

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280078

研究課題名(和文) アクティブリスニング知覚過程理解に基づく音空間提示システム

研究課題名(英文) Virtual Auditory Display based on Active listening

研究代表者

岩谷 幸雄 (IWAYA, Yukio)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：10250896

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：聴覚に3次元的な音空間を提示する聴覚ディスプレイシステムの高度化のため、音空間の知覚過程とホールなどの長い応答を含む高精細なインパルス応答を畳み込むためのシステム構成について検討した。その結果、頭部運動を伴う音空間知覚に関して、頭部運動中の音像定位中の他の音への閾値等が上昇する減少を発見した。また、長いインパルス応答を音源に畳み込み、頭部運動に感応させて検知限以下の低遅延で音空間を提示するためのシステム構成として、サーバーと連携しながら信号処理を行うエッジコンピューティング型聴覚ディスプレイの試作に成功した。本システムは100ms以下で3秒程度のインパルス応答の切り替えが可能となるものである。

研究成果の概要(英文)：For advancement of a virtual auditory display system which can display three-dimensional sound space to both ears, we examined system in order to convolve long impulse responses with high-fidelity in a concert hall. Furthermore, we investigated a process of active listening which includes listener's head movement.

We found some thresholds of a sound would increase in active listening process. We also developed a novel virtual auditory display system, which can process over-three-second impulse responses within a detection threshold of system delay.

研究分野：音響通信工学

キーワード：聴覚ディスプレイ 音空間知覚 アクティブリスニング 頭部運動

1. 研究開始当初の背景

聴覚は常に全方向をセンシングしており、その入力情報は臨場感を司る大きな要因の一つである。しかし、5.1チャンネルシステムを含めた現在の音響装置によって再生される音は、1) スピーカ再生では、最適聴取点に頭を置くことが必要であり、再生される音をじっと動かず静的に聴取することがもとめられる。2) ヘッドホンを使った再生も頭内に音がこもってしまう。など、パッシブな聴取に止まり臨場感に欠ける。

一方、聴覚ディスプレイとよばれる音空間を提示するための音響バーチャルリアリティ技術に関する研究が盛んに行われており、音の位置情報については頭部伝達関数を個人化することで一定の再現性能が再現できる。しかし、位置情報は臨場感を得るための一つの条件にすぎない。これまでの研究から、聴取者が積極的に音空間へ働きかけることで臨場感が飛躍的に向上する可能性があることが示されている。例えば、Toshima らの開発したテレヘッドでは、聴取者の頭部の動きに応じ、疑似頭が動くことにより臨場感が増すという報告がある。さらに、頭部運動感応型聴覚ディスプレイ技術を使った視覚障害者用音空間訓練システムでは、聴取者が音の位置を当てそれを叩くという操作により、音源定位の向上のみならず、コミュニケーション場面における転移効果も確認されている。さらに、アンビエント環境のレンダリングについてもその効果の可能性が示された。これらの知見から、聴取者が音源・音場へインタラクティブに働きかける「アクティブリスニング音空間」の知覚過程の理解とシステムへの応用が臨場感の飛躍的向上につながると確信する。本研究では、これらの技術の開発、及びシステム化へ向けた検討と、アクティブリスニング過程の理解へ向けた心理実験も行う。

2. 研究の目的

本研究期間内に実施する事項は、次の2点であった。

(1)アクティブリスニング音空間知覚における音像定位過程の手がかりの解明とモデルの深化：

これまでの研究成果から、背景音を適切に付与し、頭部運動に感応させることで、目標とする音の提示音空間の臨場感が格段に向上することが示された。これまで静的な音空間知覚には頭部伝達関数を経験的に利用して音像定位していると考えられていたが、アクティブリスニング過程における知覚手がかりについて詳細に検討した事例は世界的にない。本研究では、頭部運動している最中の音空間知覚の変容を詳細に調べる。調査にあたっては、心理物理学の実験を取り入れていく。

(2)アクティブリスニング音空間知覚の理解に基づいた音環境システム装置の試作と評価：

これまで行ってきた研究結果から、頭部運動

や身体の小さな運動に感応して頭部伝達関数を切り替えることで音空間を提示するシステムの試作は完成した。本提案では、コンサートホール等の3秒程度の長いインパルス応答を、頭部運動に感応させてレンダリング可能な聴覚ディスプレイの構成について検討し、試作を行う。

