



足の動作に連動するバーチャルハンドを用いた身体認知の研究

Body Cognition with Foot Controlled Virtual Hand

佐々木智也¹⁾, 齊藤寛人²⁾, 脇坂崇平²⁾, 檜山敦²⁾, 稲見昌彦²⁾

Tomoya SASAKI, Hiroto SAITO, Sohei WAKISAKA, Atsushi HIYAMA, and Masahiko INAMI

1) 東京大学大学院 工学系研究科 (〒 153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1, sasaki@star.rcast.u-tokyo.ac.jp)

2) 東京大学 先端科学技術研究センター

概要: ヒトの身体認知は感覚刺激の統合によって形成されると考えられており, 身体部位が自己身体とは別の対象に対して投影されることが示唆されている. 本研究では, 足の動作に連動するバーチャルハンドに使用に伴う身体認知の変容について調べることを目的とする. 本稿では, 足指の動作と足先の位置姿勢を検出するセンサ, および足裏への触覚提示を行うデバイスを提案とシステムの動作検証を行った.

キーワード: クロスモーダル, 感覚・知覚, 身体性, 人間拡張

1. はじめに

ヒトの身体認知は, 複数の感覚刺激の統合によって形成されていると考えられており, 物理的な身体と同一であるとは限らないことが示唆されている. このような身体認知の変容は脳の可塑性によって生じる. 先行研究では, 身体の一部を事故などで失った患者を対象に, 幻肢痛の治療を目的に研究が進められ, 脳内の身体表象, 身体像や身体図式について議論された [1]. 近年は, バーチャル空間でのアバタの身体を対象に, 身体認知の変容に関する研究が盛んに行われている [2].

一方, ヒトの身体能力や認知能力の拡張を目指している人間拡張工学と呼ばれる研究分野がある. 人間拡張工学においては, 機械やセンサ, コンピュータといった構成要素がヒトを含んだシステムの中で適切に作用することが重要である. そこで, これらの構成要素がユーザにとってまるで身体の一部であるかのように認知されるためにヒトの身体認知の変容を工学的に扱い, 身体性を自由自在に編集するための試みが行われている [3].

本研究では, 足の動作に連動した上肢との運動・感覚の相互作用による身体認知の変容について調べることを目的に, 図 1 に示すようなユーザの身体部位の一部をバーチャルハンドに連動させる. 本稿では, 実験に使用するバーチャルハンド操作システムと, 足指の動作と足先の位置姿勢を検出するセンサおよび足裏への触覚提示を行うデバイスについて述べ, その動作検証を行う.

2. 関連研究

身体認知の変容を調べる方法として, 身体認知に関する錯覚を対象とした研究がある.

受動的感覚刺激により生じる錯覚としては, ラバーハンドイリュージョン [4] が知られている. 被験者の眼前にゴム製のダミーハンドを置き, 被験者自身の手を見えない位置に置く. ダミーハンドと被験者の手を同時にブラシでなぞることで, ブラシをなぞる視覚と触覚刺激の同期により, 目の前のゴムの手を自分の身体の一部だと錯覚する現象である. これは, 被験者が受動的に刺激提示を受けることによる身体認知の変容であると思なすことができる.

被験者の能動的動作により生じる身体認知の変容を対象とした研究としては, バーチャルハンドイリュージョン [5] が知られている. 被験者の指の動きと連動して VR 環境内のバーチャルハンドの指が動くことで, バーチャルハンドを自分の身体の一部だと感じる錯覚である.

このような身体認知の変容は上肢に限らず, 全身や下肢, また, バーチャルハンドの形状がヒトの手に限らない場合においても生じることが報告されている [6, 7, 8]. いずれも, 複数の感覚刺激 (視覚, 触覚, 運動を伴うような体性感覚) の統合によって引き起こされると考えられている.

こうした先行研究の多くは, 錯覚を生じさせるために用いる部位として被験者の部位と同じ形状を用いる. これに

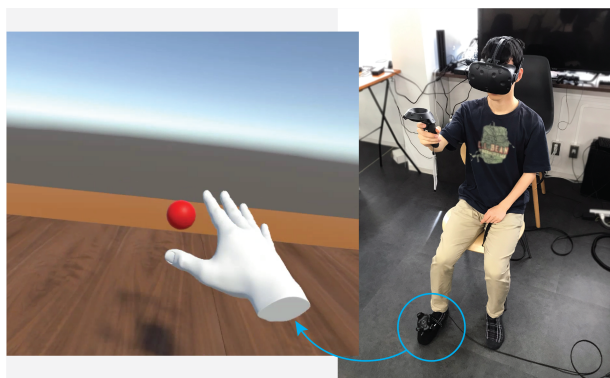


図 1: 足動作に連動するバーチャルハンド

より、身体認知の変容を比較的容易に起こせるが、その変容はもとの身体表象の一時的なドリフトであり、異なる身体部位の表象が生起されているわけではない。一方の指の動きによって対側上肢に対応するバーチャルアームを操作する研究 [9] や足によるロボットアームの制御 [10, 11, 12] は、上述の身体認知の変容における新たな身体部位の表象を生起させるための取り組みとして捉えることができる。

