



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

多指の Pseudo-Haptics 表現における押下・つまみ動作に与える影響

Influence on Pressing and Pinching Motion under Multi-Fingered Pseudo-Haptics Representation

松島 周平¹⁾, 嵯峨 智¹⁾

Shuhei Matsushima, 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 2-39-1)

概要: 我々は指の見え方を変えた Pseudo-Haptics 表現が硬軟感覚に与える影響を調査している。これまでの研究で、物体を五指で保持する動作において硬軟感覚の知覚量にわずかながら影響を与えていることがわかった。そこで今回は、単指で物体を押す、二指で物体をつまむという動作に対しても五指での動作と同様に硬軟感覚に対して影響を与えるかどうかを評価し、多指による効果の検証を行う。

キーワード: 触覚, Pseudo-Haptics, VR

1. はじめに

近年 Virtual Reality (VR) 技術の発展・普及により日常の至る所で VR を用いた製品やアプリケーションを目にすることができるようになった。また、VR 技術の発展に伴い VR 空間上のものに触れる感覚を提示する触力覚提示技術も同様に発展してきた。映像とともに触力覚を提示することにより、よりリアリティの高い VR の実現やユーザーインタフェースの操作性の向上などが期待されるため、触力覚提示技術は多方面から注目を集めている。触力覚の提示手法として一般レベルにおいては Oculus Quest/Quest2 [1] などの振動子を用いたものが一般的である。また研究レベルでは振動子を用いる他にワイヤを引っ張るなどして皮膚に力を加えたり、超音波を用いたりする手法もある。しかし、触力覚を正確に再現しようとする装置が大きくなったり電力消費が大きくなったりというデメリットも生じてしまう。

これに対して、Pseudo-Haptics [2] を用いて触力覚を提示する手法がある。身体動作を反映したポインタの位置や速度を適切に変化させることで錯覚を起こし、擬似的に触力覚を提示することができる。この手法を用いることで追加のデバイスを用意する必要なく、視覚刺激を変化させるだけで触力覚を提示できるというメリットがある。Pseudo-Haptics が硬軟感覚に与える影響を調査する研究もこれまでに様々行われており、木村ら [3] や国分ら [4] は手指や物体の映像を適宜変化させ提示することにより、握り動作や引伸動作などで硬さ・柔らかさの提示が可能であることを検証した。しかしこれらの硬軟感覚を操作する研究は、指や物体の映像を 2 次元的に加工し感覚提示を行うものがほとんどであり複雑な視覚情報生成が難しいという課題がある。

そこで我々は、ハンドトラッキングを用い、VR 空間上

に表示された手指の角度を操作することで 3 次元的に視覚情報を生成、提示する手法を提案した。これまでの研究で物体を五指で保持する動作においては硬軟感覚にわずかながら影響を与えていることがわかった。そこで本稿では単指で物体を押す、二指で物体をつまむという動作に対しても五指での動作と同様に硬軟感覚に対して影響を与えるかどうかを評価し、多指による効果の検証を行う。

2. 提案手法

我々は Oculus Quest2 [1] のハンドトラッキング機能を用いることで、3 次元的な視覚情報の提示と自由度の高い操作を可能としている。VR 空間上にトラッキングされた手指の第二関節の角度を、実際の角度から変化させ視覚刺激として提示する。現実の手 (リアルハンド) の第二関節の伸展した状態からの角度変化を $\Delta\theta$ 、バーチャル空間上における手 (バーチャルハンド) の第二関節の伸展した状態からの角度変化を $\Delta\Theta$ とする。これまではオフセット α を用いて、バーチャルハンドの第二関節の角度を α 変化させた映像を視覚刺激として提示していた。しかしこの方法ではバーチャルハンドとリアルハンドの第二関節の角度の間に常時ずれが生じるため違和感が生じやすいというデメリットがある。そのため今回はバーチャルハンドとリアルハンドの第二関節の角度の間にオフセットではなく C/D 比 (Control/Display Ratio) を設定した。C/D 比を β とすると以下のように表すことができる。

