



ハンドトラッキングによる多指への Pseudo-Haptics 生起時における空中オブジェクト把持時の感覚知覚変容の調査

Investigation of sensory transformation during grasp of mid-air object
under multi-fingered pseudo-haptics

榮 晃太郎¹⁾, 嵯峨 智²⁾

Kotaro SAKAE, and Satoshi SAGA

1) 熊本大学 大学院自然科学教育部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号, sakae@saga-lab.org)

2) 熊本大学 大学院先端科学研究部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号, saga@saga-lab.org)

概要: 自発的な運動において自己受容感覚とずれのある視覚情報を提示することで、擬似的な触覚を生成できる Pseudo-Haptics が知られている。HMD と各指の独立したハンドトラッキングを用いて、多指に Pseudo-Haptics が生起した状態で棒状の空中オブジェクトの把持動作を行う。その際に、指ごとの C/D 比の違いにより知覚される感覚分布の変化についての調査を行った。結果は、周囲の指に比べて相対的に動きが抑制されている指に対して、違和感や異なる感覚を感じやすいと考えられるものであった。

キーワード: 触覚, Pseudo-Haptics, バーチャルリアリティ

1. はじめに

触覚提示デバイスを用いずに触覚を提示する手法の 1 つとして Pseudo-Haptics という手法がある [1, 2, 3]。Pseudo-Haptics は触覚提示デバイスを必要としないため、Virtual Reality (VR) において没入感を損なわずに触覚フィードバックを提示できるという点において注目されている。Pseudo-Haptics は身体動作による入力量に対する視覚的な出力量の比 (C/D 比: Control / Display ratio) の変化によって生起される。VR において手に Pseudo-Haptics を生起させる場合、実際の手の動きをハンドトラッキングを用いて取得し、C/D 比を与えて VR 空間内に表示する手法がある。この手法において、手に与える C/D 比は一樣とすることが主流である。そのため、知覚される感覚やその強度は基本的に指ごとに差はなく同様のものである。

そこで、我々は各指ごとに異なる C/D 比を与えることによって、知覚される感覚も各指で異なるものとなるか調査を行った。

2. 調査手法

Oculus Quest 2 のハンドトラッキング機能と Unity を用いて、実際の手の動きを C/D 比によって強調または抑制した映像を Head Mounted Display (HMD) から提示することで、Pseudo-Haptics の生起を行う。

手の動きは、指の曲がる角度を変化させ提示する。手首と各指の第三関節を結ぶベクトルと、各指節の方向ベクトルが成す角度に C/D 比を与え、変化させる。以下に式を示す。ここで、2 つのベクトル間の角度を $\Delta\theta$ 、C/D 比を

$R_{C/D}$ 、変化後の角度を $\Delta\Theta$ とする。

$$\Delta\Theta = R_{C/D}\Delta\theta \quad (1)$$

本調査では、指ごとに異なる C/D 比を与え、多指に Pseudo-Haptics が生起した状態で VR 空間内に配置された棒状の空中オブジェクトを把持してもらう。その際、違和感や異なる感覚が知覚された指を回答してもらい、C/D 比を与える指や強度を変化させることで、知覚される感覚分布が変化するかについて回答結果より調査を行った。

3. 実験

実験協力者は椅子に座った状態で HMD を装着し、手を HMD の正面に構えハンドトラッキングを行う。VR 空間内には、棒状の空中オブジェクトが表示されており、実験が開始されると C/D 比の与えられた利き手が表示される。実験協力者は、空中オブジェクトに対し手のひらを HMD に向け、逆手での把持動作を行う。把持動作中に棒を軽く握り込むように動かしながら、違和感や異なる感覚が知覚された指があるかについて回答する。

C/D 比を与える指のパターンは次の 3 パターンで行った。

パターン 1: 人差し指と中指。

パターン 2: 中指と薬指。

パターン 3: 人差し指と薬指。

与えられた C/D 比は、試行のたびに 0.7 ~ 1.3 の 0.1 刻みの値がランダムに各 5 回与えられ、C/D 比を与える指のパターン 1 つあたり 35 回、1 人あたり合計で 105 回行った。

