

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：12612

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19806

研究課題名（和文）身体性の再構築を前提とした異部位触力覚提示の基盤構築

研究課題名（英文）Presentation of fingertip tactile sensation to different parts of the body based on the reconstruction of body map

研究代表者

梶本 裕之（Kajimoto, Hiroyuki）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：80361541

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、逼真的な触力覚提示の開発である。視聴覚を中心とした提示技術が普及しつつある一方で、触覚提示については決定的な普及に至っていない。触覚が真価を発揮する場面は「複数指で物体を把持、認識、操作する」状況であり、そのためには各指に多自由度の力を提示する必要がある。しかしこれは現在でもハードウェア的に非常に難しいものであった。本研究は「指先で触れる際の触力覚は、指先に提示される必要はないのではないか」という着眼点に基づき、指先の触覚を前腕、頭部、背中に転移させる手法によって手先への触覚ディスプレイの装着を不要とするシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2020年以降現在まで続くCOVID-19の社会的情勢は、遠隔作業を行える環境を整えることが我々の社会にとって今後必須となることを示したと言える。遠隔作業で特にネックになるのは触覚提示であり、従来から非常に多くの触覚ディスプレイが提案されながらも、手掌部全体に十分な触覚提示を行い、作業に資するようなデバイスは実現されていなかった。本研究はこうした状況に対して、「触覚提示する部位は必ずしも手先でなくても良い」という観点に立ったものであり、複数の身体部位へのマッピングによってその効果を調べたものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop a realistic tactile presentation method for VR system. While audiovisual presentation technology is becoming more and more popular, tactile presentation has not yet reached a critical mass. The situation in which tactile sensation shows its true value is "grasping, recognizing, and manipulating an object with multiple fingers," and for this purpose, it is necessary to present a multi-degree-of-freedom force to each finger. However, even now, this is very difficult to achieve this due to hardware limitation. In this research, based on the idea that "the tactile force sensation when touching with the fingertips may not need to be presented at the fingertips," we constructed systems that eliminate the need to attach a tactile display to the fingertips by transferring the tactile sensation at the fingertips to the forearm, head, and back.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：触覚 力覚 バーチャルリアリティ インタフェース

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多くの分野で視聴覚を中心とした VR 技術が普及しつつある一方で、触覚提示については長い歴史を持ちながらも決定的な普及に至っていない。これは「使って便利な」一般用触覚提示デバイスがまだ無いためである。触力覚が真価を發揮する場面は「複数指で物体を把持、形状を把握し、操作する」状況であり、そのためには各指に多自由度の力を提示する必要がある(図 1 左)。しかし指先用の多自由度力覚提示は、各指に一自由度の力を提示するのみか、指一本に対して重厚な装置を装着する結果となっており、各指で自在に物体を操る状況を実現できていなかった(図 1 右)。これはそもそも多指に十分な自由度の触力覚を提示し、かつ指の動きを阻害しないアクチュエータが存在せず、コストをかけても作成できる目処が立たないという根本的な問題によるものであった。



図 1:(左)複数指による把持、認識、操作 (右)従来研究。上段:多指 1DoF 力提示、1 指 2DoF 力提示、1 指 3DoF 力提示、下段:感覚義手、足裏触覚提示

本研究の第一の着眼点は、「指先で触れる際の触力覚は、指先に提示される必要はないのではないか」というものである。指先を提示対象としなければ、例えば前腕の大面積に提示装置を配置でき、アクチュエータに課せられる制約は劇的に軽減される。こうした異部位提示は、感覚義手の分野で喪失部位の感覚を残存部位に提示するという形で数多く提案されてきたが、振動・圧迫を記号的に伝えるに過ぎなかった。また他の手指や足裏に提示する提案もあるものの、認識や作業にとってもっとも重要な多自由度の力提示は行われておらず、皮膚感覚の分布提示に留まっていた。

