

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04688

研究課題名(和文)多重場による視触覚提示基盤の構築

研究課題名(英文)Cross-Field Display on Cross-modalities

研究代表者

落合 陽一(Ochiai, Yoichi)

筑波大学・図書館情報メディア系・准教授

研究者番号：90762188

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,000,000円

研究成果の概要(和文)：視聴覚に依存したディスプレイ技術の発展により、視聴覚を補完するような実用に足る触覚提示技術の重要性は日々大きくなっている。本研究では電場、磁場など今まで一つの場による力覚提示が主であった触覚提示技術をそれらの重ね合わせである多重場として刷新することを目指し、全体を通じてVR技術および触覚(空中触覚+接触触覚)ディスプレイとして多くのプロトタイプを構築した。コロナ禍以降リモートコラボレーションへの臨場感の伝達やそのデザインのための検討は重要性を増している。今後も当該分野の発展へ寄与していくとともに未だ論文投稿に至っていない研究内容については速やかに論文に努めたいと考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実用に足る触覚提示技術の重要性はコロナ禍をこえて日々大きくなり、障害への応用や認知負荷の軽減なども含めてリモートコラボレーションへの臨場感の伝達のみならず多様性社会に向けて重要性を増した。特に研究領域では、今まで触覚の重ね合わせ(空気圧と音響放射圧、磁場と超音波など異なる物理量を用いた触覚提示)についての議論はあまりされてこなかった。音響+空気圧、磁場+電場、超音波+熱、渦輪+音響放射圧+ウェアラブルなど多くの触覚ディスプレイの組み合わせを開発し、VR環境と合わせてユーザー実験(タスクによる定量評価・定性評価)や触覚ディスプレイ自体の解像度の検討(二点弁別閾の実験など)は意義深いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Growing demand for display technology that relies on audiovisual perception has increased the importance of practical tactile presentation technology that enhances the audiovisual perception. In this research, we aim to innovate the tactile presentation technology, which has been mainly based on a single field such as electric and magnetic fields, as a multiple field that is a superposition of these fields. The transmission of a sense of presence to remote collaboration after the Covid-19 disasters and the study of its design are becoming increasingly important. We will continue to contribute to the development of this research field, and we will make efforts to publish papers on research topics that have not yet been submitted for publication.

研究分野：感性情報学

キーワード：ヒューマンインターフェース パーチャルリアリティー 触覚ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

視聴覚に依存したディスプレイ技術の発展により、ユビキタス環境やバーチャルリアリティ環境において視聴覚を補完するような実用に足る触覚提示技術の重要性は日々大きくなっていった。また VR ゴーグルなどの民製品が市場に流通し始め、産業が大きく変わろうとしていた。研究領域では、今まで触覚刺激が多く研究されてきたが、触覚の重ね合わせ（空気圧と音響放射圧、磁場と超音波など異なる物理量を用いた触覚提示）についての議論はあまりされてこなかった。また申請者らの研究により、空中触覚や接触触覚における多重場の触覚提示において解像度の変化や知覚閾値の変化が起こることがわかってきていた。そこで、触覚の重ね合わせの可能性をより探求し、単なるそれぞれの場の重ね合わせではない触覚の変化を調査しモデル化することが求められていた。

2. 研究の目的

本研究期間において電場、磁場など今まで一つの場による力覚提示が主であった触覚提示技術を多重場の重ね合わせによって拡張することを目的とした。今までに培われてきた物理的な触覚提示原理の組み合わせにより、空中触覚・接触触覚において実用的な視触覚モデルを構築することが本研究の目標である。これは単なるそれぞれの場の重ね合わせでは表現できない触覚の変化を被験者実験によって調査しモデル化することにより成り立つ。まずは、基本的な触覚像の組み合わせから探索を行い、次に視覚および触覚のクロスモーダルについて探求を行っていく。その際、空中映像や VR ゴーグルなどとの組み合わせにおいて、どの触覚提示法が優位であるかを検証していく。実際のアプリケーションに即することで、実用的な触覚提示手法の探索を行い、実用的な解像度や閾値を満たす触覚提示の組み合わせを明らかにし、多重場による触覚提示の基盤を構築することを目的とし、研究期間に臨んだ。

