

이중에너지 CT영상의 물질분별을 위한 스펙트럼 기반의 대수학적 동시 재건 기법(SSART)

이동현¹, 조승룡¹

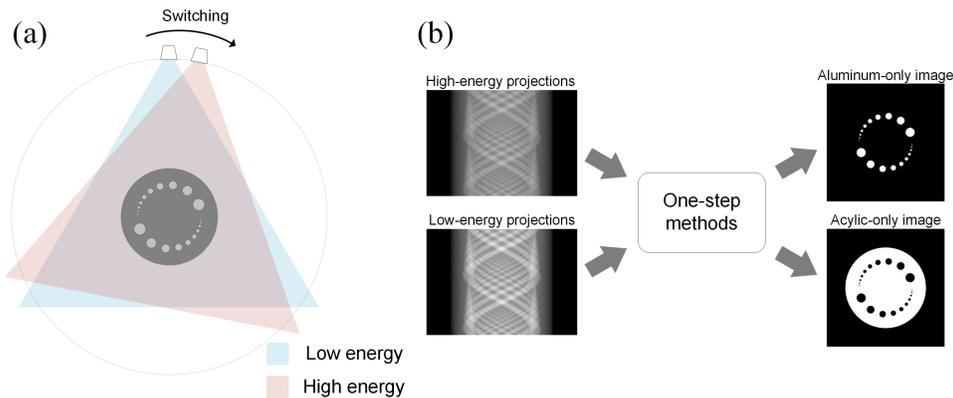
¹한국과학기술원 원자력및양자공학과

소개 및 목적

이중에너지 CT영상은 입자선 선량 평가를 위한 조직 특정 평가에서 기존에 사용되는 단일에너지 CT 영상보다 더 높은 정확도를 보여 주어 각광받고 있는 의료영상기술이다. 앞선 연구의 물질분별 방법은 크게 두가지(재건 영상 물질분별, 투사영상 물질분별)로 나뉜다. 두 방법은 모두 재건과 물질분별을 따로 수행하고, 차이점은 재건과 물질분별의 순서에 있다. 재건 영상 물질분별 방법은 이중에너지 영상 촬영에 대한 제약이 없고 다양한 고성능 재건 기법과 호환 가능하다는 장점이 있다. 하지만 재건 이후에 물질분별을 수행하기 때문에 빔 경화(Beam hardening)와 같은 물리적인 인공물 보정이 매우 어렵다. 반대로, 투사영상에서의 물질분별은 투사영상에서 바로 물질분별을 수행하기 때문에 물리적인 인공물을 보정하기 위한 모델링이 직관적이지만 동일한 각도에서 이중에너지 촬영이 필요하고 제한적인 재건기법만을 사용할 수 있다. 최근 연구에서 새로운 접근법으로 원스텝(One-step) 재건 방법이 제안되었다. 원스텝 재건 방법은 재건과 물질분별을 동시에 수행한다. 이는 기존의 물질분별 방법들의 제약을 현명하게 해결할 수 있고 나아가 더 높은 물질분별 정확도를 보여줄 것이라 기대된다. 하지만 지금까지 제안된 원스텝 재건 방법들은 노이즈나 스펙트럼 정보에 대한 민감도 등 해결되어야 할 점이 있다. 본 연구의 목적은 새로운 원스텝 재건 방법을 제안하고 이를 통해서 기존의 원스텝 재건 방법들의 문제점을 해결하고 나아가 이중에너지 CT 영상의 핵심 목적인 물질분별 정확도를 크게 향상시키는 것이다.

방법

• 합성 물질영상 재건 방법



• 비용함수: Weighted Logarithmic Least Squares (WLLS)

$$L_{WLLS}(\mathbf{f}, \mathbf{g}) = \sum_{s=1}^{N_s} \|\mathbf{p}^s - \hat{\mathbf{p}}^s\|_2^2 = \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{i=1}^M W_i \left[p_i^s + \log \left(\sum_{j=1}^{N_e} \frac{W_j^s}{I^s} e^{-\phi_j [\mathbf{A}\mathbf{f}]_i - \theta_j [\mathbf{A}\mathbf{g}]_i} \right) \right]^2$$

• 분리가능한 대체 알고리즘: Spectrum-based Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique (SSART)

$$f_k^{(n+1)} = f_k^{(n)} + \frac{\sum_{s=1}^{N_s} \sum_{i=1}^M a_{ik} \frac{\Phi_i^{s,(n)}}{\hat{y}_i^{s,(n)}} (p_i^s - \hat{p}_i^{s,(n)})}{\sum_{l=1}^N a_{il}}}{\sum_{s=1}^{N_s} \sum_{i=1}^M a_{ik} \left(\frac{\Phi_i^{s,(0)}}{\hat{y}_i^{s,(0)}} \right)^2}$$

$$g_k^{(n+1)} = g_k^{(n)} + \frac{\sum_{s=1}^{N_s} \sum_{i=1}^M a_{ik} \frac{\Theta_i^{s,(n)}}{\hat{y}_i^{s,(n)}} (p_i^s - \hat{p}_i^{s,(n)})}{\sum_{l=1}^N a_{il}}}{\sum_{s=1}^{N_s} \sum_{i=1}^M a_{ik} \left(\frac{\Theta_i^{s,(0)}}{\hat{y}_i^{s,(0)}} \right)^2}$$