3. バーチャルハンド操作システム

3.1 システム概要

本研究では、VR 空間内でバーチャルハンドを操作する実験環境を構築した。視覚提示装置にはヘッドマウントディスプレイ (HTC Vive) を用いた。入力装置には Vive コントローラおよび後述の足用デバイスを用いた。ラップトップコンピュータ (ASUS GL502VS, OS: Windows 10, CPU: Intel Core i7-7700HQ, RAM: 16.0GB, GPU: NVIDIA GeForce GTX 1070) を使用し、Unity を用いて VR 環境を構築した。

3.2 足用デバイス

ユーザの足の動きと連動したバーチャルハンドの制御、および足裏への触覚提示を行うため、図 2 に示す足用デバイスを製作した。



図 2: 足用デバイスの構成

足の動きとして、空間中の足先の位置姿勢および、足指の開閉状態を測定する。足先の位置姿勢の測定は Vive トラッカーを用い、デバイス上部に取り付けた。足指の開閉測定には、バネとワイヤ、ポテンシオメータ (アルプス電気 RDC506018A) を組み込んだ変位センサを製作して用いた (図 3)。製作した変位センサはワイヤの長さの変化量を抵抗値としてアナログ信号で取り出せる。先行研究 [10, 11, 12] において、足指の開閉は曲げセンサを用いて検出していた。この方式では、センサ取り付け時の位置によるセンサ出力のばらつきが大きかった。本センサは、足指の開閉による長さの変化を検出するため、センサ出力のばらつきが小さくなる。このセンサを 1 つデバイス先端に取り付けた。

足裏への触覚提示を行うために、DC モータ (MAXON 118387) を 2 つ用いて南澤らのベルト駆動による触覚提示機構 [13] を導入した。変位センサの読み込みとモータの制御はデバイス内部の Arduino Pro Micro で行い、シリアル通信で PC と接続した。

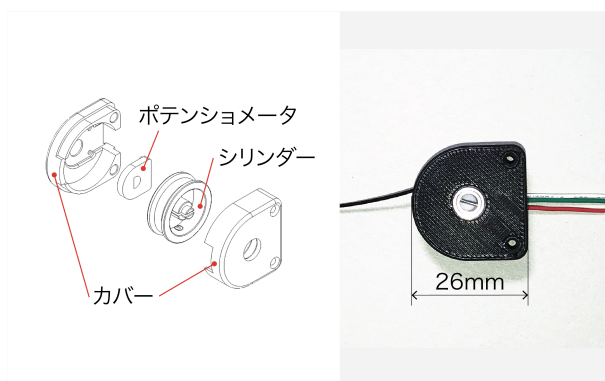


図 3: 製作した変位センサ

3.3 ソフトウェア

Unity を用いた VR 環境内に手首から先のバーチャルハンドモデルを配置し、センサ情報による制御を行う。バーチャルハンドは、Vive コントローラを用いた手による操作、または足用デバイスを用いた足による操作の 2 種類の方法に対応している。バーチャルハンドの位置姿勢は、Vive コントローラまたは Vive トラッカーからの取得値にそれぞれ位置と回転のオフセットを加えたものを用いる。ハンドは、開いた状態を最大、閉じた状態を最小としてコントローラのトリガーボタンまたは足用デバイスの変位センサの値を用いて制御する。変位センサの値は、デバイス取り付け時にユーザ毎に最大値と最小値のキャリブレーションを行う。

バーチャルハンドと VR 環境内のオブジェクト間で当たり判定を行い、ハンドがオブジェクトに触れている時、足裏への触覚提示を行うことができる。

4. 動作検証

構築した実験用システムの動作確認として、図 4 に示すようなバーチャルハンドで赤い球状のターゲットオブジェクトに触るシーンを作成した。

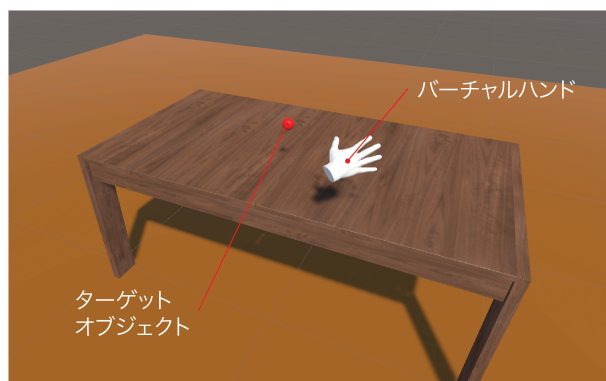


図 4: 動作検証用 VR 環境

成人男性 3 名に対して動作検証を行った。評価者には、右手でコントローラを握ってもらい、右足に足用デバイスを取り付けた (図 1)。手による操作、足による操作の切り替えおよび触覚提示の有無を手動で切り替えた。

