

令和元年5月27日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00265

研究課題名(和文) 錯触覚を利用した人間の創造性を促す双方向型多自由度触覚デバイス

研究課題名(英文) Haptic-illusion based Interactive multi-degree-of-freedom haptic device which promotes human creativity

研究代表者

嵯峨 智 (SAGA, SATOSHI)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授

研究者番号：10451535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、情報化された仮想物体への直感的な双方向触覚インタラクションを実現する触覚提示手法の確立である。

静電気力ディスプレイでは、触覚の知覚強度の評価実験を行うことで入力波形と知覚刺激との関連性や、オノマトペの関係を調査した。また、剪断力触覚ディスプレイでは、振動方向の独立制御により、再現性の高い触覚提示を実現した。また、空間中での熱放射による錯触覚提示システムとして、レーザー光源を用いたシステムなどを作成した。これにより多自由度かつ拘束なし、高速な応答性をもつ力覚ディスプレイのプロトタイプを完成させた。このように、多自由度双方向触覚提示手法の系統的な理論を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究分野における近年の触覚ディスプレイの多くは、人間の知覚特性としての錯触覚を用いたものが主流となりつつある。しかし、これらのデバイスはテクスチャ感の提示や、指一本への提示にとどまるなど、多自由度な力覚生成を実現できていない。そこで我々は仮想物体との触覚フィードバックを伴う直感的かつインタラクティブな操作の実現を目指した。

我々が提案する熱放射、剪断力による手法は操作者への拘束をなくすことができ、さらに多自由度での提示も実現する手法となる。本手法を確立することにより、インタラクティブな操作を実現できる触覚デバイスの制作も可能になる。さらに、視触覚が一致した情報インタフェースを実現できる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to establish a tactile presentation method that realizes intuitive and interactive haptic interaction with informatized virtual objects. In the electrostatic force display, the relationship between the input waveform, the subjective sensation, and onomatopoeia was investigated by conducting evaluation experiments of tactile perception intensity. In addition, in the lateral force tactile display, a highly reproducible tactile presentation was realized by independent control of the vibration direction.

We also created a system using a laser light source as a complex tactile presentation system by thermal radiation in space. This completes the prototype of a haptic display with many degrees of freedom, no restraint, and high-speed response. Thus, we constructed a systematic theory of multi-DOF interactive tactile presentation method.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：ヒューマンインタフェース インタラクション バーチャルリアリティ 触覚ディスプレイ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンの普及とともに触覚技術への期待が増大している。これら触覚技術はデジタルメディアへの直感的なアクセスを実現し始めた。しかし未だ表示された仮想物体そのものに触れる、操作するといったインタラクションは、直感的とは言えないものに留まっている。これは触覚そのものが入力と出力を同時に備えた感覚にもかかわらず、入力部分としてのタッチパネルのみが技術的に実装されクローズアップされていることに起因する。触覚を介した変形を伴う対象とのインタラクションは、粘土細工を筆頭に、無から有を作り出すことができる人間の最も根源的な創造の形とも言える。そこで、触覚フィードバックを伴うインタラクティブな操作をデジタルで実現することにより、人の創造的活動を促すことができるかと我々は考える。そこで我々は仮想物体との触覚フィードバックを伴う直感的かつインタラクティブな操作を実現し、人の創造性を促進するデバイスのための触覚提示手法の確立を目指す。ここで我々は触覚における錯覚現象である錯触覚に着目し、非装着で多自由度、より強い知覚強度を実現するデバイス群の開発を提案する。

平面上で触覚フィードバックを実現する手法としては、基礎的な錯覚現象の一部は 1990 年代より知られてはいたが、応用としては Bau, et al. (2010) しかし、これらのいずれも、表面のざらつきなど、細かなテクスチャ提示のみに特化しており、仮想物体をつかむなどの触覚を伴うインタラクティブな操作を実現するには不足がある。このような背景のもと、代表者らによる最も代表的な成果としては、タッチパネル上での凹凸感やテクスチャ感を提示可能な錯触覚ディスプレイを実装してきた。

