

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04689

研究課題名（和文）個人に適応する骨導立体音像定位システムの開発とその応用に関する研究

研究課題名（英文）A Study on personal adaptation of 3D spatial audio using bone conduction headphones and its application

研究代表者

杉田 泰則 (Sugita, Yasunori)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30401780

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,800,000円

研究成果の概要（和文）：骨導音による立体音像定位技術は、補聴器や視覚障害者の歩行支援システムなど、さまざまな応用が期待されている。本研究では、骨伝導ヘッドホンによる音像定位技術の精度向上を目的として、DPOAE (Distortion Product Oto-Acoustic Emission) を用いて、外耳道から蝸牛、及び骨伝導ヘッドホンから蝸牛までの伝達特性差の推定手法と、その特性差を利用した前処理法を検討した。その結果、提案法よりも音像定位の精度が従来の約35%から60%に向上し、その効果が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

骨導音による立体音像定位技術は、補聴器や視覚障害者の歩行支援システムなど、さまざまな応用が期待されているが、気道音による音像定位技術ほど高い定位精度が得られていないのが現状である。本研究により、気道音受聴と骨導音受聴の差異を明らかにするための多くの知見が得られた。これらは、骨導音による補聴システムの音質改善や立体音像定位技術への応用、発展に貢献するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to improve the accuracy of the sound image localization technique using bone-conduction headphones. We considered a method for estimating the difference of transfer characteristics between from ear canal to cochlea and transducer to cochlea using DPOAE (Distortion Product Oto-Acoustic Emission) and a preprocessing method using those characteristics. As a result, we confirmed that the proposed method improves the accuracy of the sound image localization from 35% to 60%.

研究分野：デジタル信号処理

キーワード：骨伝導 立体音響 DPOAE

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヘッドホン/イヤホンを用いて頭の外に仮想的な音源を定位させる頭外音像定位技術は、3Dサラウンドシステムなどのエンターテインメント分野だけでなく、視覚障害者の歩行を補助する音声案内システム、脳波による車いす制御やコンピュータへの入力作業をサポートするブレイン・マシン・インタフェースなど、福祉分野への応用も期待されている。しかし、これまでの頭外音像定位研究は、通常のヘッドホン/イヤホンの使用を前提としており、鼓膜を介して音を聞く気道音によるものが殆どである(以下、通常のヘッドホンを気道ヘッドホンと呼ぶ)。気道ヘッドホンを用いる場合、個人のHRTF(Head-Related Transfer Function: 頭部伝達関数)を利用することで高い定位精度を実現できるが、視覚障害者は周りの音の微妙な変化を捕らえることで周辺状況の把握を行っており、情報の入力源である耳を塞がれる気道ヘッドホンの使用には大きな抵抗がある。HRTFとは、音波が頭部や身体、耳介などでの反射や回折を経て聴取者の外耳道入口に到来するまでの伝達特性を記述したものである。

近年、耳を塞ぐことのない骨伝導ヘッドホンを用いた「骨導立体音像定位」に関する研究も行われているが、その多くは、HRTFを畳み込んだ信号を骨導アクチュエータにより側頭骨から呈示するものが殆どである。しかし、HRTFを利用した骨導音による音像定位技術の実現には以下の大きな問題がある。

(1) 頭蓋骨(例えば側頭骨)を直接加振する骨伝導ヘッドホンでは、気道ヘッドホンの場合と音の呈示位置が明らかに異なり、音の伝達経路も異なるため、原理的に、HRTFを畳み込んだ信号をそのまま骨導アクチュエータで呈示しても、高い定位精度を実現するのは難しい。

(2) 右側で加振した振動が左の蝸牛に、左側で加振した振動が右の蝸牛に到達するといったクロストークを生じる。気道ヘッドホンでは、このクロストークは生じない。

これらの問題を解決し、骨伝導による定位精度を向上させるには、従来とは全く異なる発想でのアプローチが必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、気道伝達特性(外耳道から蝸牛までの伝達特性)と骨導伝達特性(骨導アクチュエータの加振部から蝸牛までの伝達特性)を利用して、蝸牛位置での信号を骨導音によって制御することで高い音像定位精度をもつ3次元立体音像定位システムを実現することである。その実現に向けて、本申請研究では、気道伝達特性/骨導伝達特性の推定技術の高度化、およびこれまで明らかにされていない「気道伝達特性と骨導伝達特性の音像定位精度への影響(個人依存性)」を明らかにするとともに、本システムの応用に向けた課題を整理、明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 気道伝達特性/骨導伝達特性の推定技術:

DPOAEを利用して気道伝達特性と骨導伝達特性を推定する手法を検討する。DPOAEは、外部から蝸牛に周波数の異なる2音が加えられると、蝸牛の非線形性により相互変調歪が生じ、その歪み成分が中耳を経由して外耳道内で検出される音である。一般にこれら異なる2音は外耳道から気道音として与えられるものであるが、頭蓋等から骨導で与えられた場合でも、同様にDPOAEが得られることが知られている。したがって、それらの測定信号から伝達特性の推定、モデル化ができると考えられる。DPOAEを利用した伝達特性の推定においては、骨導音に対するDPOAE成分(特に加振部から遠い方の外耳道に現れる信号成分)が小さく、ノイズを除去して精度良くDPOAE成分を抽出するための信号処理技術が必要である。また測定時間が長く、被験者負担が大きいことから、測定時間短縮のための推定方法を検討した。

(2) 補正フィルタの構築:

蝸牛位置で所望の信号を再現するための補正フィルタ及び処理アルゴリズムを研究した。ここでの「所望の信号」とは、HRTFを畳み込んだ信号を気道ヘッドホンにより再生した際に鼓膜を介して蝸牛に届く信号のことであり、この所望信号を推定して骨導音で再現できれば、骨導音でも気道音により聴取した際と同様の高い音像定位精度を実現できると考えられる。1.で推定した気道伝達特性と骨導伝達特性を利用して、蝸牛位置での信号を骨導音によって制御することができ、定位精度の向上が期待できる。

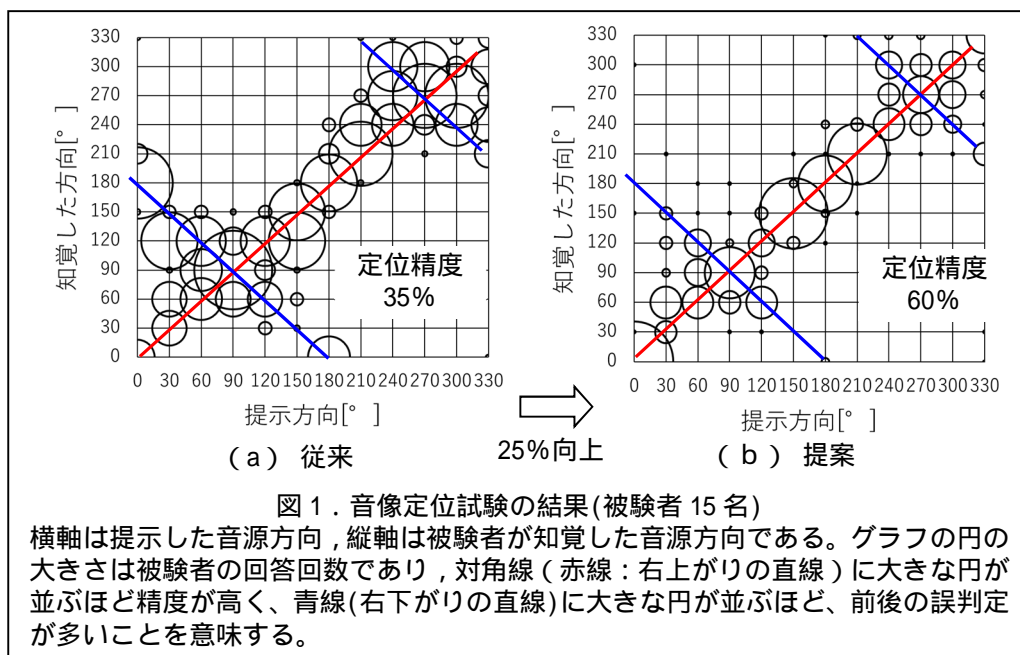
(3) 主観評価実験:

検討した伝達特性推定法と蝸牛位置での信号制御手法を統合して立体音像定位システムを構築し、被験者による定位精度の評価実験を行う。提案手法の効果の確認、及び気道伝達特性と骨

導伝達特性の推定精度が音像定位にどのような影響を与えるか、すなわち、個人の伝達特性と他人の伝達特性(あるいは平均化した伝達特性)を用いた場合で、定位の精度にどのような影響があるかを明らかにする。

4. 研究成果

歪成分耳音響放射(DPOAE)を利用して「気道伝達特性(外耳道入口から蝸牛までの伝達特性)」と「骨導伝達特性(骨導アクチュエータの加振部位から蝸牛までの伝達特性)」を推定する手法、及びそれらの伝達特性差を利用して骨伝導によって蝸牛位置で所望の信号を再生するための信号処理アルゴリズムを開発し、その効果を検証した。結果の一例を図1に示す。図1において、横軸は提示したバイノーラル音源の方向であり、縦軸は被験者が知覚した音源の方向である。グラフ上の円の大きさは被験者の回答回数を表している。すなわち、全被験者が各方向のバイノーラル音源に対して正しい方向を知覚して回答した場合には、グラフの左下から右上にかけての対角線に大きな円が並ぶことになる。この結果から、気道/骨導伝達特性の差を補正するフィルタを構成することで、定位精度が従来の35%から60%まで向上し、提案法の効果を確認できた。また、他人の伝達特性を用いた場合では、定位精度がほぼ向上しないことを確認した。一方で、提案法の現状での定位精度は約60%に留まっており、また個人の伝達特性を推定するには被験者負担が大きいいため、今後、更なる検討が必要である。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 三輪祐介, 杉田泰則
2. 発表標題 リアプノフ理論を用いたスプライン適応フィルタ
3. 学会等名 平成30年度 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横田佑香里, 杉田泰則
2. 発表標題 骨導立体音像定位のための伝達特性推定法
3. 学会等名 平成30年度 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三輪祐介, 杉田泰則
2. 発表標題 正実性定理を用いた安定なスプライン再帰適応フィルタ
3. 学会等名 電気学会 制御研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Miwa, Yasunori Sugita
2. 発表標題 A stable spline adaptive recursive filter using positive realness
3. 学会等名 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukari Yokota, Yasunori Sugita
2. 発表標題 An extraction method of DPOAE using sparse estimation
3. 学会等名 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸駿太郎, 杉田泰則
2. 発表標題 デジタル・ロックインアンプを用いたDPOAE推定に関する検討
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤柁二, 杉田泰則
2. 発表標題 交差項を考慮した一般化スプライン非線形適応フィルタの検討
3. 学会等名 電気学会制御研究会 (スマートシステムと制御技術シンポジウム2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸駿太郎, 杉田泰則
2. 発表標題 2位相型ロックインアンプによるDPOAEレベル推定
3. 学会等名 電気学会制御研究会 (スマートシステムと制御技術シンポジウム2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yutaro Arai, Yasunori Sugita and Tadashi Tsubone
2. 発表標題 Parameter identification of IIR adaptive filters by using particle swarm optimization and its application to HRIR
3. 学会等名 2020 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2020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