

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540100

研究課題名(和文) Pseudo-hapticsを用いた実世界における精密作業の支援

研究課題名(英文) Supporting precise manual-handling task using pseudo-haptics

研究代表者

谷川 智洋 (Tanikawa, Tomohiro)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任准教授

研究者番号：80418657

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では複数の種類の作業において視覚的誤差の拡大提示によって擬似触力覚が生起され、実空間の作業精度が向上することがわかった。どちらの作業でも精度が向上する最適な拡大率は2.0-2.5と考えられ、それ以上では作業時間の増加や逆に精度の悪化などの弊害があることも示唆された。この値は他の作業でも有効となる可能性がある。今後の展望として、目標動作を自動推定する技術と組み合わせ自由な動作へ応用する、視覚変化と誘導の関係を明らかにし任意の誘導を可能にするなどが考えられる。また、訓練装置としての利用も期待出来る。

研究成果の概要(英文)：Precise manual handling skills are necessary to create art and to paint models. However, these skills are difficult to learn. In our research, we propose a system using pseudo-haptics to support accurate work without using any mechanical devices. We considered the principle that when a pseudo-haptic force is generated on a user's hand in the opposite direction of a target path, the user moves her/his hand to the right direction reflexively to repel the force. Based on this idea, we created a system that can modify users' hand movement by showing a dummy hand using a mixed reality display, which supports precise manual-handling tasks. The results showed that an expansion of the deviation between the target route and the actual hand position improved accuracy up to 50%. According to experimental results, we find that a gain of about 2.5 gives an ideal balance between the working precision and the drawing speed.

研究分野：複合現実感

キーワード：作業支援 バーチャルリアリティ 複合現実感 マルチモーダルディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

加工の技術が発達した現代においても芸術品や伝統工芸などでは手作業は不可欠であるが、細かい作業は熟練者でも難しい。このような問題に対し、機械的な装置による触覚提示を利用した支援研究が様々になされている。しかし、リンク機構による自由度の制限やメンテナンス性が悪いなどの問題を抱えている。一方で電気刺激や知覚特性を利用して、物理的な力を発生させずに力を感じさせる擬似触力覚という現象がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ユーザの動きに応じて Pseudo-haptics による擬似的な力覚フィードバックを提示することで、実際に力や振動を発生させる装置を用いずに、実環境においてユーザが意図通りの細かい動きをできるように支援する手法の実現にある。Pseudo-haptics 効果とは視覚触覚間相互作用により物理的なデバイスなしに擬似的に触力覚を生起させるものであり、ディスプレイ内でのマウス等によるバーチャル環境下での作業における精度や安定性の向上を可能としている。本研究ではこの考え方を実環境での手を使った作業に拡張し、細かい作業を支援するため視野の一部を拡大してユーザに提示する際に、その拡大領域を操作し、視覚提示する手指の動きを空間的・時間的に変調して Pseudo-haptics を生起させることで、作業の精度と安定性の向上を図る。

3. 研究の方法

本研究では、MR を利用した視覚変化によって実空間での精密作業中に擬似触力覚を生起させることで作業の精度向上を図るシステムを考案する。ユーザは MR 環境下で作業を行い、実空間の動作が目標動作からそれたとき、誤差が拡大するように映像に変化を加えて提示する。それにより、その方向に擬似触力覚が生起され、ユーザは反射的にその力に抗うように手に力をいれてしまい、結果として誤差が縮小する方向に実空間の動作が補正されると考えた。本手法では映像に文字や目盛などの重畳を行わないため、作業時の視覚情報がより自然であるという特徴もある。自然な作業環境を維持した支援は、訓練装置としての利用や他の支援方法と同時に利用する際に有利であると考えられる。本研究では、この提案手法を描画作業(位置合わせの作業)とスマートフォンでの撮影における水平取り(角度合わせの作業)の支援に適用し効果を検証した(Fig 1, 2)。



Fig. The positional relationship between the real hand and the dummy hand

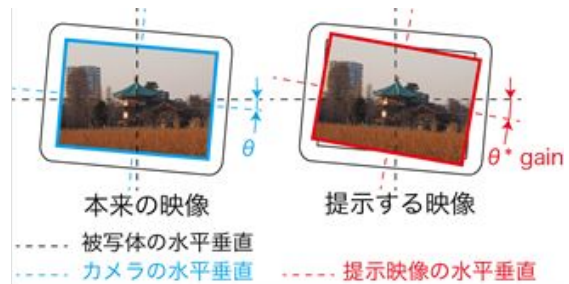


Fig.2 The relationship between the original image and the dummy image.

