

오토인코더를 이용한 초음파-감마 신호 분리

최경석¹, 김찬호¹, 김세민¹, 엄정열^{1*}

고려대학교 바이오의공학과의

Gamma-Ultrasound Signal Separation Using Autoencoder

Kyung-Seok Choi¹, Chanho Kim¹, Semin Kim¹ and Jung-Yeol Yeom^{1*}

School of Biomedical Engineering, Korea University, Korea

*jungyeol@korea.ac.kr

Abstract

Recently, a Gamma-Ultrasound (γ -US) integrated probe has been developed. The Gamma-Ultrasound (γ -US) probe is a dual modality probe that can obtain anatomical structure and molecular information. In this system, the ultrasonic signal and the gamma-ray signal can be obtained in one readout channel by combining both signals. In a previous study, the combined signal was separated by using FIR filter. In order to use the FIR filter, a frequency difference is required between ultrasonic and gamma-ray signals. For this reason, the usable frequency band of the ultrasonic signal and the gamma-ray signal is limited. Here, we propose a new separation method to solve this problem by using deep learning autoencoder model. The proposed method can discriminate gamma and ultrasonic signals regardless of frequency bands. In this study, the signal separation performance in the FIR and Autoencoder models was compared by changing the gamma signal pulse decay times. Results show that as the width of the gamma signal is shortened, the peak voltage of the gamma signal decreased dramatically (47.44%) using FIR filter. On the other hand, the autoencoder method showed similar performance to the original signal regardless of the signal decay times, and only a 0.17% decrease occurred. These results show that the proposed method has better performance regardless of frequency, and would allow versatility when designing the detector.

1. 연구 배경

최근의 초음파 기기는 복부, 전립선 등의 건강 검진 이외에도 암 수술 중 정상 조직과 암 조직의 경계를 확인하는 과정에서 널리 사용되고 있다. 이러한 초음파 기기는 비침습적으로 체내의 해부학적 영상을 실시간으로 제공할 수 있지만, 체내의 생리학적 정보를 획득하는 것은 불가능하다. 반대로 핵 의학 기기(PET, Gamma camera)의 경우, 종양이나 인체의 생리학적 수치를 정량적으로 영상화할 수는 있지만, 해부학적인 정보 제공에는 제한이 있다. 실제 수술 현장에서는 초음파 기기와 핵 의학 기기를 번갈아 사용하며 수술을 진행하는데, 이 과정에서 시간이 소요되고, 같은 시야 각(FoV, Field of View)을 공유할 수 없는 한계가 존재한다. 이러한 부분을 보완하고자, 해부학적 영상 및 생리학적 영상을 동시에 제공할 수 있는 초음파-감마 융합 프로브에 관한 연구가 진행되고 있다. [1]

이전 연구에서 초음파-감마 융합 프로브를 이용하여 동일한 FoV를 가지고 있는 초음파-감마 신호를 동시에 획득할 수 있음을 확인하였다. 합쳐진 두 신호는 하나의 readout 채널을 통해 획득하고, 두 신호는 주파수 영역에서 FIR filter를 이용하여 분리한다. 상용 초음파는 2~20MHz의 비교적 높은 주파수를 사용하고 전처리 회로를 거치지 않은 감마 신호 또한 높은 주파수를 가지고 있다. 따라서 두 신호 간의 주파수 차이를 만들기 위해 전처리 회로를 이용하여 감마 신호를 길게 만들어 주파수 대역의 차이를 만든다. 그러나 이러한 기존 방식은 감마선 신호와 초음파 신호의 주파수 대역이 필터의 차단 주파수로 제한되는 문제가 발생하고, 길어진 감마 신호로 인해 뒤이어 들어오는 신호와 겹쳐지는 pile-up 현상 또한 문제가 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 합쳐진 초음파-감마 신호의 새로운 분리 방식을 제안한다. artificial neural network를 이용한 신호 분리 방식을 통해 두 신호의 주파수 제한 없이 신호를 구별해낼 수 있다. 연구에서

사용한 딥러닝 모델인 Autoencoder는 비지도 학습 방식으로 입력 데이터를 압축하여 내재된 특징을 얻고, 이를 다시 확장시켜 출력 데이터를 얻어낸다. Autoencoder 모델에서 인풋 신호로 초음파, 감마 단독 신호와 합쳐진 신호를 주어 학습시키면, 이후 합쳐진 초음파-감마 신호를 모델에 넣었을 때 두 신호를 각각의 신호로 분리 할 수 있다. 해당 방식은 신호의 특징은 살리고 노이즈는 감소시켜 신호 SNR(signal to ratio)의 개선도 기대할 수 있다.