また、何も無い空間に力を感じさせる手法としては、Hoshi, et al. (2009) の超音波フェイズドアレイによる手法などが代表にあげられるが、応答性に欠ける、提示可能な力が小さいなどの問題がある。そこで、基礎的なアイデアのみならず、応用への足がかりに関する手法の提案に関し、代表者らは熱放射による錯触覚提示ディスプレイを提案してきた。

2. 研究の目的

代表者はこれらの背景のもと、これまでの触覚ディスプレイでは実現できなかった多自由度 かつ指などへの装置の拘束がなく、高速な応答性 をもち、触覚フィードバックを伴うインタラクティブな操作を実現する錯触覚ディスプレイ群を提案する。我々は仮想物体とのインタラクティブな操作を実現する手法として、これまでに提案してきた錯触覚を利用する。平面上での錯触覚提示では 剪断力 を用い、空間中での錯触覚提示としては 熱放射 を用いる。これらの手法により、触覚を用いた多自由度での入出力を可能にする。そして、これらの技術を有効に組み合わせることで、仮想物体との触覚フィードバックを伴う直感的かつインタラクティブな操作を実現する触覚提示手法の確立を目指した。

すなわち本研究の目的は、情報化された仮想物体への直感的な双方向触覚インタラクションを容易なものとするデバイスのための触覚提示手法の確立である。そのため、空間中では熱放射、平面上では剪断力といった錯触覚を積極的に利用し、何も無い空間中や平面上での仮想物体との視触覚一致型相互インタラクションを実現する。

3. 研究の方法

本研究の鍵となる技術である、装置への拘束なし に 多自由度 で触覚を提示する手法として、現在のところ 2 つの手法を検討している。一つ目は平面上での錯触覚提示のため、剪断力 を用いる手法である。本手法は凹凸やテクスチャを提示可能であることをこれまでの我々の研究で明らかにしてきた。

本研究においては、この手法を多自由度に拡張することを目指す。また、二つ目として空間中での錯触覚提示のため、熱放射 を用いることを提案する。熱放射を掌などに照射し、侵害性の刺激を忌避する人の特性とあわせて利用することで、多自由度力覚提示を目指す。その後、これら提案する技術と視覚情報との齟齬をなくし、視触覚一致 型の相互インタラクションを実現する手法の研究を行った。

4. 研究成果

平面型触覚ディスプレイのうち、静電気力ディスプレイでは、触覚の知覚強度と触感の評価実験を行うことで入力波形と知覚刺激との関連性を調査した。また、被験者の主観的印象とオノマトペとの対応より、静電気力による触覚ディスプレイの表現能力を検証した。また、剪断力触覚ディスプレイでは、振動方向の独立制御により、これまでの提示よりも再現性の高い触覚提示が可能であることを確認した。このように、多自由度の表現で、平面上での形状知覚を実現する力覚ディスプレイの表現能力を向上させた。

また、人の自己受容感覚と、45 以上の侵害性刺激を忌避する人の特性とあわせて利用することで、人はそこに物体があるかのように感じるシステムを目指した。空間中での熱放射による錯触覚提示システムとして、ハロゲンランプを用いたシステムや、より正確な熱放射の制御を目指しレーザー光源を用いたシステムを作成した。これらのシステムにおいてコンピュータビジョンによる位置あわせの手法、放射熱のキャリブレーション手法について提案した。このように多自由度かつ拘束なし、高速な応答性をもつ空間知覚を実現する力覚ディスプレイのプロトタイプを完成させた。

加えて、これらすべての触覚提示システムは、視覚情報との齟齬をなくしたデザインとして設計されており、空間中や平面上での仮想物体との視触覚一致型フィードバックを実現するものとなっている。以上より、多自由度双方向触覚提示手法の系統的な理論を構築し、今後の触覚インタラクティブデバイスの設計指針を確立することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 51 件)

