

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18084

研究課題名（和文）聴力自在化技術の確立に関する研究

研究課題名（英文）Research on Establishment of Manipulatable Auditory Perception

研究代表者

渡邊 拓貴（Watanabe, Hiroki）

北海道大学・情報科学研究院・助教

研究者番号：50808433

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人の耳の能力を自由自在に操作できる環境の構築を目的とし、聴力自在化技術のフレームワークを構築した。本研究では、ユーザがマイク付きのイヤホン型デバイスを常時装着する環境を想定する。マイクで取得した外部音の周波数をユーザの要求に応じて操作し、操作後の音をユーザの外耳道に発信することで、ユーザが実際に取得する音を自在に操作できる。聴力自在化により、超音波の可聴化による危険の認識や、超音波を用いた音声通信等、従来の人間の能力では困難であった聴覚の利用が可能になる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、聴力自在化技術をウェアラブルデバイス上でリアルタイムに実現するためのプロトタイプデバイスを作成した。また、実装したデバイスを用いて、聴力自在化技術利用時に生じる周波数操作後の音源特定能力の変化、音の遅延、音質劣化について、それぞれ実験から調査した。調査の結果、全てについて実用上問題ないことが確認できた。これらの調査は聴力自在化技術のフレームワークを提供する上で考慮すべき課題であり、明らかにすることに意義がある。さらに、聴力自在化技術を用いて実装可能な想定アプリケーションについても実装し、想定アプリケーションの実現可能性を示した。これらの提案は聴力自在化技術の応用性を示すといえる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a framework for manipulating auditory perception to create an environment in which people can freely manipulate their auditory perception.

We assume an environment where a user always wears an earphone-type wearable device with a microphone. According to the user's request, the system manipulates the frequency of the external sound acquired by the microphone and transmits the sound after the manipulation to the user's ear canal. Manipulating auditory perception enables the usage of hearing that has been difficult for conventional human abilities, such as hazard recognition by converting ultrasound into audible sound and voice communication using ultrasound.

研究分野：ウェアラブルコンピューティング

キーワード：ウェアラブルコンピューティング 聴覚 人間拡張 ヒアラブル 超音波

1. 研究開始当初の背景

近年の技術発展や機器の小型化により、ユーザが常にコンピュータを身につけて生活するウェアラブルコンピューティングに対する注目が集まっている。代表的なウェアラブル機器としては、頭部装着型ディスプレイやスマートウォッチがあり、これらを用いた視覚への情報提示に関する研究は多く行われてきた。ウェアラブルコンピューティングの中でも、特に近年は左右独立型で完全無線のイヤホン型デバイスを用いた、ヒアラブルコンピューティングの分野が注目されている。ヒアラブル環境では、常時イヤホン型デバイスを装着しており、スマートフォンと連携することで音楽を聞いたり、音声アシスタントを利用したりできる。聴覚は視覚と比較すると、自身で制御することが困難な器官であるといえる。そのため、重要な情報を聞き逃してしまったり、逆に必要のない情報まで取得してしまったりといった状況が発生し得る。上述したようなヒアラブルデバイスが普及しつつある環境では、ヒアラブルデバイスを用いて、今まで聞こえなかった音の可聴化、外部音の特定周波数の削除/増幅等、聴力をユーザの要求通りに制御できる聴力の自在化が実現可能な状況だといえる。また、ヒアラブルデバイスではハンズフリーの操作が求められるが、主流である音声による操作は情報漏洩や公共の場で用いにくい等の問題があり、現状確立した手法はない。従って、ヒアラブルデバイスにおけるハンズフリーの操作手法の確立も求められると考えた。

2. 研究の目的

本提案では、聴力自在化実現のために外部音の周波数を実時間で変換しユーザに発信する技術の確立を目的とする。また、これらの技術を用いた聴力自在化の応用可能性の調査を行う。聴力の自在化は未開拓な分野であり、何がどこまでできるのかはまだ明らかでない。本研究で、聴力自在化技術の基盤を構築しながらその可能性を明らかにする。さらに、ヒアラブルデバイスのハンズフリー操作手法についても検討する。

3. 研究の方法

本研究は、以下の3つのサブテーマから構成される。

- (1) 聴力自在化実現のためのフレームワークの確立
- (2) 聴力自在化技術の応用アプリケーションの提案
- (3) 外耳道伝達関数を用いた頭部状況認識手法

まず、サブテーマ1により聴力自在化技術のフレームワークを確立することで、実時間で聴力自在化が実現できる環境を構築する。また、聴力自在化を適用した際に生じ得る課題についても評価実験から明らかにする。次に、確立したフレームワークを用いてサブテーマ2に着手し、聴力自在化の可能性を探る。同時にヒアラブルデバイスに求められる操作手法についてもサブテーマ3によって確立する。

