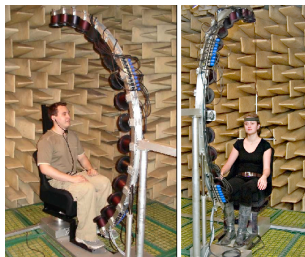


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

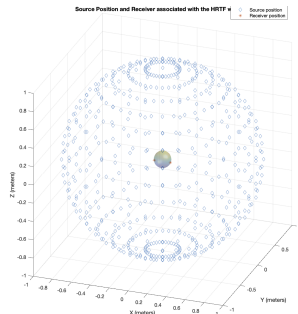
Scattering Acustico attorno ad una Sfera
Rigida per la Generazione di un Dataset di
Head-Related Transfer Function
Approssimate

Andrea Alessandri

9 Luglio 2024



(a) Misurazione analogica reale di HRTF in camera anecoica



(b) Simulazione digitale delle sorgenti in camera anecoica

Per poter stimare il campo di pressione acustica in prossimità dei padiglioni auricolari, sono necessarie molteplici registrazioni di segnali acustici provenienti da altoparlanti collocati nello spazio ed effettuate con speciali microfoni inseriti nelle orecchie dei partecipanti all'interno di stanze anecoiche. Nel nostro caso, approssimeremo le teste dei soggetti come delle sfere e cercheremo dei modelli matematici per approssimare tali misurazioni.

- L'equazione che modella il sistema stanza-sorgente-ricevitore è descritto dalla seguente equazione alle derivate parziali:

$$\rho(\mathbf{x}) \nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho(\mathbf{x})} \nabla p(\mathbf{x}, t) \right] - \frac{1}{c(\mathbf{x})^2} \frac{\partial^2 p(\mathbf{x}, t)}{\partial t^2} = \pm \rho(\mathbf{x}) \frac{\partial q(\mathbf{x}, t)}{\partial t}$$

- La soluzione analitica di tale equazione nel dominio frequenziale, è una famiglia di funzioni:

$$p_{tot}(r, \theta, \phi, k) = P_0 \frac{e^{-jkr_s}}{r_s} \sum_{l=0}^{\infty} i^l G_l(r, a, k) (2l+1) P_l(\cos(\Theta))$$

- Definiamo la pressione attorno alla testa come la Head Related Transfer Function (HRTF):

$$p_{tot}(r, \theta, \phi, k) \equiv H^{ear}(r, \theta, \phi, k)$$

La soluzione discretizzata e normalizzata rispetto alla pressione della stanza ed ai parametri della testa diventa:

$$H^{\text{ear}}(\rho, \mu, \Theta) = -\frac{\rho}{\mu} e^{-i\rho\mu} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) P_l(\cos(\Theta)) \frac{h_l^{(2)}(\rho\mu)}{h_l'^{(2)}(\mu)}$$

- $P_l(\cdot)$ è la funzione polinomio associato di Legendre nel dominio sferico
- $h_l^{(2)}(\cdot)$ e $h_l'^{(2)}(\cdot)$ sono rispettivamente le funzioni di hankel sferiche di seconda specie e le loro derivate prime
- Θ è l'angolo formato tra il punto di ascolto e la posizione della sorgente
- $\mu = ka = f \frac{2\pi a}{c}$ è la frequenza normalizzata rispetto il tempo di circumnavigazione della testa (di raggio pari a una costante a)
- $\rho = \frac{r_{\text{sor}}}{a}$ è la distanza della sorgente normalizzata rispetto al raggio a della testa stessa

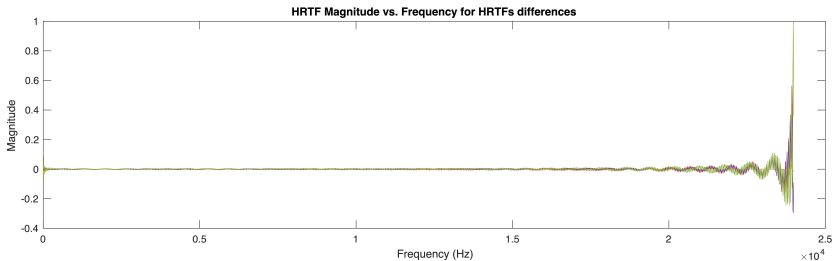
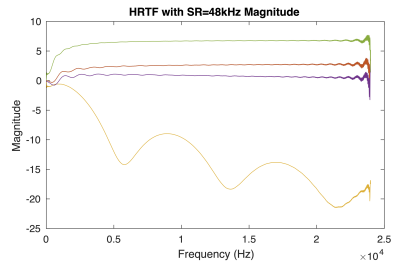
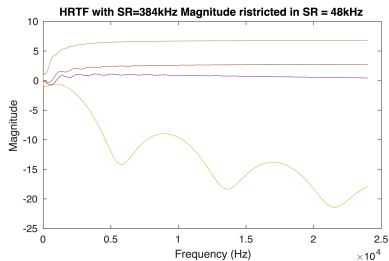
- L'obiettivo della tesi è quello di costruire dei dataset sintetici costituiti da HRTF/HRIR per il processo di training delle PINN (Physics-Informed Neural Networks).
- Le HRTF/HRIR sono utili per rappresentare spazialmente il suono e per virtualizzare sorgenti in qualsiasi punto dello spazio. Esse sono specifiche per ogni individuo e la loro misurazione è molto dispendiosa in termini di attrezzatura e tempo.
- I dati ottenuti sono organizzati e salvati in un file nel formato Spatially Oriented Format for Acoustics (SOFA), standardizzato dall'Audio Engineering Society (AES), ed utilizzato per rappresentare dati acustici spaziali, quali HRTF ed Head Related Impulse Response (HRIR) in maniera compatta.

