

空中触覚フィードバックによるサウンドイメージアイコン

篠田・牧野研究室 修士2年 任丞九

1. Introduction

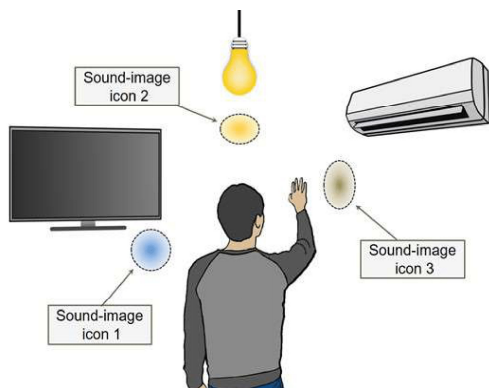


Fig1. Concept of a sound-image icon.

空中超音波による触覚刺激と仮想音源提示を統合した3次元透明仮想物体、サウンドイメージアイコン(Sound Image Icon)を提案する。目に見えないサウンドイメージアイコンは自分の位置と役割をその音で表現し、ユーザーに伝える。ユーザーは視覚を用いずに瞬時にその音を認識し、必要に応じてそのアイコンを能動的に探索する。空中触覚により、ユーザーはデバイスを身につけることなくアイコンに触れる。この時、触覚と聴覚の相互作用によって人は空中の音源を触っているように感じ、ユーザーは仮想物体を自由に操作できる。

2. Lesson from the first experiment

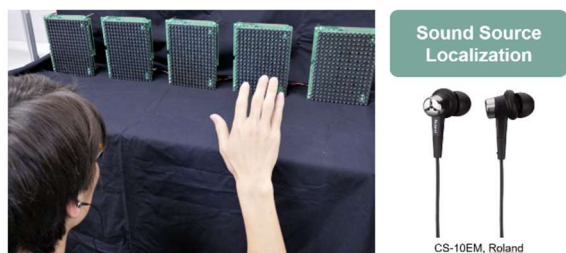


Fig2. First experiment setup.

サウンドイメージアイコンの最初のプロトタイプを構築し(Fig2.)、被験者実験を通して実現可能性を評価した[1]。そのアイコンは、超音波の放射圧による空中単一触覚刺激とバイノーラルイヤホンによる音源の配置で実現された。

その結果、プロトタイプの実験に様々な問題が発見された。まず、ヘッドセットを使用した音源提示には無視できない制約とデメリットが

存在した。どれくらい高質のバイノーラル音声再生が可能だとしても、ユーザーの頭が動くと録音された音源の位置がその動きに歪むため、正確な定位が成されにくい。また、頭部伝達特性(Head Related Transfer Function)は個人差が大きく、個別のチューニングが必要である。加えて、ヘッドセットに音が再生される際にユーザーの頭の中で音声が共振する現象(In-head Localization)が発生することもあり、その現象はヘッドセットの音を聞いて音源定位を行う上での妨げとなる[2]。

次に、実験設定でアイコンが存在する空間全体を一次元的に探索できたため、音による事前情報を持たなくてもアイコンの探索は難しいタスクだった。そのため、プロトタイプでの実験では触覚と聴覚の相互作用がアイコンの探索へどのように響くか明確に評価できなかった。

結論的に、サウンドイメージアイコンの正しい提示にはヘッドセットを使用しない音源提示法と3次元的な探索空間を要すると判断した。

3. Second experiment

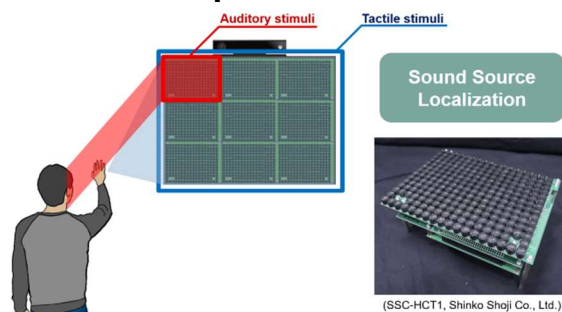


Fig3. Second experiment setup.

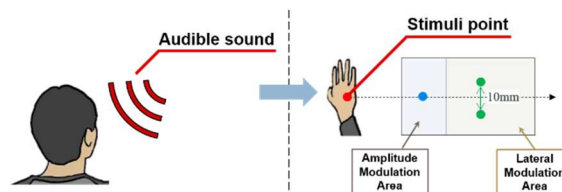


Fig4. Flow of the interaction with Sound Image Icon.