$$\Delta\Theta = \beta\Delta\theta \quad (1)$$

また、図 1 に C/D 比を設定した場合の手の見え方を比較したものを示す。

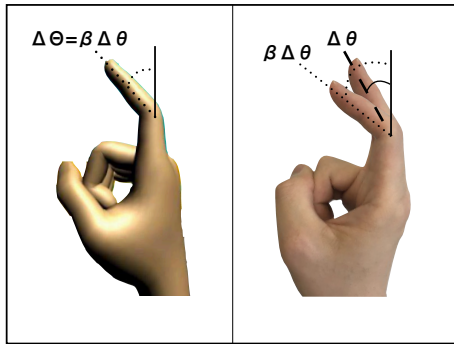


図 1: C/D 比を設定した場合の手の見え方の比較 ($\beta > 1$)

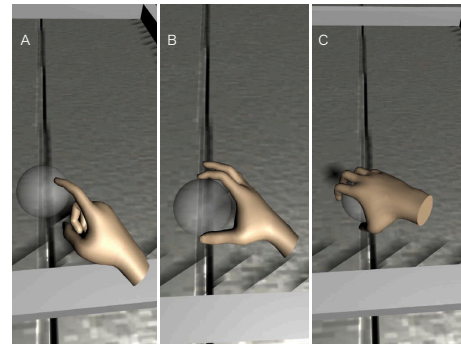


図 2: 3つの動作を行なっている様子 (A:押下動作 B:つまみ動作 C:保持動作)

3. 実験

提案手法による硬軟感知覚への影響を評価するために心理物理実験を行った。被験者は 22-24 歳の男性 5 名で全員右利きである。実験は Head Mounted Display (HMD) とゴムボール (ソフトテニスボール KSV-007W, 空気圧 210 hPa) を用い、HMD を装着した状態で VR 映像を提示しながら行う。VR 空間内のボールと実空間のボールは位置をキャリブレーションし、実空間でボールに触れているときに VR 空間でもボールに触れて見えるようにする。今回の実験ではボールを五指で保持する、二指でつまむ、単指で押すという 3 つの動作についてそれぞれ検証をする。

3.1 実験手法

指の角度を変化させないシーン 1 と変化させるシーン 2 でそれぞれ利き手でボールに触れ、ボールの硬さを比較する。その後、シーン 1 とシーン 2 のどちらでボールに触れた方が硬いかを回答してもらう。これを 3 つの動作でそれぞれ行う。またシーン 2 での C/D 比は保持動作の場合 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 の 5 段階で、つまみ・押下動作の場合 0.8, 1.0, 1.2 の 3 段階で変化させ、3 つの動作のそれぞれの C/D 比ごとに 5 回ずつ試行を行う。さらに、順序効果をなくすためにシーン 1 とシーン 2 の提示順、シーン 2 での C/D 比をランダムで変更しながら実験を行う。VR 空間上で 3 つの動作それぞれを行なっている様子を図 2 に示す。最後に硬軟感知覚にそれぞれの動作でどの程度変化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 段階でアンケートを行った。

3.2 実験結果

五指での保持動作、二指でのつまみ動作、単指での押下動作それぞれにおける手指の C/D 比変化に対する回答率の結果を図 3 に示す。グラフはそれぞれの C/D 比でボールに触れた際に C/D 比変化がなかった場合と比べて硬いと答えた割合を表している。また近似曲線はロジスティック曲線モデルのカーブフィッティングを用いる。

また、硬軟感知覚についてどの程度変化を感じたかについてのアンケート結果を集計したグラフを以下の図 4 に示す。グラフはそれぞれの動作において感じた知覚量変化の大きさごとの人数を表している。