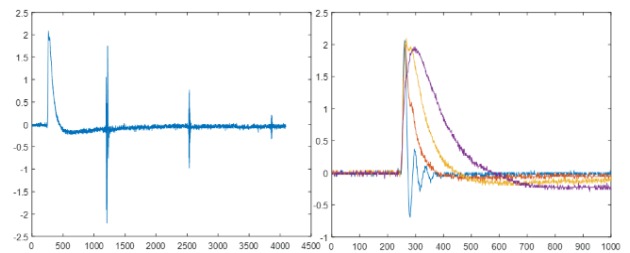


그림 1 (a) 하나의 채널로 얻은 초음파-감마 신호 (b) CR-RC shaping amplifier를 이용하여 만든 신호 길이가 다른 4개의 감마 신호

2. 연구 방법

A. Materials

본 연구에서는 자체 개발한 A fully integrated Ultrasound-Gamma probe 를 사용하였다. 초음파 프로브는 10MHz의 공진주파수를 가지는 PZT를 압전 소자로 사용하였다. 감마 프로브에 대해서는, Ce:GaGG scintillator($2 \times 2 \times 10 \text{ mm}^3$)와 S13360-6050PE SiPM 픽셀($7.4 \times 6.9 \times 1.5 \text{ mm}^3$, Hamamatsu)가 사용되었다. US pulser 는 Panametrics 9100을 사용하였고, 감마 선원으로는 Co-57을 사용하여 측정하였다.

B. Method

[1]에서 초음파 신호와 감마선 신호는 두 신호를 더하여 한 채널로 획득하였다. 그림1 (a)에서 합쳐진 초음파-감마 신호를 확인할 수 있다. 이전 방법과 제안한 autoencoder를 이용한 신호 분리 방법을 비교하여 성능을 평가하였다. 그림1 (b)와 같이 CR-RC shaping amplifier의 시간 상수를 조정하여 신호 길이가 다른 4개의 감마선 신호를 만들었다. 가장 짧은 신호의 길이는 0.5us이고, 가장 긴 신호의 길이는 4us이며, 평균 신호 길이 차이는 1.2us이다. 하나의 채널로 얻은 합쳐진 초음파-감마 신호는 다음 두가지 방법을 사용하여 분리하였다. 1) FIR filter: FIR에서는 결합된 신호를 감마선 신호와 초음파 신호의 주파수 차이를 이용하여 분리한다. 감마 신호는 LPF를 사용하여 낮은 주파수 대역에서 분리하고, 초음파 신호는 BPF를 적용하여 비교적 높은 주파수 대역에서 분리하였다. 감마 신호의 주파수 대역을 LPF의 차단 주파수 이하로 설정해야 하기 때문에 감마 신호 길이에 제한이 생기게 된다. 감마 신호 길이를 조정하기 위해 전처리 회로에서 CR-RC shaping amplifier를 사용하였다. 2) Autoencoder: 해당 방식은 딥러닝 비지도 학습 모델로 입력과 출력이 동일한 인공신경망이다. Autoencoder에서 입력 신호는 인코더를 거쳐 압축된 후 디코더를 거쳐 출력 신호를 입력과 동일하게 재구성 하는 방향으로 학습하였다. 인코더 과정을 거치면서 차원이 축소되어 입력 신호의 특징을 추출할 수 있고, 해당 정보를 이용해 디코더 과정에서 학습 데이터와 유사한 새로운 데이터로 재구성하여 출력 신호를 획득한다. 합쳐진 초음파, 감마선 신호를 인풋 데이터로 하였고, 분리된 두 신호를 아웃풋으로 하여 모델을 학습시켰다. 그림2, 3에서 합쳐진 초음파, 감마 신호를 분리하는 두 방법의 시스템 schematic을 확인할 수 있다. 각 방법을 사용하여 분리한 신호로 성능을 평가하였다.

