm, Pitch는 1을 사용하였다.

2. 노이즈제거 방법

본 연구에서는 영상의 노이즈 제거를 위해서 다음의 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 어떻게 듀얼 트리 이산 웨이블릿 변환 DWT이 신호 및 이미지 처리를 위해 임계 샘플링 된 DWT에 비해 장점이 있는지 실험을 하였다. 듀얼 트리 DWT는 2 개의 분리 된 2개의 채널 필터뱅크로 구현된다. 본 연구에서는 설명한 이점을 얻기 위해 두 트리에서 사용되는 스케일링 및 웨이블릿 필터를 임의로 선택할 수 없다. 하나의 트리 $[h_0 \ h_1]$ 의 저역 통과(스케일링) 및 고역 통과(웨이블릿) 필터는 스케일링 기능과 웨이블릿을 생성해야한다. 다른 트리 $[g_1 \ g_2]$ 에 따라서 두 트리로 구성된 복소수 스케일링 함수와 웨이블릿은 거의 분석적이다. 따라서 두 트리로 구성된 복소수 스케일링 함수와 웨이블릿은 분석적으로 계산되었다.^[8-9]

결과적으로, 이중-트리 (complex) DWT는 n 차원 데이터에 대해 2d redundancy 팩터만으로 중요하게 샘플링 된 DWT보다 적은 시프트 분산 및 보다 지향성 선택성을 나타낸다. 이중 트리 DWT의 중복성은 미정의 (stationary) DWT의 중복보다 현저히 적다. 이중 트리 DWT는 개별 오리엔테이션이 분리된 서브 밴드이며, 이미지 노이즈 제거와 같은 애플리케이션에서 표준 분리형 DWT보다 성능이 우수하다. 이미지를 로드하고 시그마 값을 25로 하여 제로 평균 백색 가우스 잡음을 추가하여 실험하였다. 임의로 설정할 수 있는 한 임계 값의 범위는 임계값으로 샘플링 된 DWT에 대해 소프트 임계값을 사용하여 노이즈 제거를 비교하였다. 본 연구에서는 실제 이중 트리 DWT 및 복잡한 이중 트리 DWT에 대해서 각 임계 값에 대한 RMS(root-mean-square) 오류 및 피크 신호 대 잡음비(PSNR)를 제시하였다.^[6-9]

III. RESULT

Fig. 2-3에서 노이즈제거 방법들에 대한 화질의 비교에 대한 결과를 나타냈다. Fig. 2에서는 역치값의 변화에 따른 PSNR의 변화를 나타냈다. 역치값 3~4 구간에서 매우 높은 화질을 나타내었고 이후 선형적으로 감소하였다. 최고값에서 complex oriented 2D 방법이 가장 좋았고 이후 감소 값에서는 standard 2d방법이 우수한 경향을 나타내었다.

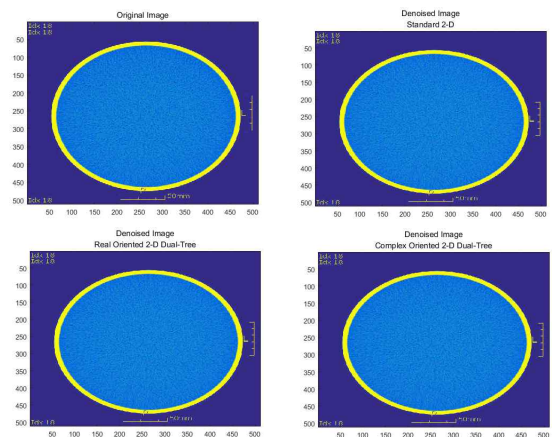


Fig. 1. Variation of Image Quality of Phantom Image by the Denoising Methods.

