



超指向性スピーカの反射音を用いた投影拡張手への音像提示

Sound Image Presentation to a Projected Extended Hand
Using Reflected Sound from Super Directional Loudspeakers

石川蒼桜, 佐藤優志, 岩井大輔, 佐藤宏介

Ao ISHIKAWA, Yushi SATO, Daisuke IWAI, and Kosuke SATO

大阪大学 大学院基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3, ao.ishikawa@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp)

概要: 本研究ではユーザが操作可能な CG ハンドをプロジェクタによって投影するインタフェースにおいて、CG ハンドが実環境の物体に触れた際に接触音を超指向性スピーカから物体に向けて出射することで、CG ハンドが触れている場所から音が届いているようにユーザが知覚するシステムを提案する。本稿では、スピーカと物体とユーザの位置が任意の場合に、ユーザに所望の音像知覚を実現できるかを調査した結果を報告する。

キーワード: 拡張・複合現実, 感覚・知覚, 聴覚, クロス・マルチモーダル

1. はじめに

近年、人間の負荷を軽減するための身体拡張技術に注目が集まっている。身体拡張技術の一つに、投影型手腕拡張インタフェース ExtendedHand (EH) がある [1]。プロジェクタから投影される拡張手 (投影拡張手) を用いることで、ユーザは実空間上に遠くに置かれた実物体を指し示すなどのアクションが可能となる。しかし、投影拡張手が実空間にある物体に触れた際に、ユーザは物体に投影拡張手が重畳している視覚情報しか得られず、物体との接触感をユーザは知覚できない。そのため、ハプティックデバイスを用いて触覚刺激をユーザに提示することで接触感を向上させる手法 [2, 3] が多く提案されてきた。この手法ではハプティックデバイスの装着が必須となり、投影拡張手操作時の実手の動きに制限がかかる。手に装置を装着しない手法として、クロスモーダル現象を利用して聴覚刺激から触覚刺激をユーザに生起させる手法 [4] が提案されている。ヘッドホンから物体に整合した接触音をユーザに提示することで、音の提示がない場合と比べて、ユーザはより物体に触れていると感じることが示唆された。しかし一方で、自身の手では触れている場所から音が届いているように知覚するが、ヘッドホンによる音提示では投影拡張手が触れている位置から音が届いているように知覚できないという問題がある。また、ヘッドホンの装着が義務付けられる。

そこで本研究は、超指向性スピーカを用いて、ユーザに装置を装着させることなく、投影拡張手が触れた場所から音が届いているようにユーザが知覚するシステムを提案する。投影拡張手と実空間上に置かれた物体との接触点に向けて超指向性スピーカから物体に整合した接触音を出射する。接触点で反射された音をユーザに届けることで、接触点の位置から音が届いているようにユーザに知覚させる。提

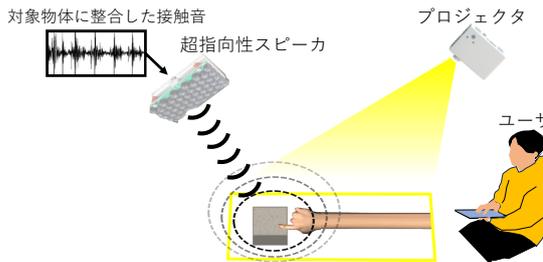


図 1: 提案システムの概要図

案システムを実現するにあたり、超指向性スピーカの反射音の拡がり把握する必要がある。そこで、本稿では反射音の拡がり測定した結果について報告する。

2. 超指向性スピーカの反射音測定実験

2.1 目的

超指向性スピーカは、出力した音の反射点とユーザとの位置関係に応じて、ユーザの反射音の聞こえ方が変化する。本実験で、反射点の音の拡がり測定することで、ユーザの位置による聞こえ方の違いを明らかにする。

2.2 実験条件

実験は表 1 に示す条件で実施した。対象物体として、本実験ではキーボードを用いた。超指向性スピーカは、対象物体から水平方向 1.35 m、高さ 1.35 m の位置に設置し、対象物体に音を当てるため、45 度下に傾けた。超指向性スピーカの反射音の測定は、反射点を中心とする半径 1 m の円上に等間隔に置かれた 6 個の単一指向性マイクで行った (図 2)。なお、反射点を高さ 0 m とするとマイクは高さ 0.5 m の位置に設置した。超指向性スピーカの反射音の音の拡がりと比較するため、実手でキーボードをなぞった場合の音