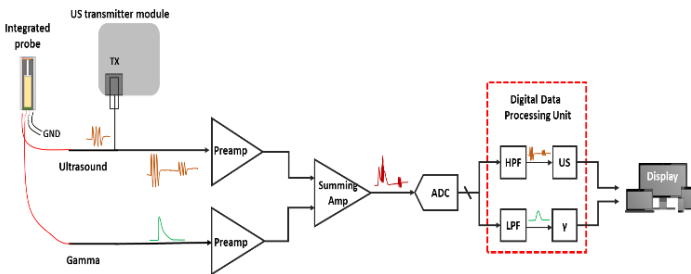


그림 2 Schematic diagram of the FIR filter system

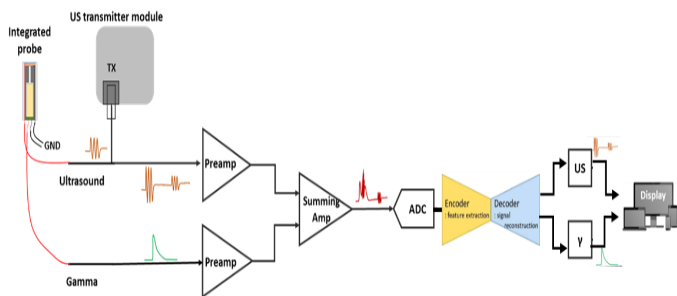


그림 3 Schematic diagram of the Autoencoder system

3. 연구 결과

FIR filter와 Autoencoder를 이용하여 분리된 감마선 신호의 energy spectrum은 그림4에 나타나있다. FIR filter를 이용한 분리 방식에서 energy resolution은 평균적으로 0.65%의

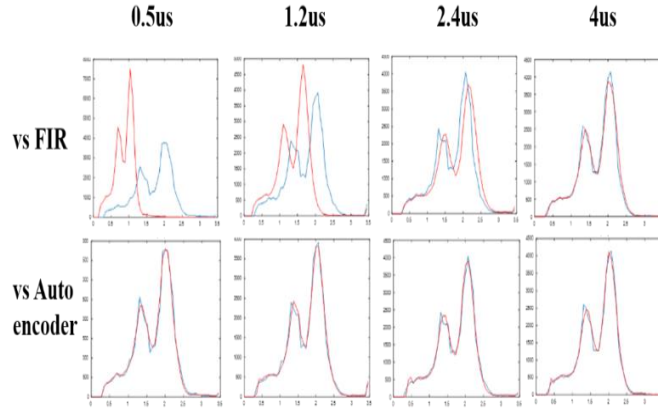


그림 4 energy spectrum according to the signal length, the blue line is raw signal, the red line is FIR and Autoencoder

증가를 보였다. 하지만 peak position에 대해서, FIR filter 방식은 가장 짧은 감마선 신호에서(0.5us) 최대 47.44%의 peak voltage 큰 감소를 확인할 수 있었다. 그림 4에서 보이는 것과 같이 감마 신호의 길이가 짧아질수록 peak voltage가 왼쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 획득한 감마 신호는 전처리 회로에서 적분기를 거쳤기 때문에 peak voltage는 감마 신호의 에너지이다. 따라서 Peak voltage의 감소는 들어오는 감마선 에너지의 손실을 의미한다. Autoencoder를 이용한 분리 방식에서는 energy spectrum은 원 신호와 유사한 결과를 보였으며, energy resolution은 평균적으로 0.5% 증가하였다. 또한 이 방식에서는 peak position이 0.17% 감소하여 FIR에 비해 우수한 성능을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 각 신호의 주파수 대역에 영향을 받지 않고 초음파-감마 융합 신호를 분리할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. FIR filter system은 filter의 차단주파수로 인해 초음파, 감마 신호의 주파수 대역에 제한이 생기는 문제가 발생했다. 반면에 autoencoder는 주파수에 관계없이 우수한 분리 성능을 보였으며, 감마선의 energy resolution 과 peak voltage에서 원 신호와 유사한 결과를 확인할 수 있었다.

4. Acknowledgements

The authors acknowledge funding from Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government (MOTIE) (20214000000070, Promoting of expert for energy industry advancement in the field of radiation technology), and National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Republic of Korea (NRF-2020R1A2C2007376) for the interesting discussions on this topic.

5.참고 문헌

[1] M. N. Ullah et al., "Simultaneous Acquisition of Ultrasound and Gamma Signals with a Single-Channel Readout," Sensors, vol. 21, no. 4, p. 1048, 2021.