

2025年 11月 25日

豊橋技術科学大学長 殿

情報・知能工学 専攻
学位審査委員会
委員長 北岡 教英



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	松田 基		学籍番号	第 173361 号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 情報・知能工学 専攻	
博士学位 論文名	画像と筋電を併用した機能的な義手システムに関する研究 (A Study on a Dexterous Prosthetic Hand System Utilizing Image and Myoelectric Signals)			
論文審査の 期間	2025 年 10 月 9 日 ～ 2025 年 11 月 14 日			
公開審査会 の日	2025 年 11 月 14 日		最終試験の 実施日	2025 年 11 月 14 日
論文審査の 結果※	合格		最終試験の 結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条) 学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。 委員長 委員 <div>中内 茂樹</div> <div>三浦 純</div> <div>福村 直博</div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div>印</div> <div>印</div> <div>印</div> <div>印</div>				

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

事故などで手を失った障がい者のために筋電義手の研究開発が広く進められているが、筋電信号は微弱でノイズが大きい機能は限られており、あまり普及していない。一方、画像認識技術を取り入れたロボットハンドは精密な制御が可能になるが、把持の目的に合わせて把持タイプを選択することができない。本論文ではこの両者の利点を組み合わせ、筋電信号から使用者の意図する把持タイプを選択し、画像処理により得られた物体形状情報から適切な把持姿勢を計算することで、多様な物体に対して自然な把持動作を実現する義手システムを提案し、実証実験を行った。第 1 章では研究の背景として、機能的な義手の要件について概説して現状の義手の課題を明確にし、本研究の目的を述べている。第 2 章では筋電義手や画像認識に基づくロボットハンドによる把持に関する研究、さらに多様な物体を把持できる義手の実現のために提案システムに採用する、物体画像から把持姿勢を決定するための Auto-Encoder (AE)を用いた視覚-運動変換モデルを説明している。第 3 章では異なる位置に置かれた大小 2 種類の円柱の画像と、それを把持したロボットアームの姿勢を用いて視覚-運動変換モデルを学習した結果、画像から運動への変換に必要な物体位置や形状の特徴量抽出ができることを確認した。第 4 章では把持姿勢推定を目的として Convolutional Neural Network (CNN)を導入したモデルで実画像からのコップの把持実験を行い、コップの直径に合わせた把持姿勢計算を実現した。第 5 章では Variational AE (VAE)を導入することで、コップの側面を握る把持や上部を持つ把持に加えて取手を持つ把持の姿勢を計算できることを示した。この結果を踏まえ、第 6 章では 4 指 16 自由度ロボットハンド、深度カメラ、表面筋電センサを備えた義手を作成し、筋電信号による把持タイプ識別、YOLACT による物体識別、さらに視覚-運動変換モデルによって把持姿勢を計算するシステムを構築し、市販の様々な物体を対象に把持する実験を行った。健常者 10 名による実験では、被験者自身の自然な手姿勢を模した筋電信号を用いると 74%、典型的な手姿勢を取った時の筋電信号を用いると 90%の成功率が得られた。これにより、筋電と画像を併用し、視覚-運動変換モデルを用いた提案手法が、物体形状と使用者の意図を反映した機能的な義手制御に有効であることが示された。第 7 章ではこれらの結果を総合的に考察し、今後の義手開発への展望を述べ、本論文の結論として総括している。

審査結果の要旨

本論文では、筋電信号で把持タイプを、画像から物体種類と形状を識別して、把持姿勢を計算することで多様な物体を使用者の意図に従って把持することができる機能的な義手システムを提案している。筋電と画像を併用し、このように両方の利点を活かすように統合したシステムは新規性が高い。さらに画像から把持姿勢を計算する過程では、画像情報と把持姿勢を統合することで共通の特徴を抽出する視覚-運動変換モデルを導入し、多様な大きさのコップに対する把持姿勢を推定する手法を検討している。第 3 章、第 4 章でのモデルの検証実験を通して、物体の実画像から把持などの運動へ変換するための必要な特徴量を抽出できることを示し、さらに第 5 章では VAE を新たに導入することでコップの直径と取手の長さを 1 つのモデルで抽出し、さらにこの情報を介することで、同じ画像から大きさに合わせたコップの上部、側面、取手を持つ複数の把持姿勢を、最適化関数を切り替えることで計算できることを示した。このように形状に合わせた把持姿勢を事前に計算することで、最終的に把持する際に行われるフィードバック制御がより適切に実行でき、把持の成功率が高くなることが期待できる、有効な手法であると評価できる。最後に第 6 章ではこのモデルを含む提案した義手システムを試作し、被験者実験によって検証を行なっている。対象物の数、被験者数など十分な規模での実験を実施しており、その結果は提案システムの有効性を示している。

これらの研究成果は、提案システムが従来の義手よりも多様な大きさや形状の物体を把持できることを示しており、学術的な新規性及び工学的な実用性が認められるため、本論文は博士(工学)の学位論文に相当すると判断した。