



多指に対する Pseudo-Haptics による自己受容感覚の変容

Transition of Proprioceptive Sensation by Pseudo-Haptics for Multiple Fingers

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 が生じた状態で指を曲げてもらい、現実の指、HMD に表示されている指、自己受容感覚による指のそれぞれ角度より、自己受容感覚が C/D 比の変化によりどのように変容するか調査を行った。得られた結果より、自己受容感覚の変容について議論する。

キーワード： 触覚, Pseudo-Haptics, バーチャルリアリティ, 自己受容感覚

1. はじめに

物理的接触なし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]。Virtual Reality (VR) において、Pseudo-Haptics を用いて触覚フィードバックを行う手法が提案されている。しかし、VR において Pseudo-Haptics を用いる場合、自己受容感覚との齟齬による違和感により意図した効果が得られないことがある [3]。

Pseudo-Haptics と自己受容感覚の関係を調査することで、効果的な活用法について知見を得ることができると考え、我々は過去に Pseudo-Haptics 発生時の自己受容感覚の変容を C/D 比 (Control / Display ratio) を変化させ調査を行った。過去の実験は、手の動きがない状態で調査を行ったが、今回は手の曲げ伸ばしを繰り返し行ってもらい、手が動いている状態で調査を行った。

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、指が掌に曲がる角度のみ変化させる。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、C/D 比の与えられた手を指定した範囲で動かすつ、自己受容感覚からその範囲を回答してもらい、そ

れらの範囲が C/D 比の変化によりどのように変容するかを調査する。

3. 実験

実験協力者は椅子に座り 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。実験が開始されると、C/D 比が与えられた利き手のみが表示され、実験協力者は指示された範囲で指の曲げ伸ばしを行う。このとき指の曲げ方は、第三関節を曲げ、そこから先はなるべく伸ばした状態で倒すものとする。実験協力者は、C/D 比が与えられた利き手を動かし続けながら、HMD には表示されていないもう一方の手で、自己受容感覚から指示された範囲の両端の角度を表現する。表現された範囲と指示した範囲を記録する。

指の曲げ方は次の 2 パターンで行った。

1. 指同士は隣接し C/D 比はすべての指で一律。
2. 指同士は離れ C/D 比を人差し指と中指に与える。

利き手には試行のたびに 0.7 ~ 1.3 の 0.1 刻みの C/D 比がランダムに各 5 回与えられ、指の曲げ方 1 パターンにつき 35 回行った。

実験の様子を図 1 に示す。指を曲げ伸ばしする範囲の指示は図 1 に示す手の上存在する立方体によって行う。指の曲げ角度が範囲の上端に到達すると色が緑に変化し、下端に到達すると色が赤に変化し実験協力者に通知する。曲げ伸ばしする範囲は毎試行ごとに $30^\circ \sim 50^\circ$ のランダムな角度となる。

また、各試行ごとに HMD から提示された手の動きに違和感を感じたかについて「感じなかった」「少し感じた」「感じた」の 3 段階で、手を動かした際の感覚について、重量と

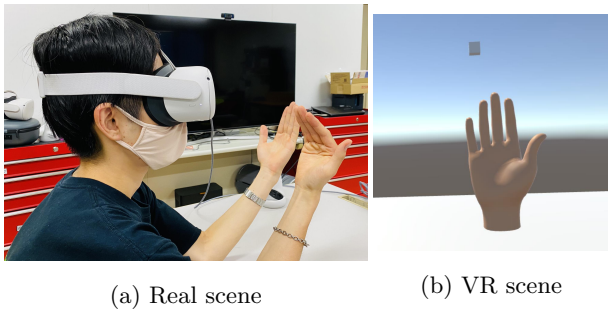


図 1: 実験風景

応答に関して「重く/鈍く感じた」「少し重く/鈍く感じた」「普段通りだった」「少し軽く/素早く感じた」「軽く/素早く感じた」の 5 段階でアンケートを行った。

4. 結果

実験協力者が指示された指を曲げ伸ばしする範囲と、もう片方の手で実際に表現した範囲の差分が、もとの指示された範囲に対する比率を差分比率とする。差分比率を求める式を以下に示す。

$$Ratio = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 A は指示された範囲、 B は表現された範囲、 $Ratio$ は算出された差分比率である。

以下の図 2, 3 に実験協力者全体の結果を示す。横軸は C/D 比、縦軸は差分比率、青色のグラフは人差し指の第三関節の値、橙色は薬指の第三関節の値、引かれた直線は近似直線である。また、縦軸の範囲外にも表示されていない点が存在する。