3. 研究の方法

音響 + 空気圧、磁場 + 電場、超音波 + 熱、渦輪 + 音響放射圧 + ウェアラブルなど多くの触覚ディスプレイの組み合わせを開発し、VR 環境と合わせてユーザー実験（タスクによる定量評価・定性評価）や触覚ディスプレイ自体の解像度の検討（二点弁別閾の実験など）を行い、そのデバイスの特性や知覚的な組み合わせの特性について調べた。

下記に超音波 + 渦輪についてシステムを提示する。

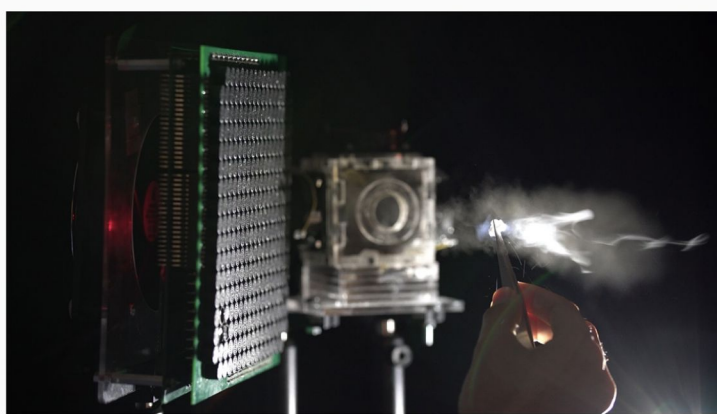


図1：空気砲と超音波フェーズドアレイの重畳によって触覚を提示するシステム

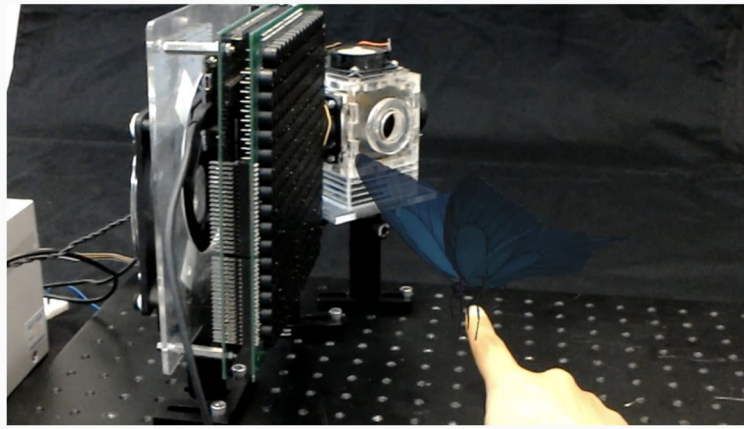


図2：ARディスプレイによって指に蝶を重畳し、解像度の高い超音波によって指に停まった蝶の触覚を提示し、蝶の羽ばたきを空気砲の渦輪による解像度の低い刺激で提示するシステム

音響放射圧による触覚提示等のアプリケーションは魅力的であるが、大きな範囲をカバーしようとした場合、フェーズドアレイのサイズを大きくしなければならないなどコスト的な制約が大きい。一方、渦輪によるシステムはその発射音を低減すると解像度やシャープな触覚提示という意味で難がある。その二つを組み合わせることで空間的にリーチ範囲の広いARアプリケーションのプロトタイプを制作した。(図1, 図2) こういったシステムについて被験者実験を行うことで実アプリケーションの探索を行った。

4. 研究成果

本研究期間を通じて、空中触覚提示を多重場で行う方法についての検討を多く行った。そして我々の多重的触覚提示はプラズマ・音響・光・磁気など多くの触覚要素の重ね合わせを行なってきており、そのうちプラズマと音響にまつわるものを書籍のチャプターとしてまとめることができた。また、本研究で開発した多重場触覚ディスプレイのプロトタイプとして空中触覚ディスプレイ(音響+空気圧)や接触触覚ディスプレイ(磁場+電場)の開発を行い、その結果をWHC, SIGGRAPH, CHI, SIGGRAPH Asiaなど多くの国際会議で発表することができた。