3. 研究の方法

本計画は、3年であった。研究目的で述べた2つの目標について、最初の1.5年間で、そのベースとなる

(1)アクティブリスニング知覚過程手がかり基本モデルの構築：心理物理学実験とモデル化

(2)知覚手がかりを適切にレンダリングする手法の開発：アルゴリズムの構築を行い、後半の1.5年間で

(3)アクティブリスニング音環境提示システムの試作と評価：アルゴリズムの実装と評価

(4)アクティブリスニング知覚モデルの確立：アクティブリスニング知覚過程の理解の深化を行った。

4. 研究成果

(1)アクティブリスニング音空間知覚における音像定位過程の心理実験について

頭部運動を伴う音像定位中の純音知覚について抑制の有無を調査した。複数のスピーカの一つから帯域阻止ピンクノイズを放射して、その方向に頭部を向かせるタスク中に、純音を頭部直上から放射した(放射しない場合もあった)。被験者は、純音の有無について回答した。正解の累積正規分布から、検知限レベルを推定した結果、検知限が数dB向上することが示された。これは、アクティブリスニング中に聴覚でも抑制が起こっている可能性を示すと考えられる。

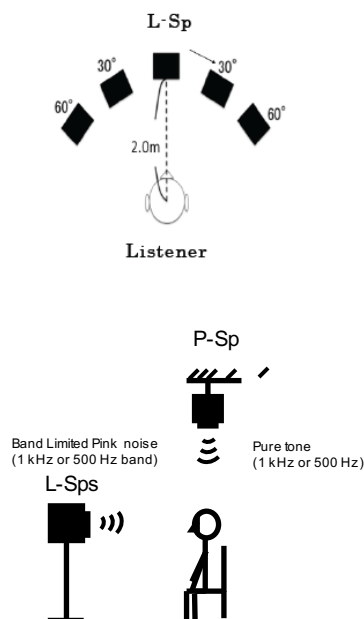


図1：実験のためのスピーカ配置

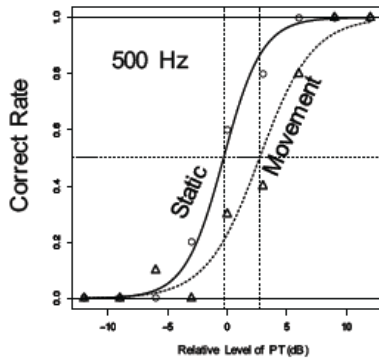


図 2 : 実験結果例

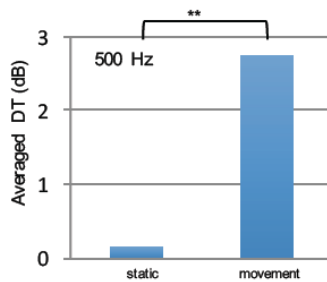


図 3 : 実験結果

この他、頭部運動を伴う音像定位時において、音の動きに関しても鈍化しているという結果が得られた。これらの結果より、音空間を頭部運動を伴い知覚している際にも、視覚におけるサカード抑制のような抑制が働いている可能性が示された。

(2) アクティブリスニング音空間知覚の理解に基づいた音環境システム装置の試作と評価について

当初の計画では、高精細レンダリングをサーバー側で行うクライアントサーバー型の聴覚ディスプレイを構築する予定であったが、サーバー側の畳込み演算による遅延が思いの外大きく、検知限以下に抑えることは不可能であった。このため、クライアントにも一部畳込み演算を行わせることとした。この概念は、IoT 分野におけるエッジコンピューティングの概念に相当する。本概念を取り入れたシステムを試作した結果、3 秒程度のインパルス応答の音源への畳込みを、80 ms 以下で切り替えることに成功した。

