



Editable arm: 状況に応じた腕の複製と融合

Editable arm: Situational arm duplication and fusion

萩原隆義¹⁾, 杉本麻樹²⁾, 稲見昌彦³⁾, 北崎充晃¹⁾

Takayoshi HAGIWARA, Maki SUGIMOTO, Masahiko INAMI, and Michiteru KITAZAKI

- 1) 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, hagiwara@real.cs.tut.ac.jp, mich@tut.jp)
 2) 慶應義塾大学理工学部 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, sugimoto@ics.keio.ac.jp)
 3) 東京大学 (〒113-0033 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1, masahiko_inami@ipc.i.u-tokyo.ac.jp)

概要: 人は 2 本の腕を持っているが, VR やロボティクスを用いて制御方法や形態を変化させることが可能である. 両腕を 1 つの腕に融合する, 片手で両腕を制御する, 両腕で 4 本の腕を制御するという 3 つの形態を自在に変化させることのできる Editable arm を開発した. 精度を重視する作業や, 速度・量を重視する作業といった様々な状況に応じて制御と形態を変化させることにより, 作業の最適化が可能となることが期待される.

キーワード: 人間拡張, 拡張身体, 行動・認知, 心理

1. 序論

人は 1 つの身体を有し, 1 つの自己を持つのが一般的である. しかし, 2 本のラバーハンド[1]や 2 つの身体[2]に対しても身体所有感の錯覚が誘発可能であることが報告されている. また, Fusion[3]では, 1 人の身体にロボットアームを取り付け 4 本の腕がある状態で, 2 人で作業を行うことが想定されている. このシステムでは, 実際の身体を操作する人と遠隔地でロボットアームを操作する人が協調して作業を行ったり, 遠隔地の人が作業を教示したりできる. 一方, 1 つのバーチャルな身体を 2 人で共有するシステムも開発されている[4-5]. 2 人が共通の目標を持って課題を行うことで, 1 つの腕を 2 人で共有した場合でも行為主体感を誘発できる.

このような 1 対多対応の身体性認知の研究やシステム開発は, 複数の人やアバタを対象としている. 本研究では, 1 人が有する身体部位「腕」を複製して多数化したり, 複数の腕を融合したりするシステム Editable Arm を開発した. さらに, このシステムを用いて, 実験参加者のボールリレー課題の運動パフォーマンスや主観的作業負担についても検討した.

2. システム

ユーザーが操作するアバタの腕の動きは, ヘッドマウントディスプレイ (HMD: HTC Vive Pro, 1440 x 1600 ピクセル, 視野角 110 度, リフレッシュレート 90 Hz) と Vive コントローラー, Vive トラッカーの位置をもとに, Final IK により生成した. ユーザーは HMD を通して, コンピュータ (DELL XPS 8930, Core i7-9700, 32GB, GeForce RTX 2060

SUPER) で生成した刺激を両眼で観察した (図 1).

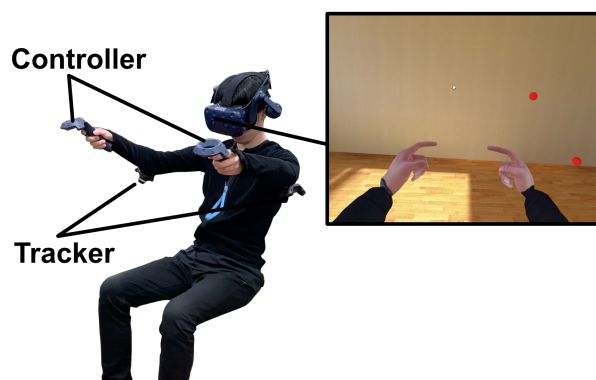


図 1: 装置と刺激

アバタは部屋 (縦 4.5m x 幅 5.5m x 高さ 2.5m) の中の椅子に背中をつけて座り, ユーザーは 1 人称視点からアバタ身体を観察した (図 1 右). アバタの腕の制御条件は, Normal, Shared, Duplicated, Duplicated x2 のいずれかであった (図 2). Normal 条件では, ユーザーの腕の動きがそのままアバタに反映された. Shared 条件では, ユーザーの左右の腕の動きを 50% ずつの割合でアバタの腕に統合した. Duplicated 条件では, ユーザーの右手の動きがアバタの両腕に複製して反映された. ユーザーは右手のみを動かしてアバタの腕を制御した. Duplicated x2 条件では, Duplicated 条件に加え, ユーザーが左手を動かすとその動きが反映されるアバタの両腕を追加し, 合計で 4 本のアバタの腕を制御した.

