

論文の内容の要旨

論文題目 バーチャルハンドの変形による視触覚間相互作用の生起に関する研究

氏 名 伴 祐樹

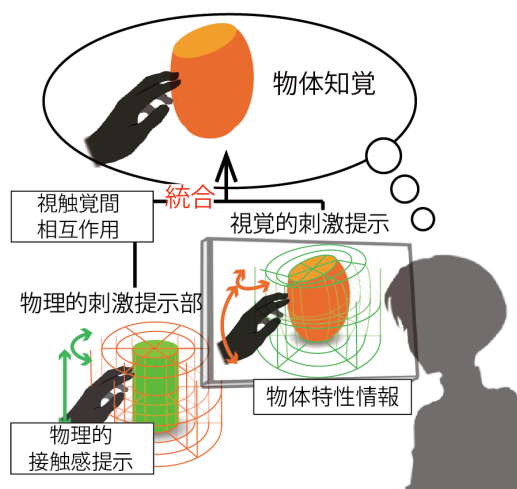
本研究では、これまで、入力部と出力部が離れているような、画面内の物体とのインタラクションにおける現象に止まっていた視触覚間相互作用の効果を、自身の手指を用いた物体との三次元空間的なインタラクションにまで拡張する手法を見出し、バーチャル物体を手で触るリアリティの高い触覚体験を提供する技術について論じる。各種情報機器の発展により、VRにおいて高い精度・解像度で様々な感覚を再現できるようになりつつある。しかし、触力覚ディスプレイは、比較的人工的な感覚再現が容易な視覚や聴覚のディスプレイに対し複雑・高コストになりやすく、様々な分野に需要があるにもかかわらず普及が進んでいない。これは、既存の触力覚提示技術に、ユーザの手や指先にかかる力をアクチュエータにより物理的に正確に再現することで、触力覚そのものを単独で提示することが求められてきたためである。

一方、感覚情報提示の新たな方法論として、ある感覚刺激に対する知覚が、同時に受け取った他の感覚に対する刺激の影響で変化するという感覚間相互作用が近年注目を集めている。視覚触覚間においても多くの錯覚効果が確認されてきたものの、それらのほとんどはマウスカーソルを用いた画面内の物体とのインタラクションにおける現象確認に留まっていた。そこで本研究では、この現象を自身の手指を用いた物体とのインタラクションに活用できるよう、物体に触れているユーザの手の動きや姿勢を映像として取得し、それを空間的・時間的に操作して視覚提示する手法を提案した。そして、簡易な触力覚提示機構と視覚刺激生成手法を組み合わせることで、物体との接触時に生じる深部感覚に関する視触覚間相互作用を強力に生起させ、バーチャル物体を触るリアリティの高い触覚

体験を提供するシステムを構築した。

その際、自身の手による物体との接触から得られる感覚を、`触れているかどうか`という、物体から受ける反力知覚、触圧覚知覚まで含めた接触感の有無と、`どのように触れているか`という、形状、大きさ、重さ、硬さ、表面テクスチャといった物体特性の知覚に関わる部分に分解するというアプローチを提案手法の中心的指針として据え、前者は実際に体験者が手で触れるもの（物理的触力覚提示部）を用意することで、手指への触圧覚・筋腱にかかる反力に対する感覚の有無を提示し、後者に対する知覚を視触覚間相互作用の効果により操作するという手法を構築した。

バーチャルハンドの変形による視触覚間相互作用生起手法の実現にむけて効果を検証すべき要件として、視覚的に提示するバーチャル物体と、物理的に提示する実物体、そしてそれを操作するユーザの手の動きの関係から、静的空間操作による形状・サイズ感提示、動的空間操作による硬さ感提示、時間的操作による重さ感提示という三点に着目し、それぞれについて検討をおこなった。また、各アプローチによる知覚操作の効果に対する新しい客観評価方法についても検討をおこない、被験者の手指の動きの変化や、それらにかかる圧力の変化、また、擬似力覚によって変化するユーザのパフォーマンスの変化といった生理的反応変化を計測することで、筋電計測等の被験者への負荷が大きく環境構築が困難な実験系を用いずとも、効果量を具体的な客観的評価数値に落とし込めることを確かめた。

