

奥行方向の引っ張り力錯覚の強調について

竹内凌一^{†1} 橋本渉^{†1}

概要：ユーザの身体運動映像やその身体運動を投射するオブジェクトに速度変化を与えることで、力触覚を錯覚させる現象は Pseudo-Haptics と呼ばれている。先行研究によれば、画面上下左右方向に比べ、奥行方向において疑似的な力覚の生起率が小さいとされている。本研究ではスリングショットのような、奥行方向の引っ張り動作において、疑似的な力を生じさせるを試みる。また、ユーザ動作の速度変化だけでなく、視野角を変化させることによって、疑似的な力をさらに誘発できるかどうかを確認する。

An Emphasis Method of Pseudo Pulling Force of Depth Direction

RYOICHI TAKEUCHI^{†1} WATARU HASHIMOTO^{†1}

Abstract: Pseudo-Haptics is a phenomenon that evokes the tactile illusion by presenting the image in which the actual movement of the user is increased/decreased. According to the previous study, the occurrence rate of the pseudo haptics in the depth direction on the screen is considered to be smaller than other directions. In this research, we try to generate a pseudo force in pulling motion like slingshot. We also try to confirm whether the pseudo force is promoted not only by changing the speed of movement but also by changing the viewing angle of the user.

1. はじめに

ユーザの身体運動や、その運動を投射するカーソルなどに速度変化を与えることで、疑似的な力触覚を錯覚させる現象は Pseudo-Haptics と呼ばれ[1]、様々な取り組みがなされてきている。その中でも、石井らの先行研究[2]によれば、表示画面の上下左右方向に比べ、奥行方向において疑似的な力触覚の生起率や知覚力覚量が小さくなるとされている。つまり視覚による速度の知覚度合いが、疑似的な力の発生に寄与していると考えられる。

本研究では画面奥行方向において、疑似的な引っ張り力を強めることができなかと考えた。具体的な題材として、スリングショットのような引っ張り動作に着目した(図1)。実際の上腕の状態は、図の左のように大きく引いて構えているが、画面に表示される上腕を実際の動作より低減させて表示する(図1の右)。このことにより、上腕の動作が変化し、引っ張り力の錯覚が生じさせられるかどうかを検討する。また、視覚による速度変化を強調させるための工夫として、ユーザが観察している映像の視野角を変化させることを提案する。

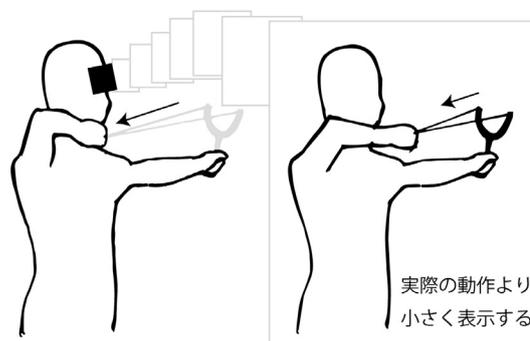


図1 スリングショットによる奥行方向の引っ張り力錯覚
Figure 1 Pseudo pulling force of depth direction with slingshot

2. スリングショットによる引っ張り力錯覚

引っ張り力錯覚の誘発を目的としたスリングショット環境は、ジェスチャが認識できるカメラと、HMDから構成されている。カメラは Intel RealSense F200 を利用し、ユーザはカメラから約 70[cm]離れた場所から操作をおこなう。また引っ張り力錯覚の誘発を狙いとして、表示されている手に自己投射させやすくするため HMD を用いている。ユーザがスリングショットを体験している様子を図2に示す。

^{†1} 大阪工業大学 情報科学部 情報メディア学科

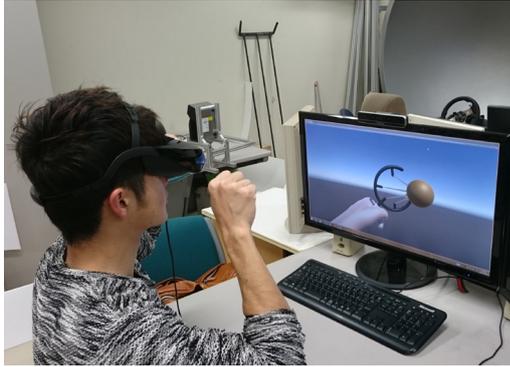


図 2 スリングショット環境の様子

Figure 2 Overview of our slingshot environment

スリングショットの操作は、カメラの前で右手を前に出し、手を握る動作をすると弾の入ったポケットが右手に同期して動くようになる。ここで右手を手前方向に引っ張り、手を開くと弾が発射される。このとき、引っ張り力錯覚を誘発するため、実際に引いた動作量よりも低減させて動作させる。カメラの配置場所を 0[cm]、スリングショットの初期ポケット位置を 45[cm]とし、表示されている手の位置を d とするとき、動作の増幅率 R に関する数式を

$$R = \frac{r_L(d_H - d) + r_H(d - d_L)}{d_H - d_L}$$

とし、得られたグラフを図 3 に示す。この数式や数値については複数ユーザによる試行錯誤の上、経験的に得たものである ($d_H=50$ [cm], $d_L=45$ [cm], $r_H=30$ [%], $r_L=75$ [%])。