本研究の第二の着眼点は、「当初は不自然でも、必要十分な情報を提示することによって、一定の訓練で後天的に(あたかも義手使用者が義手を自身の手と感じるがごとく)「自然」と思える触力覚提示が実現できるのではないか」というものである。指先の感覚を指先以外に提示するのであるから、当然、当初の感覚は「自然」とは言い難いと思われる。しかし各指の力方向情報まで含めて提示しているのであるから、多くの認識や作業にとって十分な情報量を提示しているはずであり、道具として使いうる「納得感」までは実現できると考える。ここでさらに訓練によって、「自然」な感覚すなわち自己身体感につながるなら、現実的な手法によって迫真性を持ったディスプレイが実現したといえる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、バーチャルリアリティ(VR)遠隔操縦用の、真に迫真的な触力覚提示の基盤構築である。そのために現在の根本的な問題であるアクチュエータによる制約を、「指先で触れて感じる触力覚を指先以外の身体部位に提示する」、異部位提示手法によって解消する。

3. 研究の方法

本研究は次の2つの段階を踏む。第一段階はハードウェアの設計、評価である。まず人差し指一本に対応して人差し指 前腕触力覚変換を実現する。人差し指で VR 空間の物体を垂直・水平方向になぞった際の提示部位と提示方向の最適化を図る。次に親指と人差し指の2指を対象を移し、把持作業を中心として前腕部への力触覚変換を実現する。

本研究の第二段階では、長期利用による評価を目指す。すでに述べたように本研究は感覚代行技術をヒントに、長期利用によって異部位触力覚提示を自然かつリアルと感じる様になることを見込んでおり、これを検証する。

4. 研究成果

まず人差し指一本に対応して人差し指 前腕触力覚変換を実現した。人差し指で VR 空間の物体を垂直・水平方向になぞった際の提示部位と提示方向の最適化を図った。次に親指と人差し指の2指を対象を移し、把持作業を中心として前腕部への力触覚変換を実現した。次に異部位への触覚提示(触覚転移)の効果検証を行った。まず指から前腕への触覚転移については、3本指の力情報を方向も含めて提示するシステムを構築した(図2)。

指先の触覚を顔部へ提示する方法も検討した(図3)。これは頭部搭載型ディスプレイ(HMD)での利用が考えられる。HMDに内蔵した空気吸引型の触覚提示装置によって複数の指の触覚情報を提示する手法を検討し、HMDに内蔵した空気吸引型の触覚提示装置が生じさせる皮膚変形についてFEM解析を行った。

さらに指先の触覚を背面に提示する方法も検討した(図4)。当初は振動によって触覚転移を実現していたが、感覚の空間的解像度が低いという問題に直面し、圧力提示も合わせて行うシステムを構築した。



