



# 力の入れ具合が Pseudo-Haptic 効果による VR 上の物体の重量感に与える影響

Influence on the weight of an object in VR Using Pseudo-Haptics by applying force

田中由人, 久保田彰

Yoshihito Tanaka, and Akira Kubota

1) 中央大学大学院 理工学研究科(〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27,a17.hfjc@g.chuo-u.ac.jp)

**概要:** 現実の動作量にゲインをかけ、VR 上で変化させることにより疑似的な力触覚が生起される現象として Pseudo-Haptics がある。本研究では、計測した筋電量で動作量のゲインを変化させる。力を入れて操作するとゲインが大きくなる、ゲインが小さくなる、ゲインが一定の場合の 3 条件において Pseudo-Haptics 効果による重さの知覚の変化が生じるかを調査した。その結果、力を入れて操作するとゲインが大きくなる場合で VR 上の物体に対して重く感じる傾向が見られた。

**キーワード:** Pseudo-Haptics, クロスモーダル, 力覚

## 1. はじめに

VR や AR の臨場感や現実感を高めるため様々な手法で触力覚を提示する研究が盛んに行われている。代表的な触力覚の提示手法として、ワイヤーやアクチュエータによって腕や手に力を加える手法や振動や電気刺激を用いた手法が挙げられる。これらの手法は VR や AR 上の触力覚を効果的に提示できる。しかし、いまだ装置が大掛かりなものになってしまうことや装置の製作コストが大きくなってしまふ場合があり、普及が進まない問題がある。

このため、機構や装置を用いず実際の操作量に対して視覚に与える情報を変化させることで疑似的な力触覚を提示する Pseudo-Haptics を利用した手法が近年多く提案されている[1]。Pseudo-Haptics の主な手法としては、現実の操作量に対してゲインをかけたものを VR 上の操作量として現実と VR 上にズレを生じさせ、疑似的な重さや摩擦を生起させている[2][3][4]。また、人の知覚特性として持ち上げる始めに視覚的な効果を加える場合のほうが持ち上げている最中に視覚的な効果を加える場合より重く感じやすいことが明らかになっている[5]。これにより、持ち上げる時に初動の動作を現実の操作量より遅らせたり加速させたりすることにより疑似的な力触覚が提示できることが知られている[6][7]。さらに、生体信号を用いた定量評価を行った研究では Pseudo-Haptics 効果を加えた際の動作で筋電位のピーク値が高くなること[8]や、筋電量によって動作量のゲインを変化させた場合に VR での臨場感や現実感の評価が上がったこと[9]が報告されている。

しかし、操作者の力の入れ具合などの操作者の状態を反

映した提示での重さなどの直接的な知覚の評価がないことから、VR での臨場感や現実感が高められることは報告されているが疑似的な力触覚が生起されているのか定かではない。また、なぜ持ち上げる時に初動の動作に対して Pseudo-Haptics を提示したほうが効果的なのかに対しても生体信号などの定量的な要素を含めた考察がなされていない。

そこで本研究では筋電量によって VR 上の動作量にかけるゲインを変化させた場合において VR 上の物体の重さの知覚の評価を行った。これにより、操作者の力の入れ具合を反映した提示方法を評価し、このような提示における疑似的な力触覚が生起されているかを明らかにする。さらに、Pseudo-Haptics を効果的に提示できる視覚効果の付与タイミングについても考察する。

## 2. 筋電量によりゲインを変化させた場合の Pseudo-Haptics 効果の評価

### 2.1 実験手法

先行研究[3][4]では、コントローラーや手をトラッキングし VR 上の物体を掴んで持ち上げる動作において力触覚の評価を行っている。しかし、先行研究のような掴む動作では本研究の目的である筋電量によって明確に力の入れ具合を評価することは困難である。複数の筋肉が連動して作用することや計測時に筋電量を計測する筋肉部位が静止しておらず筋電量が安定して計測することが難しいためである。このため、本研究では一つの筋肉から筋電量を安定的に計測し筋電量によって力の入れ具合を評価した