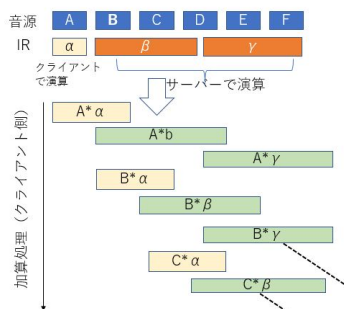


図 4 : エッジコンピューティング型聴覚ディスプレイの概念図

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Makoto Otani, Kouhei Yamazaki, Masahiro Toyoda, Masami Hashimoto, Mizue Kayama. “Largeness and shape of sound images captured by sketch-drawing experiments: Effects of bandwidth and center frequency of broadband noise,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 38(3), 154-160, May 01, 2017, 査読有.
- ② Makoto Otani, Kouhei Yamazaki, Masahiro Toyoda, Masami Hashimoto, Mizue Kayama, “Relation between frequency bandwidth of broadband noise and largeness of sound image,” *Acoust. Sci. & Tech. Science and Technology*, 38(1), 35-37, January 01, 2017, 査読有.
- ③ 岩谷幸雄, 頭部伝達関数による音像定位, *日本音響学会誌*, 73 巻 3 号, pp. 173-180, 2017, 査読無
- ④ Honda, A., Ohba, K., Iwaya, Y., Suzuki, Y., “Detection of sound image movement during horizontal head rotation,” *i-Perception*, vol. 7(5), 2016, 査読有.
- ⑤ 鎗水翔也, 岩谷幸雄, 大谷真, 土屋隆生, バーチャル音場を用いた空間的折り返し歪みの主観評価, *東北学院大学工学総合研究所紀要*, 査読無, 2015,
- ⑥ Honda, A., Kanda, T., Shibata, H., Sakamoto, S., Iwaya, Y., Gyoba, J., and Suzuki, Y., “Sense of Presence and Verisimilitude of Audio-Visual Contents; Effects of Sounds and Playback Speeds on Sports Video,” *Inter disciplinary Information Sciences*, Vol. 21, pp. 143-149, 2015, 査読有.
- ⑦ Hiroaki Kuribayashi, Makoto Otani, Masami Hashimoto, Mizue Kayama, “Development of dynamic crosstalk cancellation system for multiple-listener binaural reproduceion,” *Acout. Sci. and Tech.*, Vol. 36(6), 2015, 査読有.
- ⑧ Y. Iwaya, M. Otani, T. Tsuchiya, Junfeng Li, “Virtual Auditory Display by Remote Rendering Via Computer Network,” *Proc. of IIH-MSP 2014*, 2014, 査読無, pp. 598-601.

[学会発表] (計 25 件)

- ① 岩谷幸雄, 高精細音空間コンテンツのための主観的最適化音空間ディスプレイ

- の研究開発, ICT イノベーションフォーラム (招待講演), 2016 年 10 月, 幕張メッセ (千葉県・千葉市).
- ② 岩谷幸雄, 高精細音空間のレンダリングと再現システム, ICT フェア東北 (招待講演), 2016 年 5 月, 仙台メディアテーク (宮城県・仙台市).
- ③ Yukio Iwaya, Shoya Yarimizu, Makoto Otani, Takao Tsuchiya, Junfeng Li, "Discrimination of sound fields different in spatial aliasing," ISURAC 2016 (Invited Lecture), May 2016, 宮城蔵王ロイヤルホテル (宮城県・蔵王町).
- ④ Yukio Iwaya, Makoto Otani, Takao Tsuchiya, Yasushi Inoguchi, "Perception of acoustical spatial attributes and impression in virtually rendered sound field," International Congress on Sound and Vibration (Invited Lecture), July. 2015, Florence (Italy).
- ⑤ 岩谷幸雄, バイノーラル音空間合成の課題 (招待講演), 熊本大学大学院自然科学研究科情報電気電子工学専攻プロジェクトゼミ, 2014 年 10 月, 熊本大学 (熊本県・熊本市).
- ⑥ 岩谷幸雄, ネットワーク型空間音響システムへ向けて (招待講演), 電子情報通信学会ソサエティ大会依頼シンポジウム, 2014 年 9 月, 徳島大学 (徳島県・徳島市).

〔図書〕 (計 2 件)

- ① 本多明生, 音響キーワードブック (マルチモーダル/クロスモーダル知覚の項), pp. 408-409, コロナ社, 2016.
- ② 岩谷幸雄, 音響キーワードブック (音空間ディスプレイの項), pp. 50-51, コロナ社, 2016.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.iwaya-lab.org>

本研究による学生表彰 (計 5 件)

- ① 鎗水翔也: 平成 28 年東北地区若手研究者発表会優秀発表賞
- ② 伊藤修平: 平成 28 年東北地区若手研究者発表会優秀発表賞
- ③ 伊藤修平: 平成 28 年度日本音響学会東北支部若手研究者優秀論文賞
- ④ 東海林凌: 平成 27 年度 日本音響学会東北支部若手研究者優秀論文賞
- ⑤ 大久保和貴: 平成 27 年度映像メディア学会東北地区優秀賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩谷 幸雄 (IWAYA, Yukio)
東北学院大学・工学部・教授
研究者番号: 10250896

(2) 研究分担者

大谷 真 (OTANI, Makoto)
京都大学・工学研究院・准教授
研究者番号: 40433198

本多明生 (HONDA, Akio)
山梨英和大学・人間文化学部・准教授
研究者番号: 80433564