図2：多指に対する触覚を前腕部に転移させるシステム

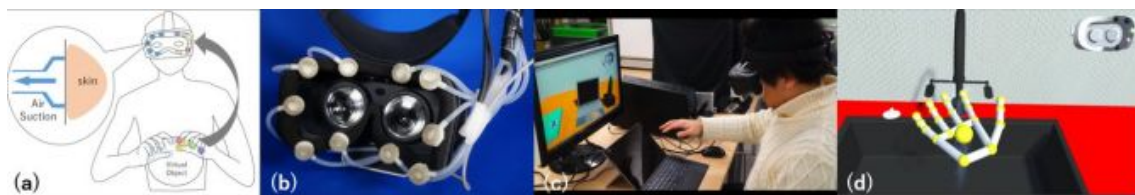


図3：手掌部に対する触覚を空気吸引によって顔面に転移させるシステム

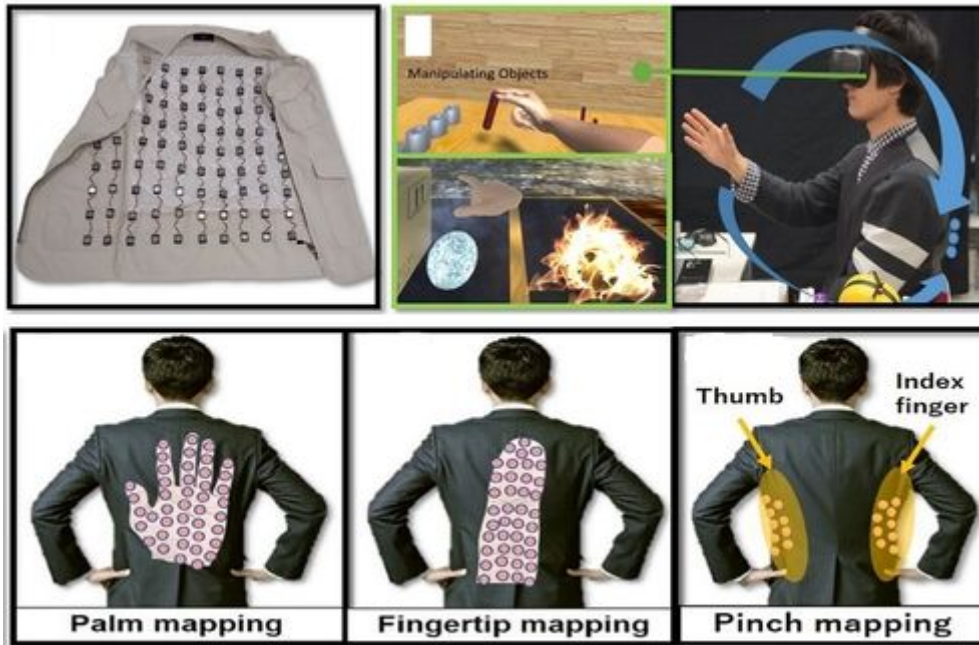


図 4：手掌部に対する触覚を振動によって背中に転移させるシステム

本研究では当初長期利用による評価も合わせて行う予定であったが、この評価は現時点では行えていない。「異部位触覚転移はどこまで自己の身体の拡張として自然に受けいられるか」という問いに対する回答を行うには、VR 環境中のみでの実験ではなく、実環境で生活の中での評価をする必要がある。別途開発したグローブ型の触覚センサを用いることで、実際の指先に感じる触覚を他の部位、例えば背中に提示することが可能であると考えており、そのプロトタイプを作成している。今後はこうした装置を中心として長期装用の高価を検証していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 T.Moriyama, H.Kajimoto
2. 発表標題 Simple is Vest: High-Density Tactile Vest that Realizes Tactile Transfer of Fingers
3. 学会等名 SIGGRAPH ASIA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 亀岡嵩幸, 今悠気, 梶本裕之
2. 発表標題 顔面への吸引触覚提示における感覚提示手法の検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Moriyama, H.Kajimoto
2. 発表標題 HARVEST: High-Density Tactile Vest that Represents Fingers to Back
3. 学会等名 SIGGRAPH (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takayuki Kameoka, Yuki Kon, Takuto Nakamura, Hiroyuki Kajimoto
2. 発表標題 Haptopus : Transferring the Touch Sense of the Hand to the Face Using Suction Mechanism Embedded in HMD
3. 学会等名 6th ACM Symposium on Spatial User Interaction (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Takayuki Kameoka, Yuki Kon, Takuto Nakamura, Hiroyuki Kajimoto
2 . 発表標題 Haptopus : HMD with Built-in Pressure Sense Presentation Device by Suction Stimulus
3 . 学会等名 Asia Haptics 2018
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Moriyama, Nakamura, Kajimoto
2 . 発表標題 Wearable Haptic Device that Presents the Haptics Sensation Corresponding to Three Fingers on the Forearm.
3 . 学会等名 The 6th ACM Symposium on Spatial User Interaction (SUI 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Moriyama, Kajimoto
2 . 発表標題 Wearable Haptic Device that Presents the Haptics Sensation of the Finger Pad to the Forearm and Fingertip
3 . 学会等名 Asia Haptics 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Moriyama, Nishi, Nakamura, Vibol, Kajimoto
2 . 発表標題 Hap-Link : Wearable Haptic Device on the Forearm that Presents Haptics Sensations Corresponding to the Fingers
3 . 学会等名 SIGGRAPH Asia 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayuki Kameoka, Yuki Kon, Takuto Nakamura, Hiroyuki Kajimoto
2. 発表標題 Haptopus : Haptic VR Experience Using Suction Mechanism Embedded in Head-mounted Display
3. 学会等名 SIGGRAPH Asia 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森山, 中村, 梶本
2. 発表標題 指先の力触覚を前腕に提示するウェアラブルデバイスの開発 (第 3 報) : 3 本指に対応したデバイスの開発
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2018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