



Title	Pseudo Tactile Feedback for Extended Hand Users
Author(s)	佐藤, 優志
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/98682
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 佐 藤 優 志 ）

論文題名

Pseudo Tactile Feedback for Extended Hand Users
(拡張手ユーザのための疑似触感フィードバック)

論文内容の要旨

人の手は外界の対象に働きかけたり、対象の特性を知覚することができるが、それらは手の到達範囲内に限られる。プロジェクタからユーザが自在に操作可能なCG手像（拡張手）を投影することで、ユーザは身体的負担なしに、遠方の物体への指示や意図表現が可能となる。ただし、その物体の触感を感じることはできない。

本論文では拡張手が触れた遠方物体の触感をユーザが感じられるようにすることに取り組む。特に、日常生活での利用を想定した場合、身体的負担がないことが重要であると考え、身体的負担なしに遠方物体の可触化を実現する手法の確立に取り組む。この実現のため、本研究では疑似触覚フィードバック（視覚・聴覚刺激をユーザ入力に応じて変調させ、疑似的な触覚を生起させて触感提示を行う方法）に着目する。視聴覚刺激は身体的負担なしにユーザに提示可能であり、本目的に合致している。しかし、疑似触覚フィードバックが拡張手に適用された例は乏しく、本論文ではその適用方法の提案を行う。

2章では、拡張手の映像に手指を振動する等の視覚効果を付与する物体触感提示手法を提案する。凸凹感、つるつる感、柔らかさ感を伝達する三つの視覚効果を設計し、ユーザ調査を通じてこれら効果の触感提示能力を明らかにする。

3章では、スピーカから触音（物体をなぞった際に発生する音）を再生し、物体触感を提示することに取り組む。特に、拡張手で遠方物体に触れる体験は、手で物体に触れる体験とは異なるため、その状況下での適切な触音フィードバックの設計指針をユーザ調査で明らかにする。

4章では、RGB-Dカメラと深層学習を使用し、拡張手が触れている物体に適した視覚効果をリアルタイムに推定するシステムを提案する。プロトタイプを実装し、ユーザ評価実験を通して、ユーザに自然に物体触感伝達が可能であることを示す。

これらの取り組みを通じて、本論文では身体的負担のない遠方物体の可触化手法を確立する。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (佐 藤 優 志)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 佐 藤 宏 介
	副 査	教 授 飯 國 洋 二
	副 査	教 授 多 田 隈 建 二 郎

論文審査の結果の要旨

○課題設定の明確性：本論文は、随意運動している利用者の手の外観を忠実に再現し、かつその動きを同期させたコンピュータグラフィックス映像を、映像投影プロジェクタを通じて外界に投影することで利用者の身体を仮想的に拡張する投影拡張手について議論している。本専門領域において、物理接触していない投影拡張手の映像としての接触事象を、利用者への触感や接触感のフィードバック法が未解明であるという問題意識に基づき、投影拡張手の可触化を身体的負担の観点から研究の意義や必要性が的確に述べられているものと認められる。

○先行研究・資料の取扱いの適切性：当該分野の先行研究を精査し理解した上で、利用者の操作と視覚刺激や聴覚刺激を非線形変調することで疑似的な触覚を生起させる疑似触覚フィードバック法、ニューラルネットワークによる遠隔物体性状の非接触認識法、物体接触音の聴覚特性に関する各種制約を調査しており、本論文は提案する手法を当該分野の研究動向の中で適切に位置付けているものと認められる。

○研究方法の妥当性：上記目的に照らして、1) 投影拡張手と疑似触覚フィードバックの統合と定式化から、2) ニューラルネットワーク法適用における実世界諸物体の物体性状の分析、3) 疑似触覚を誘起する映像効果生成のためのネットワークの学習方法、4) 実接触音の物理特性と合成接触音呈示の聴覚心理特性との差異にかかる被験者実験まで、適切な課題整理から妥当な研究方法と分析が用いられているものと認められる。

○学術的・社会的な貢献：本論文では、特殊な機械式ハプティックフィードバックデバイス無しに、指先が凹凸のある物体表面を触りなぞった際に知覚する凸凹感や平滑感、柔軟感を誘起可能な、投影手の指先の屈曲や揺動等の3種の映像効果を新規設計している。被験者実験により各提案効果の触感提示能力の程度と制約を定量的に解明している。指先が物体をなぞった際の発生音をサンプリング再生することで物体触感を提示することが可能であることを明らかにするとともに、遠方物体に投影拡張手が触れる条件では音響特性を忠実に再現するよりも強度を誇張して再生することを利用者が選択する特性を初めて見出した。RGB-Dカメラから観測される被接触物体のテクスチャ情報と凹凸情報を深層学習することで、投影拡張手が触れている物体の種別に適応的に視覚効果を生成するシステムの構成論が議論されるとともに、試作システムにより実際の机上環境に適応する物体触感呈示を実証している。これらは、国際的な学術水準及び学際的観点から見て十分な独創性と重要性を有しており、その手指や対象局所に対する適応的視覚効果と接触音再生法は、実社会適用にも応えられる高い可能性を持つものと認められる。

○構成・表現・表記法の適切性：本論文では、投影に基づく複合現実感のコンピュータグラフィックス表現、画像ベース物体認識のコンピュータビジョン表現、合成音に基づく複合現実感の音響心理表現について、学術論文として体系的に構成されており、適切な表現と表記法に基づき記述されているものと認められる。

○論旨の明確性・一貫性：本論文の記述、図版、データは、研究目的、分析、結果、および考察の全過程において、その論旨が明確で一貫性があり、論理的に明確な結論に至っているものと認められる。

本審査委員会は、基礎工学研究科における学位論文に係る評価に当たっての基準に基づき、その全ての評価項目を満たしていることを踏まえて、本論文を博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。