

VR 空間における感覚間相互作用を用いた触知覚提示

Presenting Haptic Sensations by Utilizing Cross-modal Interaction in VR

5118E016-4 平尾 悠太郎, 指導教員 河合 隆史 教授

Yutaro Hirao, Prof. Takashi Kawai

概要: バーチャル物体とのインタラクションにおいて、触覚情報はリアリティや操作性向上のために重要な要素であり、その提示手法が長らく模索されてきた。本課題に対して私は、人間の認知特性である感覚間相互作用 (クロスモーダルインタラクション) を利用した手法の研究を行ってきた。特に、視覚と触覚の感覚間相互作用を利用し、インタラクション対象物体の挙動や形状を視覚的に操作するだけで、複雑な触覚デバイスなしに触知覚を提示する手法を、バーチャルリアリティ (VR) 環境で活用する研究を展開してきた。具体的には次の3つの研究、すなわち 1) 従来のクロスモーダル触知覚提示手法を没入型 VR へ応用する研究、2) クロスモーダル触知覚提示手法を視聴覚表現の側面から拡張する研究、そして 3) クロスモーダル触知覚提示手法をインタフェースの側面から拡張する研究を行った。これらの研究により、VR 空間における感覚間相互作用を用いた触知覚提示の幅を広げることに貢献した。

キーワード: 触知覚, 感覚間相互作用, クロスモーダル, バーチャルリアリティ,

1. 感覚間相互作用と没入型 VR (重さ知覚の提示)[1]

1.1 背景

感覚間相互作用を利用した触知覚提示手法の課題の一つとして、提示できる力触覚が比較的弱く、その提示可能な知覚強度範囲が狭いことが挙げられる。例えば重さ知覚提示における従来の研究では、5%程度の重量知覚操作に成功している[2]。しかし多様なバーチャル物体の重さ情報提示という目的においては、従来確認されている重量知覚操作の程度では十分であるとはいえない。

1.2 解決策・研究目的

クロスモーダル触知覚提示は今まで2次元ディスプレイやシースルー型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) での検討が主であった。そこで筆者は、没入型 HMD を用いた VR 空間において本アプローチを用いることにより、提示可能な知覚強度の範囲を拡大できると考えた。その理由は、没入型 VR では視野内の全ての視覚情報が制御可能なために、視覚表現の自由度が高く、視覚情報の信頼度も高く認知されると期待できるためである。そこで本研究では没入型 VR における視聴覚表現手法の探索と、その表現がユーザの触体験や行動、生理反応に及ぼす影響の調査を目的として研究を行った。

1.3 方法・結果

物体とのインタラクションにおいて重要な力触覚情報の1つとして重さ感覚がある。そこで筆者は、VR 空間において持ち上げるバーチャル物体 (と手モデル) が実際の動作に追従する挙動を操作することで、VR 空間において知覚強度の広い提示範囲を有した重さ知覚提示が可能となる手法を提案した。評価実験の結果、バーチャル物体がユーザの動きに対して視覚的に“動きづらい”ほど有意に主観的な重量感が増加し、その動きづ

らさに伴い複数段階の重量知覚の変化が確認された。また提案手法により従来手法に比べて主観的により広い知覚強度の範囲 (本実験結果では重さ知覚の比が最大 4.4 倍の知覚幅) の重さ知覚提示が可能であることが示唆された。

2. VR におけるクロスモーダル表現手法[3]

2.1 背景

感覚間相互作用を利用した触知覚提示手法のもう一つの問題点として、表現によっては個人差が大きくなり、意図した感覚ではない感覚の誘発や違和感が生起されることが挙げられる。1章の研究では視覚的なズレが大きくなるほど有意に主観的な重量感が増加し、複数段階の重量知覚変化が確認された。しかし同時に、現実の身体とバーチャル物体及び手モデルの視覚的なズレが大きくなるほど、重さ知覚の個人差が大きくなり、実験参加者によっては重さではなく慣性力や粘り気、スローモーションのように感じるといったようなコメントも得られた。この原因として、クロスモーダルにより重さ知覚を生起しなかった参加者は、遅延という表現を制作者の意図していないコンテキストでとらえていると考えられる。

2.2 解決策・研究目的

感覚間相互作用による触知覚提示は過去の経験や知識が影響する可能性がいくつかの研究によって示唆されている[4]。そこで目的とした知覚に近い知覚が生起されるような実世界でのシチュエーションにおいて、その時の生理反応や体験時の印象及び関連する知識などを視聴覚的に表現することによって、より意図した感覚の提示が可能になると考えた。

以上より本研究では、本手法が VR 空間における体験の質に及ぼす影響の評価を目的とした。具体的には、一つ目として、本手法による力み感の表現が、実際に自分がモノを強く握っているという感覚を増長するかどうか、そして二つ目として、本

手法による表現が全体的な触知覚体験の質を変化させ、その結果として視覚的移動量を操作する表現のみの時と比べてその体験が「重たいものを持っている体験」へと近づくかどうかを検討することを目的とした。