- [1] 我妻正太郎, 黒木詢也, 嵯峨智, 高橋伸. 再帰型ニューラルネットワークを用いた gan による触覚振動生成. 電気学会研究会資料,, pp. PI-19-043. 電気学会, March 2019.
- [2] 黒木詢也, 嵯峨智. 画像特徴量と振動情報の対応付けを用いた触覚提示手法の検討. 火の国情報シンポジウム 2019, pp. A5-3, March 2019.
- [3] 石丸嵩也, 嵯峨智. 筋電気刺激による触覚オグメンテッドリアリティ. 火の国情報シンポジウム 2019, pp. A5-2, March 2019.
- [4] 池田尚登, 嵯峨智. 球技における撃力提示手法の提案. 火の国情報シンポジウム 2019, pp. A5-4, March 2019.
- [5] Hirobumi Tomita, Shin Takahashi, Satoshi Saga, Simona Vasilache, and Hiroyuki Kajimoto. Toward the modeling of tactile sensation on electrostatic tactile display. In Proceedings of International Display Workshop 2018, December 2018.
- [6] 黒木詢也, 嵯峨智. 画像情報と振動情報の対応づけによる触覚再現性向上の検討. 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp. 1B5-07, 2018.
- [7] 嵯峨智. レーザ光による熱放射を利用した触覚ディスプレイの熱伝達領域および提示感覚の検証. 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp. 1B5-15, December 2018.
- [8] Shotaro Agatsuma, Junya Kurogi, Satoshi Saga, Simona Vasilache, and Shin Takahashi. Signal generation for vibrotactile display by generative adversarial network. In Proceedings of AsiaHaptics 2018, November 2018.
- [9] Satoshi Saga. Thermal-radiation-based haptic display - laser-emission-based radiation system -. In Proceedings of AsiaHaptics 2018, November 2018.
- [10] Hirobumi Tomita, Satoshi Saga, Hiroyuki Kajimoto, Simona Vasilache, and Shin Takahashi. An attempt of displaying softness feeling using multi-electrodesbased electrostatic tactile display. In Proceedings of AsiaHaptics 2018, November 2018.
- [11] 黒木詢也, 嵯峨智. 剪断力の記録振動方向再現による触覚提示の検討. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 予稿集, pp. 1P1-K13, 2018.
- [12] 黒木詢也, 嵯峨智. 熱放射を利用した触覚ディスプレイの放射強度制御. 日本バーチャルリアリティ学会第 23 回大会論文集, pp. 31A-4, 2018.
- [13] 嵯峨智. レーザ光による熱放射を利用した触覚ディスプレイの熱伝達. 日本バーチャルリアリティ学会第 23 回大会論文集, pp. 33A-1, 2018.
- [14] 我妻正太郎, 高橋伸, 嵯峨智. Gan による振動触覚ディスプレイのための信号生成. 日本バーチャルリアリティ学会第 23 回大会論文集, pp. 31A-6, 2018.
- [15] Shotaro Agatsuma, Shinji Nakagawa, Tomoyoshi Ono, Satoshi Saga, Simona Vasilache, and Shin Takahashi. Classification method of rubbing haptic information using convolutional neural network. In Proceedings of International Conference, HCI International 2018, pp. 159-167, July 2018.
- [16] Shotaro Agatsuma, Masafumi Nakagawa, Tomoyoshi Ono, Shin Takahashi, and Satoshi Saga. Daily haptic information collection system using zigbee-based microcomputer. In Proceedings of EuroHaptics 2018, pp. WIP-20, June 2018.
- [17] Satoshi Saga. Thermal-Radiation-Based Haptic Display - Position and Radiation Intensity Calibration -. In Proceedings of EuroHaptics 2018, pp. WIP-18, June 2018.
- [18] 我妻正太郎, 中川真史, 小野智哉, 高橋伸, 志築文太郎, 嵯峨智. 無線型加速度センサと畳み込みニューラルネットワークを用いた触対象の分類. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 予稿集, pp. 1P1-K14, 2018.
- [19] 嵯峨智. 熱放射を利用した触覚ディスプレイのレーザ光源制御. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 予稿集, pp. 1P1-K13, 2018.
- [20] 富田洋文, 嵯峨智, 高橋伸, 梶本裕之. 静電気力を用いた触覚ディスプレイにおける知覚強度の評価. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 予稿集, pp. 1A1-J13, 2018.
- [21] Hirobumi Tomita, Satoshi Saga, Hiroyuki Kajimoto, Simona Vasilache, and Shin Takahashi. A study of tactile sensation and magnitude on electrostatic tactile display. In Proceedings of IEEE Haptics Symposium 2018, pp. 158-162, March 2018.
- [22] 馬場南実, 嵯峨智, 志築文太郎, 高橋伸. 肩の筋疲労測定を用いた姿勢改善支援システム

