

報道機関 各位

国立大学法人電気通信大学

空中音像の再生エリアを限定するリアルタイム波面合成法を確立

【ポイント】

* 空中音像生成とエリア再生を同時に実現

直線スピーカアレイを用いてユーザの目の前に飛び出す仮想音源を限定したエリア内で再現する技術を開発しました。

* リアルタイム化を実現

性能に影響を与えない範囲での近似を導入することで一般のパソコンでもリアルタイムに動作します。

* 新しい音の聴取体験を提供可能

実際のスピーカがある面よりも前に音像を提示することで、新しい音の聴取体験を提供することが可能となります。

【概要】

電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻の博士課程前期 2 年の五島優太氏、同専攻羽田陽一教授の研究グループは、直線上に並んだ複数（32 個以上）のスピーカを独立に制御することで、空間上の音再生エリアを限定しつつ、そのエリア内での音像（※1）を空中でリアルタイムに移動可能な新しいアルゴリズムを開発しました。これまで、空中に音像を浮かべる技術や、音の再生エリアを限定する技術は個別に研究がなされておりましたが、演算量を抑えつつリアルタイムにこれらを同時に実現することは困難でした。五島らは、空中に音像を浮かべる技術と音の再生エリアを限定する 2 つの技術を周波数・空間フーリエ変換領域で定式化したのちに、性能に影響を与えない範囲において複数の関数近似を組み合わせることで時間・空間領域でのリアルタイム処理を実現しました。

【背景】

立体映像技術やプロジェクションマッピングの進展により、これに対応可能な立体音響技術への需要も高まってきています。これまでも複数のスピーカを直線上に並べたスピーカアレイを用いた波面合成法（※2）を用いることで、スピーカのない位置への音像提示や、目の前に迫る空中音像の提示は可能でした。またこれに加えて羽田らの研究グループでは、モーションキャプチャした人の動作に合わせて仮想音源（※3）位置を変えるインタラクティブオーディオの研究も進めてきました。このような状況において、提示する映像や物体の視聴範囲に合わせて、再生する音エリアを限定しながら、そのエリア内においてリアルタイムに音像の位置を変えられる新しいシステムの構築が望まれていました。

【手法】

空中に浮かぶ音像を提示するための技術として、直線上に並べた複数（例えば 32 個以上）のスピーカを用いる波面合成法が知られています。この技術は、空中に浮かんだ音像がその場に作る波面のうち、再生するために用いるスピーカが並んだ直線上の音圧傾度（※4）が必要となります。

一方で、音の再生エリアを限定するためには、受聴者の位置における波面の音圧が必要となります。

このように音圧傾度を参照する位置と受聴者の位置が異なると、これらを同時に制御することは難しい問題となります。そこで、これらの参照位置を合わせるために、音圧傾度情報の参照位置を一旦受聴者位置として、そこからスピーカ位置での音圧傾度を逆算する方式を採用することにしました。

ただし、この逆算にはフーリエ変換（※5）が必須となるため、今度はリアルタイム性が損なわれるといった課題が残りました。そこで五島らは、停留位相近似（※6）と非整数遅延器（※7）を導入することでフーリエ変換を必要としない低演算量でかつリアルタイム性に優れたアルゴリズムの導出に成功しました。

【成果】

図 1 に示すような 4.8cm 間隔で直線上に並べた 128 個のスピーカを有する直線スピーカアレイを用いて、計算機シミュレーションによる性能評価と、実際に人が聞いてエリア内の音の動きの把握と、エリア外の音のわずらわしさについて主観評価実験を実施しました。