Fig. 3에서는 역치값의 변화에 따른 RMSE 값을

나타내었다. 역치값 3~4구간에서 RMSE가 가장 낮았고 complex oriented 2D 방법이 가장 낮게 나타났다. 역치값 이후에는 RMS값이 지속적으로 증가하였다. Fig. 1과 같이 팬텀영상에 대해서 노이즈를 측정하였고

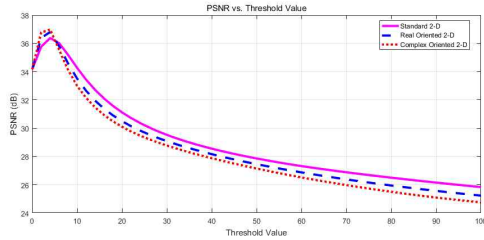


Fig. 2. PSNR of denoising methods with threshold changes.

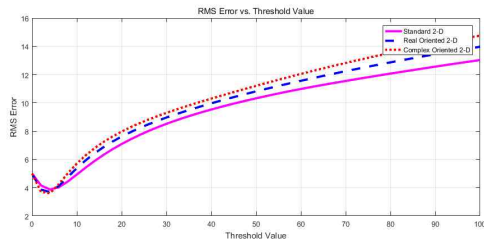


Fig. 3. RMSE of denoising methods with threshold changes.

알고리즘 조건에 따른 결과가 Table 1에 제시되었다. 관전압과 회전시간의 감소에 따라 노이즈는 증가하게 된다. 이때 제안하는 방법들에서 노이즈가 감소되었고 complex 2d 방법이 가장 우수한 것으로 나타났다. 튜브 회전시간의 증가에 따라 노이즈는 감소하였고, 관전압의 증가에 따라서도 노이즈가 감소하였다. 관전압 140kVp 회전시간 1.0sec 일 때 가장 노이즈가 낮게 나타났다. 원영상에 대해서 complex oriented 2d 방법이 가장 노이즈가 적은 것으로 나타났다. Fig. 5 에서는 임상영상에 적

용시 노이즈 감소가 나타난 것을 보여주고 프로파일 정보를 통해서 해석 할 수 있다. Fig. 6에서는 노출조건에 다른 선량의 결과를 제시하고 있다. 관전압이 140kVp이고 회전시간이 1.0sec일때 선량이 매우 높았다. CT 검사의 경우 최저선량조건으로 검사를 할 필요가 있어 140kVp 보다는 100kVp ~ 120 kVp의 노출조건을 사용해야하고 가능한 짧은 튜브 회전시간을 선택하는 것이 도움이 된다. 100kVp, 회전시간 0.5sec의 영상에서 complex oriented 2d 방법을 사용 할 경우 노이즈는 8.53에서 4.51로 줄어든다. 이것은 알고리즘 적용 전 최고의 화질조건인 140kVp, 1.0sec과 비슷한 노이즈 수준(4.41)을 얻게 되었다.

IV. DISCUSSION AND CONCLUSION

영상의 화질을 향상시키기 위해서 가장 쉬운 방법은 피폭선량을 증가시키는 것이다. 그러나 선량을 지속적으로 증가시킬 경우 영상의 화질은 향상되지만 임상에서 영상을 판독하는 의사는 화질의 차이를 공학적인 수준만큼 해석을 하지 못하며, 일정수준 이상에서도 영상의 차이를 느끼지 못한다. 효율적인 검사를 위해서는 과도하지 않은 적정 수준의 사용선량을 결정하는 일이 요구된다.

시스템에서 공간해상도 보다 영상의 노이즈의 이상 정도가 영상 화질에 영향을 주기 때문에 영상 잡음에 대한 주기적인 검사 및 관리가 매우 중요하다.^[3] 64채널 CT에서 잡음지수는 포아송 분포에 따라 방사선량의 역제곱에 비례하기 때문에, 약간의 잡음지수 변화도 방사선량에 미치는 영향이 크다. 포아송 분포에 따라 방사선량의 역제곱에 비례한다. 64채널 CT에서 약간의 잡음지수 변화도 방사선량에 미치는 영향이 크다고 한다.^[5]

Table 1. Changes in exposure parameters and denoising methods for noise reduction