E' stato generato un file SOFA contenente HRTF ed HRIR per teste approssimate da sfere con raggi variabili tra i 5 e i 15 cm con passo 0.1 cm, e valutate per sorgenti con distanza radiale 1 metro in tutte le direzioni azimuthali e zenithali con step size di 1 grado.

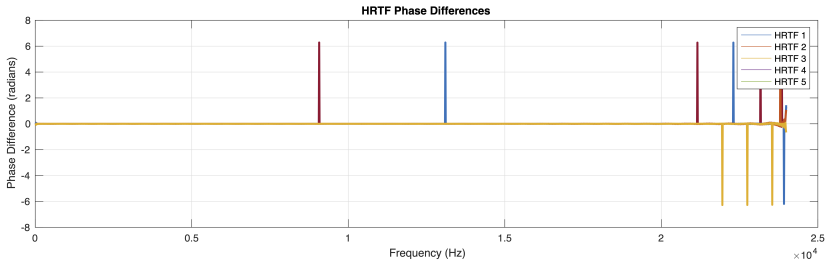
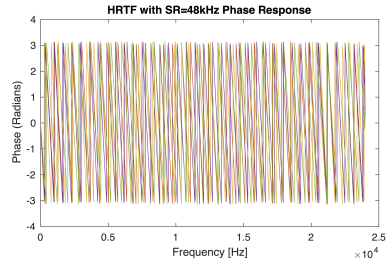
Possiamo allora notare che:

- Raggi piccoli spostano il range frequenziale dove diffrazione e shadowing diventano prominenti verso frequenze più alte
- Le onde sonore a bassa frequenza circuitano la testa arrivando più facilmente all'orecchio "coperto" mentre le alte frequenze vengono quasi completamente annullate tranne che per un piccolo punto (bright spot)

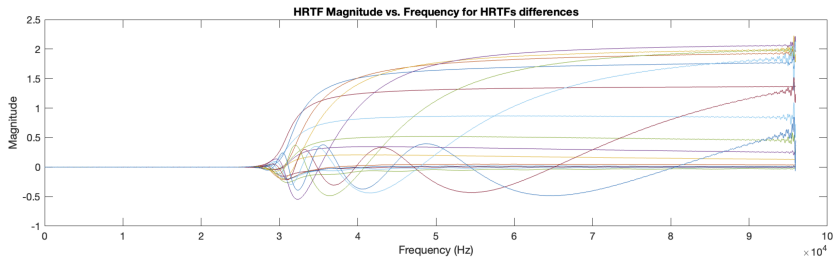
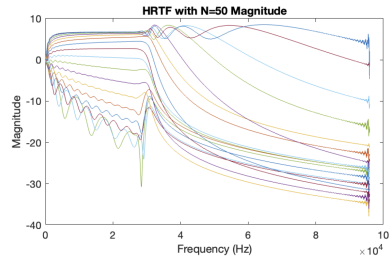
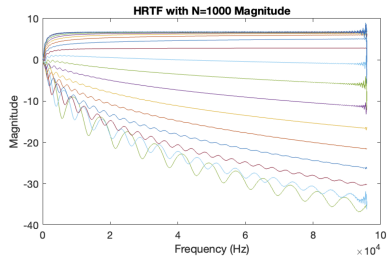
Influenza Del Sampling Rate nelle HRTF - Grafici del Modulo



Influenza Del Sampling Rate nelle HRTF - Grafici della Fase



Influenza delle Armoniche sferiche - Grafici del Modulo



- Abbinare una sintesi FEM di modelli 3D CAD di teste.
- Implementazione del codice per la parte esterna dell'orecchio con parte di simulazione discreta senza ausilio di microfoni.
- Abbinare i diversi coefficienti dei tessuti della testa umana per migliorare il modello fisico (variazione di velocità del suono) punto per punto.

- Sono stati generati dei dataset contenenti i valori pressori aurali e successivamente immagazzinati all'interno di file SOFA.
- Tali file SOFA costituiscono il primo passo nell'implementazione di training con le PINN per poter modellare i valori del campo acustico misurabile in prossimità delle orecchie.
- Incrementare la risoluzione angolare delle ubicazioni delle sorgenti (step size angolari piccoli) equivale ad aumentare la densità delle misurazioni disponibili attorno alla testa: questo migliora l'accuratezza con cui le PINN sono in grado di predire i valori delle HRTF in ogni punto dello spazio, comprese quelle di cui non esiste una misurazione.