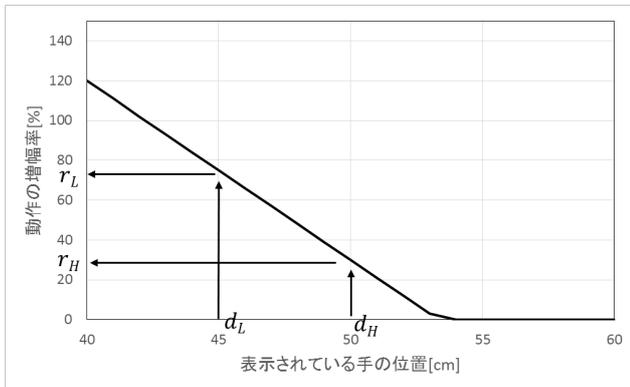


図 3 スリングショットにおける手の動作の低減量

Figure 3 Attenuation of hand movement in slingshot

最終的にユーザに提示される手の位置は、実際の手より動作量が小さくなるようになる。図 3 による増幅（減衰）量によって、ユーザに提示される手の位置を図 4 に示す。図より、実際の手動きに対して、提示される手の動作が小さくなっていることがわかる。また、スリングショットの初期ポケット位置から 10[cm]程度までは、徐々に動作が低減していくが、それ以上手前に引くと、動作が反映されなくなることがわかる。

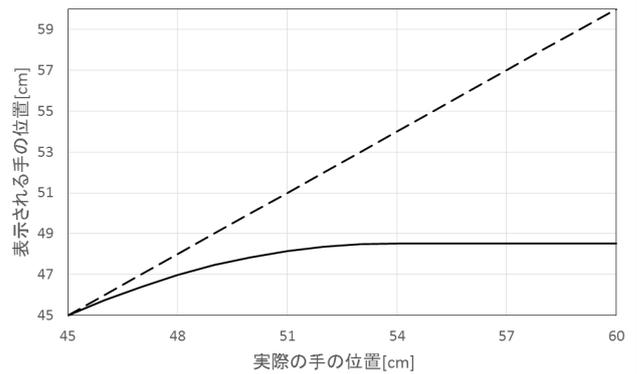


図 4 スリングショットにおける実際の手の動作と提示される手の動作

Figure 4 Real hand motion vs visual hand motion in slingshot

3. 動作の低減表示に関する評価実験

3.1 ユーザの行動変化

2 で述べた環境で、手の動作の低減表示により、ユーザの動作に変化があったかどうかを検証した。低減の有無の 2 条件において、弾をつかんでから発射するのに要した距離と、発射までに要した時間を測定した。本学学園祭で不特定多数のユーザに検証する機会を得たので、射的ゲームコンテンツという形（図 5）で測定をおこなった。被測定対象者数は不明だが、幼児から高齢者までの男女で、総試行回数は 582 回である。動作の低減量は 2 で述べたパラメータを用い、低減の有無はランダムで変更した（低減あり 284 回、低減なし 298 回）。ユーザの実際の手の位置と時間を、手を握ってから手を開くまでの間、測定した。



図 5 動作変化の測定に用いた射的ゲーム

Figure 5 Slingshot game used for examination of change in behavior of users

まず、スリングショットを構えてから発射するまでの距離の結果を図 6 に示す。引っ張り動作を低減表示させている場合は、低減なしの場合に対して、発射位置が遠いことを示している。すなわち、引っ張り動作が大きくなっていることがわかる。発射位置における両条件の分散分析を

行ったところ、両群による F 値は 1.70 ($p < 0.01$)であり、有意差が見られた。また、分散が等しくないと仮定した場合の t 検定では $t = 2.55$ ($p < 0.05$)で、有意差があることがわかった。したがって、手の動作の低減により、引っ張り動作が大きくなっていることが確認された。

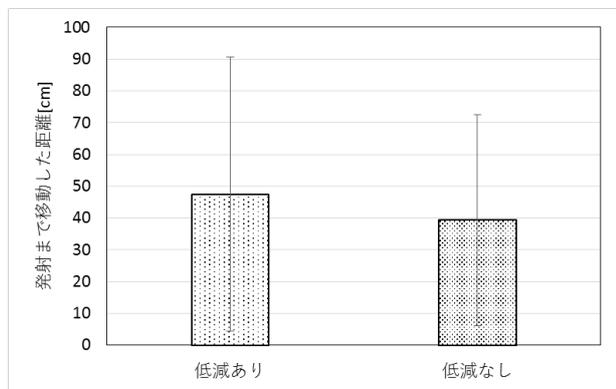


図 6 スリングショットの発射に要した距離

Figure 6 The required distance from trigger to release of slingshot

一方、スリングショットを構えてから発射するまでに要した時間を図 7 に示す。低減ありのほうが、発射までにやや時間を要している。発射に要した時間における両条件の分散分析を行ったところ、両群による F 値は 0.39 ($p < 0.01$)で有意差があった。しかし、t 検定では $t = 1.12$ (ns)で有意差は確認できなかった。