관전압 (kVp)	100			120			140		
회전시간 (sec)	0.5	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0
original	8.53	6.01	6.10	6.67	5.91	4.93	5.84	4.96	4.41
standard 2d	6.01	4.96	3.93	4.26	3.73	2.82	3.54	2.97	2.63
real 2d	4.95	4.02	3.29	3.46	3.10	2.34	2.88	2.51	2.20
complex 2d	4.51	3.69	3.11	3.21	2.93	2.26	2.73	2.43	2.16

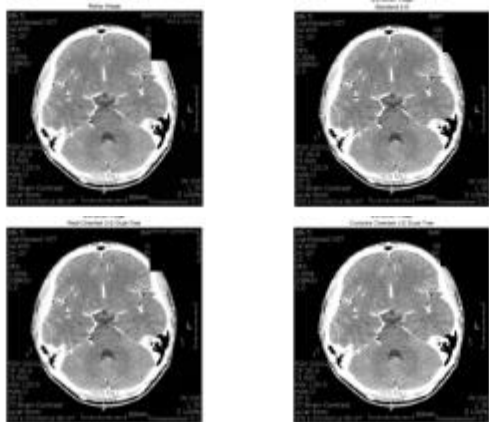


Fig. 4. Result of noise reduction methods. b) standard 2d (RMSE 10.20, PSNR 27.96), c) real oriented 2d dual-tree (RMSE 10.20, PSNR 27.96), d) complex oriented 2 d dual-tree (RMSE 9.76, PSNR 28.34).

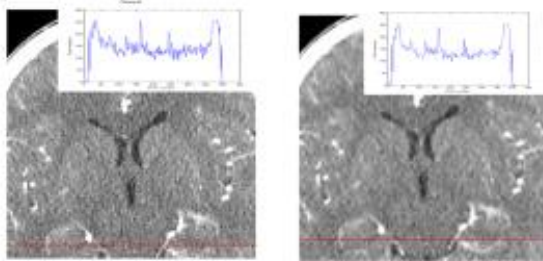


Fig. 5. Scout image obtained by checking the possibility of experiment.

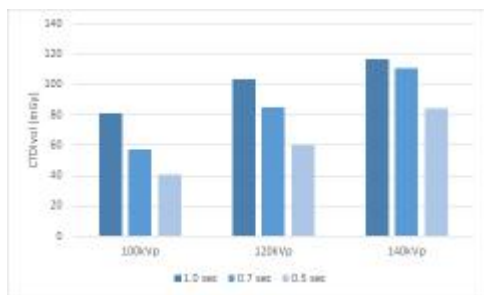


Fig. 6. Scout image obtained by checking the possibility of experiment.

임상에서 저선량 파라미터를 선택하여 사용할 수 있으나 노이즈 증가가 불가피하다. 두부조직 영상에서는 조직 사이에 흡수선량이 비슷하기 때문에 노이즈 증가는 큰 문제가 되고, 본 연구에서 제시하는 결과는 임상에 도움이 된다고 할 수 있다. 향후 공간분해능 계산 및 환자 영상에 대해서도 분

석이 필요하다^[1]. CT의 방사선 피폭의 저감화 방법으로 CT 위험성을 감수할 만한 장점이 있는지 파악하고 대체가 가능한 방법이 있는지 살펴볼 것이다.

진단이 가능하고 최소의 선량으로 화질을 얻을 수 있는 방법들이 필요하다. 환자의 체형에 따라 관전압과 관전류를 다양하게 사용하는 방법, 자동 관전압의 사용과 영상 획득 인자를 변경하는 방법, 최소한의 필요한 스캔 범위를 설정해야 한다. 반복적인 스캔을 피하고 새로운 영상재구성 방법 등을 사용해야 한다^[4]. 본 연구의 제약점은 파라미터 변화를 다양하게 실험하지 못하였고 흉부 및 복부에서의 성능은 분석하지 않았다. 향후 연구에서 피치의 변화 및 슬라이스 두께의 파라미터를 추가하여 실험하고 공학분야에서 알려져 있는 다양한 알고리즘을 비교 분석하는 연구를 진행 할 예정이다. 본 연구에서는 저관전압 두부 CT에서 발생하는 높은 수준의 노이즈를 최적의 방법으로 노이즈를 제거하였고 환자 선량을 낮출 수 있었다. 본 연구결과를 임상에서 사용 시 저선량 CT의 사용이 가능해져서 환자 피폭을 줄일 것으로 판단한다.

