학위논문요약서		
성명	**학과**	**해당 학위**
고병윤	**기계공학과**	**박사**
학위개요	○ 논문제목 • 국문제목: 귀 이미지를 이용한 딥러닝 기반 머리전달함수 개인화 및 음원 방향 추정에 적용 • 영문제목: DNN-based HRTF Individualization Utilizing Pinna Images for Accurate Sound Source Localization • 논문심사합격일: 2025.06.9 • 지도교수: 박용화 교수	

주요 내용 요약

Ⅰ. 연구목적

이 논문의 주요 목표는 피나(pinna) 깊이 이미지를 활용한 딥러닝 기반 HRTF(Head-Related Transfer Function) 개인화 기법을 개발하여, 음원 방향 추정의 정확도를 향상시키고 가상 청각 환경에서의 몰입도를 개선하는 것이다. 기존 비개인화 HRTF는 청취자의 귀 구조를 반영하지 못해 공간 음향 인식에 혼란을 유발하며, 특히 VR 기반 청각 훈련 시스템에서는 적응이 더디게 나타난다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 피나 형상 정보를 기반으로 HRTF의 개별 특성을 반영하고, 소수의 학습 데이터만으로도 높은 정확도를 확보할 수 있는 모델을 설계하였다. 또한 HRTF의 주요 단서인 스펙트럼 큐(spectral cues)의 정밀한 재구성을 목표로, 데이터 증강 기법과 ITD(Interaural Time Difference) 개인화를 병행 적용하였다.

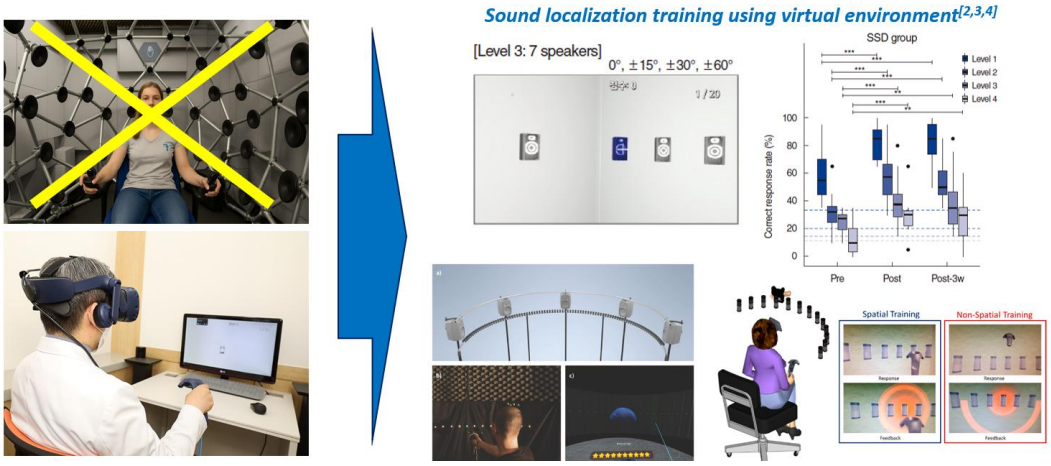

Figure 1. 연구 동기

Ⅱ. 연구내용

1. 정확한 피나 스펙트럼 큐 복원을 위한 위한 PRTFNet:

기존 HRTF는 머리 및 몸통의 음향 효과가 포함되어 있어, 피나의 영향을 구분하여 정확한 스펙트럼 큐를 학습하기 어렵다는 한계가 있다. 본 연구에서는 HRTF에서 불필요한 신호를 제거하고 주파수 bin을 줄인 compact PRTF를 정의한 뒤, 이를 예측 대상으로 설정한 PRTFNet을 제안하였다. 이 모델은 피나 깊이 이미지를 입력으로 하여 CNN 구조를 통해 각 방향에 대응하는 PRTF를 예측하며, 방향 정보를 추가

입력으로 사용해 공간 해상도를 높였다. 또한 피나의 축 방향 회전을 기반으로 한 데이터 증강을 통해, 제한된 학습 데이터 환경에서도 일반화 성능을 확보하였다.