いことから、VR 上で腕を地面に対して垂直にし脇腹に密着させた状態から肘を支点として曲げる動作(図.1)において力触覚の評価を行った。現実では図2 ようにダンベルを持たせ、VR 上には図.3 のように腕と現実で持っているダンベルと同じ太さ程度の棒を持っている手を反映させた。また、腕を曲げた時に当たるストッパーを設置した(図.3)。筋電量を計測する筋肉部位は、上腕二頭筋とした。上腕二頭筋が図.1 の動作をするときに主に作用するためである。そして、Pseudo-Haptocs を提示させるための視覚効果は腕を曲げた時の現実の肘の角度量にゲインをかけた角度量を VR 上に反映することで提示した。

実験の体の動きやゲインの制御は Unity3D(2018.4.28f1)によって行い、筋電量の計測は Arduino を通して Unity3D(2018.4.28f1)に送信した。HMD は、vive pro を使用し、肘の角度は vive tracker2.0 より取得した。

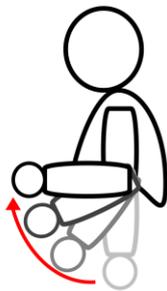


図.1 実験での動作



図.2 現実における実験の様子



図.3 VR 上での実験の様子

## 2.2 Pseudo-Haptics の提示設計

提示設計は、Michael[9], JINWOOK[10]らの手法を参考にした。腕を地面に対して垂直にしたときの肘の角度を 0 度として、現時間での現実の肘の角度量を  $\theta_t^{real}$  とする。また、現時間での VR 上の肘の角度量を  $\theta_t^{virtual}$ 、前時間での VR 上の肘の角度量を  $\theta_{t-1}^{virtual}$  とし、ゲインを  $\alpha$  とすると現時間での VR 上の肘の角度量は以下の式のように表す。

$$\theta_t^{virtual} = \theta_{t-1}^{virtual} + (\theta_t^{real} - \theta_{t-1}^{virtual}) \cdot \alpha \quad (1)$$

今回の実験では、ゲインの値を筋電量によって 0 から 1 の間で変化させた。2 パターンで筋電量によってゲインを変化させた。筋電量の最大値を  $v_{max}$ 、筋電量の最小値を  $v_{min}$ 、また現時間での筋電量を  $v_t$  とすると、ゲインは以下の二つの式のように表す。

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0 & (v_{min} > v_t) \\ \frac{v_t - v_{min}}{v_{max} - v_{min}} & (v_{min} < v_t < v_{max}) \\ 1 & (v_t < v_{max}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} 1 & (v_{min} > v_t) \\ \frac{v_{max} - v_t}{v_{max} - v_{min}} & (v_{min} < v_t < v_{max}) \\ 0 & (v_t < v_{max}) \end{cases} \quad (3)$$

VR 上の肘の角度量を実際に計測した筋電量(図.4)から 2 パターンの条件でゲインを変化させた場合の VR 上の肘の角度と実際の角度量を図.5 に示す。パターン 1( $\alpha_1$ )では、腕を曲げる前半に現実の動作量に対して遅れが生じている。一方で、パターン 2( $\alpha_2$ )では、腕を曲げる後半に現実の動作量に対して遅れが生じている。

Pseudo-Haptics を提示する際の角度量の時間間隔は 0.05s とした行った。筋電量の最大値と最小値は、事前に筋電量を計測しながら腕を曲げる動作を 6 回行い、その 6 回の動作で計測した最大値と最小値の平均値を設定した。

