

# 重畳投影パターンの手に対する相対速度変調による力覚の操作

## Manipulation of Force Perception by Modulating Relative Velocity of Projected Image on Hand

青山 宗太 岩井 大輔 佐藤 宏介  
Sota Aoyama Daisuke Iwai Kosuke Sato

大阪大学大学院基礎工学研究科  
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

In our research, we aim to manipulate user's force perception by using pseudo-haptics in projection-based mixed reality. We performed an experiment to investigate the effects of projection onto moving hand. In the experiment, we projected dot pattern onto subjects' hand. Then, we let them compare the perceived force while moving their hand, on which a dot pattern is projected with modulated relative velocity. The results showed that the dot pattern's speed rather than its direction of movement affected perceived force, and subjects perceived force weaker when dot pattern's speed was fast.

### 1. はじめに

近年、複合現実感環境において Pseudo-Haptics と呼ばれる、人間の脳内での視覚と触力覚の相互作用を用いた錯知覚による触力覚提示の研究が行われている。Pseudo-Haptics とは、自身の体を動かすときの感覚である固有感覚と視覚情報との間で不整合が生じた際に、視覚情報が優先されることで知覚する疑似的な触力覚のことである。この Pseudo-Haptics を利用することで、従来必要とされていた触力覚提示装置を用いることなく、視覚情報の操作のみで様々な触力覚を提示することが可能である。

Pseudo-Haptics による力覚提示の従来研究には、視覚情報を提示する装置として HMD を用いた研究 [Pusch 2009] やフラットパネルディスプレイを用いた研究 [石井 2012] がある。これらの研究では、ユーザが移動させている仮想空間上の物体の移動速度をユーザの意図に反して変調させることで、ユーザは自身の手にあたかも力が加わったかのように感じるということを示唆している。しかし、HMD やフラットパネルディスプレイを用いたビデオシースルー環境の複合現実感では、装置を装着する煩わしさや、視覚情報の提示範囲の狭さが欠点として挙げられる。そこで、本研究ではプロジェクタからの視覚情報提示に着目し、それにより Pseudo-Haptics を生起させ、ユーザの力覚を操作することを目的とする。

### 2. 提案手法

本研究では、従来研究から得られた操作対象の速度を変調させることで疑似力覚の提示が可能であるという知見を利用する。しかし、本研究ではユーザ自身の手を動かす対象としているため、その移動速度をユーザの意図に反して変調することはできない。さらに、プロジェクタを用いる場合では、自身の体や投影先である実空間を直接視認することができるため視覚情報に誘導されにくく、Pseudo-Haptics が生起しにくいと考えられる。

一方、プロジェクタによる複合現実感環境での Pseudo-Haptics の研究 [Kanamori 2015][Pumpongsanon 2015] では、自身の身体へ視覚情報を重畳投影することで視覚と触覚の不整合を生じさせることで、Pseudo-Haptics が生起し、ユーザが

物体を触った時の形状や、柔らかさを操作することができると報告している。

そこで提案手法として、ユーザが動かしている手に空間的にランダム配置されたドットパターン（以下ドットパターン）を重畳投影し、手と同期して動かすことでドットパターンの速度を手の速度だと認識させる。そして、手の移動方向に対してドットパターンを順方向に動かす（図 1(a)）ことで手が速くなったと感じ、知覚する力が小さくなる。また、ドットパターンを逆方向に動かす（図 1(b)）ことで手が遅くなったと感じ、知覚する力が大きくなることを考え、検証実験を行った。

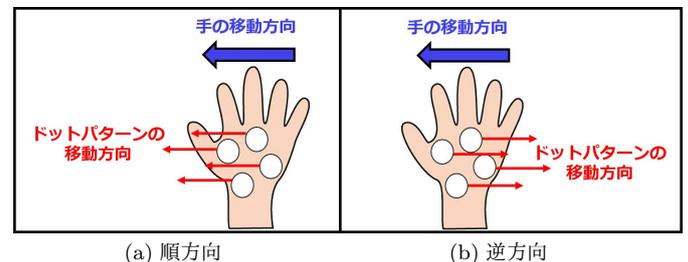


図 1: ドットパターンの移動方向

### 3. 実験

本実験では、力覚提示装置を用いて、被験者が動かしている手に対して力を提示し、視覚刺激を与えることによって感じる力の大きさが変化するかを調べた。視覚刺激は、ドットパターンの移動方向が 3 方向（順方向、逆方向、指先方向）、そのそれぞれの方向に対し、手に対する速さが 2 種類（速い:63.0mm/s, 遅い:31.5mm/s）の 6 条件と、ドットパターンが手に対して動かない（相対速度が 0）条件を加えた計 7 条件で行った。

力覚提示装置から比較基準となる力（1.0N）が被験者から見て右向きに提示された状態で被験者は手を右から左へ動かす。始めは、手に対してドットパターンを動かさずに投影する。手を動かしている途中で、力覚提示装置からの力を変化させると同時に視覚刺激を提示し、変化した後の力の大きさと基準の力を比較する。比較する力の大きさを 0~2.0N の範囲で変化させ、比較を繰り返すことにより、被験者が 1.0N よりも大きいと感じるようになる力の閾値を推定した。図 2 に実験システムと、ドットパターンが投影されている様子を示す。

