

## 이기중 도메인 인코더-디코더 기반 희소뷰 CT 영상 복원 기법

정세연<sup>1</sup>, 한요섭<sup>1,2</sup><sup>1</sup>승실대학교 정보통신공학과<sup>2</sup>승실대학교 지능형반도체학과

seyeonj@soongsil.ac.kr, \*yoseob.han@ssu.ac.kr

## Sparse-view CT Reconstruction via Heterogeneous Domain Encoder-Decoder Network

Seyeon Jeong<sup>1</sup>, Yoseob Han<sup>1,2</sup><sup>1</sup>School of Information and Communication Engineering, Soongsil University<sup>2</sup>Department of Intelligent Semiconductors, Soongsil University

## 요약

본 논문에서는 희소뷰 CT 영상에서 발생하는 선형 아티팩트 문제를 해결하기 위해 교차 도메인 기반의 딥러닝 구조인 P2I-Net 을 제안한다. 본 구조는 투영 도메인 인코더와 영상 도메인 디코더를 CT 물리 모델 기반의 전이 연산자(Radon 역변환)로 연결하여, 기존 이중 도메인 네트워크의 구조적 중복을 제거하고 연산 효율을 향상시킨다. 실험 결과, 제안된 P2I-Net 은 기존 단일 및 이중 도메인 네트워크 대비 적은 파라미터 수로도 우수한 복원 성능을 달성하였으며, 희소뷰 상황에서도 구조 보존 및 아티팩트 제거에 효과적임을 확인하였다.

## I. 서론

X 선 단층촬영(CT)은 정밀한 진단 영상 제공이 가능하지만, 방사선 노출이 수반된다는 문제로 인해 저피폭 기술의 필요성이 증가하고 있다. 이에 따라 투사 수를 줄여 피폭을 줄이는 희소뷰 CT 가 주목받고 있다. 하지만 투사 수가 부족할 경우 영상 재구성 시 선형 아티팩트(streaking artifact)가 심각하게 발생한다[1].

기존에는 이미지 또는 투영 도메인에서 각각 딥러닝 모델을 적용하는 단일 도메인 접근법이 주로 사용되었으며, 이후 두 도메인을 순차적으로 연결한 이중 도메인 구조가 제안되어 성능 향상을 이루었다[2][4][5]. 그러나 이중 도메인 구조는 인코더-디코더 구조의 중복 사용으로 인해 학습 파라미터가 두 배로 증가하고 연산 비용이 높아지는 단점이 있다.

이를 해결하기 위해, 본 논문에서는 CT 의 물리적 특성을 활용하여 투영 도메인 인코더와 영상 도메인 디코더를 직접 연결하는 교차 도메인 네트워크(P2I-Net)를 제안한다[4].

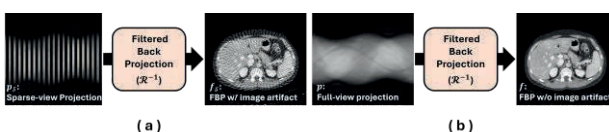


Figure 1. (a) 완전 투영 영상  
(b) 불완전한 투영 영상에 의해 복원된 영상

## II. Projection-to-Image Network (P2I-Net) 구조

본 논문에서 제안하는 P2I-Net(Projection-to-Image Network)은 투영 도메인과 영상 도메인 사이의 물리적 연산 관계를 기반으로 한 교차 도메인 딥러닝 구조로, 기존 단일 도메인 및 이중 도메인 네트워크의 단점을 보완한다.

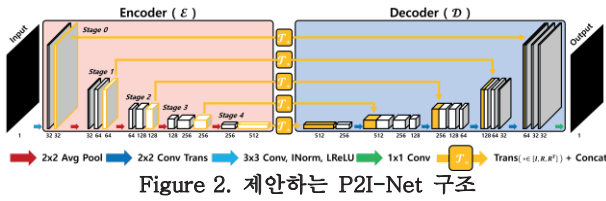
**기존의 단일 도메인 네트워크(uni-domain DL)**는 투영 도메인(P2P) 또는 영상 도메인(I2I) 중 한쪽에서만 학습이 이루어져 도메인 간 정보 손실이 발생할 수 있으며, **이중 도메인 네트워크(dual-domain DL)**는 두 도메인을 순차적으로 처리하면서 인코더-디코더 구조가 중복되어 학습 파라미터와 연산량이 증가하는 한계가 존재한다.

이에 반해, P2I-Net 은 하나의 인코더와 하나의 디코더만을 사용하면서도 도메인 간 연속성을 유지하며, 효율적으로 복원 성능을 향상시킨다.

제안된 P2I-Net 은 다음과 같은 구조로 구성된다.

- **투영 도메인 인코더 (EP)**: 투사 데이터의 잡음을 억제하고 표현을 추출
- **영상 도메인 디코더 (DI)**: Radon 역변환( $R^{-1}$ )을 통해 영상 도메인으로 전이된 표현을 바탕으로 CT 영상을 복원
- **도메인 전이 연산자 (RT)**: 물리 기반 CT 연산자로 두 도메인을 연결

기존 이중 도메인 구조에서는 두 개의 네트워크를 순차적으로 사용하였지만, 제안된 P2I-Net 은 하나의 인코더와 디코더만으로 구성되어 학습 파라미터가 절반으로 줄어들며, 연산 효율성이 크게 향상된다.