具体的には、磁場と電場を用いた触覚ディスプレイについての評価や、空気圧による渦輪と超音波音響放射圧による空中ディスプレイの知覚に対する被験者実験を行い検証した。またそれらのディスプレイについてバーチャルリアリティのコンテンツの触り心地を提示するアプリケーションなどを制作した。三次元的なインタラクションの実現のため、半透過スクリーンを用いた没入体験のためのディスプレイおよびモーショントラッキング環境とそれに関する評価も行った。他に没入型VRディスプレイ、網膜投影ディスプレイ、機械学習を用いたハンドヘルド型コントローラーの出入力に関するインタラクションを行なった。またそれらに関して国際会議発表並びにコンテンツ開発を外部クリエイターと協力して行うなど研究のアウトリーチを実践した。

最終年度では今まで触覚ディスプレイのために用いてきた渦輪に関するモデルの検討や熱と超音波の多重場提示などを行った。本研究では全体を通じてVR技術および触覚ディスプレイとして多くのプロトタイプを構築してきた。コロナ禍を超えてますますリモートコラボレーションへの臨場感の伝達やそのデザインのための検討は重要性を増している。最終年度は本検討の発展として、当該技術の社会実装を含む提案につながるようなスポーツ試聴体験の臨場化の検討を始めた。

総じて、多重場による触覚提示技術およびそれに伴う解像度や知覚閾値に関する知見は、高解像度化、多様化をもたらすと考えられ、触覚技術の実用化という観点から重要な意義があると考えられる。これによって、今まで個別に研究されてきた触覚提示原理の俯瞰と組み合わせに関する指針に繋がる可能性がある。また、多重場触覚提示技術は本研究室が中心となって積極的に進めており、経済産業省 Innovative Technologies への採択や ACM SIGCHI や SIGGRAPH, SIGGRAPH Asia に採択されるなど学会・産業界から注目が集まっている独創的なアイデアである。またアクセシビリティの文脈等でも応用が期待される。

今後も当該分野の発展へ寄与していくとともに未だ論文投稿に至っていない研究内容については速やかに論文化に努めたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Satoshi Hashizume, Amy Koike, Takayuki Hoshi, Yoichi Ochiai	4. 巻 -
2. 論文標題 Sonovortex: Aerial Haptic Layer Rendering by Aerodynamic Vortex and Focused Ultrasound	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ArXiv e-prints	6. 最初と最後の頁 -
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 無
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18件（うち招待講演 0件／うち国際学会 18件）