実験の様子を以下の図 1 に、実験中の VR 空間内の様子を図 2 に示す。



図 1: 実験風景

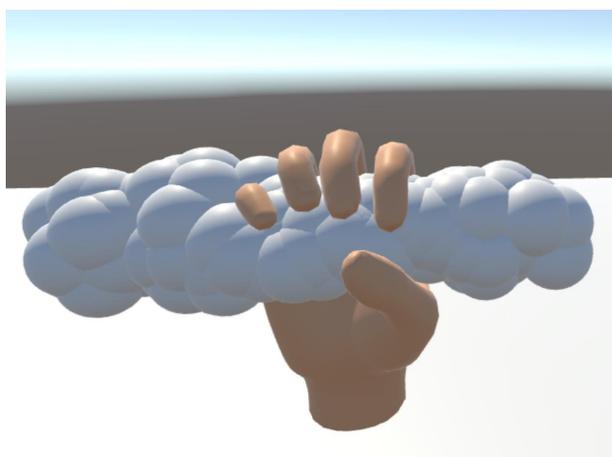


図 2: VR 空間内の様子

把持動作を行う空中オブジェクトは、図 3 に示すものであり、手との相互作用により形状が変化し、握り込むことによる凹みなどを表現する。

各試行ごとに行った把持動作より、違和感や異なる感覚を感じたかについて「どの指で感じられたか」、また感じられた際の強度について「なんとなく感じた」「はっきり感じた」の強弱 2 段階でアンケートを行った。

4. 結果

C/D 比ごとの試行回数に対して、実験協力者が指に違和感や異なる感覚を感じたと回答した割合をグラフに表したものを以下の図 4～6 に示す。横軸は C/D 比、縦軸は指に違和感や異なる感覚を感じたと回答した割合である。グラフには、試行においてどれか 1 つの指に回答があった場合のもの、指ごとの回答に対するものを示している。回答する指の本数については制限を設けなかった。

全てのパターンにおいて、C/D 比が 1.0 付近において違和感や異なる感覚が感じられる割合が小さくなった。また、

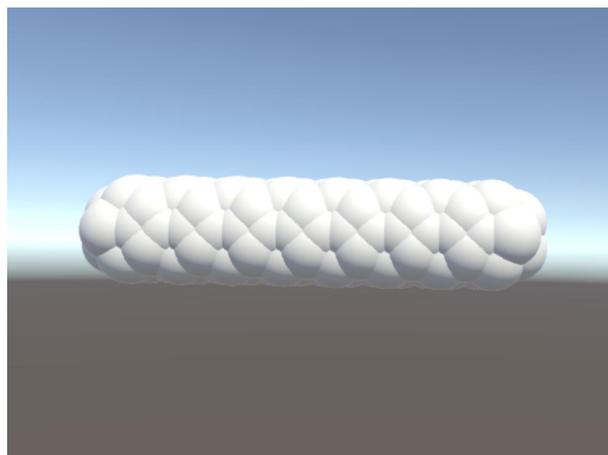


図 3: 空中オブジェクト

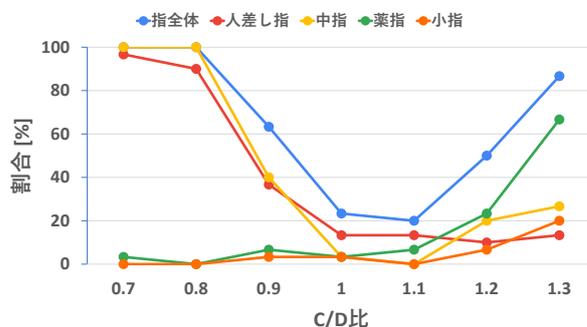


図 4: パターン 1

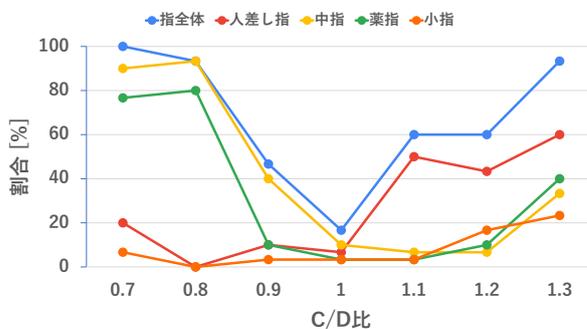


図 5: パターン 2

C/D 比を変化させた指において、C/D 比が 1.0 未満の場合は C/D 比を変化させた指に対し違和感や異なる感覚が感じられている。しかし、C/D 比が 1.0 を超える場合には C/D 比を変化させていない指において違和感や異なる感覚が感じられる割合が大きくなった。

C/D 比が同じ値での各指同士の結果に有意差がみられるかについて、マクネマー検定とボンフェローニ補正を用いて有意水準 5% 検定を行った。その結果、全てのパターンで C/D 比が 0.7 と 0.8 において、C/D 比を変化させた指と変化させていない指の間に有意差がみられた。また、パターン 2 の C/D 比が 1.1 において人差し指とその他の指の間