表 1: 実験条件

超指向性スピーカ	パラメトリック・スピーカー・キット (トライステート社)
マイクロフォン	単一指向性マイク (ELECSIL社)
レコーダ	キュリオム YVR-120
ビットレート, サンプル周波数	16 bit, 24 kHz
周囲騒音レベル	41.0 dB(A)



図 2: 実験環境

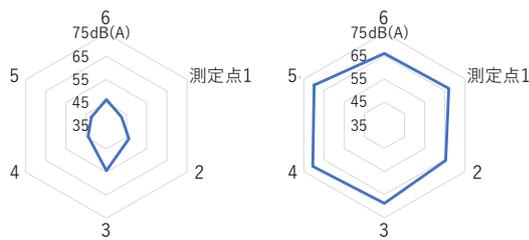


図 3: 各測定点に届いた音圧のレーダチャート (左: 超指向性スピーカの反射音 右: 実手でのなぞり音)

の測定も行った。超指向性スピーカから出力する音はあらかじめ実物を実際の手でなぞった際の音を録音したものを使用した。ただし、超指向性スピーカの反射音と実手でなぞった際の音圧は異なる。

2.3 結果

各測定点に届いた音圧を図 3 に示す。各グラフの周りの 1~6 の数値は、図 2 に表記されているマイクに割り振られた番号と一致している。動径方向は、音圧 (dB(A)) を表す。図 3 のグラフの形を比較することで、実手でのなぞりと比べて、超指向性スピーカの反射音の拡がりには偏りがあり、反射音は鏡面反射方向の測定点 3 に最も届きやすいことが明らかになった。また、著者らの主観では超指向性スピーカから見て、奥手側の測定点 2,3,4 では、反射点であるキーボードから音が届いているように知覚したが、手前側の測定点 1,5,6 では反射点であるキーボードから音が届いているように知覚されず、スピーカの位置や二次反射が起きている壁から音が届いているように知覚された。

2.4 考察

結果から、反射点を音像だと知覚できる位置には、制限があることが示唆された。したがって、本システムは、超指向性スピーカと反射点とユーザの位置関係が重要であり、鏡面反射方向にユーザが位置することが、音圧と音知覚の二項目で適していることが明らかになった。

3. おわりに

本稿で述べた実験から、超指向性スピーカの反射音は鏡面反射方向に最も音が届きやすいことが示唆された。また、反射点を音像だと知覚できるユーザの位置には制限があることが判明した。そこで、複数の超指向性スピーカを用いて、反射音が届きにくく反射点を音像だと知覚できない位置を補い合うシステムを考えている。そのため、複数台の超指向性スピーカを用いるにあたり、最適な超指向性スピーカの配置を検討する必要がある。本稿で述べた実験は、超指向性スピーカの位置、音の出射角度、マイクの位置は一通りでしか行っていない。今後は、条件を変えて本稿と同様の実験を行い、最適な超指向性スピーカ配置を考案する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP23K26073、JSPS 特別研究員奨励費 JP23KJ1454 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 岡原浩平, 小川修平, 新明拓也, 岩井大輔, 佐藤宏介. 身体拡張型インタフェースのための前腕の投影表現に関する基礎検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 3, pp. 349–355, 2014.
- [2] Naruki Tanabe, Yushi Sato, Kohei Morita, Michiya Inagaki, Yuichi Fujino, Parinya Punpongsonon, Haruka Matsukura, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Farfeel: Providing haptic sensation of touched objects using visuo-haptic feedback. In *Proceedings of the 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 1355–1356, 2019.
- [3] 新明拓也, 佐藤宏介. 身体拡張型ユーザインタフェースにおける触覚フィードバックによる拡張感への影響の調査. 第 77 回全国大会講演論文集, Vol. 2015, No. 1, pp. 311–312, 2015.
- [4] Yushi Sato, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Sound texture feedback for a projected extended hand interface. *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 27673–27682, 2024.