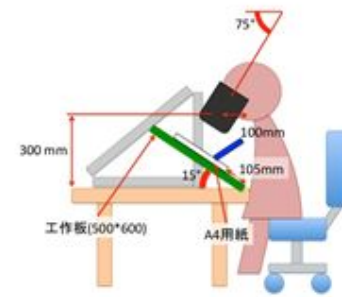


Fig.3 Experimental setup (Ex.1)

4. 研究成果

(1) 描画作業支援

提案手法が身体の並進運動の精度を要する作業の支援に有効か検証するため、本手法を描画作業に適用し精度向上の効果を検証する実験を行う。実験では Head mounted display (HMD)を使用したビデオシースルーの MR 環境を用いた。作業中に目標経路から描画線がずれたとき、目標経路に対して法線方向に誤差が拡大するように見かけの手の位置を変化させる(Fig 1)。また、作業精度だけでなく作業時間への影響も調べた。

被験者はフレームに固定した HMD を覗きながら指定した図形をペンで描画する作業を行う。HMD 前面のカメラから被験者の手元の映像を取得し、予め取得しておいた背景画像に被験者の手とペンの領域をクロマキー合成して提示する(Fig.3)。合成時に手とペンの領域を並行移動して重畳することでずれを拡大提示する。描画中はできるだけ途中で止まらずに滑らかに描画するように指示した。視覚変化なしの状態ですべて3回練習を行った後に計測を開始した。平面図形の構成要素である線分、円、角を描画対象とした(Fig.4)。

被験者は 20 代の男女で、線分が 9 名、円が 6 名、角が 10 名で、全員右利きである。

線分描画では水平方向に離れた二点を提示し左から右へ線分を描画させた。円の描画では水平方向に等間隔に離れた三点を提示し左右の点を結ぶ線分が直径となる円を左の点から時計回りに描画させた。角の描画では線分を提示し、その線分が正三角形の下辺となるように残る二辺を一筆で描画させた。ずれの拡大方向は法線方向だが、描画の不連続を防ぐため角の描画ではペン先が目標経路の下側にある時は下辺の midpoint 方向とした。拡大倍率 (gain) は直線では 0.0 から 4.0 まで、円では 0.5 から 4.0 まで、角では 0.5 から 3.5 まで 0.5 刻みで、各 gain 3 回ずつを 1 セットとし 3 セット描画させた。セット内で提示する gain の順序はランダムとし、疲労を考慮しセット間には 1 分間の休憩をもうけた。

目標経路と実際のペン先の位置との法線方向のずれを二乗し足し合わせたものを score とし作業精度の指標とする。被験者間の個人差をなくすため視覚変化なし (gain=1.0) を基準に正規化した。被験者間の作業時間は線を描くのにかかった時間を測定し score と同様に正規化した。

各描画の gain と score の関係および gain と作業時間の関係を Fig.5 に示す。エラーバーは標準誤差を示す(後のグラフも同様)。作業精度は視覚変化なし (gain=1.0) のときと比較し、線分描画では gain が 2.0 以上で有意に改善、円では gain が 0.5 で有意に悪化し 2.0 以上で有意に改善した。角では gain が 2.0 から 3.0 のとき有意に改善した。一方、作業時間はどの描画でも gain が 3.5 以上のとき有意に増加した。

作業精度の改善は線分、円において gain 2.0 で、角では gain 3.0 で頭打ちになっており、作業時間は gain 3.5 以上で増加していることから 2.0 から 3.0 の間に作業精度と作業時間のバランスのとれた gain が存在すると考えられる。