2. ITD 개인화를 통한 수평 방향 추정 보정:

수평 방향의 음원 추정을 개선하기 위해, 개인별 머리 폭과 깊이 정보를 활용한 ITD 개인화 기법을 도입하였다. 3D 스캔을 통해 획득한 물리적 치수를 타원체 모델에 적용하여 개인화된 ITD를 계산하고, 이를 CNN이 예측한 PRIR에 원형 시프트 방식으로 반영함으로써 좌우 귀 간 시간차를 생성하였다. 이 방식은 복잡한 시뮬레이션 없이도 물리 기반의 개인화 ITD 생성을 가능하게 한다.

3. 모델 성능 검증 및 실제 환경 적용 실험:

모델 검증을 위해 TU Berlin의 HUTUBS HRTF 데이터셋과 자체 측정한 데이터셋을 활용하였으며, LSD(Log Spectral Distortion) 및 LSD_E(고도 방향 인식을 위한 유효 LSD) 등 객관적 성능 지표를 통해 기존 DNN 기반 HRTF 개인화 모델 대비 우수한 결과를 보였다. 또한 정상 청력자와 편측 난청자를 대상으로 한 가상 청각 실험에서는, 개인화된 HRTF와 ITD가 generic HRTF보다 유의미하게 낮은 위치 추정 오차를 보였으며, elevation과 azimuth 방향 모두에서 성능 향상이 입증되었다. 이와 함께 HRIR을 빠르게 추정하는 DNN 기반 식별 알고리즘도 제안하여, 기존 30분 소요되던 측정 시간을 30초 이내로 단축할 수 있음을 확인하였다.

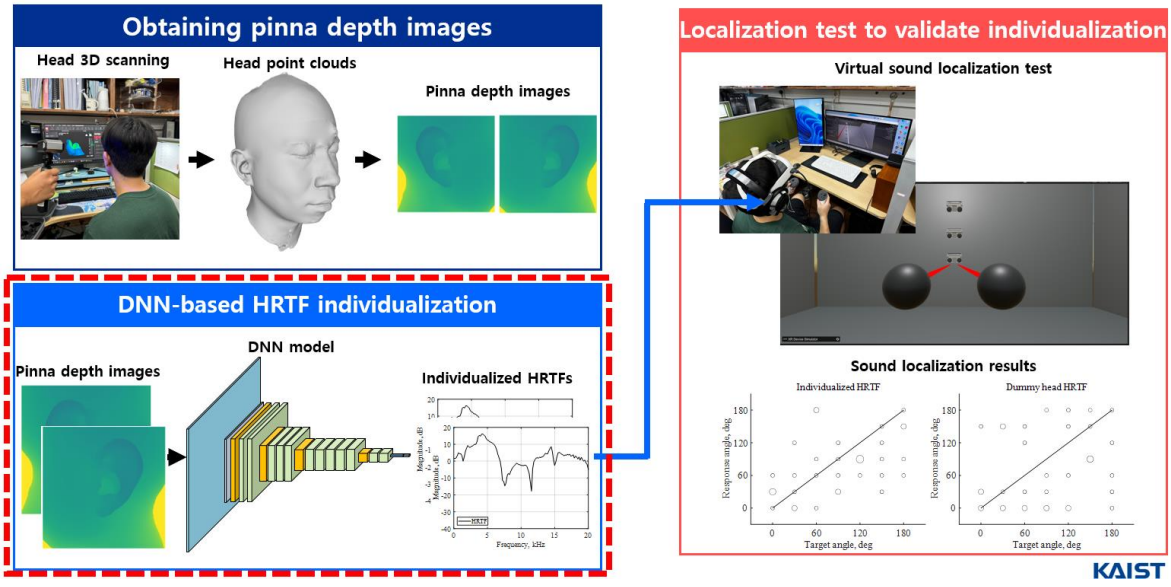

Figure 2. 연구 개요