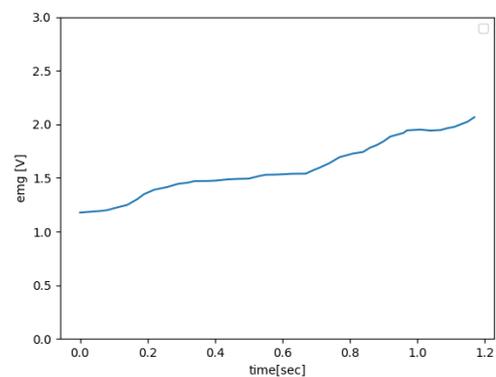


図.4 筋電量の様子

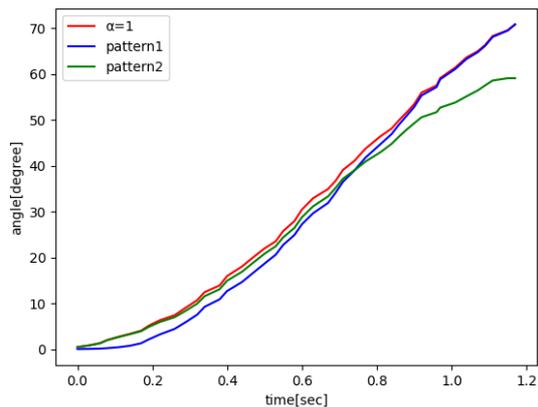


図.5 VR 上の肘の角度

### 2.3 実験タスクの設計

実験参加者には、VR 上で手に棒を持ちながら肘を支点として腕を曲げる動作を 2 回行ってもらった。1 回目か 2 回目どちらが腕を曲げながら棒を持ち上げた時重く感じたか二者択一で答えさせた。選択は、ダンベルを持っていないほうの手に持ったコントローラーによって、VR 上で回答してもらった。2 回の試行の内、1 回目と 2 回目のどちらかのゲインを標準刺激( $\alpha = 1.0$ )、もう一方の物体を  $\alpha = 1.0$ か筋電量によって変化させるゲインを変化させる 2 パターンのどれかの条件をランダムに設定した。また 1 回目と 2 回目に持ち上げる物体のどちらを  $\alpha = 1.0$  に設定してある物体になるかもランダムに設定した。各条件に対してこの課題を 15 回行い、合計 45 回(3 条件×15 試行)行った。持ち上げるダンベルの重さは 3kg とした。

### 2.4 実験参加者

参加者は、総勢 17 名が参加した。参加者の性別の分布は、男性が 16 名、女性が 1 名だった。全員右利きだった。また、参加者は全員が 20 代前半だった。

## 3. 実験結果

標準刺激を提示したときと比べて  $\alpha = 1.0$ か 2 パターンの変化をしたゲインをかけたときに重く感じた確率を平均値±標準偏差として表したものを図.7 に示す。3 群の間の重く感じた確率に有意差があるか分析するために、ANOVA(一元配置分散分析)を行ったところ、3 群の間に有意差が認められた。次にチューキー・クレーマー検定を行ったところ、標準刺激のときとパターン 1 の変化をしたゲインをかけたときとの間で有意差が認められた( $p < 0.05$ )。パターン 2 の変化をしたゲインをかけたときも標準刺激のときと比べて重く感じた確率が高くなるがあったが逆に標準刺激のときと比べて重く感じた確率が低くなることもあり、個人差が大きかった。

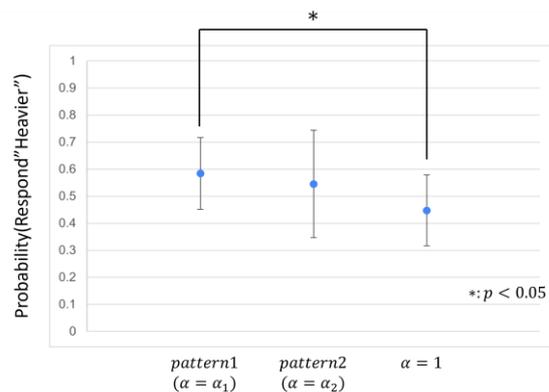


図.7 各条件における重く感じた確率(平均値±標準偏差)