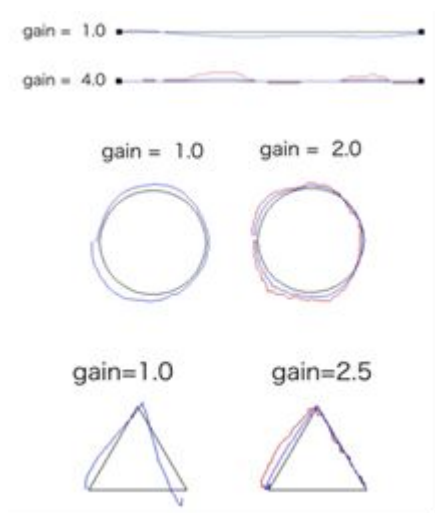


Fig.4 Example of line drawing result

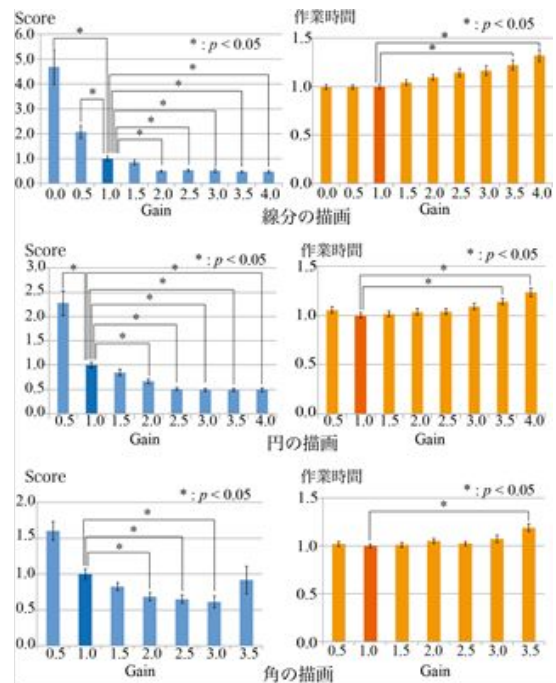


Fig.5 Relations between the gain and the score and between the gain and the drawing time in the line drawing, the circle and the edge.

(2) 撮影の水平取り支援

次に提案手法が身体の回転運動の精度を要する作業の支援に有効か検証する実験を行う。回転運動を伴う作業として撮影における水平取り(角度合わせ)を考え、精度が向上するかを検証した。実験にはスマートフォンカメラを用いた。撮影中光軸回りの水平のずれを内蔵の姿勢センサで検知し、画面映像をずれが拡大する方向に回転して表示する。本手法で水平取りの精度が向上するか検証実験を行った。被験者に一定の速度で走る被写体(プラレール)をスマートフォンを用いて動画で撮影させる。色違いのレールを目印に撮影の開始位置と終了位置を指示し、約 5 秒間の動画を繰り返し撮影させる (Fig.6)。撮影中を被写体が画面の中央に維持することとカメラの水平を維持することの二点を両立させるように指示した。撮影中のディスプレイの映像はずれが拡大する方向に回転させ表示する。視覚変化なしの状態ですら 3 回練習させた後計測した。ずれの拡大率 (gain) は 1.0 から 0.5 刻みに 4.0 まで、各 gain 2 回ずつを 1 セットとし 3 セット撮影させた。セット中の gain の順番はランダムとし、セット間には 1 分間の休憩を設けた。途中で腕が疲れた際は自由に休んでも良いものとした。録画の開始・停止のための前後操作の影響をさけるため、撮影された約 5 秒間の動画のうち撮影開始から 1 秒後から 4 秒後までの 3 秒間を評価の対象とする。撮影中の回転角ずれを二乗し足したものを score とし精度の使用とする。被験者間の個人差をなくすため、視覚変化なし (gain=1.0) の時を基準に正規化した。被験者は 20 代の男女 6 名である。

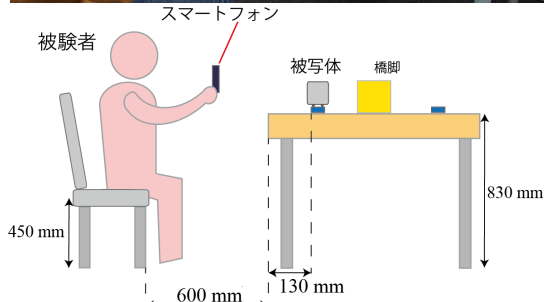
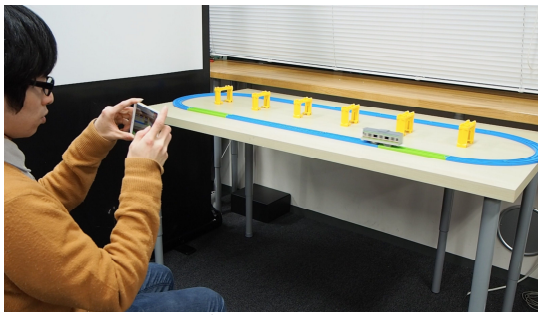


Fig.6 Experimental setup (Ex.2)

Fig.7 左に gain と score の関係を示す . 視覚変化なしと比較し, gain が 2.0, 2.5 のとき精度が有意に改善し, 3.5 以上で有意に悪化した . 水平取りのずれ補正において gain は 2.0 から 2.5 が適切と考えられる .