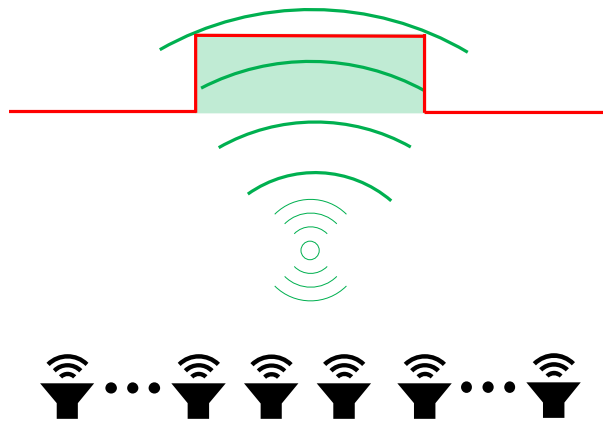


図 1 : スピーカアレイの図

(1) 計算機シミュレーション結果

再生エリアを限定しながら波面が合成できるかを検証するため計算機シミュレーションを行った結果を図2に示します。評価周波数は1kHzです。図の色は波面の音圧に対応しており、緑色の部分は音圧が低く、音が聞こえないエリアとなります。この図から提案法では正面や斜め方向にエリアを限定しながら、エリアの中に波面を合成できていることが分かります。

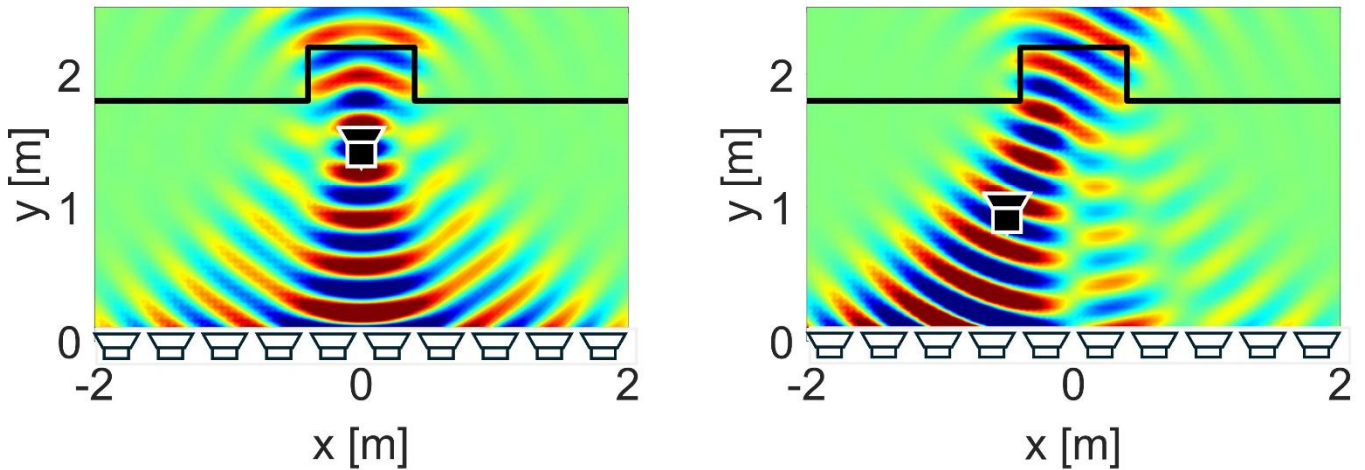


図2：波面のシミュレーション（白：スピーカ、黒：仮想音源）

(2) 主観評価結果

主観評価実験では再生エリアの限定と移動感を同時に調査しました。被験者はエリア外からの妨害音を聴取しながら、聞きたい音の移動感を評価しました。主観評価の結果を図3に示します。この図から再生エリアを限定しない方法では、妨害音によりうるさいと感じるだけでなく、移動感も損なわれることが分かりました。一方で、提案手法では、妨害音のうるささを感じにくく、聞きたい音の移動感も正しく知覚できることが分かりました。

