

超音波を用いた実音場の拡張に関する基礎検討 A basic study on enhancing real sound field by ultrasonic wave

吉野 祥之[†]
Akiyuki Yoshino

橋田 朋子[†]
Tomoko Hashida

苗村 健[†]
Takeshi Naemura

1 はじめに

近年、公の場における効果的な案内や演出、視覚障害者に対する誘導などを目的とし、付加的な音情報を場所や人に選択的に提示する研究が盛んに行われている。環境中に予め音情報を埋め込むことでこれを実現する先駆的な研究として、音声信号を赤外光や電波に変換、任意の場所に投光(提示)し、特定のデバイスを用いたユーザのみが音声情報を聞くことができるシステム [1] やメディアアート作品などが提案されている [2,3]。またユーザの耳元にマイクを装着し変換デバイスを携帯させることで、ユーザが取得する実音場の情報そのものをリアルタイムに変調する試みも行われている [4,5]。

前者のような音波と異なる形に音情報を変換提示するシステムでは、ユーザが提示された音の音源を定位できず、違和感を覚えるものと考えられる。これは、人が音源位置や空間的な音の広がり感といった音の音場情報を得るために本来必要な手掛かり(両耳間に届く音の音量差や時間差)が、変換によって失われるためである。さらに赤外光は直進性が比較的強く、遮断物や障害物があると情報の送信に影響がでるため、利用できる場が限られるという問題点もある。一方後者のように耳元で音情報を取得、変調するシステムはこれまでは専ら演出的な用途に利用が限られてきたが、複雑な計算なしに音場情報を取得・再現できるという利点もある。

そこで筆者らは音情報を可聴音の音波と基本的な特性が同じ超音波に変換して送信し、その情報をユーザ自身の耳元に設置した超音波マイクで取得、PCによって可聴音に復調して音を聞くという手法を用いることで、上述した問題を過不足なく解決できると考えた。つまりこの“超音波を用いた実音場拡張システム”は

- 両耳間差情報を利用した音源定位が可能である(超音波の伝播特性の利用)
- ある程度の遮蔽物や障害物があっても安定的な情報の伝達が可能である(超音波の回折現象の利用)

という特徴を持つ、音情報の選択的な提示システムである。本稿ではこのシステムの具体的な設計と実装、及び評価実験について以下に詳しく論じる。

2 超音波を用いた実音場拡張システムの実装

2.1 音情報の変復調処理

本システムは大別して、音情報を超音波に変調して送信する送信部と、超音波を受信して可聴音に復調する受信部の2つの処理プロセスから構成される。送信部ではまず音情報をPCに入力し、サンプル数1024のFFTを行う。この周波数領域のデータをカットオフ周波数20kHzのローパスフィルタに通し、20kHz高周波側にデータを

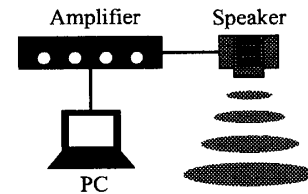


図1: 送信部の構成図

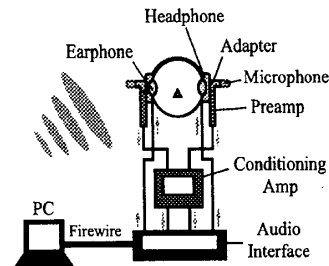


図2: 受信部の構成図

移す。そしてIFFTを行って超音波へ変調する。次に、受信部では耳元のマイクで受信した超音波をPCに入力し、FFTを行う。次にカットオフ周波数20kHzのハイパスフィルタに通し、20kHz分低周波側にデータを移す。そしてIFFTを行って可聴音へ復調する。

2.2 プロトタイプシステムの実装

前節で述べた音情報の変復調処理を実現する、プロトタイプシステムの実装を行った。送信部の構成図を図1に、受信部の構成図を図2に示す。送信部は、可聴音を超音波に変調するPCと、超音波を増幅するためのYAMAHA社製アンプMLA-7、超音波を発信するTakeI社製スーパートウイータBAT-1からなる。

受信部は、ヘッドホンの外側に超音波を取得するB&K社製マイクType4939を設置し、入力信号を増幅するB&K社製プリアンプType2670、B&K社製コンディショニングアンプType2690を通してPCへ入力し、可聴音への復調を行う。復調した音はPCからイヤホンで出力する。PCは外部オーディオインタフェースMOTU828mk2とFirewire接続を行い、アンプ等の機材との接続はオーディオインタフェースを介して行う。

3 プロトタイプシステムの性能実験

3.1 超音波の伝播特性の測定

提案システムによる音の伝達が可能であることを確認するために、超音波の伝播特性を測定した。測定には提案システムの構成機材とB&K社製測定用アンプType2610を用いた。測定用の信号は提案手法により20kHz高域に変調したサイン波であり、信号の受信の際は、マイクで取得した超音波信号を周波数領域においてカットオフ周波数20kHzのHPFに通し、測定用アンプに入力する。

[†]東京大学大学院学際情報学府, Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, The University of Tokyo