- の検討. 第 171 回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2017.
- [23] Satoshi Saga. Lateral force produces geometry and texture information on touchscreen. In Proceedings of International Display Workshop 2017, December 2017.
- [24] 我妻正太郎, 中川真史, 小野智義, 嵯峨智, 高橋伸. Zigbee マイコンによる触覚情報収集と深層学習による分類手法. 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, 2017.
- [25] 富田洋文, 嵯峨智, 高橋伸, 梶本裕之. 静電気力を用いた触覚ディスプレイにおける知覚強度と触感の調査. 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, 2017.
- [26] 嵯峨智, 中川真史, 小野智義, 潘振雷, 張嘉袁. Zigbee を利用した日常の触覚情報収集. 第 18 回力触覚の提示と計算研究会予稿集, pp. PI-17-054, November 2017.
- [27] 嵯峨智. 熱放射を利用した触覚ディスプレイの遠隔化. 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp. PI-17-054, November 2017.
- [28] 嵯峨智, 中川真史, 小野智義, 潘振雷, 張嘉袁. Zigbee を利用した日常の触覚情報収集 (知覚情報研究会・力触覚提示デバイス). 電気学会研究会資料. PI= The papers of Technical Meeting on "Perception Information", IEE Japan., 第 2017 巻, pp. 11-14. 電気学会, November 2017.
- [29] 富田洋文, 嵯峨智, 梶本裕之, 高橋伸. 静電気力を用いた触覚ディスプレイにおけるオノマトペによる触感と知覚強度の調査およびモデル化. 第 19 回力触覚の提示と計算研究会予稿集, pp. HDC19-3, November 2017.
- [30] 我妻正太郎, 中川真史, 小野智義, 嵯峨智, 高橋伸. 小型無線マイコンを利用した日常の触覚情報の収集と分類. 日本バーチャルリアリティ学会第 22 回大会論文集, pp. 1D1-05, 2017.
- [31] 嵯峨智. 剪断力の記録振動方向再現による触覚再現性向上の検討. 日本バーチャルリアリティ学会第 22 回大会論文集, pp. 33A-04, 2017.
- [32] Shuta Nakamae, Shumpei Kataoka, Can Tang, Simona Vasilache, Satoshi Saga, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi. Children's social behavior analysis system using ble and accelerometer. In International Conference on Collaboration Technologies, pp. 153-167. Springer, July 2017.
- [33] Satoshi Saga. Thermal-Radiation-Based Haptic Display - Precise Calibration System and Shape Displaying Method -. In Proceedings of IEEE World Haptics 2017, pp. WIP-112, Jun. 2017.
- [34] Hirobumi Tomita, Satoshi Saga, and Hiroyuki Kajimoto. Onomatopoeic-based classification of generated sensation on electro-static tactile display. In Proceedings of IEEE WorldHaptics 2017, pp. WIP-26, June 2017.
- [35] Shuta Nakamae, Shumpei Kataoka, Can Tang, Yue Pu, Simona Vasilache, Satoshi Saga, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi. Ble-based childrens social behavior analysis system for crime prevention. In Proceedings of International Conference, HCI International 2017, pp. 429-439, May 2017.
- [36] 富田洋文, 嵯峨智, 梶本裕之. 静電気力を用いた触覚ディスプレイ上での触覚強度と触感の調査. In Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Fukushima, Japan, pp. 1A1-M06, 2017.
- [37] 古田島裕斗, 嵯峨智, 高橋伸, 田中二郎. 電子書籍の操作性向上を目指した紙書籍ナビゲーションの再現手法. 第 172 回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2017.
- [38] 村田主磨, 富田洋文, 嵯峨智, 志築文太郎, 高橋伸. Ubi-space: スペースキー上での親指スライドを用いたメニューコマンド入力手法. 第 172 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2017.
- [39] 中川真史, 小野智義, 潘振雷, 張嘉袁, 嵯峨智. 加速度センサ付き省電力小型マイコンと機械学習を用いた簡易防犯システム. インタラクション 2017, 2017.
- [40] 嵯峨智. 熱放射を利用した触覚ディスプレイのキャリブレーション. 日本バーチャルリアリティ学会第 21 回大会論文集, pp. 33A-04, 2016.
- [41] 設楽幸寛, 中井優理子, 植松遥也, Yem Vibol, 梶本裕之, 嵯峨智. 観念運動を用いた疑似力覚提示の検討 (第 2 報) - 指置き型デバイス 2.5 次元ディスプレイでの検証 -. インタラクション 2016 予稿集, p. 2C54, Mar. 2016.
- [42] 嵯峨智. 熱放射を利用した触覚ディスプレイによる形状提示手法. 第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, Dec. 2016.
- [43] 設楽幸寛, 中井優理子, 植松遥也, Yem Vibol, 梶本裕之, 嵯峨智. 観念運動を用いた疑似力覚提示 (第 3 報) -1 自由度リニアルールを用いた検証. 第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, Dec. 2016.
- [44] 富田洋文, 嵯峨智, 梶本裕之. 多電極での静電気力を利用した触覚ディスプレイによる形状提示手法の提案. 第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, Dec. 2016.

