

視覚・聴覚を併用した複合現実感システムのための頭部伝達関数の個人化

非会員 森勢 将雅* 非会員 湊 佳彦*
 非会員 西浦 敬信* 非会員 木村 朝子*
 非会員 柴田 史久* 非会員 田村 秀行*

Personalization of Head Related Transfer Function for Mixed Reality System Using Audio and Visual Senses

Masanori Morise*, Non-member, Yoshihiko Minato*, Non-member, Takanobu Nishiura*, Non-member, Asako Kimura*, Non-member, Fumihisa Shibata*, Non-member, Hideyuki Tamura*, Non-member

3-dimensional sound field with high accuracy is an important topic for MR (Mixed Reality) to create the high immersion sense. HRTF (Head-Related Transfer Function) can achieve 3-dimensional sound field, whereas the measurement of the HRTF for each person is difficult because the measurement of the HRTF requires the expensive equipment and environment. In this paper, we propose a method to design HRTF by piecing several HRTFs selected from a large database of HRTFs. As a result of evaluation experiments, we confirmed that the proposed method can design the useful HRTF.

キーワード：複合現実感，頭部伝達関数，3次元音場再生，音像定位

Keywords: Mixed Reality, Head-Related Transfer Function, 3-Dimensional Sound Field, Sound Image Localization

1. はじめに

3次元空間における前後左右上下の任意の位置に音像を定位させることが出来る3次元音場再生は、複合現実感(Mixed Reality; MR)⁽¹⁾において、聴覚的な複合現実感を与え、視覚的なMRの没入感をさらに高める技術として注目されている。頭部伝達関数(Head-Related Transfer Function; HRTF)に基づく3次元音場再生⁽²⁾は、聴覚的MRを実現可能な技術の1つであり、ヘッドフォン受聴において前後左右上下における任意の角度に音像を定位できる。視覚的MRにHRTFを用いた聴覚的MRを加えることにより、さらに深い没入感の達成が期待される。

HRTFに基づく3次元音場再生において高い精度で音像を定位させるには、体験者自身のHRTFが必要となるが、HRTFの計測には無響室や防音室といった設備、計測専用の機材を用いる必要があることから、計測は容易ではない。本人のHRTFを計測できない場合、事前に計測された多数のHRTFが収録されたデータベースから良好な定位を与える1つを選択する方法や、多数のHRTFからクラスタリングを用いて汎用のHRTFを作成する方法⁽³⁾が用いられる。しかしながら、HRTFには個人差が存在するため、多

くの使用者に高い定位精度を与えることは困難である。

本論文では、HRTFにおける個人差の問題を解決するため、データベースに蓄積された多数のHRTFを利用し、各体験者に良好な定位を与えるHRTFを体験者毎に合成するHRTFの個人化について述べる。具体的には、データベースに蓄積された多数のHRTFから、良好な定位が得られた方向のHRTFを全ての角度について接合することで、全ての方向において良好な定位を与えるHRTFを合成する。以下、HRTFの合成法について述べ、主観評価により提案法の有効性を示す。

2. HRTFの個人化

提案法は、複数のHRTFの接合を行う際、全ての角度についてHRTFを選択するわけではなく、図1のように領域を4分割し、4つのHRTFを接合する。本論文では、利用者が事前に各HRTFを試し、各領域において最も良好な定位が得られたHRTFを接合に用いることとする。提案法は、各領域で良好な定位を与えるHRTFを全ての領域について選択し、各HRTFの境界を滑らかに接合することで新しいHRTFを合成できるため、全ての角度において良好な定位を与えることが期待される。

特定の方向に対して良好な定位を与えるHRTFをそのまま各領域に貼り付けた場合、スペクトルの極端な変化が原因となり、境界前後におけるスペクトルの変化が体験者に違和感として知覚される。本論文では、図2に示されるように、各境界の±20度を用いて境界前後の2つのHRTF

* 立命館大学 情報理工学部
 〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1
 College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University.
 1-1-1, Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577

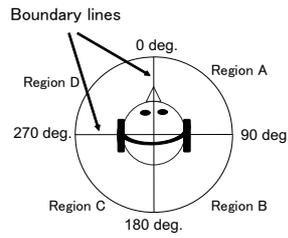


Fig. 1. Division of HRTF on direction of arrival.