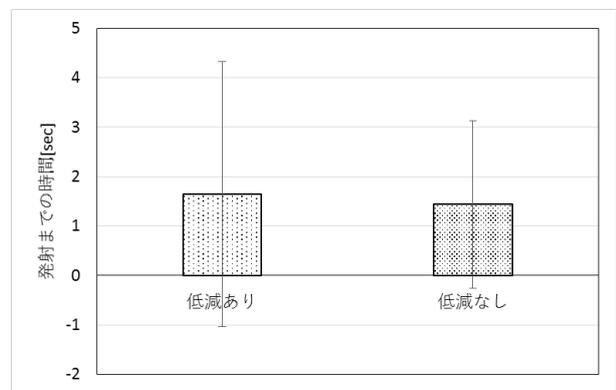


図 7 スリングショットの発射に要した時間

Figure 7 The required time from trigger to release of slingshot

以上のことから、スリングショットの引っ張り動作において、動作の低減表示条件で、動作が大きくなる反面、時間はそれほど変化がないことがわかった。つまり、低減の提示によってテイクバックの量は大きくなるが、その時間は変化がないことを示唆している。

3.2 引っ張り力錯覚の主観的強度測定

手の動作の低減表示により、引っ張り力についてユーザがどのように感じたかを調べるため、主観評価実験を実施した。動作の低減なし条件で感じた引っ張り力を 1 として、低減あり条件でどの程度の強さに感じたかを回答させた。

被験者には全 10 試行のうち、5 回ずつ低減あり・低減なし条件をランダムで提示し、被験者 10 名に主観的強度を回答してもらった。被験者によって回答する数値が異なるため、回答された最大値を 5 で正規化したものを図 8 に示す。全ての被験者が強度を 1 以上に回答しており、低減あり条件において引っ張り力錯覚を感じていることがわかった。

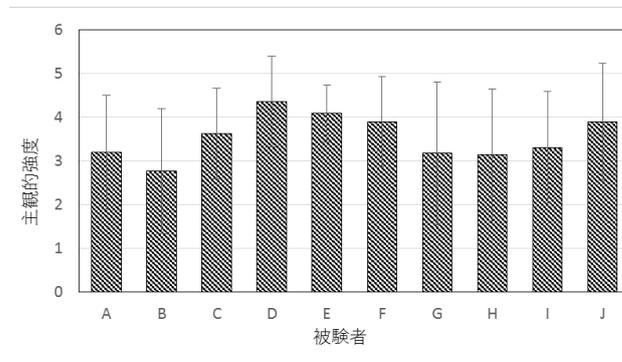


図 8 動作の低減あり条件における主観的強度

Figure 8 Subjective feeling in the condition of decreasing the motion of user

4. 視野角の変化による引っ張り力錯覚

Pseudo-Haptics が、ユーザの身体運動に速度変化を与えることで疑似的な力触覚を錯覚させることができるのであれば、視野にも速度変化を与えることができれば疑似的な触力覚をさらに増やすことができるのではないかと考えられる。例えば役山らの研究では物理的にディスプレイを動かすことで高い臨場感を得ることが示されている[3]。また描画ウィンドウそのものを移動したり拡大縮小したりすることで、ベクションに似た移動感覚を生成している例もある[4]。そこで、引っ張り動作を低減表示させるだけでなく、ユーザが見ている映像の視野角を小さくすることによって、引っ張り力の錯覚に変化がもたらされるか検討した。図 9 は視野角の変化を実装したものである。現時点では体系的な評価実験を行っていないが、視野角が大きくなるよりも、小さくなったほうが自然であるとの内観報告もあり、引っ張り力錯覚に寄与する可能性は十分考えられる。

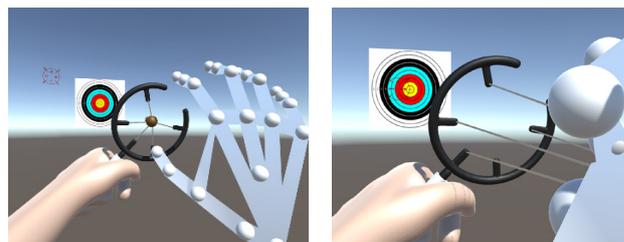


図 9 視野角の変化の実装例

Figure 9 Implementation of changing the viewing angle

5. おわりに

画面奥行方向に引っ張り力錯覚を生じさせる環境として、スリングショットに着目し、上腕の動作を低減表示させることで実装を試みた。またユーザが観察している映像の視野角を変化させることで、引っ張り力錯覚を強調させる方法を提案した。

参考文献

- [1] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard and P. Coiffet, "Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?," Proc.IEEE Virtual Reality 2000, pp.83-90, 2000
- [2] 石井, 佐藤, "3次元空間内における Pseudo-Haptics について", 映像情報メディア学会誌 66(6), pp.188-191, 2012
- [3] 役山, 妻木, "運動強調ディスプレイ", 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.574-577, 2012
- [4] 奥, 山崎, 橋本, "加速度に基づいた描画面の移動による移動感覚呈示の試み", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, A-16-11, pp.214, 2014