2.3 方法・結果

本研究では力み感の表現として、バーチャル物体持ち上げ時に、1章の視覚的移動量操作に加え、手モデルの視覚的な震え、手モデルの皮膚の色が赤らむアニメーション、心音の大きさと速さの増大といった視聴覚表現を取り入れた。評価実験の結果、本提案手法による力み感の表現により、有意な力み感の増大が確認され、さらに実際にコントローラを握る力や握り方が変容することも確認された。また実験の結果や参加者のコメントから、本提案手法により参加者の体験が重量物を持ち上げるといふ体験へと共通化される傾向もみられた。以上から、本提案手法により、製作者の意図した触体験や身体行動をより確実に誘発できる可能性が示唆された。

3. コントローラ操作によるクロスモーダル触知覚[5, 6]

3.1 背景

現在、ほとんどのVRアプリケーションはモーショントラッキングの技術を可能な限り用いる傾向にある。没入型のVR体験において、ユーザの頭や手をトラッキングすることは一般的になりつつあるが、そこからさらに、手や腰、足等の他の身体部位のトラッキングも盛んに行われてきている。そして、VR空間における従来のクロスモーダル触知覚提示研究は筆者の知る限り全て、このようなトラッキングシステムを用いて、VR空間上の身体の挙動を、主に視覚的に操作することで、その効果を検討してきた。一方で、モーションベースの操作が身体的理由で困難なユーザや、モーショントラッキングシステムを所持していないユーザに対しても、クロスモーダル触知覚提示を行うことができれば、VRアプリケーションの応用の幅はさらに広がると考えた。

3.2 解決策・研究目的

本研究ではVR空間における身体アバタをゲームコントローラによって操作する際のクロスモーダル触知覚について検討する。クロスモーダル触知覚の発生機構を説明するPuschとLecuyerのモデル[4]によると、クロスモーダル触知覚を生起するためには、視覚と聴覚の情報のみでなく、触覚(体性感覚)情報も必要であることが分かる。ところが、通常ゲームコントローラによる操作では、操作している指を除いてユーザの身体が動くことはない。しかしこのような状況においても、我々は自身の身体が動いているように感じることがある。MaとHommelの研究では、ユーザの動作に対してシステマチックに対応する場合において、身体的ではない事象に対しても身体所有感が生起することが確認された[7]。この結果は、ゲームコントローラによってバーチャル身体を操作している際に、ユーザが自身の身体が動いているように知覚するという可能性を示唆している。また2章の研究から、クロスモーダル表現による力み感

提示において、ユーザのコントローラを握る力が増加することが確認されている。ゲームコントローラによるこの種の受動的な触覚フィードバックがクロスモーダル触知覚を増大させる可能性も考えられる。以上より本研究では、コントローラによるバーチャル身体操作によってもクロスモーダル触知覚は生起し得ると考えた。そこで本研究では、コントローラベースのクロスモーダル触知覚と、従来のモーションベースのそれを比較することを目的とした。

3.3 方法・結果

本実験では、参加者はバーチャルな手モデルをハンドトラッキングシステム(モーションベース操作)又はコントローラのアナログスティック(コントローラベース操作)によって操作して、バーチャル物体を引く/持ち上げるという課題を行い、いくつかの視覚的移動量操作の条件において、そのクロスモーダル重さ知覚を比較した。本実験の結果から、コントローラベースの操作はモーションベースの操作と似たようなクロスモーダル重さ知覚を提示可能であることが分かった。これより、VRコンテンツの開発者やユーザはクロスモーダル触知覚体験に対して、モーションベースの操作の代わりにコントローラベースの操作を採用することができることが示唆された。

参考文献

- [1] Y. Hirao, et al., "Weight Sense Representation Using Cross-modality in Virtual Reality," The Virtual Reality Society of Japan, Vol.23, No.4, (2018). (in Japanese)
- [2] Y. Taima, et al., "Controlling fatigue while lifting objects using Pseudo-haptics in a mixed reality space," 2014 IEEE Haptics Symposium - Proceedings, (2014), pp.175-180
- [3] Y. Hirao, T. Kawai, "Augmented Cross-modality: translating the physiological responses, knowledge and impression to audio-visual information in virtual reality," Journal of Imaging Science and Technology Vol. 62, Issue 6, (2018).
- [4] A. Pusch and A. Lecuyer, "Pseudo-haptics: from the theoretical foundations to practical system design guidelines," in Proceedings of ICMI 2011, (2011), pp. 57-64.
- [5] Y. Hirao and T. Kawai, "Can We Create Better Haptic Illusions by Reducing Body Information?," In Proceedings of 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), (2019).
- [6] Y. Hirao, T. M. Takala and A. Lecuyer, "Comparing Motion-based Versus Controller-based Pseudo-haptic Weight Sensations in VR," In Proceedings of 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), (2020), (in press)
- [7] K. Ma and B. Hommel, "Body-ownership for actively operated non-corporeal objects," Consciousness and Cognition, Vol. 36, (2015), pp.75-86.