## 4. 結果

実験は12人(男性11人, 女性1人)に対して行った。図3は、ドットパターンの3種類の移動方向と2種類の速さの組み合わせの視覚刺激における、推定閾値の平均値である。二元配置分散分析の結果では、ドットパターンの速さの違いにのみ主効果が見られたことから、今回の実験条件では移動方向の違いによる力覚への影響が無く、速い条件のときに遅い条件と比べて、被験者が1.0Nよりも大きいと感じる力の閾値が高くなることが分かった。

図4は、“速い”と“遅い”条件での推定閾値をそれぞれ3方向まとめて平均した値と、ドットパターンを手に対して動かさない条件での推定閾値の平均値である。Bonferroni法による多重比較を行った結果、被験者は速い条件の時に、動かさない条件と遅い条件に比べて力を実際よりも小さく知覚することが分かった。



図 2: 実験システムと手にドットパターンを投影した様子

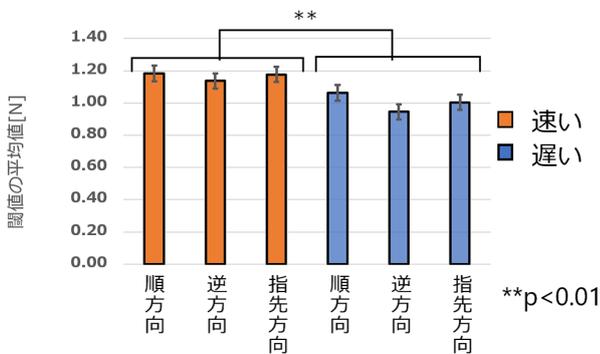


図 3: 6種類の視覚刺激における推定閾値

## 5. おわりに

本研究では、プロジェクタを用いてユーザが動かしている手にドットパターンの重畳投影を行い、手に対するドットパターンの相対速度を変調させることでユーザの力の知覚にどのような影響があるかを実験により検証した。実験の結果から、移動方向に関わらず、ドットパターンを速く動かすことで、遅く動かしたときと比べてユーザは力を小さく知覚することを確認した。したがって、手に投影したドットパターンの移動速度を速くしたり遅くしたりすることで、手を動かす際の力覚を操作できることを示した。

しかし、今回行った実験では、どの視覚刺激においてもユーザが力を実際よりも大きく知覚することが確認できなかった。

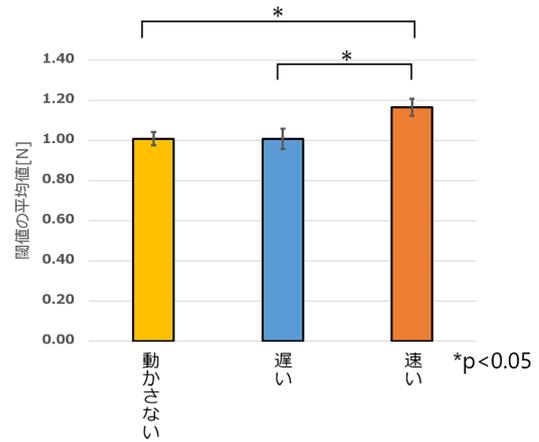


図 4: ドットパターンの各速さ条件における推定閾値

そこで、ユーザが力を実際よりも大きく知覚する視覚刺激を調査することが必要である。具体的には、今回の実験のようにドットパターンの速度を瞬時に切り替えるのではなく、速度をなだらかに変化させるようにし、ドットパターンが速く動く状態から徐々に遅くしていくことで、ユーザに手の動きが遅くなったと感じさせ、力を大きく知覚させることができるか検証を行う予定である。

また、手の移動軸とは異なる方向である指先方向へのドットパターンの移動においても、速く動かすことで力を小さく知覚する傾向が見られたことから、ドットパターンの動きが平行移動でなく、回転や大きさが変調する動きであっても同様の効果が得られるかや、ドットパターン以外のテクスチャの投影で検証したい。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15H05925 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [Pusch 2009] Pusch Andreas, Olivier Martin, and Sabine Coquillart. “HEMP: hand-displacement-based pseudo-haptics: A study of a force field application and a behavioural analysis.” *International journal of human-computer studies* 67.3 (2009): 256-268.
- [石井 2012] 石井雅博, 佐藤秀一. “3次元空間内における Pseudo-Haptics について.” *The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers* 66.6 (2012): J188-J191.
- [Kanamori 2015] Toshio Kanamori, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato, “Manipulating Haptic Shape Perception by Visual Surface Deformation and Finger Displacement in Spatial Augmented Reality,” *In Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*,(2015): pp. 190-191.
- [Punpongsanon 2015] Punpongsanon Parinya, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato, “Softar: Visually manipulating haptic softness perception in spatial augmented reality.” *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on* 21.11 (2015): 1279-1288.