## 4. 考察

実験結果より、パターン 1 のようにゲインを変化させたとき、つまり力をいれていないときに Pseudo-Haptics 効果を提示したほうが VR 上の動作に対して重く感じやすいことが分かった。このため、先行研究[6]と同じく初動の動作に Pseudo-Haptics を提示するほうが重く感じる事が分かった。したがって、初動の動作に Pseudo-Haptics を提示するほうが効果的なのは、力を入れていないときに Pseudo-Haptics 効果を提示したほうが効果的のためであると言い換えられると示唆する。一方で力をいれているときに Pseudo-Haptics 効果を提示した場合、重く感じやすい場合と軽く感じやすい場合があり、個人差が大きかった。

## 5. まとめ

本稿では、筋電量によって VR 上の動作量にけるゲインを変化させることで力の入れ具合を反映した提示における重さの知覚評価を行った。評価の結果、力をいれていないときに現実の動作量に比べて VR 上の動作量を遅くしたほうが VR 上の動作に対して重く感じやすいことが分かった。また、Pseudo-Haptics の提示タイミングに関しても先行研究を踏まえて考察を行った。一方で力をいれているときに現実の動作量に比べて VR 上の動作量を遅くした場合は、重さの感じ方の個人差が大きかった。

今後は筋電位だけでなくほかの生体信号を取得し、さらに Pseudo-Haptics の効果的な提示方法や Pseudo-Haptics の個人差に対するの評価をしていく。

## 謝辞

筋電量の計測方法について有益な助言をいただきました中央大学の諸麥俊司氏と橋本遼司氏に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Yusuke Ujitoko, Yuki Ban. Survey of pseudo-haptics: Haptic feedback design and application proposals. *IEEE Transactions on Haptics*, 2021
- [2] Anatole Lécuyer, Sabine Coquillart, Abderrahmane-Kheddar, Paul Richard, Philippe Coiffet. Pseudo-Haptic Feedback: Can Isometric Input Devices Simulate Force Feedback?. *Proceedings IEEE Virtual Reality 2000*
- [3] Majed Samad, Elia Gatti, Anne Hermes, Hrvoje Benko, Cesare Parise. Pseudo-Haptic Weight: Changing the Perceived Weight of Virtual Objects By Manipulating Control-Display Ratio. *In Proceeding of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*
- [4] Michael Rietzler, Florian Geiselhart, Jan Genheimer Enrico Rukzio. Breaking the Tracking: Enabling Weight Perception using Perceivable Tracking Offsets. *In Proceeding of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*
- [5] AF de C. Hamilton, et al. Kinematic cues in perceptual weight judgement and their origins in box lifting. *Psychological Research, Vol. 71, No. 1, pp. 13–21, 2007*
- [6] Yuki Taima\*, Yuki Ban\*, Takuji Narumi\*, Tomohiro Tanikawa\*, Michitaka Hiros. Controlling Fatigue while Lifting Objects using Pseudo-haptics in a Mixed Reality Space. *IEEE Haptics Symposium 2014*
- [7] Yuki Ban, Yusuke Ujitoko. Hit-Stop in VR: Combination of Pseudo-haptics and Vibration Enhances Impact Sensation. *IEEE World Haptics Conference 2021*
- [8] Hirooki Aoki. Muscle Activity Resulting from Pseudo-haptic Occurrence. In 2018 12 th France-Japan and 10 th Europe-Asia Congress on Mechatronics.
- [9] Michael Rietzler, Gabriel Haas, Thomas Dreja, Florian Geiselhart, Enrico Rukzi. Virtual Muscle Force: Communicating Kinesthetic Forces Through Pseudo-Haptic Feedback and Muscle Input. *UIST'19, October 20-23, 2019, New Orleans, LA, USA.*
- [10] Jinwook Kim, Seonghyeon Kim, Jeongmi Lee. The Effect of Multisensory Pseudo-Haptic Feedback on Perception of Virtual Weight. *IEEE Access published 2021*