また, 最も作業精度の平均値が良かった gain である値 2.5 を用いて, デジタルカメラでの水平取りの支援として広く用いられている, 画面に電子水準器を重畳させる手法との比較実験を行った . 被験者に実験 2-1 と同様の撮影を視覚変化なし, 水準器表示, 提案手法の 3 条件で各 10 回ずつ行わせた . 順序効果を相殺するため被験者ごとに条件の提示順序を入れ替えた . 一つ前の条件への慣れの影響を省くため, 各条件で 10 回中後半の 7 回を対象に実験 2-1 と同様の score を精度の指標とした . また, 撮影映像の中央からの被写体のずれを計算した . 被験者は 20 代の男女 6 名である .

Fig 5 右に各条件での score を示す . 水準器, 提案手法の両条件とも視覚変化なし時と比べ精度が有意に向上したが, 水準器と提案手法の間には有意差は見られなかった . また, 映像中央からの被写体のずれには 3 条件間で有意差は見られなかった . また, アンケートでは提案手法は水準器より背景が確認しやすいという意見も見られた .

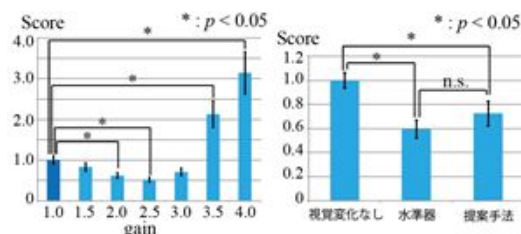
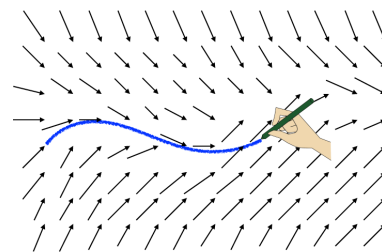


Fig.7 Relation between the gain and the score (left), and the scores in three conditions (right)

(3) 結論

本研究では複数の種類の作業において視覚的誤差の拡大提示によって擬似触力覚が生起され, 実空間の作業精度が向上することがわかった . どちらの作業でも精度が向上する最適な拡大率は 2.0-2.5 と考えられ, それ以上では作業時間の増加や逆に精度の悪化などの弊害があることも示唆された . この値は他の作業でも有効となる可能性がある . 今後の展望として, 目標動作を自動推定する技術と組み合わせ自由な動作へ応用する, 視覚変化と誘導の関係を明らかにし任意の誘導を可能にするなどが考えられる . また, 訓練装置としての利用も期待出来る . 将来的には様々な視覚変化と作業精度, 速度との関係を明らかにしていくことで, 擬似触力覚による誘導場のようなものを形成できると考えられる (Fig.8) .



→ : 誘導の方向

Fig.8 Drawing path induction by using pseudo-haptic field

5 . 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 5 件)

榊原佑太, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝, 「VR 空間におけるユーザ間の位置・視線方向の共有が鑑賞行動に与える影響の評価」, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会予稿集, 2016 年 9 月 14-16 日, つくば国際会議場 (茨木) .

Akira Nomoto, Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose: Supporting precise manual-handling task using visuo-haptic interaction, Augmented Human 2016, 2016.2.25-26. Geneva, (Switzerland) .

Yuki Ban, Takashi Kajinami, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose: Virtual Jizai-Ryu: Hi-fidelity Interactive Virtual Exhibit with Digital Display Case, HCII2015, 2015.8.2-7, Los

Angeles (USA).

野元彰, 伴祐樹, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝, 「visuo-haptics を用いた作業精度向上支援手法の基礎的検討」, 信学技報, vol. 115, no. 125, MVE2015-17, pp. 57-62, 2015年7月2-3日, 東京大学山上会館(東京).

Yuki Ban, Takashi Kajinami, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose: High-Definition Digital Display Case with the Image-based Interaction, IEEE Virtual Reality 2015 (USB Memory), pp.149-150, 2015.3.23-27, Arles (France).

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cyber.t.u-tokyo.ac.jp/ja/projects/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷川 智洋 (TANIKAWA, Tomohiro)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任准教授
研究者番号: 80418657

(2) 研究分担者

廣瀬 通孝 (HIROSE, Michitaka)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号: 40156716
鳴海 拓志 (NARUMI, Takuji)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号: 70614353

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

伴祐樹 (BAN, Yuki)
東京大学・大学院工学系研究科・特任研究員