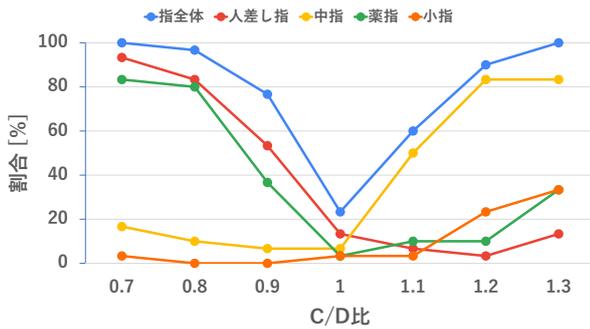


図 6: パターン 3

に、パターン 3 の C/D 比が 1.2 と 1.3 において中指とその他の指の間に有意差がみられた。これらの指は、C/D 比を変化させていない指であった。

5. 考察

全てのパターンにおいて、C/D 比が 1.0 未満の場合は C/D 比を変化させた指に対し違和感や異なる感覚が感じられ、C/D 比が 1.0 を超える場合では C/D 比を変化させていない指において違和感や異なる感覚が感じられる割合が大きくなった。また、実験協力者からの意見においても、「指の動きが抑制された場合の方が、動きが強調された場合に比べ実際の手の動きと異なるということに気づきやすい」というような意見が多かった。このことから、周囲の指に比べて相対的に動きが抑制されている指に対して、違和感や異なる感覚を感じやすいと考えられる。

C/D 比が 1.0 を超える場合では有意差がみられにくかったが、理由として C/D 比を変化させた指と相対的に動きが抑制されている指の両方で違和感などが感じられたためであると考えられる。

C/D 比を変化させない指の場合、他の指に比べて中指は C/D 比が 1.0 を超える際に違和感などが感じられた割合が大きく、小指は小さくなっている。また、人差し指は、パターン 2 において C/D 比が 1.1 の際の割合が大きくなっている。これらに関して、中指は実験時の視点から指の動きを捉えやすく、動きの差異に気づきやすかったと考えられる。加えて、パターン 3 は C/D 比を変化させる指が中指を挟んでいるため、周囲の指との差異を感じやすかったことも要因であると考えられる。小指に関しては、「小指や薬指はオブジェクトによって隠れがちでわかりにくいときがある」というような意見があったように、視認しづらい状況であったためと考える。人差し指に関して、実験時の視点から指の動きを捉えやすかったためであると考えられる。

パターン 3 は他のパターンに比べて指全体で違和感や異なる感覚を感じる割合が大きくなったが、これはパターン 3 は C/D 比を変化させる指と変化させない指が交互になっているため、違和感などを感じやすかったと考えられる。

6. 結論

本研究では、HMD とハンドトラッキングを用いて多指に異なる強度の Pseudo-Haptics を生起させ、棒状の空中オブジェクトを把持した際に知覚される感覚分布がどのように変化するかについて調査を行った。実験には Oculus Quest 2 を使用し、実験協力者に空中オブジェクトに対して把持動作を行ってもらった後に、違和感や異なる感覚を感じた指があったかについてアンケートを行い調査を行った。調査結果は、C/D 比が 1.0 未満の場合は C/D 比を変化させた指に対する違和感や異なる感覚を感じる割合が大きくなり、C/D 比が 1.0 を超える場合では C/D 比を変化させていない指において違和感や異なる感覚が感じられる割合が大きくなった。結果より、周囲の指に比べて相対的に動きが抑制されている指に対して、違和感や異なる感覚を感じやすいという傾向が確認された。この結果は、常に C/D 比を変化させた指に対する違和感や異なる感覚を感じる割合が大きくなるという予想とは異なるものであり、非常に興味深いものであった。

しかし、今回の実験では大まかな傾向を確認するために、C/D 比を変化させる指のパターンを限定して実験を行った。そのため、指ごとに対して C/D 比を変化させる機会が均等ではなく、十分に特徴を現すことができていないと考える。今後の実験において、実験を行うパターンの拡充や、より多くの実験協力者の測定結果より、更なる変化の特徴などを調査したいと考える。

参考文献

- [1] Anatole Lécuyer, Sabine Coquillart, Abderrahmane Kheddar, Paul Richard, and Philippe Coiffet. Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback? In *Proceedings IEEE Virtual Reality 2000 (Cat. No. 00CB37048)*, pp. 83–90. IEEE, 2000.
- [2] Anatole Lécuyer. Simulating haptic feedback using vision: A survey of research and applications of pseudo-haptic feedback. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 18, No. 1, pp. 39–53, 2009.
- [3] Yusuke Ujitoko and Yuki Ban. Survey of pseudo-haptics: Haptic feedback design and application proposals. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 14, No. 4, pp. 699–711, 2021.