図 5 に足指の動作と連動したバーチャルハンドの開閉操作について示す。デバイス取り付け後、センサのキャリブ

レーションを行うことで評価者の足指の動きに連動して動作すること、センサによるシステムの遅延が小さいことを確認した。



図 5: 足指動作によるバーチャルハンドの把持

評価者の反応として、バーチャルハンドとターゲットとの当たり判定の条件によって指のモデルがめり込むことがあり、違和感があるとの報告を受けた。触覚提示は、提示位置および提示方法に対する違和感などの報告はなかった、また、外部からの観察によると、触覚提示の有無は操作性に対しては寄与しないようにみられたが、詳細は今後の心理物理実験を通じて検証する。

以上から、製作したシステムを用いた本実験に向けて、主にハンドモデルの当たり判定処理の改良が必要であると考えられる。一方で、システムの遅延やセンサによる測定は実験に影響のない範囲で動作していると考えられる。これらのパラメータには遅延やフィルタ処理などが加えられるので実験条件として検討できるといえる。

5. まとめと今後の展望

本稿では、足の動作に連動するバーチャルハンドに使用に伴う身体認知の変容について調べることを目的に製作したバーチャルハンド操作システムと足用デバイスの概要について述べ、動作の検証を行った。今後は、本システムを用いた心理物理実験の設計と改良を行い、被験者実験を通じて足の動作に連動した上肢との運動・感覚の相互作用による身体認知の変容について調べることを目的について調査を行う。

謝辞 本研究は、JST ERATO JPMJER1701 の支援を受けたものである。

参考文献

[1] Vilayanur S Ramachandran and Diane Rogers-Ramachandran. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, Vol. 263, No. 1369, pp. 377–386, 1996.

[2] Mel Slater, Bernhard Spanlang, Maria V Sanchez-Vives, and Olaf Blanke. First person experience of

body transfer in virtual reality. *PloS one*, Vol. 5, No. 5, p. e10564, 2010.

- [3] 松井和輝, 古川正統, 安藤英由樹, 前田太郎. 生得的でない身体部位追加のための身体像の伸展. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 20, No. 3, pp. 243–252, 2015.
- [4] Matthew Botvinick and Jonathan Cohen. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, Vol. 391, No. 6669, pp. 756–756, 1998.
- [5] Maria V Sanchez-Vives, Bernhard Spanlang, Antonio Frisoli, Massimo Bergamasco, and Mel Slater. Virtual hand illusion induced by visuomotor correlations. *PloS one*, Vol. 5, No. 4, p. e10381, 2010.
- [6] Daniele Romano, Elisa Caffa, Alejandro Hernandez-Arieta, Peter Brugger, and Angelo Maravita. The robot hand illusion: Inducing proprioceptive drift through visuo-motor congruency. *Neuropsychologia*, Vol. 70, pp. 414–420, 2015.
- [7] Simona Crea, Marco D'Alonzo, Nicola Vitiello, Christian Cipriani. The rubber foot illusion. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, Vol. 12, No. 1, p. 77, 2015.
- [8] Ferran Argelaguet, Ludovic Hoyet, Michaël Trico, and Anatole Lécuyer. The role of interaction in virtual embodiment: Effects of the virtual hand representation. In *Virtual Reality (VR), 2016 IEEE*, pp. 3–10. IEEE, 2016.
- [9] 近藤亮太, 杉本麻樹, 南澤孝太, 星貴之, 稲見昌彦, 北崎充晃. 指と腕の連動による身体部位リマッピング. 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017.
- [10] 佐々木智也, 南澤孝太, 北崎充晃, 稲見昌彦. 人間拡張のためのユーザの脚部位を用いたロボットアームの制御手法. *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017*, pp. 2A2–K03. 一般社団法人日本機械学会, 2017.
- [11] Tomoya Sasaki, MHD Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Kouta Minamizawa, and Masahiko Inami. Metalimbs: multiple arms interaction metamorphism. In *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies*. ACM, 2017.
- [12] 佐々木智也, サライジムハマドヤメン, フェルナンドチャリス, 南澤孝太, 北崎充晃, 稲見昌彦. 部位代替による複数の腕を用いた身体変容の研究. 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017.
- [13] Kouta Minamizawa, Souichiro Fukamachi, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi. Gravity grabber: wearable haptic display to present virtual mass sensation. In *ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies*, p. 8. ACM, 2007.