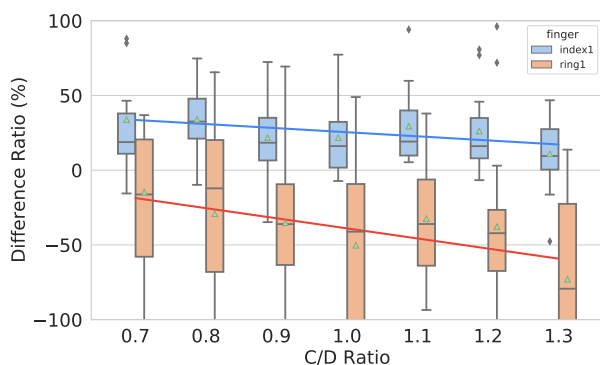


図 2: パターン 1 の結果

また、次の図 4, 5 に毎試行ごとに行ったアンケートの結果を示す。横軸は C/D 比、縦軸は評価値、青色のグラフは重量に関する評価、橙色のグラフは応答に関する評価である。評価値は、「重く/鈍く感じた」を 1, 「軽く/素早く感じた」を 5 としている。アンケート結果より、パターン 1, パターン 2 ともに C/D 比の値が大きくなるにつれ、実験協力者は指の動きに対して「重い/鈍い」から「軽い/素

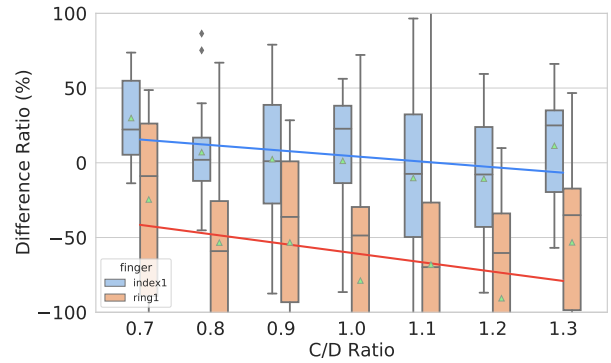


図 3: パターン 2 の結果

早い」と感じたと考えられるため、Pseudo-Haptics は生起していたと考える。

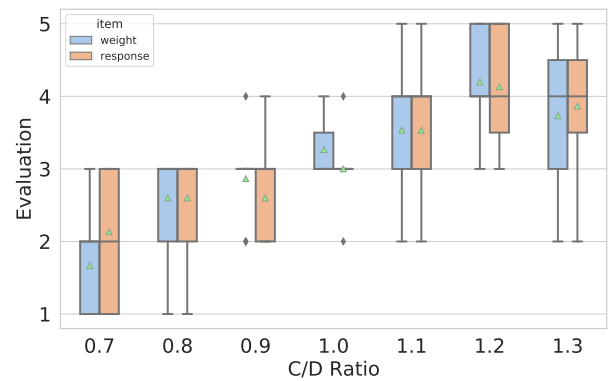


図 4: パターン 1 のアンケート結果

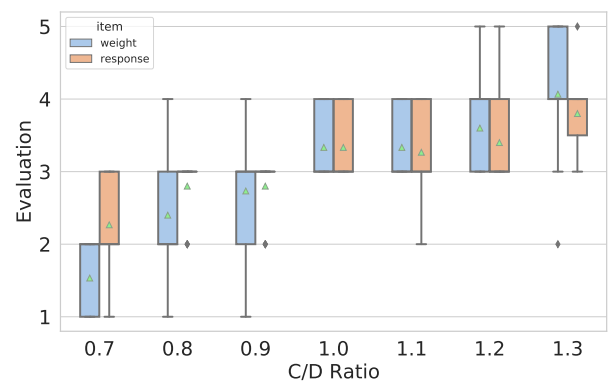


図 5: パターン 2 のアンケート結果

次の表 1 に相関係数と p 値を示す。相関係数は Spearman の順位相関係数 (Spearman's rank correlation coefficient) を求めた。

結果は、測定値には右下がりの傾向がみられるものの、相関係数と p 値から有意水準 5% において、パターン 1 の薬指に関してのみ負の相関があることが確認され、それ以外の結果に相関はみられなかった。

	Index1	P-value	Ring1	P-value
パターン 1	-0.18	0.073	-0.22	0.021
パターン 2	-0.16	0.11	-0.16	0.096