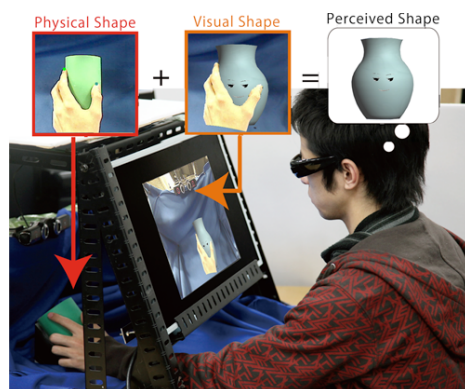


バーチャルハンドの変形による視触覚間相互作用の生起

第1章「序論」では、本研究の背景と目的、及び本論文の構成を述べた。

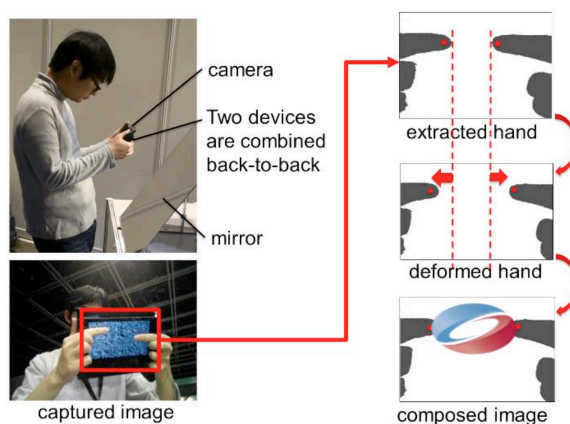
第2章「VRにおける物体提示」では、VR分野において触力覚を提示するための既存の物理的触力覚提示手法とその問題点について整理し、物理的な力触覚の再現ではなく、物体への知覚メカニズムを利用した物体提示のため、ヒトの情報処理過程において、物体やその近傍空間を知覚する過程とそれに纏わる感覚間相互作用についての知見をまとめた。その上で、それらが本研究でめざす視触覚間相互作用生起手法に対してどのように応用可能かについて論じた。

第3章「静的空間操作による形状・大きさ提示」では、深部感覚を用いて知覚される物体特性のうち、空間的要素に対して変調を加えることで、物体の形状や大きさに対する知覚を操作し、単純な物理的反力提示機構から、多様な形状の物体を触っているかのような体験を生成する手法について論じた。その際、多様な物体を提示するために必要な形状基本要素を定義し、それぞれに対する知覚操作方法を構築・検討した後、それらを統合する手法について検討し、角、曲面、斜面といった複数の要素を含む複雑な形状をも提示できる可能性を示した。



手映像の動きの歪曲操作を利用した形状知覚操作

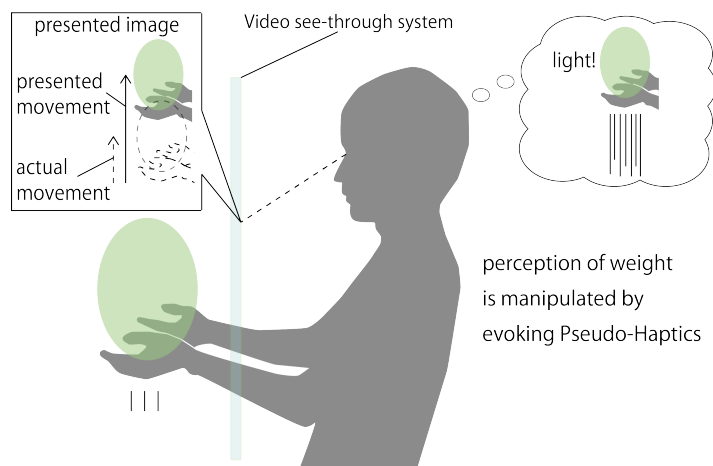
第4章「動的空間操作による硬さ提示」では、バーチャル物体の変形に伴う実物体とバーチャル物体の形状差の動的変化をもとに、提示する手映像の動きの空間的操作量も変化させることで、接触物体の硬さに対する知覚を操作し、多様な硬さの物体を提示する手法について論じた。変形量を操作したバーチャル物体と、物体を掴むユーザの手との間に生じる空間的不整合を手形状変形アルゴリズムにより解消することで、視覚フィードバックの硬さ知覚操作効果を、既存の視触覚間相互作用を利用した硬さ知覚操作手法に比べ、大幅に向上させられることが示唆された。また、モバイルデバイスの背面タッチディスプレイ入力においても、背面タッチ操作におけるポインタとして手画像の動きを動的に変調したものをを用いることで、剪断方向への擬似力覚を強力に生起させられることを確かめた。



背面タッチデバイスにおけるバーチャル物体の硬さ提示

第5章「時間的的操作による重量提示」では、深部感覚を用いて知覚される物体特性のうち、

時間的要素に対して操作を加えることで、物体の持ち上げ動作における重さ知覚を操作する方法について論じた。従来行われてきた遅延方向への変調だけでなく、動作の予測による先行方向への変調により、知覚される物体の重量を増加，減少させられることを確かめた。その際、持ち上げ動作の各段階が重量知覚に与える影響の偏りを利用し、最も影響の大きい、持ち上げ始め (early lift) の段階で時間的的操作を加え、その後の動作の中で生じたずれを解消することで、実空間とバーチャル空間内に生じる空間的・時間的不整合を解消し効果的に重量知覚を操作できる可能性を示した。



視覚刺激の時間的的操作による重量感提示

第6章「バーチャルハンドの変形による視触覚間相互作用の生起」では、第3，4，5章で述べた3つのアプローチとその成果をまとめることで、本研究で提案した視触覚間相互作用生起手法を実現するための要点を整理した。また、リアリティの高い触体験を作り出すVRの実現に向けた本研究の貢献をまとめるとともに、本研究により生じるVR技術の新たな可能性について述べた。

第7章「結論と今後の展望」では、本論文を通して得られた結果をまとめ、本論文で提案した視触覚間相互作用を用いた物体提示手法の応用先や今後の展望について述べた。