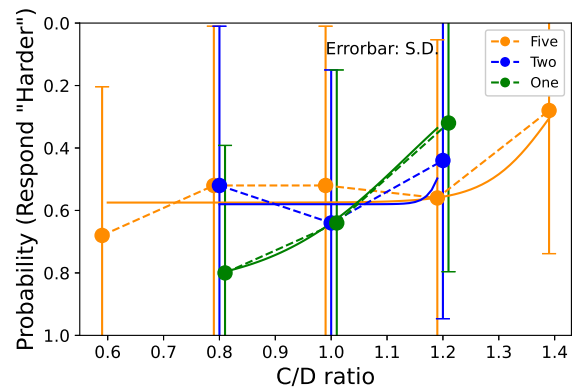


図 3: 3つの動作における回答率

図 3, 図 4 より五指での保持動作では C/D 比を用いて手指の変化を行った場合でも硬軟感知覚に影響を与えていることがわかった。知覚量に関してはオフセットの場合と同様に少しの影響しか与えることはできなかったが、実験後の被験者から違和感を感じたというコメントはほとんど得られなかったため、少なからず違和感の低減は行えたのではないかと考えられる。

また 3 つの動作を比較した際、図 4 より保持動作、つまみ動作においては多少の知覚変化を感じたとの回答した被験者がほとんどであったが、押下動作に関しては知覚変化を感じなかったとの回答が増える結果となった。押下動作では人差し指の指先のみがボールと触れるため、指の腹でボールに触れることができる他二つの動作と比べて硬軟感を知覚しづらかったと考えられる。

図 3 において単指での押下動作が他 2 つの動作と比べて C/D 比による差が大きくでた要因としては、硬軟感を知覚しづらかったために指の視覚的な変化が硬軟の判断に大きく影響を与えたからだと推察される。また保持動作とつまみ動作を比較すると図 2 でのアンケート結果は一緒であったが図 3 での回答率に多少の差が生じている。この差については誤差の可能性もあるが、動作間による指の見え方の違いやボールとの接触面積の違いなどによる影響も少なからずあるのではないかと考えられる。

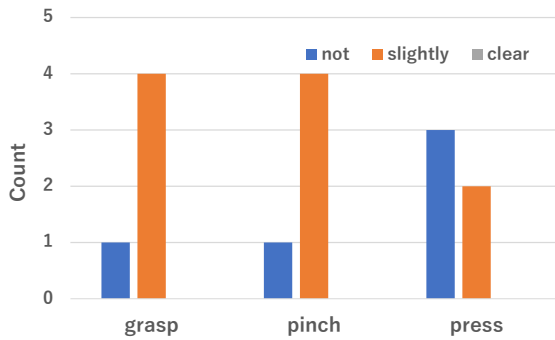


図 4: 知覚量変化についてのアンケート結果

4. まとめと今後の展望

本稿ではハンドトラッキングを用いた 3 次元的な視覚情報を提示した際の、複数動作における硬軟感知覚に与える影響を調査する実験を行った。また手指の角度変化をオフセットから C/D 比に変更することで違和感の低減を目指した。実験の結果から、五指において C/D 比を用いることでもオフセットを用いた際と同程度の知覚量変化を与えることができおり、二指の場合でもわずかにではあるが知覚量変化を与えることができた。しかし単指の場合ではあまり知覚量変化を与えることができおらず、ボールと手指との接触箇所の違いなどが硬軟感の知覚量に影響を与えたのではないかと考えられる。また、五指と二指についても指の見え方やボールとの接触面積などが硬軟感知覚に影響を与えるのではないかと考えられる。

今回の実験では VR 上のボールをつかんだ際に映像上ではボールに弾性変化が生じていなかったため、今後は弾性変化を生じさせるなど硬軟感の知覚量向上を図る。また硬軟感の知覚量変化を定量的に求める実験も行っていきたいと考えている。

参考文献

- [1] Oculus — VR ヘッドセット・デバイス. <https://www.oculus.com/>. (Accessed on 07/20/2021).
- [2] 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.
- [3] Shin-ichiro Yabe, Hiroaki Kishino, Takashi Kimura, and Takuya Nojima. Pseudo-haptic feedback on softness induced by squeezing action. In *2017 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 557–562. IEEE, 2017.
- [4] 国分新, 伴祐樹, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝. 背面タッチパネルを用いた擬似力覚によるモバイル端末での触覚提示 (特集ハプティックコンテンツ). *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 19, No. 4, pp. 571–580, 2014.