

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

한국과학기술원 원자력및양자공학과*

이동현*, 조승룡*

목적: 이중에너지 CT 영상은 입자선 선량 평가를 위한 조직 특정 평가에서 기존에 사용되는 단일에너지 CT 영상보다 더 높은 정확도를 보여주어 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 합성 물질영상 재건 방법이 제안되었다. 이 방법은 위 기존의 물질분별 방법들의 제약을 현명하게 해결할 수 있고 나아가 더 높은 물질분별 정확도를 보여줄 것이라 기대된다. 하지만 지금까지 제안된 방법들은 노이즈나 스펙트럼 정보에 대한 민감도 등 해결되어야 할 점이 있다. 본 연구의 목적은 새로운 합성 물질영상 재건 방법을 제안하고 나아가 이중에너지 CT 영상의 핵심 목적인 물질분별 정확도를 크게 향상시키는 것이다.

대상 및 방법: 본 연구는 이중에너지 X 선 데이터를 이용하여 두 물질분별 영상을 재건하는 비용함수를 정의하였다. 비용함수는 가중된 로그 최소제곱(Weighted logarithmic least squares, WLLS)을 이용하였고 동시 업데이트를 위해서 분리 가능한 이차 대리 함수(Separable quadratic surrogate function, SQS)로 만들었다. 또, 가속화를 위해서 미리 계산된 곡률을 정의하여 사용하였다. 결과적으로, 기존에 단일에너지 CT 영상 재건을 위해 널리 사용되던 대수학적 동시 재건 방법(SART)이 제안된 방법의 특정 형태인 것으로 밝혀졌다. 본 연구팀은 수치적 시뮬레이션 및 실험을 통해서 제안된 방법의 성능을 증명하였다.

결과: 본 연구팀은 성능 평가를 위해서 재건 영상 물질분별 방법, 앞서 제안된 합성 물질영상 재건 방법 중 하나인 E-ART 방법과 제안된 방법을 비교 분석하였다. 먼저 수치적 시뮬레이션에서 서로 다른 크기의 12 개의 원기둥이 삽입된 해상도 팬텀을 모사하여 데이터를 획득하였다. 본 제안된 방법이 수치적 시뮬레이션 결과에서 물리적 인공물 저감 및 노이즈 측면에서 기존의 물질분별 방법에 비해 우월 하였고 실제 물질영상과 가장 낮은 RMSE(Root mean square error)를 가졌다. 다음으로, 실제 실험에서 동일한 비교군으로 결과를 획득하였다. 실제 실험에서는 정확한 스펙트럼 추정기 힘들기 때문에 추정치를 얻어 재건을 수행하였다. 앞선 시뮬레이션과 대조적인 결과로 E-ART 방법의 물질분별 정확도가 크게 감소하였는데, 이는 E-ART 방법의 스펙트럼에 대한 민감도가 매우 높기 때문인 것으로 사료된다. E-ART 방법은 제안된 방법과 다르게 모든 데이터를 하나하나 업데이트하는데 이는 노이즈와 스펙트럼의 오차에 크게 민감하다. 하지만 제안된 방법은 추정된 스펙트럼의 사용에도 높은 물질분별 정확도를 보여주었다.

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 CT 뿐만 아니라 Spectral CT 에서도 유망한 물질분별 방법이 될 것이라 기대한다.

주요어: 이중에너지 CT, 물질분별, 반복적 재건 알고리즘