- [45] 鍋木寛史, 神場知成, 村上隆浩, 嵯峨智, 田中二郎. 消極的なメンバー間でも利用できるグループ休憩自動提案システム. 第 169 回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2016.
- [46] Satoshi Saga. Thermal-radiation-based haptic display - calibration and shape display -. In Proceedings of AsiaHaptics 2016, pp. 67–70, November 2016.
- [47] Takahiro Shitara, Yuriko Nakai, Haruya Uematsu, Vibol Yem, Hiroyuki Kajimoto, and Satoshi Saga. Reconsideration of ouija board motion in terms of haptics illusions (ii) development of a 1-dof linear rail device. In Proceedings of AsiaHaptics 2016, pp. 3–8, November 2016.
- [48] Hirobumi Tomita, Satoshi Saga, and Hiroyuki Kajimoto. Multi-electrodes-based electrostatic tactile display. In Proceedings of AsiaHaptics 2016, pp. 171–174, November 2016.
- [49] Satoshi Saga. Calibration method of thermal-radiation-based haptic display. In Proceedings of EuroHaptics2016, pp. 470–478, July 2016.
- [50] Takahiro Shitara, Yuriko Nakai, Haruya Uematsu, Vibol Yem, Hiroyuki Kajimoto, and Satoshi Saga. Reconsideration of ouija board motion in terms of haptics illusions. In Proceedings of EuroHaptics2016, pp. 139–146, July 2016.
- [51] 嵯峨智. 熱放射を利用した触覚ディスプレイのキャリブレーション手法. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 予稿集, 2016.

〔図書〕(計 3 件)

- [1] 嵯峨 智. 剪断力を利用した形状とテクスチャの重畳提示と触覚ディスプレイの開発, VR/AR 技術の開発動向と最新応用事例 - 感覚提示技術、クロスモーダル、HMD、空中・立体ディスプレイ -, 技術情報協会, 2018.
- [2] 嵯峨 智. 熱放射を利用した形状提示技術, 狙いどおりの触覚・触感をつくる技術, サイエンス & テクノロジー, 2017.
- [3] Kajimoto, H.; Saga, S. & Konyo, M. (Eds.) Pervasive Haptics, Springer, 2016.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：
 国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://saga-lab.org/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。