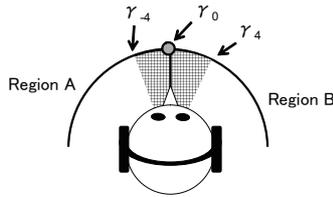


Fig. 2. Angle range used for combine of HRTF

を滑らかに変化させることで接合を行う。

図 2 における $\gamma_n (-4 \leq n \leq 4)$ は、2 つの HRTF を加算する際の重みを表し、以下の式で定義される。

$$\gamma_n = \alpha_n |A(\theta_n, \omega)|^2 + \beta_n |B(\theta_n, \omega)|^2 \dots \dots \dots (1)$$

このとき n は -4 以上 4 以下の整数とし、 α_n と β_n は、2 つの HRTF の重み係数、 $|A(\theta_n, \omega)|^2$ と $|B(\theta_n, \omega)|^2$ は、各 HRTF のパワースペクトル、 θ_n は、HRTF の方位角、 ω は角周波数を示す。

重み係数 α_n と β_n は、以下の式により定義される。予備的検討により、 α_n, β_n を線形に変化させて接合した場合、移動音源を合成した際に品質の低下が確認されたため、品質が低下しないよう実験的に定められた係数を用いて接合することとする。

$$\alpha_n = \begin{cases} 0.85 - 0.0375n & (-4 \leq n \leq 0) \\ 0.0375n & (1 \leq n \leq 4) \end{cases} \dots \dots (2)$$

$$\beta_n = 1 - \alpha_n \dots \dots \dots (3)$$

接合後の HRTF スペクトル $H(\theta_n, \omega)$ は、以下の式により得られる。

$$H(\theta_n, \omega) = \begin{cases} \frac{A(\theta_n, \omega) \gamma_n}{|A(\theta_n, \omega)|^2} & (-4 \leq n \leq 0) \\ \frac{B(\theta_n, \omega) \gamma_n}{|B(\theta_n, \omega)|^2} & (1 \leq n \leq 4) \end{cases} \dots \dots (4)$$

$H(\theta_n, \omega)$ が個人化された HRTF となる。

3. 実験

評価実験は、正常な聴力を有する 3 名の男性を被験者とし、一般的な MR アトラクションで用いられる室内（暗騒音レベルが 50 dBA）で行われた。提示音源は、MR において一般的に用いられるヘリコプターの旋回音と、440 Hz の正弦波、2000 Hz の正弦波を用いた。HRTF は、名古屋大学が公開するデータベースを用いた。接合用 HRTF は、本データベースから各被験者が事前に受聴実験を行い選択

Table 1. Correction rate of direction of arrival estimation results (%).

	subject A	subject B	subject C	Average
Conventional method	41.6	50.0	58.3	50.0
Proposed method	50.0	63.8	66.6	60.2

された。従来法は、各領域で良好な定位が得られた 4 つの HRTF のうち、最も定位精度が高い 1 つをそのまま用いる方法とした。音刺激は、Laptop PC (Let's note CF-T5) を用い、開放型ヘッドフォン SONY MDR-F1 を通して各被験者にとって聞きやすくなるよう調整された音量で提示された。なお、本実験における水平面角度の分解能は 30 度とし、合計 12 方位から音を提示した。各被験者は、合計 36 刺激 (12 方位 × 3 音源) について回答した。

全音源に対する方向定位精度を表 1 に示す。提案法は、従来法と比較すると 10.2 % 定位精度が向上している。すなわち、全方位に対し良好な定位を与える HRTF がデータベースに存在しない場合においても、提案法により各領域から良好な定位を与える HRTF を接合することで、高い精度が得られることを示している。

3.1 考察

実験結果により、提案法は従来法よりも高い定位精度を達成できたといえる。一方、HRTF データベースから選択する手間を必要とすることから、クラスタリングに基づく⁽³⁾方法などを導入し、選択に係るコストの削減が今後の検討課題であるといえる。提案法は、HRTF データベースの規模や領域の分割数、重み係数 α_n と β_n の最適化にも検討の余地はあるが、水平面方向の HRTF 設計という限定的な課題に対し有効であるといえるだろう。

4. むすび

本論文では、HRTF データベースに蓄積された HRTF から方向毎に定位が良好であった HRTF を選択させることで、全ての方向における定位精度を向上させる HRTF を合成する方法を示した。提案法の評価結果は、既存のデータベースから 1 つを選択し用いる方法と比較すると、良好な定位感が得られることを示唆するものであった。

提案法は、水平面方向に限定したものであるため、上下方向を含めた領域の最適個数を決定することが今後の課題となる。また、データベースに存在する HRTF の個数に比例して選択の手間が増加することから、クラスタリングに基づく個数の削減などについても検討してゆきたい。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金による支援を受けた。

文献

- (1) 田村秀行：“複合現実感研究プロジェクト,” 電子情報通信学会総大会, pp.455-456, 1997.
- (2) 渡邊祐子, 川名和博, 浜田晴夫：“HRTF を用いた 3 次元音場再生システムを利用した通信会議システムについて,” 日本音響学会講演論文集, pp.521-522, 2000.
- (3) 西野隆典他：“クラスタリング手法に基づく汎用頭部伝達関数の作成と評価,” 電子情報通信学会 研究報告, vol.101, no.73, pp.1-8, 2001.