

審査の結果の要旨

氏 名 伴 祐 樹

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、既存の触力覚提示手法は、ユーザの手指にかかる力を物理的に正確に再現してきたために、複雑・高コストになりやすいという課題を抱えていた。一方、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を利用し、擬似的に触力覚を簡易に生起させる手法も研究が進められている。しかし、それらのほとんどはマウスカーソル等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。それらに対し本論文では、自身の手映像（バーチャルハンド）の変形を用いることで、自身の手指を用いた物体との三次元空間的な触体験における視触覚間相互作用を生起させる方法論を提案している。

第1章「序論」

リアリティの構築における触覚の重要性について述べ、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留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触体験にまで拡張する手法の構築が本研究の目的であると述べている。

第2章「VRにおける触力覚提示」

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、物体への知覚メカニズムを利用した物体提示のため、物体やその近傍空間を知覚する過程についての知見が纏められている。その上で、既存の視触覚間相互作用生起手法と、それらの抱える課題を整理している。提示視覚刺激に対し自己所有感を強く生起させるため、ユーザの手指の動きを投影する視覚刺激として、身体運動の映像を操作したものを用いる手法を提案している。その際検証すべき要件を、深部感覚によって知覚される情報の種類という観点から三点に分類している。また、自身の手による物体との接触から得られる感覚を、物体から受ける接触感の有無と、物体特性の知覚に関わる部分に分解するという手法を提案している。加えて視触覚間相互作用の効果の評価にあたり、新しい客観評価方法についても提案している。

第3章「静的空間操作による形状・大きさ提示」

深部感覚により知覚される物体特性のうち、空間的要素に対して操作を加えることで、物体の形状や大きさに対する知覚を操作し、多様な形状との触体験を生成する手法について論じた。形状提示に必要な基本形状要素を定義し、各々に対する知覚操作法を構築・検討した後、それらを統合することで、曲面等複数の要素を含む複雑な形状をも提

示できることを示している。更に、自由視点接触・多指接触といった既存のカーソルを用いたPseudo-hapticsでは実現不可能だった触体験を生成する手法を提案・検証し、刺激を提示した際の実際の指の動きの変化を観察することによる錯覚効果の客観的評価可能性を示している。

第4章「静的空間操作による形状・大きさ提示」

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、手映像の動きの空間的操作量を変化させることで、物体の硬さに対する知覚を操作する手法について論じた。提案手法により、視覚フィードバックによる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手法に比べ、大幅に向上させられることを明らかにした。また、モバイル端末の背面タッチ入力においても、本手法により、押下・剪断方向への擬似力覚を強力に生起させられることを明らかにし、刺激を提示した際に指にかかる圧力の変化を観察することによる錯覚効果の客観的評価可能性を示している。

第5章「時間的操作による重量提示」

深部感覚により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。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、持ち上げ始めの段階で時間的操作を加え、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明らかにしている。加えて、刺激を提示した際のパフォーマンスの変化を観察することによる錯覚効果の客観的評価の可能性を示している。

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」

第3, 4, 5章で述べた3つのアプローチとその成果を纏めることで、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手法を整理し、既存手法から進歩した点について纏めている。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纏めるとともに、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ている。

第7章「結論と今後の展望」

本論文における結論、並びに提案手法による触力覚提示手法によって期待される展開として、HCIの広範囲の分野において利用可能な、自身の手でバーチャル物体に触れる触体験の実現について述べている。

筆者によって提案され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手法は、提示刺激に自己所有感を生起させることで相互作用効果を引き出し、自身の手で直接触っている物体に対する知覚操作を強力におこなえることを示したものである。また、具体的なアプリケーション例や、各提案手法の特性および有効範囲についても示されており、幅広い分野に対して高い実用性が期待される。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。