

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Deep Regression Model-based Real-Time Control Strategy for Myoelectric Prosthetic Hand
著者(和文)	秦梓軒
Author(English)	Zixuan Qin
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12480号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小池 康晴,金子 寛彦,SLAVAKIS KONSTANTINOS,小尾 高史,八木 透
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12480号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Qin Zixuan	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小池康晴	教授	八木透	教授
	審査員	金子寛彦	教授		
		スラヴァキス コンスタンティノス	教授		
小尾高史		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Deep Regression Model-based Real-Time Control Strategy for Myoelectric Prosthetic Hand」と題し英文5章から構成されている。

第1章「Introduction (序論)」では、上肢切断者の多くが利用している装飾義手や生活の質を向上させると期待されている電動義手について概説し、市販されている義手の特徴を比較している。さらに、近年様々な分野で実用化されている深層学習を利用した動作識別手法についてその問題点を指摘し、実時間で動きを制御できる義手が望まれていること、さらに、これまでの研究について紹介している。

第2章「Technical Background and Aims (技術背景及び目的)」では、筋電図の計測から信号処理、手指の関節運動の計測手法、計測した信号を処理する深層学習について、本論文で利用する技術を説明している。はじめに、差動増幅により得られた多チャンネルの筋電信号から、全波整流とローパスフィルタにより筋張力に変換する手法を説明している。次に、手首と指の関節自由度とその計測手法、さらに、本研究で利用する動作に関する関節自由度について説明している。そして、深層学習として畳み込み神経回路モデルを概説し、少ない学習データで神経回路モデルを修正する転移学習について説明している。また、本研究の目的が、高精度かつロバストな筋電義手の制御アルゴリズムを提案することであると述べている。

第3章「Multi-joint Angle Estimation using Regression Model (回帰モデルを用いた多関節角度推定)」では、畳み込み神経回路モデルを利用して、多チャンネルマルチアレイ電極により計測された筋電信号から回帰モデルを用いて関節角度を推定する手法を提案している。

手首の屈曲・伸展、回内・回外、指の開閉の3自由度の運動に対して、32チャンネルの筋電図と各関節の動きをモーションキャプチャ装置により同時に計測し、畳み込み神経回路モデルを学習させている。この時、神経回路モデルの最初の層において時間方向に情報をたたみ込むフィルタを実装した場合に、最も精度が良くなることを確認している。さらに、学習された神経回路モデルを解析し、運動識別に関係している筋電計のチャンネルの空間的特徴を調べ解剖学的な筋肉の位置との関係を解析している。さらに、一般的に、学習データとテストデータを同じ日に計測した場合は精度が高いが、別の日に計測したデータを入力すると識別率が下がる傾向がある。この問題を解決するために、別の日に計測した少数のデータを用いて転移学習をすることで、別の日でも精度が維持できることを示している。

第4章「Real-Time Control System for Virtual Hand (仮想手の実時間制御)」では、第3章で提案した手法を実時間制御に応用した結果について述べている。実際に義手を制御した場合、筋電信号のノイズや推定精度の誤差により推定結果に高周波成分が含まれ安定に制御することが困難であったため、適応型カルマンフィルタを利用して安定性を向上させている。そして、目標達成コントロール (Target achievement control:TAC)テストと呼ばれる目標位置が連続して提示される課題において、その課題の達成時間を比較して、これまで提案されている手法に比べ半分程度の時間で制御できることを確認している。さらに、日常生活で利用すると考えられる複数の関節を同時に制御するタスクにおいても、精度良く制御できることを確認している。また、義手を制御する場合、筋電信号の計測から関節角度を推定するまでの時間が300ミリ秒を超えると遅れを感じるようになる。このため、実際に義手を制御した場合に、どの程度の時間遅れがあるのかを確認している。この結果、筋電信号の計測の遅れが約74ミリ秒、筋電信号の信号処理と神経回路モデルなどの計算時間が約60ミリ秒であり、合計140ミリ秒程度の遅れであり、遅れが少ないことを確認している。また、仮想環境に構築した手指を制御することで、義手の機械的な遅れや制御誤差を排除することができ、純粋に提案システムの精度を検証できている。

第5章「Conclusion and Future Work (結論と今後の課題)」では、本論文をまとめるとともに、その意義と今後の展望について述べている。  
以上を要するに、本論文は、多数の筋電信号から手首2自由度と指の開閉の合計3自由度の実時間制御を精度良く行うためのアルゴリズムを提案し、日常的に利用する場合の問題であった学習した以外の日であっても精度良く制御可能なことを示したもので、学術上貢献するところが大きい。よって博士(学術)の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。