

課題番号	Q21DS-01
課題名（和文）	指向性を持つ音源に対する局所領域の空間インパルス応答推定の高精度化
課題名（英文）	Improvement of spatial impulse response estimation in local region for source directivity
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 総合研究所 特任助手 氏名 津國和泉
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名

研究成果の概要（和文）

室内インパルス応答（RIR）は音の伝搬特性を表し、コンサートホールの音響設計などをはじめとして、幅広い音響工学の分野で重要な情報である。一般的には、マイクロホンとスピーカを用いて RIR の測定が行われるが、多点測定には膨大な数のマイクロホンが必要となる。そこで本研究では、少数のマイクロホンデータから周囲の RIR の推定に取り組んだ。特に音源の指向性を表現するために音源モデルを導入することによって、RIR の推定精度は 8 kHz で約 14 dB 向上し、推定可能な領域も音源モデルを導入しない場合と比較して拡大した。

研究成果の概要（英文）

The room impulse response (RIR) characterizes the sound propagation and is used in various acoustic applications, such as the acoustic design of concert halls. Generally, RIR measurements are performed using microphones and a loudspeaker. However, multipoint measurement requires many microphones. In this study, we proposed the estimation method of RIRs from a small number of microphones. By introducing the source radiation model to represent the source directivity, the estimation accuracy of the RIR was improved and the estimable area was expanded by the source radiation model.

1. 研究開始当初の背景

室内インパルス応答 (RIR: Room Impulse Response) は、室内の音の伝搬特性を表し、音場の制御や室内音響設計などに広く用いられ、音響工学分野において最も重要な情報のひとつである。一般に、RIR はマイクロホンとスピーカを用いて測定されるため、複数点における RIR を計測するには多数のマイクロホン等が必要となり、効率的かつ高精度に測定することは容易ではない。そこで、これまで RIR の空間補間手法が提案されており、初期反射音の時間的なスパース性に着目した補間手法や、平面波展開を利用した推定手法などが存在する。しかし、従来手法では非常に複雑なランダムマイクロホンアレイの必要性や、推定対象が 1 kHz 以下に限られているという問題があった。また、従来のモデル化手法では音源の指向性は考慮されていない。

本研究ではより簡易的なマイクロホンアレイを用いた効率的な多点 RIR の取得を目的として、等価音源法および虚像法を用いたマイクロホン周囲における室内インパルス応答のモデル化手法を提案する。特に音源の指向性の推定に着目したうえで、従来手法では困難であった 8 kHz までの高い周波数を推定対象とし、より高精度な RIR のモデル化を行う。

2. 研究の目的

これまで申請者は、効率的に多点の RIR を取得するため、少数マイクロホンの測定データから RIR をモデル化する手法を提案してきた。これまでの研究成果より、申請者の提案手法は 0.5～8.5 kHz の周波数帯において、従来手法よりも約 6 dB 高い精度で、RIR をモデル化可能であることが明らかとなった。その一方で、7 kHz 以上の周波数においては、音源の指向性が鋭くなることに起因し、推定精度が低下した。従って、これまでの提案手法では音源の指向性に対するモデル化精度が不十分であるという課題がある。特に、高精度な RIR のモデル化には音源の指向性の表現は欠かせない。そこで本研究では、音源の指向性の推定に着目し、スピーカの向きに対して垂直な方向に対しての推定精度の改善を行う。

3. 研究の方法

本研究では、点音源の線形和で音場を表現する等価音源法と、音源と壁面に対して面対称な位置に虚音源が存在すると仮定して反射音を計算する虚像法を利用して、RIR のモデル化手法を提案した。

特に音源の指向性を表現するため、事前に音源の放射特性を等価音源法を用いてモデル化し、この音源モデルを利用して RIR のモデル化を行った。(1)・①では正確な音源向きが不明という条件の下、シミュレーションを行い、(1)・②では、音源向きに加えて音源位置に測定誤差があるという条件下で実験を行った。

また、従来の一般的な等価音源法は最小二乗法を用いて解を導出していたが、本研究では音源の空間スパース性を利用した最適化問題として定式化することによって、より適切なモデルを構築した。

4. 研究成果

十字アレイや円形アレイのような簡易的なマイクロホンアレイを用いた場合、音源モデルを導入した提案手法[(1)・①]によって、8 kHz において従来手法より約 14 dB 提案手法の推定精度が向上した。一方で、音源向きの誤差と音源位置の測定誤差が生じることによって、6 kHz 以上の周波数においては、提案手法による大きな改善は見られなかった[(1)・②]。したがって、今後はマイクロホンアレイの形状等も含めて、測定位置誤差が生じる場合の精度改善と無響室での実測実験を行う。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① 津國和泉, 松橋遼, 池田雄介, “音源の指向性を考慮した等価音源を用いた局所領域室内インパルス応答のモデル化,” 日本音響学会 2021 年秋季研究発表会, 2021.9.オンライン
- ② 津國和泉, 松橋遼, 池田雄介, “音源の指向性を考慮した等価音源法に基づく少数マイクロホンによる音場の可視化,” 情報処理学会 第 84 回全国大会, 2022.3.オンライン