Acknowledgement

이 성과는 부산경제진흥원의 지원을 받아 디지털헬스케어기술개발 사업으로 수행된 연구임.

Reference

- [1] S. Y. Choi, "Noise Reduction on Low Tube Voltage CT Images," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 11, No. 1, pp. 63-68, 2017.
- [2] Y. J. Jo, P. K. Cho, "Improved Image Quality and Radiation Dose Reduction in Liver Dynamic CT Scan with the Protocol Change," Journal of Korean Society of radiological technology, Vol. 38, No. 2, pp. 107-114, 2015.
- [3] H. S. Jeon et al, "The Image Quality of a Digital Chest X-Ray Radiography System: Comparison of Quantitative Image Quality Analysis and Radiologists' Visual Scoring," Korean Journal of Radiology, Vol. 65, No. 5, pp. 479-485, 2011.
- [4] S. M. Kwon, J. S. Kim, "Radiation Dose and

Imaging Quality of Abdominal Computed Tomography before and after Scan Protocol Adjustment: Single-Institution Experience in Three Years," *Journal of the Korean Society of Radiology* Vol. 71 No. 6, pp. 278-287, 2014.

- [5] H. J. Kim et al, "Evaluation of Image Quality in Low Tube-Voltage Chest CT Scan," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 35, No. 4, pp. 135-141, 2010.
- [6] Selesnick, I., Baraniuk, R.G., and N.G. Kingsbury. "The Dual-Tree Complex Wavelet Transform." *IEEE Signal Processing Magazine*. Vol. 22, No. 6, pp. 123-151, 2005.
- [7] Selesnick, I. "The Double Density DWT," *Wavelets in Signal and Image Analysis: From Theory to Practice* (A.A Petrosian, F.G. Meyer, eds.), Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, pp. 39-66, 2001.
- [8] Selesnick, I. "The Double-Density Dual-Tree Wavelet Transform". *IEEE Transactions on Signal Processing*. Vol. 52, No. 5, pp. 1304-1314, 2004.
- [9] [https:// mathworks.com](https://mathworks.com)

CT 영상의 화질개선을 위한 이중트리복합웨이블릿의 적용

최석윤

부산가톨릭대학교 방사선학과

요 약

환자의 진단 및 치료를 결정할 때 전산화단층촬영 (computed tomography; CT)은 우수한 해부학 정보를 제공하기 때문에 진단에 큰 도움이 되어 있다. 그에 따른 사용빈도가 증가하고 있으며, 활용 및 응용범위도 확대되어가는 추세이다. 저관전압을 사용해서 CT 검사를 하면 노이즈가 증가한다. 기존의 여러 연구에서는 영상재구성법에 대한 노출조건을 조절하는 방법 등을 시도해서 최적의 화질을 찾는 방법을 찾고 있으나 근본적 문제해결은 되지 못한다. 입력 영상의 신호를 유지하고 노이즈만을 최대한 제거하기 위해서 이중 트리웨이블릿 알고리즘을 적용하였다. 실험결과 100kVp, 회전시간 0.5sec의 영상에서 complex oriented 2d 방을 사용 할 경우 노이즈는 8.53에서 4.51로 줄어들었다. 본 연구를 통해서 저관전압 두부 CT에서 발생하는 높은 수준의 노이즈를 최적의 노이즈제거 알고리즘으로 노이즈를 제거하고 환자선량을 낮출 수 있었다. 본 연구결과를 임상에서 사용 시 저선량의 CT 사용이 가능하고 환자 피폭을 줄일 것으로 판단한다.

중심단어: 관전압, 슬라이스 두께, 노이즈, 두부CT

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	최석윤	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수