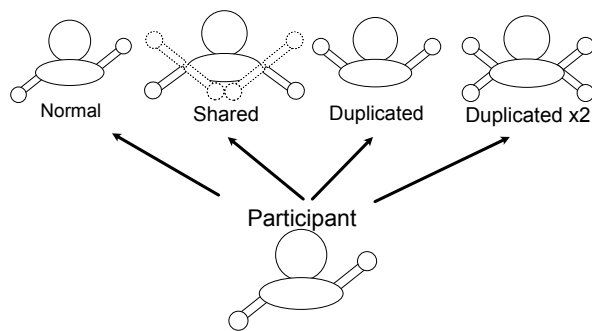


図 2: アバタの腕の制御条件

3. ユーザー評価

3.1 方法

各条件で、バーチャル空間のランダムな位置に提示される赤いボール (直径 2cm) をアバタの人差し指の先端で触るタスクを行った。アバタの人差し指の先端とボールが 500ms 触れた場合を接触とみなし、瞬時に違う位置に出現した。ボールはアバタの前方に同時に最大 2 個出現し、参加者にはどの腕でどの順番で触ってもよいと教示した。2 つのボールをそれぞれ 20 個触ることを 1 セッションとし、各条件で 5 セッション繰り返した。5 セッション後、参加者は主観的作業負荷を評価するため、NASA-TLX (NASA Task Load Index) [6] に回答し、3 分間の休憩をとった。参加者には現在どの制御方法であるかを提示した。

3.2 評価

ユーザビリティを検討するため、数名の参加者がシステムを体験した。体験全体を通して、「Shared 条件が疲れた、大変だった」、「Shared 条件では実際の手の位置との乖離があるため、ロボットを操作しているような感じがした」、「Duplicated が思っていたよりも難しかった」、「Duplicated x2 が操作していて楽しい」などの感想を得た。

また、タスクの完了時間を計測したところ、Normal 条件が最も早く、次いで Duplicated x2, Duplicated, Shared となった。セッションを繰り返すごとに完了時間が短くなる傾向が見られた。

4. 考察

ユーザーは概ね腕の複製・融合システムを使いこなすことができた。一方で以下の様な検討すべき事項が明らかとなった。

実験参加者は Shared 条件に対し、疲労や自分の腕との乖離、タスクの難しさを感じた。ただし、タスクを繰り返し行うことで、完了時間が短くなる傾向が見られた。Shared 条件では、アバタの右腕を動かす際に、参加者の右腕の動きはそのまま反映されるが、左腕の動きは回転を反転させた。そのため、操作には慣れが必要であった。

Duplicated 条件では、実際に体験する前のイメージよりも難しかったという感想があった。Shared 条件と同様に、

アバタの左 (反対側の) 腕の制御は参加者の右腕の回転を反転させていた。そのため、アバタの左側に出現するボールを左腕で触るためには、参加者は右腕を右側に動かす必要があり、直感的な操作とは逆になっていた。また、参加者は右腕しか動かさないため、他の条件と比較して右腕が疲れるという感想があったことから、身体的負荷が大きいと考えられる。

Duplicated x2 条件では、面白い、楽しいなどの好意的な感想が多かったが、腕が 4 本になることで、情報が多くなり邪魔だったという感想があった。ボールに触りに行く際に、どの腕を使用するかを選択肢が増えることで、認知的な負荷が高くなったと考えられる。Duplicated や Duplicatedx2 は、事故や障害等で片腕を動かさない方が、健常者と同等の作業を行うことを可能にすることが期待される。

謝辞 本研究は、JST ERATO Grant Number JPMJER1701 (稲見自在化身体プロジェクト) および JSPS 科研費 (JP 20H04489) の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Ehrsson, H. H. (2009). How many arms make a pair? Perceptual illusion of having an additional limb. *Perception*, 38(2), 310-312.
- [2] Heydrich, L., Dodds, T., Aspell, J., Herbelin, B., Buelthoff, H., Mohler, B., & Blanke, O. (2013). Visual capture and the experience of having two bodies—evidence from two different virtual reality techniques. *Frontiers in Psychology*, 4, 946.
- [3] Saraiji, Y., Sasaki, T., Matsumura, R., Minamizawa, K., and Inami, M., (2018). Fusion: Full Body Surrogacy for Collaborative Communication, *SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies*, Vancouver, Canada
- [4] Fribourg, R., Ogawa, N., Hoyet, L., Argelaguet, F., Narumi, T., Hirose, M., & Lécuyer, A. (2020). Virtual co-embodiment: evaluation of the sense of agency while sharing the control of a virtual body among two individuals. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, doi: 10.1109/TVCG.2020.2999197
- [5] Hagiwara, T., Sugimoto, M., Inami, M., & Kitazaki, M. (2019). Shared body by action integration of two persons: Body ownership, sense of agency and task performance. *In 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 954-955.
- [6] Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *In Advances in psychology*, Vol. 52, pp. 139-183, North-Holland.