

멀티모달 Swin Transformer 를 이용한 실시간 경두개 집속 초음파 시뮬레이션

서민지¹, 신민우¹, 노건우², 윤경호^{1*}

¹연세대학교, ²고려대학교

islandz@yonsei.ac.kr, mshin@nd.edu, gunwoonoh@korea.ac.kr, yoonkh@yonsei.ac.kr*

Real-Time Simulation of tFUS using Multimodal Swin Transformer

Min Jee Seo¹, Min Woo Shin¹, Gun Woo Noh², Kyung Ho Yoon^{1*}

¹Yonsei Univ., ²Korea Univ.

요약

경두개 집속 초음파 (tFUS)는 최근 뇌 자극을 통한 신경학적 질병의 치료 가능성으로 주목받고 있으나, 치료 도중 내부에 형성되는 음압장을 예측하는 데에 어려움이 있다. 본 연구에서는 tFUS 치료 중 실시간으로 음압장의 형성을 예측하기 위한 Swin Transformer 기반 멀티모달 네트워크 구조를 제안한다. 네트워크는 Swin Transformer 기반 인코더와 CNN 디코더 구조로 구성되어 free-field 음압장과 환자의 MR 영상, 변환기 위치를 입력으로 받아 두개 내부 음압장을 예측하도록 하였다. 결과를 통해 제안한 네트워크가 실시간으로 정확한 초음파 시뮬레이션을 수행할 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

경두개 집속 초음파 (tFUS)는 두개골 내부에 비침습적으로 초음파 에너지를 전달할 수 있는 치료 기술로 최근 이를 이용한 뇌 자극을 통해 다양한 신경학적 질병을 치료할 수 있는 가능성이 발견되었다 [1]. 그러나 초음파가 두개골을 통과할 때 발생하는 왜곡으로 인해 치료 중 두개 내부의 음압장 형성을 예측하는 것이 어려운 실정이다. 현재까지 두개 내부의 음압장 형성을 예측하기 위한 방법은 수치해석 방법이 유일하나 환자에게 부담이 되는 CT 촬영이 수반되어야 하고 실시간 해석이 어려워 실제 치료 환경에 적용하기 어렵다. 본 연구에서는 Swin Transformer 를 통한 실시간 tFUS 치료 시뮬레이션 방법을 제안한다.

II. 본론

Swin Transformer [2] 는 shifted window attention mechanism 을 도입해 Vision Transformer (ViT)의 계산 효율성을 증가시킨 네트워크 구조로 여러 vision 기반 task 에서 높은 성능을 보이고 있다. 본 연구에서는 Swin Transformer 구조에 기반한 인코더와 CNN 구조에 기반한 디코더로 구성되어, 인코더의 output feature 가 디코더의 output feature 와 skip connection 으로 연결되는 hybrid U-Net 구조를 제안한다. 네트워크 학습 및 평가를 위한 데이터는 11 명의 환자에게서 얻은 CT 및 MR 데이터를 이용해 취득하였고, pseudo-spectral time-domain (PSTD) method 를 통해 계산한 두개 내부 음압장을 target 으로 하고 free-field 음압장과 MR 의료영상 데이터, 변환기 위치 정보를 네트워크의 입력으로 하여 두개 내부 음압장을 예측하도록 하였다.

네트워크의 성능을 검증하기 위해 예측값과 ground truth 간 평균 Dice score 와 음압장 안에서 압력이 최대가 되는 지점 사이의 거리를 비교하였다. 또한 실제 치료 환경에 적용 가능성을 확인하기 위해, 학습에

사용한 환자에서 취득한 foreseen 데이터에 대한 검증과 함께 학습에 사용하지 않은 환자의 unforeseen 데이터를 통한 검증을 추가로 진행하였다.

	Dice score [%]	Distance [mm]	Time [s/data]
Foreseen	91.67	2.142	0.0801
Unforeseen	75.50	8.165	

III. 결론

본 연구에서는 tFUS 치료를 위한 딥러닝 기반 실시간 시뮬레이션 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 방법은 불필요한 CT 촬영을 수반하지 않는 radiation-free 프로토콜을 달성하였으며 높은 정확도와 빠른 계산 시간으로 실제 의료 환경에 적용할 수 있는 가능성을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported in part by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIT) (No. RS-2023-00220762).

참고 문헌

- [1] K. Yoon, W. Lee, J.E. Lee, L. Xu, P. Croce, L. Foley, and S.S. Yoo, "Effects of sonication parameters on transcranial focused ultrasound brain stimulation in an ovine model," PloS one, 14(10), e0224311, 2019.
- [2] M. Shin, M. Seo, S.S. Yoo, and Yoon, K, "tFUSFormer: Physics-guided super-resolution Transformer for simulation of transcranial focused ultrasound propagation in brain stimulation". IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2024.