여기서

$$\hat{y}_i^s = \sum_{j=1}^{N_e} w_j^s e^{-\phi_j [\mathbf{A}\mathbf{f}]_i - \theta_j [\mathbf{A}\mathbf{g}]_i} \quad \Theta_i^{s,(n)} = \sum_{j=1}^{N_e} w_j^s \theta_j e^{-\phi_j [\mathbf{A}\mathbf{f}^{(n)}]_i - \theta_j [\mathbf{A}\mathbf{g}^{(n)}]_i}$$

$$\chi_i^{s,(n)} = \sum_{j=1}^{N_e} w_j^s \phi_j^2 e^{-\phi_j [\mathbf{A}\mathbf{f}^{(n)}]_i - \theta_j [\mathbf{A}\mathbf{g}^{(n)}]_i}$$

본 제안된 알고리즘이 기존의 SART와 유사한 이름을 가진게 된 이유는 본 알고리즘이 아래 계수에서의 특정해가 기존의 SART와 정확하게 일치하기 때문이다.

$$w_j^s = \begin{cases} I^s, & \text{if } j=0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad N_s = 1 \quad \phi_0 = 1 \quad \theta_0 = 0$$

결과

• 실험 결과

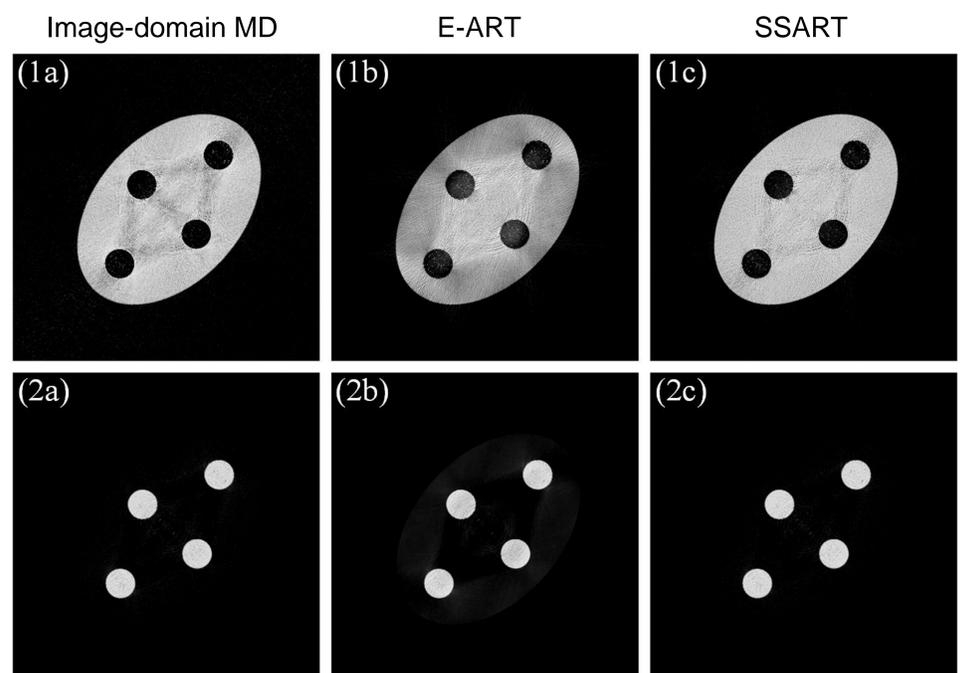


표. 1 실험 결과에 대한 물질영상별 RMSE

	Image-domain MD	E-ART	SSART
Acrylic	0.4278	1.3459	0.3703
Aluminum	0.4566	1.7396	0.3978

토의 및 결론

본 연구팀은 새로운 합성 물질영상 재건 방법을 개발하였다. 이는 기존의 물질분별 방법과 비교하여 가장 높은 물질분별 정확도를 보여주었다. 본 방법의 주목할만한 특징 중 하나는 기존의 합성 물질영상 재건 방법의 문제점이었던 노이즈 문제와 스펙트럼에 대한 민감도를 크게 낮추었다는 것이다. 또, 분리 가능한 함수를 사용하여 알고리즘을 가속화하여 실용성을 확대시켰다. 본 연구팀은 제안된 방법이 앞으로 다양한 반복적 재건 알고리즘에서 사용되는 규칙화와 함께 사용되어 이중에너지 CT뿐만 아니라 Spectral CT에서도 유망한 물질분별 방법이 될 것이라 기대한다.