1. 発表者名 Shinnosuke Ando, Kazuki Otao, Yoichi Ochiai
2. 発表標題 Glass-Beads Display: Evaluation for Aerial Graphics Rendered by Retro-Reflective Particles
3. 学会等名 HCI International 2019 Posters (HCII 2019). (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mose Sakashita, Satoshi Hashizume, and Yoichi Ochiai
2. 発表標題 Wrist-Mounted Haptic Feedback for Support of Virtual Reality in Combination with Electrical Muscle Stimulation and Hanger Reflex
3. 学会等名 HCI International 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Hasada, Jungian Zhang, Kenta Yamamoto, Bektur Ryskeldiev and Yoichi Ochiai
2. 発表標題 Comparing Methods for Instructions of Cookwares on AR Goggles
3. 学会等名 HCI International 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Akira Ishii, Masaya Tsuruta, Ippei Suzuki, Shuta Nakamae, Junichi Suzuki, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 Let Your World Open: CAVE-based Visualization Methods of Public Virtual Reality towards a Shareable VR Experience
3 . 学会等名 The 10th Augmented Human International Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Junjian Zhang, Yaohao Chen, Satoshi Hashizume, Naoya Muramatsu, Kotaro Omomo, Riku Iwasaki, Kaji Wataru, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 EXController: enhancing interaction capability for VR handheld controllers using real-time vision sensing
3 . 学会等名 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Bektur Ryskeldiev, Toshiharu Igarashi, Junjian Zhang, Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 Spotility: Crowdsourced telepresence for social and collaborative experiences in mobile mixed reality
3 . 学会等名 ACM CSCW, 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Koike Amy, Takazawa Kazuki, Hashizume Satoshi, Sakashita Mose, Sato Daitetsu, Ochiai Yoichi
2 . 発表標題 Redesign of Cartesian Diver for Underwater Expression Combining Dynamic Fabrication with Non-Contact Manipulation
3 . 学会等名 HCI International 2018 8211; Posters ' Extended Abstracts (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kenta Yamamoto, Kotaro Omomo, Kazuki Takazawa, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 Solar Projector
3 . 学会等名 ACM SIGGRAPH 2018 Posters (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Akira Ishii, Ippei Suzuki, Masaya Tsuruta, Shuta Nakamae, Junichi Suzuki, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 ReverseCAVE: CAVE-based Visualization Methods of Public VR Towards Shareable VR Experience
3 . 学会等名 The 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Bektur Ryskeldiev, Yoichi Ochiai, Michael Cohen, and Jens Herder
2 . 発表標題 Distributed Metaverse: Creating Decentralized Blockchain-based Model for Peer-to-peer Sharing of Virtual Spaces for Mixed Reality Applications
3 . 学会等名 The 9th Augmented Human International Conference (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kazuki Otao, Yuta Itoh, Kazuki Takazawa, Hiroyuki Osone, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 Air Mounted Eyepiece: Optical See-Through HMD Design with Aerial Optical Functions
3 . 学会等名 The 9th Augmented Human International Conference (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Mose Sakashita, Yuta Sato, Ayaka Ebisu, Keisuke Kawahara, Satoshi Hashizume, Naoya Muramatsu, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 Haptic marionette: wrist control technology combined with electrical muscle stimulation and hanger reflex.
3 . 学会等名 SIGGRAPH Asia 2017 Posters (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kazuki Otao, Yuta Itoh, Hiroyuki Osone, Kazuki Takazawa, Shunnosuke Kataoka, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 Light field blender: designing optics and rendering methods for see-through and aerial near-eye display.
3 . 学会等名 SIGGRAPH Asia 2017 Technical Briefs (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Akira Ishii, Masaya Tsuruta, Ippei Suzuki, Shuta Nakamae, Tatsuya Minagawa, Junichi Suzuki, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 ReverseCAVE Experience: Providing Reverse Perspectives for Sharing VR Experience.
3 . 学会等名 SIGGRAPH Asia 2017 VR Showcase (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Satoshi Hashizume, Amy Koike, Takayuki Hoshi, and Yoichi Ochiai
2 . 発表標題 Sonovortex: rendering multi-resolution aerial Haptics by aerodynamic vortex and focused ultrasound.
3 . 学会等名 ACM SIGGRAPH 2017 Posters (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Ishii, Masaya Tsuruta, Ippei Suzuki, Shuta Nakamae, Tatsuya Minagawa, Junichi Suzuki, Yoichi Ochiai
2. 発表標題 ReverseCAVE: providing reverse perspectives for sharing VR experience.
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH 2017 Posters (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuki Takazawa, Satoshi Hashizume, Ryuichiro Sasaki, Yoshikuni Hashimoto, and Yoichi Ochiai
2. 発表標題 Morpho sculptures: digital fabrication methods of engraving flat materials into shape changing user interfaces
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH 2017 Posters (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S.Hashizume, K.Takazawa, A. Koike, and Y. Ochiai
2. 発表標題 Cross-field haptics: Multiple direction haptics combined with magnetic and electrostatic fields
3. 学会等名 2017 IEEE World Haptics Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高木康博監修、落合陽一、高木康博、畑田豊彦、氏家弘裕、棚橋重仁、水科晴樹、藤井俊彰、河北真宏、吉田俊介、山本健詞、Boaz Jessie Jackin、市橋保之、奥井誠人、涌波光喜、大井隆太郎、山東悠介、的場修、下馬場朋禄、角江崇、伊藤智義、坂本雄児、長浜佑樹、磯前慶友、柴田陽生（他18名）	4. 発行年 2019年
2. 出版社 S&T出版株式会社	5. 総ページ数 360
3. 書名 空間立体表示とユーザインタフェース	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Digital Nature Group - 落合陽一デジタルネイチャー研究室
<https://digitalnature.slis.tsukuba.ac.jp/>
Digital Nature Group - 落合陽一デジタルネイチャー研究室
<https://digitalnature.slis.tsukuba.ac.jp/>

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
---------	---------