

## 2022년도 대한방사선방어학회 추계학술대회

### 대면적 하이브리드 감마선 영상장치를 위한 고성능 3차원 감마선 영상 재구성 방법 개발

이고은, 이준영, 최세훈, 임태현, 김찬형

To cite this article : 이고은, 이준영, 최세훈, 임태현, 김찬형 (2022) 대면적 하이브리드 감마선 영상장치를 위한 고성능 3차원 감마선 영상 재구성 방법 개발 , 2022년도 대한방사선방어학회 추계학술대회, pp.110-111

① earticle에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 학술교육원은 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다.

② earticle에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포, 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우, 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

[www.earticle.net](http://www.earticle.net)

# 대면적 하이브리드 감마선 영상장치를 위한 고성능 3차원 감마선 영상 재구성 방법 개발 (Development of high performance 3D radiation image reconstruction method for Large-area Hybrid Gamma Imager)

이고은 · 이준영 · 최세훈 · 임태현 · 김찬형\*

한양대학교 원자력공학과

\*E-mail: chkim@hanyang.ac.kr

중심어: 대면적 하이브리드 영상장치, 동시적 위치 추정 및 지도작성 알고리즘, 3차원 방사선 영상

## 서론

기계적·전기적 집속 방식을 함께 사용하는 하이브리드 감마선 영상장치는 넓은 에너지 범위의 감마선에 대해 영상화가 가능한 이점이 있어 활발하게 연구되고 있으며 최근 상용화된 장치도 존재한다. 현재까지 상용화된 영상장치는 방사선 영상과 주변 환경을 결합하여 보여주기 위해 디지털카메라로 획득한 2차원 RGB 이미지와 방사선 영상을 정합하는 방법을 이용하고 있다[1]. 그러나 해당 방법은 장애물에 의해 가려진 선원을 영상화하는데 제약이 있으며, 두 영상 간의 시차(parallax)로 인해 영상의 왜곡이 발생한다는 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 제약을 극복하기 위해 주변 지형 스캐닝 장비를 통해 획득한 3차원 영상공간에 방사선 영상을 재구성하는 방법을 개발했다. 이를 위해 방사선 영상장치의 위치를 기록함과 동시에 3차원 영상공간을 맵핑하는, 동시적 위치추정 및 지도작성 알고리즘(Simultaneous Localization And Mapping, SLAM)을 이용했다. 제안한 3차원 영상 재구성 기술을 이용하여 최근 새로 개발한 감마선 영상장치(Large-area Hybrid Gamma Imager, LAHGI)[2]에 적용했으며, 전산모사를 통해 그 성능을 검증했다.

## 재료 및 방법

본 연구에서는 LAHGI를 이용하여 SLAM 기술 기반의 3차원 방사선 영상 재구성 방법을 개발하였다. 해당 방법은 3차원 방사선 영상 재구성을 위한 주변지형 정보를 획득하기 위해 오도메트리 센서(Realsense T265 Intel, CA, USA)와 RGB-D 카메라(D455, Intel, CA, USA)를 주변지형 정보 인지센서로 사용한다. 오도메트리 센서와 RGB-D 카메라 각각은 LAHGI의 오도메트리 정보와 주변지형을 구성하는 좌표점의 집합인 3차원 점 구름(point cloud)을 제공한다. 본 연구

에서는 획득한 점 구름 자체를 방사선 영상 재구성 공간으로 이용했다.

LAHGI에 입사하는 방사선 데이터들은 에너지 윈도우와 트리거 방식을 이용해 앞뒤로 배치된 두 검출기에서 동시에 반응한 동시계수 반응과 첫 번째 검출기에서 광전흡수되는 단일계수 반응을 선별하여 각각 콤프턴 영상과 부호화구경 영상 재구성에 사용하였다. 그리고 선별된 단일계수와 동시계수 유효반응들을 함께 이용하는 최대 우도 기댓값 최대화(Maximum-Likelihood Expectation maximization, ML-EM) 알고리즘으로 하이브리드 방사선 영상을 재구성했다[3].

ML-EM 알고리즘을 이용해 방사선 영상을 재구성하기 위해서는 각 영상공간(j)에서 방출된 방사선이 검출기 픽셀(i)에서 재측될 확률 정보( $c_{ij}$ )가 필요하다. 본 연구에서는 LAHGI의 위치마다 영상공간을 LAHGI의 시야각 범위( $\pm 65^\circ$ ) 이내로 제한한 뒤, 위치별  $c_{ij}$ 를 계산하여 영상 분해능을 저하시키는 이벤트를 제외시켰다(그림 1).

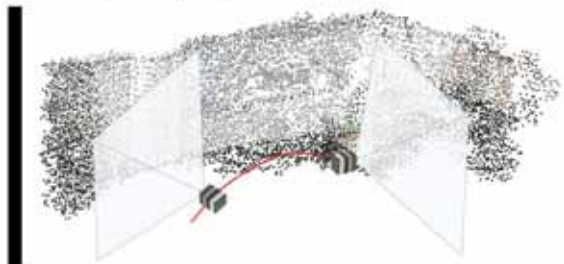


Figure 1. 3D radiation image reconstruction on the image space within the field of view at each measurement point of LAHGI

고성능의 3차원 방사선 영상을 재구성하기 위해 충분한 유효 이벤트(단일계수 반응 800개 혹은 동시계수 반응 20개)가 누적되었을 때 방사선 영상을 재구성하였다. 이를 위해 영상장치를 이동시키며 위치별  $c_{ij}$ 를 구하고, 목표 유효 이벤트

[Provider:article] Download by IP 166.104.65.239 at Friday, July 28, 2023 10:16 AM

수가 누적되기까지  $\epsilon_{eff}$ 를 리스트 형태로 합친 뒤 목표 유효 이벤트 수가 획득됐을 때 이를 이용하여 하이브리드 리스트 모드 ML-EM 알고리즘을 통해 3차원 방사선 영상을 재구성했다. 영상장치를 이동시키며 모든 측정 지점에 대해 위의 방법을 반복하여 전체 측정 데이터를 이용해 고성능의 3차원 방사선 영상을 재구성했다.