表 1: パターンごとの相関係数と p 値

5. 考察

パターン 1, パターン 2 ともに相関は無いと思われる結果であったが, グラフからは測定値には右下がりの傾向がみられるため, 実験協力者の数を増やし十分な測定結果を得た場合, 何らかの相関が確認される可能性がある。

測定値のばらつきについて, 過去に行った手の動きがない状態の調査の結果を図 6, 7 に示す。

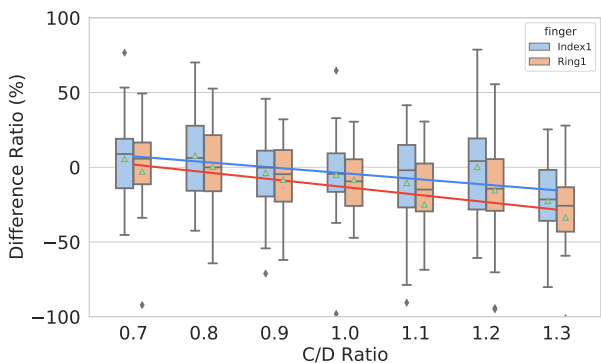


図 6: パターン 1 の過去の結果

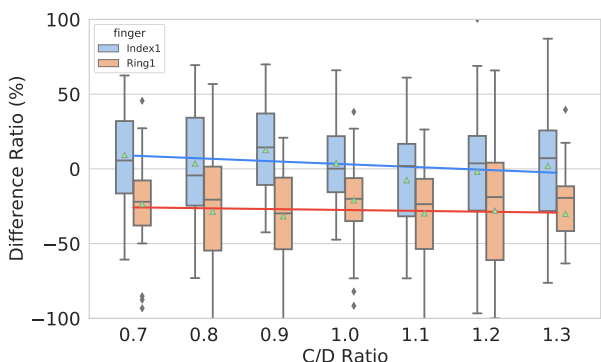


図 7: パターン 2 の過去の結果

パターン 1 において, 図 6 に示すように, 過去の結果では C/D 比が 1.0 付近の測定値の分散が小さくなっている。これは, 実際の手の動きと比較した際の違和感が小さく, 自己受容感覚の変容に大きな影響を与えなかったためであると過去に考察を行った。対して, 今回の結果では C/D 比が 1.0 付近の測定値の分散が小さくなるという特徴は見られなかった。これは, 手の動きが自己受容感覚に影響を及ぼし, 個人間での影響の受けやすさからばらつきが出たためだと考える。

パターン 2 において, 今回の結果と過去の結果を比較すると, 人差し指の測定値のばらつきが大きくなっている。パターン 2 は C/D 比を与える指が人差し指と中指のみであるため, パターン 1 に比べて自己受容感覚への影響が大きいと考えられ, さらに手の動きも加わることでばらつきが大きくなったと考える。また, パターン 1 に比べパターン 2 では測定値のばらつきが大きくなっている。これらに関して, 実験協力者より指の動きの違いによる違和感や戸惑いに関する意見があり, 指ごとに異なる C/D 比が自己受容感覚に影響を及ぼしたと考える。

6. 結論

本研究では, 手が動いている状態における C/D 比の変化による Pseudo-Haptics 発生時の自己受容感覚の変容を調査した。調査には Oculus Quest 2 のハンドトラッキング機能を用いて, 指を曲げ伸ばしする範囲をもとに自己受容感覚の変容を調査した。指の曲げ方は人差し指から小指において指同士は離れており, すべての指に一律の C/D 比を与える, 人差し指と中指にのみ C/D 比を与える, の 2 パターンを用意し実験を行った。結果は, どちらのパターンにおいても測定値には右下がりの傾向がみられるものの, 相関は無いと思われるものであった。

しかし, 測定値のばらつきに見られた特徴がなくなったり, ばらつきが大きくなったりするなど手の動きがない状態での調査結果に比べ変化したため, 手の動きが自己受容感覚に及ぼした影響はあると思われる。実験協力者の数を増やし十分な測定結果を得ることで, C/D 比の変化と測定値との相関や, 手の動きによる測定値のばらつきへの影響などが確認される可能性がある。

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] Andreas Pusch and Anatole Lécuyer. Pseudo-haptics: from the theoretical foundations to practical system design guidelines. In *Proceedings of the 13th international conference on multimodal interfaces*, pp. 57–64, 2011.