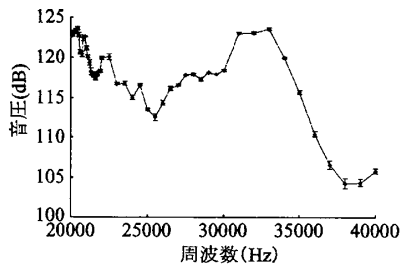


図3: システムの周波数特性

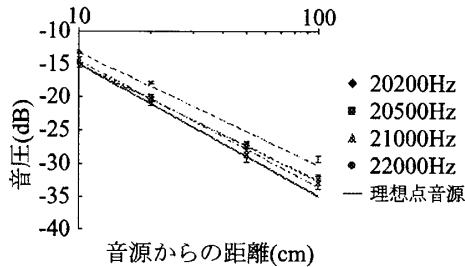


図4: 超音波の伝播特性

まず、プロトタイプシステムにおける超音波の出力性能を確認するためにスピーカとマイクを密着させて信号の音圧を測定した。信号の周波数は20kHz~40kHzの間の46点で、各7回ずつ測定を行った。次に、スピーカとマイクの距離を10, 20, 50, 100cmに変化させ、音源位置からの音圧変化を測定した。信号の周波数は20, 20.5, 21, 22kHzの4種類で、各5回ずつ音圧測定を行った。

図3に0距離の音圧特性を、図4に音源位置からの音圧変化を示す。図4の近似直線の導出には最小二乗法を用いた。可聴音は距離が倍になると6dB音圧が低下するといわれており、提案システムによる超音波の減衰の割合と可聴音の減衰の割合の差が2割程度であることがわかった。図3の結果を踏まえると、音源から1m程度の距離において70~80dB程度の音圧で信号を受信でき、音声伝達は十分可能である。

3.2 音源の左右判定実験

提案システムの特徴である超音波に変調した音の定位が実現されていることを確認するために、被験者から1m離れた距離に2つのスピーカを置き、左右どちらのスピーカから音が出ているのかを判定させる実験を行った。また、比較のために可聴音を用いた場合の左右判定も同時に行った。刺激はホワイトノイズと440Hzのサイン波の2種類の信号を、スピーカ間の距離は15cmと30cmの2通りを用意し、音波の種類(超音波/可聴音)とあわせて計3つの条件を検討した。被験者の課題は椅子に座ってシステムを身につけ、左右どちらのスピーカから音が鳴っているかを2択で回答するものである。音は左右から各10回、計20回をランダムな順番で提示した。実験の被験者は20代の男女4名である。

ホワイトノイズを提示した際の正答率を図5に、サイン波を提示した際の正答率を図6に示す。ホワイトノイズを提示した場合、正答率は全て100%である。これはホワイトノイズがフラットな周波数特性を持つため、音源位置の特定がしやすいためであると考えられる。一方サイン波を提示した場合、正答率はホワイトノイズに比べて低く、超音波に変換した音は可聴音に比べて正答率が

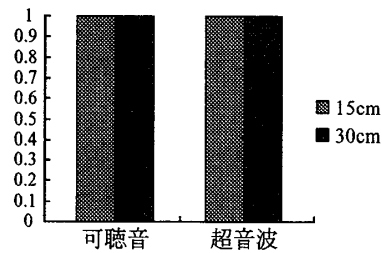


図5: ホワイトノイズの左右判定

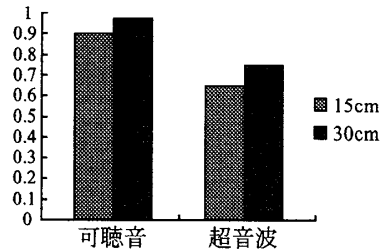


図6: サイン波の左右判定

25%程度低くなる。しかし、チャンスレベルまでは至っていないことから、ある程度の音源位置の特定は可能であると考えられる。また実世界に即して考えた場合、一般的な音情報はサイン波のような単一波ではなく、ホワイトノイズのように複合波の形をとることから、本システムを用いて定位感を持った音情報を取得することは十分に可能と考えられる。

4 結論

本稿では聴覚情報を超音波に変換し、その情報をユーザの耳で取得することで定位感を保った音を選択的に提示するシステムを提案、実装した。また、超音波が可聴音に近い伝播特性を持ち、システムを用いて超音波に変換した音でも左右の音の聞き分けができることを確認した。今後の課題としては、具体的なアプリケーションの提案を行うことが挙げられる。それに伴い、変調方式やシステムに用いる機材など、システムの設計についても更なる検討を行う。また、変調に用いる周波数帯を複数設定し、マルチチャンネルの音声伝達を行うことで、よりシステムが可能とする表現の幅を広げる。更に、本システムの特徴のひとつである障害物の回避についても実証する。本システムの体験者からはスピーカに向けて手をかざしても音を聞く事ができるとの感想を得ており、実験でこれを明らかにしていく。最後に有益な助言をいただいた東京大学原島博教授に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 西村拓一, 中村嘉志, 伊藤日出男, 山本吉伸, 中島秀之, “インタラクティブ情報支援のための無電源小型情報端末”, インタラクシオン 2003, pp.163-170, 2003.
- [2] 岩井俊雄, <http://www2.gol.com/users/iwai/PS1data/SOUND-LENS.html>
- [3] Christina Kubisch, <http://www.christinakubisch.de/>
- [4] 岡田敦, 飯田誠, 苗村健, “頭部装着型実音場拡張システムの基礎検討”, 信学技報 MVE2004-48, 2004.
- [5] 前林明次, <http://www2.gol.com/users/m8/installation.html>