개발한 SLAM 기반의 3차원 방사선 영상 재구성 기술의 성능 평가를 위해 Geant4 전산모사 툴킷을 이용했다. 먼저 그림 2에 나타난 60 m<sup>2</sup> 면적의 공간에서 주변지형 정보 인지센서를 30 초간 이동시켜, 3차원 방사선 영상 재구성을 위한 점 구름과 주변지형 정보 인지센서들의 위치 정보를 획득했다. 이후 그림 2에 표시한 지점에 200  $\mu\text{Ci}$  <sup>241</sup>Am, 80  $\mu\text{Ci}$  <sup>137</sup>Cs, 50  $\mu\text{Ci}$  <sup>22</sup>Na 점선원이 함께 존재할 때 LAHGI가 주변지형 정보 인지 센서가 이동한 동일한 경로를 움직이며 영상화하는 상황을 Geant4 전산모사로 모델링하였다. 그리고 전산모사를 통해 획득한 검출기에서의 동시계수 및 단일계수 반응 데이터를 이용해 3차원 방사선 영상을 재구성하였다. 3차원 방사선 영상은 MATLAB R2022a 프로그램을 이용해 점 구름 영상공간에 재구성했다.

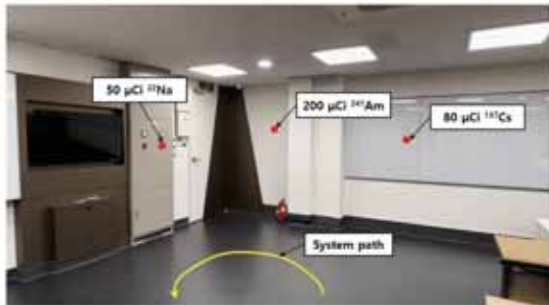


Figure 2. Image space scanned by SLAM technology and location of the gamma ray point sources modeled by Geant4 simulation

**결과 및 고찰**

그림 3에 본 연구에서 개발한 SLAM 기반의 하이브리드 3차원 영상 재구성 기술로 획득한 <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs, <sup>22</sup>Na의 3차원 방사선 영상을 나타냈다. 해당 영상은 총 299 개의 지점에서 각 측정 지점별로 시야각 내의 영상공간에 재구성한 방사선 영상을 누적함으로써 획득하였다. 이때 선원의 에너지에 따라 최대 영상값의 60-80% 이상인 방사선 영상값만 점 구름과의 정합 시 가시화했다.

그 결과, SLAM 기반의 하이브리드 영상 재구성 알고리즘

을 통해 다른 선원에 의한 간섭 없이 명확하게 각 선원의 위치를 보여주는 3차원 영상을 재구성할 수 있었다. 방사선 영상에서 각 선원의 중심 위치는 실제 선원의 위치로부터 8 cm 이내 존재하는 것으로 평가되어 506-1275 keV의 넓은 에너지 영역에 대해서 고성능의 3차원 영상을 재구성할 수 있음을 확인하였다.

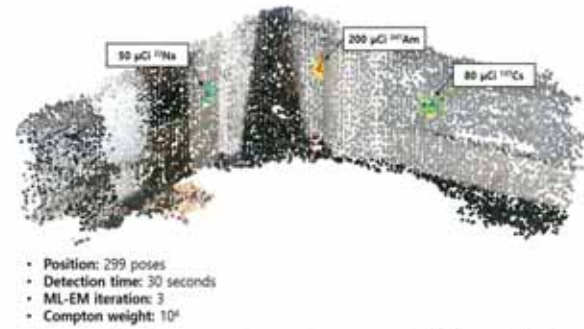


Figure 3. 3D radiation image of <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs, <sup>22</sup>Na reconstructed using SLAM based hybrid ML-EM image reconstruction algorithm

**결론**

본 연구에서는 SLAM 기반의 3차원 하이브리드 ML-EM 방사선 영상 재구성 기술을 개발했다. 그리고 개발한 기술을 통해 넓은 에너지 영역에 대해 고성능의 3차원 방사선 영상을 얻을 수 있음을 전산모사로 확인했다. 추후 개발한 하이브리드 ML-EM 3차원 방사선 영상 재구성 기술의 성능을 실험적으로 확인하고 정량적으로 평가할 계획이다.

**감사의 글**

이 논문은 2022년도 과학기술정보통신부와 관세청의 재원으로 한국연구재단의 관세행정 현장 맞춤형 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2021MB1A1A097885).

**참고 문헌**

1. C. G. Wahl et al, "The Polaris-H Imaging Spectrometer," Nucl. Instrum Methods A, 2015.
2. Lee, H, "Large-area Hybrid Gamma Imager: Fast Localization of Gamma-ray Sources," Doctoral dissertation, Hanyang University, 2021.
3. Lee, W. et al, "Hybrid gamma ray imaging-Model and results," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2007.

[Provider:article] Download by IP 166.104.65.239 at Friday, July 28, 2023 10:16 AM