4. 研究成果

- (1) 聴力自在化実現のためのフレームワークの確立

本サブテーマでは、本研究提案の基盤となる、聴力自在化技術のフレームワークを確立した。ウェアラブルデバイス上でリアルタイムに外部音を変換できるシステムを実装した(図1)。また、周波数の操作手法として5種類の方法を考案した。

さらに、提案フレームワークを用いることで発生し得る、音源方向を特定する能力の劣化、周波数操作により発生する遅延、周波数操作により発生する音質劣化の3つの課題について評価実験より調査した。結果として図2に示すように、音源特定能力に関しては、操作の有無によらず有意な差は確認できなかった。遅延、音質に関しても実用上問題ない範囲であることが確認できた。

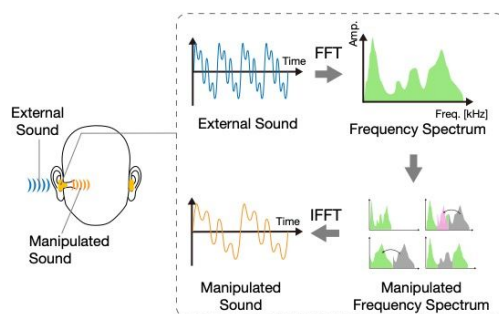


図 1: 聴力自在化技術のシステム構成

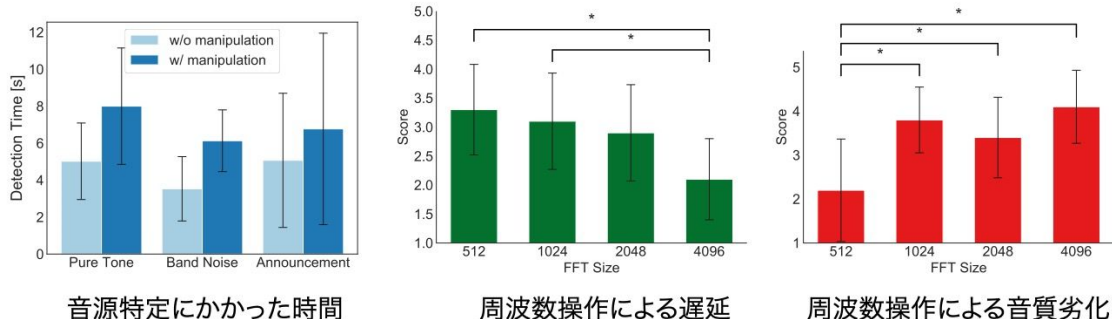


図 2: 聴力自在化により生じる課題の調査結果

(2) 聴力自在化技術の応用アプリケーションの提案

本サブテーマでは、サブテーマ 1 により確立した聴力自在化技術のフレームワークによって実現できる 7 種類の想定アプリケーションを提案した。具体的には、ハイブリッド車/電気自動車の検出、異常機器の検出、超音波音声通信、超音波ヒューマンエコーロケーション、打音検査、外部音のイコライジング、超音暴露の検出の 7 つを提案した。さらに、このうちの超音波ヒューマンエコーロケーションに着目し、実装・評価を進めた。

エコーロケーションとは音の反射から周囲の環境を知る技術であり、一部の視覚障害者が用いている。エコーロケーションでは可聴音よりも超音波を用いる方が、より詳細に物体の弁別ができることが先行研究からわかっているが、人本来の能力では超音波を発信/取得することはできない。そこで、聴力自在化技術によって超音波スピーカから発信した超音波を可聴化することで、リアルタイムの超音波エコーロケーションを可能にした。リアルタイムで超音波エコーロケーションを行うことにより、従来明らかでなかった、静止物体よりも回転物体の方が物体の弁別が容易であることを明らかにした。

(3) 外耳道伝達関数を用いた頭部状況認識手法

ヒアラブルデバイスにおいて求められる機能の 1 つとして、手や視界を占有することのないデバイス操作機能があげられる。既存製品や既存研究では認識精度や認識できるジェスチャの種類、センサの追加コストなどの点で課題が残る。これらの課題の解決のために我々は首、顎、顔の状態（頭部状態）にともなって外耳道が変形することに着目し、外耳道伝達関数を測定、解析することで現在の頭部状態を認識する手法を提案した（図 3）。提案手法は外耳道内部の音を取得できるマイクを利用するため、ノイズキャンセリング機能などの併用が可能であり、ヒアラブルデバイスとの親和性が高い。また、デバイスの着脱や時間経過による装着具合の誤差を補正することで、認識精度の向上を実現した。