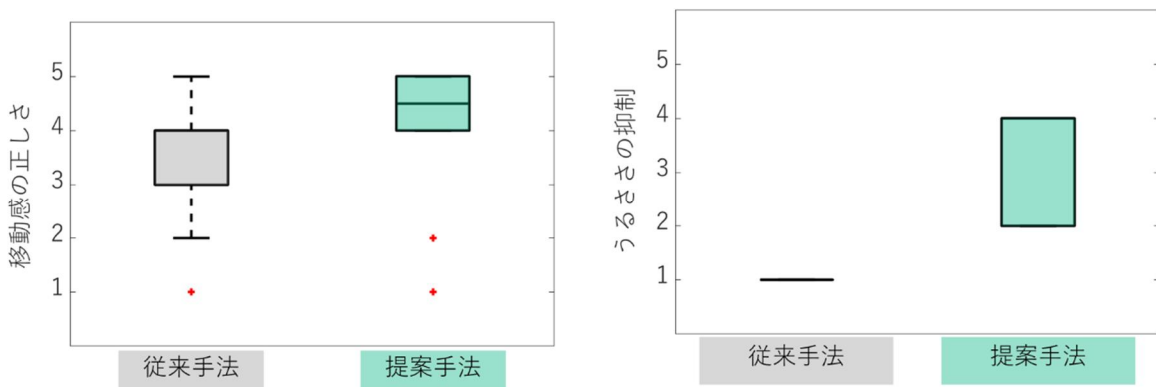


図3：実験結果（左：移動感の正しさ、右：うるささの抑制）

【今後の期待】

本研究では、空中に浮かぶ仮想音源を限定した再生エリア内でのみ音量を高く提示する技術を実現しました。また、開発したアルゴリズムは通常のパソコンを利用してリアルタイムで動作することも確認しています。このため、今後は、モーションキャプチャで取得したユーザ動作に合わせて、再生エリアの位置や、エリア内での仮想音源位置の変更を行うことで、高度なインタラ

クティブオーディオの発展に寄与していく予定です。また、共同研究を行っている株式会社ラダ・プロダクションとともに各種イベント等でのデモ展示実施を計画していきます。

(論文情報)

国際会議名 : 2026 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing

論文名 : TIME-DOMAIN SYNTHESIS OF VIRTUAL SOUND SOURCE WITHIN PERSONALIZED SOUND ZONE USING A LINEAR LOUDSPEAKER ARRAY

執筆者 : Yuta Goshima, Yoichi Haneda

発表日 : 2026 年 5 月 6 日

雑誌名 : Acoustical Science and Technology

論文名 : Time-domain representation of wave field synthesis based on the spatial-shifting filter for a linear loudspeaker array

執筆者名 : Yuta Goshima, Yoichi Haneda

掲載日時 : 2026 年 3 月 28 日 (Advanced online publication)

DOI : <https://doi.org/10.1250/ast.e26.14>

(外部資金情報)

本研究は株式会社ラダ・プロダクションとの共同研究として行われました。

(用語説明)

※1 : 音像

人がそこに音があると感じる知覚上の音の位置やイメージ。

※2 : 波面合成法

ある閉じた領域の境界面上の音圧と音圧傾度を制御することで目標とする音場を合成する手法。一般に直線スピーカアレイで実現されることが多いです。

※3 : 仮想音源

実際にはスピーカがないにも関わらず、そこにスピーカがあるような波面を出す位置。

※4 : 音圧傾度

ある方向に対する音圧の傾き (流れを表す)。

※5 : フーリエ変換

時間信号を周波数信号に変換するなど、周期成分に分解する変換。

※6 : 停留位相近似

波が激しく揺れている部分は互いに打ち消し合っほとんど影響しないため、揺れが少なく“効き目の大きい部分”だけを取り出して計算を簡単にする手法。

※7 : 非整数遅延器

デジタル時間よりも細かい時間の遅延を実現する手法。例えば、オールパスフィルタなどで実現できます。

【連絡先】

<研究内容に関すること>

電気通信大学大学院 情報理工学研究科 情報学専攻

【職名】教授

【氏名】羽田 陽一

Tel : 042-443-5201 E-Mail : haneda.yoichi@uec.ac.jp

<報道に関すること>

電気通信大学総務部総務企画課広報係

Tel : 042-443-5019 Fax : 042-443-5887

E-Mail : kouhou-k@office.uec.ac.jp