次の実験ではFig3.のように、空中超音波フェーズドアレイ(AUTD)とKinectセンサーを用いて新たなサウンドイメージアイコンの提示手法を実施する。超音波による音源定位はバイノーラルイヤホンを用いた音源定位より正確であるこ

と、クリックの触感を加えるとターゲットアイコンを能動的に、正確に選択できることを実験的に検証した。

具体的なインタラクションの仕組みをFig4.に示す。アイコンの音源提示は、各AUTDから超音波の平面波をユーザーの頭の方に放射することで行われた。AMで放射される超音波に自己復調が起こり、超音波ビームに可聴領域が現れる。そのビームの経路にいる聴取者の両耳に可聴音が届いた時、その音圧のレベル差(Interaural Level Difference)、時間差(Interaural Time Difference)によって3次元空間における音源の位置を認知できる[3]。

アイコンの音源定位が完了すると、人は超音波の平面波で伝わるアイコンの音源を聴くことで、その方向が分かる。定位された方向に手を伸ばし、手のひらの中心に提示されるアイコンのクリック触感に従ってそれを操作する。空中クリック感の提示は深度を基準とした二段の触覚刺激で実現できる[4]。200HzのAMとAUTD1台分の弱い駆動力でアイコンの存在を教える触覚が提示され、その刺激を認知したユーザーは手をさらに前方向に動き、アイコンをクリックする。手が刺激開始点から50mm以上移動すると、焦点位置を皮膚上で横方向に振動させる40HzのLateral ModulationとAUTD9台分の駆動力で強い刺激が与えられ、アイコンクリックの完了が分かる。そのユーザーが手を戻すと、クリックされたアイコンはその役割を果たす。

本実験は被験者にターゲットアイコンを速やかに探索するように指示し、ターゲットアイコンのバイノーラル音のみが提示される条件(“Auditory”)とターゲットアイコンのバイノーラル音と超音波刺激が同時に提示される条件(“Both”)によって行われた。

4. Results and Discussion

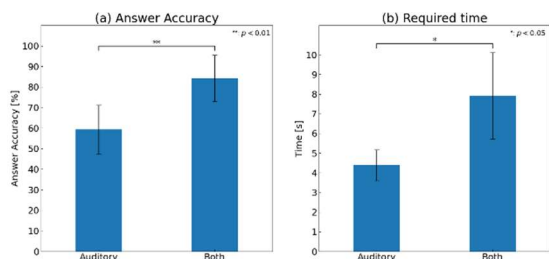


Fig5. Experiment result between two conditions.

実験結果はFig5.のように、“Auditory”での正解率の平均は59.3%で平均所要時間は4.4秒だった

一方、“Both”での正解率の平均は84.3%で平均所要時間は7.9秒だった。“Auditory”と“Both”の正解率の標準誤差は各11.9%と11.3%、所要時間の標準誤差は各0.8秒、2.2秒だった。

3次元のインターフェースの空間に対し、“Auditory”では人の左右方向にある音源の定位は優れるが、人の上下方向にある音源の定位は正確ではなかった。ところが、触覚刺激でターゲットアイコンのクリック触感を加えることで、上下方向の音源定位も補完された。また、Welchのt検定によって“Auditory”と“Both”間の各正解率と所要時間の平均値に有意差が認められ、ユーザーは触覚を用いるとアイコンの音源の定位が正確になるが、手の探りのために位置の推定にかかる時間が増えることが確認された。

5. Conclusion and Future work

超音波の自己復調効果でサウンドイメージアイコンの音源を配置する手法を実施・評価した結果、バイノーラルイヤホンを利用したプロトタイプより音源提示のパフォーマンスが向上したと言える。また、1次元の探索空間の中に単一触覚刺激でアイコンの位置を示すプロトタイプと比べて、本実験のインターフェースは3次元の探索空間で見えない空中ボタンを再現し、さらにユーザーの能動的な触覚フィードバックを可能にしたと共に触覚と聴覚の相互作用で目標の1つのアイコンの位置を正確に探せることが明らかになった。

しかし、周辺の壁による超音波反射や空中ボタンの触感の探索コスト、上下方向での音源定位の不確定性など様々な課題が残存している。その解決策としては、容易な3次元のアイコン探索方法の開発や吸音材の配置による外部要因の影響抑制、音源の右左振動[5]などを考えている。

References

- [1] Seungwoo Rim, et al. Sound-Image Icon with Aerial Haptic Feedback, Euro Haptics 2020, pp. 497 – 505, Sep. 6-9, 2020.
- [2] Floyd Toole. In-head localization of acoustic images. The Journal of the Acoustical Society of America, 48:943–9, 10 1970.
- [3] Lawrence D Rosenblum, et al. Relative effectiveness of three stimulus variables for locating a moving sound source. Perception, 16(2):175–186, 1987.
- [4] Mitsuru Ito, et al. Midair click of dual-layer haptic button. pages 349–352, 07 2019.
- [5] Akihiro Kudo, et al. Improved method for accurate sound localization. Acoustical Science and Technology, 27:134–146, 01 2006.