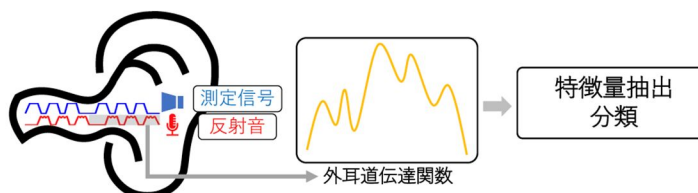


図 3: 頭部状態認識手法のシステム構成

11 名の被験者に対して 21 種類の頭部状態の認識実験を行った結果、各被験者の分類器の平均認識精度は、未補正時で 40.2% (F 値)、補正時で 62.5% (F 値) となった。実際のアプリケーションでの利用を想定し、6 種類の頭部状態の認識結果を行った結果、未補正時で 74.4% (F 値)、補正時で 90.0% (F 値) の認識精度が得られた。

その他にも、ヒアラブルデバイスでの応用を念頭において、ユーザ体内の音響特性を用いた個人認証手法、足音を用いた路面状況の認識手法、超音波を用いたハンズフリーのデバイス操作手法など、今後のヒアラブルデバイスでの活用につながるシステムを複数検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 雨坂宇宙, 渡邊拓貴, 杉本雅則	4. 巻 61
2. 論文標題 外耳道伝達関数による頭部状態認識手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文紙	6. 最初と最後の頁 1333, 1342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00206268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 三嶽寛人, 渡邊拓貴, 杉本雅則	4. 巻 61
2. 論文標題 足音と慣性データに基づく路面状況認識手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文紙	6. 最初と最後の頁 1578, 1590
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00207250	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 渡邊拓貴, 寺田 努	4. 巻 62
2. 論文標題 ウェアラブルコンピューティングにおける周波数操作による聴力自在化技術の提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文紙	6. 最初と最後の頁 617, 630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00209335	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Watanabe Hiroki, Kakizawa Hiroaki, Sugimoto Masanori	4. 巻 29
2. 論文標題 User Authentication Method Using Active Acoustic Sensing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 370, 379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjip.29.370	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 渡邊拓貴, 寺田 努	4. 巻 22
2. 論文標題 部分遮蔽されたマイクを用いた超音波によるジェスチャ認識手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェース学会論文誌	6. 最初と最後の頁 175, 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 渡邊拓貴, 角谷美和, 寺田 努
2. 発表標題 人と機械の調和による超音波エコーロケーション技術の確立に向けて
3. 学会等名 ユビキタスウェアラブルワークショップ2020 (UWW 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Watanabe and Tsutomu Terada
2. 発表標題 Manipulatable Auditory Perception in Wearable Computing
3. 学会等名 Augmented Humans Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroto Mitake, Hiroki Watanabe, and Masanori Sugimoto
2. 発表標題 Footsteps and Inertial Data-based Road Surface Condition Recognition Method
3. 学会等名 International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Amesaka, Hiroki Watanabe, and Masanori Sugimoto
2. 発表標題 Facial Expression Recognition Using Ear Canal Transfer Function
3. 学会等名 International Symposium on Wearable Computers (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊拓貴, 寺田 努
2. 発表標題 ウェアラブルコンピューティングにおける聴力自在化技術の提案
3. 学会等名 インタラクシオン2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊拓貴, 角谷美和, 寺田 努
2. 発表標題 物体表面からの超音波反響音を用いたテクスチャ認識技術の基礎検討
3. 学会等名 第64回ユビキタスコンピューティングシステム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Watanabe and Tsutomu Terada
2. 発表標題 Improving Ultrasound-based Gesture Recognition Using a Partially Shielded Single Microphone
3. 学会等名 22nd International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 雨坂宇宙, 渡邊拓貴, 杉本雅則
2. 発表標題 外耳道伝達関数を用いた頭部状況認識手法
3. 学会等名 第61回ユビキタスコンピューティングシステム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 雨坂宇宙, 渡邊拓貴, 杉本雅則
2. 発表標題 外耳道音響特性を用いた頭部状態認識手法の提案
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三嶽寛人, 渡邊拓貴, 杉本雅則
2. 発表標題 足音を用いた路面状況推定手法
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊拓貴
2. 発表標題 聴力自在化技術のための周波数リアルタイム変換手法の実現に向けて
3. 学会等名 ユビキタスウェアラブルワークショップ2018 (UWW 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 角谷美和, 蘆原郁, 渡邊拓貴, 寺田努, 安藤広志, 長谷芳樹, 藤塚有美, 吉野寿紀, 小林耕太, 渡辺好章, 飛龍志津子
2. 発表標題 超音波を用いたアクティブセンシングによるテクスチャー弁別
3. 学会等名 ユビキタスウェアラブルワークショップ2019 (UWW 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角谷美和, 蘆原 郁, 渡邊拓貴, 寺田 努, 安藤広志, 藤塚有美, 吉野寿紀, 後上正樹, 長谷芳樹, 小林耕太, 渡辺好章, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの超音波センシング戦略を模倣したヒューマンエコーロケーション：テクスチャー弁別に効果的な音響の手がかりとセンシング手法に関する検討
3. 学会等名 第45回感覚代行シンポジウム講演論文集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------