### III. 데이터셋 및 실험 환경

학습 데이터로는 AAPM Low-dose CT Grand Challenge 데이터를 사용하여 전체부인 768 views 대비 희소부(96, 128, 192, 256, 384 views) 조건에서 실험을 수행하였다. 성능 평가지표로는 PSNR, SSIM, NRMSE 를 사용하였다.

### IV. 실험 결과

그림 3 는 다양한 기법을 적용하여 복원한 결과를 시각적으로 비교한 것이다. 특히, 희소부 조건 하에서 FBP 는 강한 선형 잡음(streaking artifact)을 포함하고 있었으며[3], MBIR 은 과도한 스무딩(smoothing)으로 인해 질감 정보가 소실되었다[1]. 딥러닝 기반 방법 중 I2I-Net 및 P2P-Net 은 각각의 도메인 특성에 따라 잡음 억제에는 효과적이었으나, 아티팩트 제거에는 한계를 보였다[4][5].

반면, 제안된 P2I-Net 은 PSNR 측면에서 기존 Dual-domain 네트워크보다 평균 0.3~0.5 dB 이상 향상되었으며 디테일이 잘 유지되었으며 가장 높은 구조 유사도(SSIM)를 보여준다.

특히 영상 디코더를 사용하는 구조의 이점으로 인해, 텍스처 보존과 선명도 유지 측면에서 우수한 성능을 확인할 수 있었다. 또한 학습 파라미터 수가 Dual-domain 네트워크의 절반에 불과하여 연산 효율성 면에서도 탁월함을 입증하였다[2][4].

### V. 결론

본 논문에서는 희소부 CT 영상 복원을 위한 새로운 교차 도메인 딥러닝 프레임 워크인 P2I-Net 을 제안하였다. 본 구조는 투영 도메인 인코더와 영상 도메인 디코더를 Radon 역변환으로 연결함으로써, 중복된 네트워크 구조없이 높은 복원 성능을 달성한다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the IITP(Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation)-ITRC(Information Technology Research Center) grant funded by the Korea government(Ministry of Science and ICT)(IITP-2025- RS-2020-II201602)

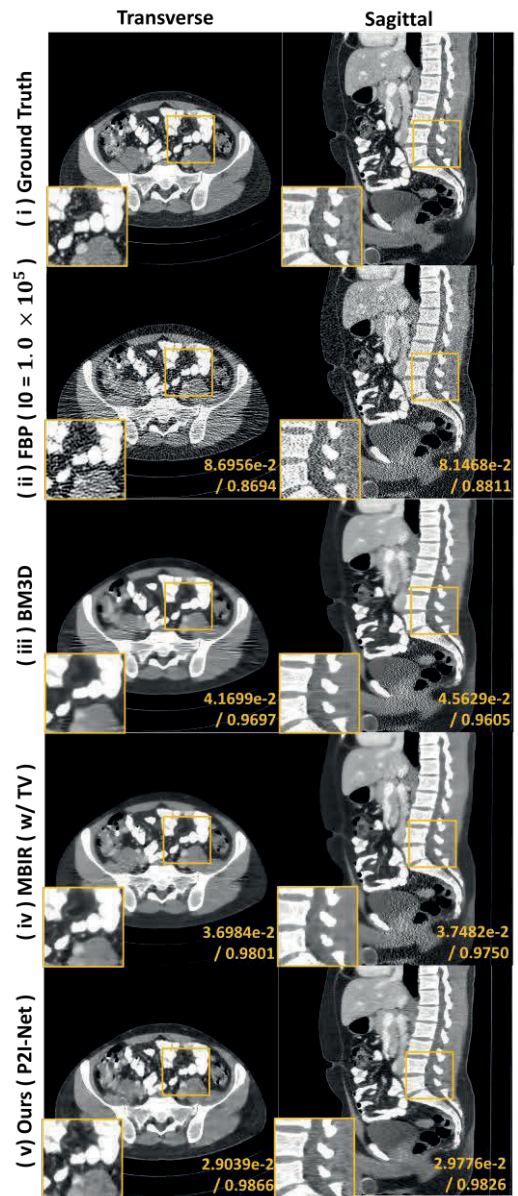


Figure 3. 다양한 기법에 의해 복원된 영상. 오른쪽 하단은 NRMSE/SSIM.

### 참 고 문 헌

- [1] D. J. Brenner and E. J. Hall, "Computed tomography—an increasing source of radiation exposure," N. Engl. J. Med., vol. 357, pp. 2277– 2284, 2007.
- [2] J. C. Ye et al., "Deep convolutional framelets: A general deep learning framework for inverse problems," SIAM J. Imaging Sci., vol. 11, no. 2, pp. 991– 1048, 2018.
- [3] S. Basu and Y. Bresler, "O(N<sup>2</sup>logN) filtered backprojection reconstruction algorithm for tomography," IEEE Trans. Image Process., vol. 9, no. 10, pp. 1760– 1773, 2000.
- [4] Z. Han et al., "Low-dose CT reconstruction using cross-domain deep learning with domain transfer module," Phys. Med. Biol., vol. 70, no. 6, 065014, 2025.
- [5] M. Lee et al., "Hierarchical decomposed projection-domain deep learning for sparse-view CT reconstruction," Proc. KIITS, pp. 1– 4, 2024