

氏名	堀江 和正		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第8087号		
学位授与年月日	平成29年3月24日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	選択的不感化ニューラルネットによる 筋電信号からの手の運動速度推定		
主査	筑波大学 教授	工学博士	森田 昌彦
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	鈴木 健嗣
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	田中 文英
副査	札幌保健医療大学 准教授	博士（工学）	末光 厚夫
副査	筑波大学 助教	博士（工学）	澁谷 長史

## 論文の要旨

本論文は、筋電信号から手の運動速度を推定する新たな手法について記述したものである。

第1章は序論であり、筋電位が筋の収縮に対応して発生する電位変化であって、動作やその意図に関する情報が含まれていること、筋電位やそれを含む生体信号（筋電信号）から動作の種類や静止時関節の角度を推定する手法が提案されているが、速い動作の場合の関節角速度を推定する手法は確立されていないことが記述されている。また、その理由として、筋電信号と運動速度との関係が1対多であること、それを解決して筋電信号から手の運動速度を推定する手法を開発することが研究の目的であることが述べられている。

第2章では、具体的な提案手法が記述されている。この手法は、動作や姿勢について制限を加え、筋電振幅の過去平均値を利用することによって、筋電信号と運動速度を写像関係に落とし込んだ上に、高い表現能力や汎化性能を有する選択的不感化ニューラルネット（SDNN）を用いてこの関係をモデル化するというものである。また、提案手法の細部を決定するための予備実験についても述べられている。

第3章と第4章では、提案手法の性能評価実験について記述されている。第3章では、手の基本的な動作6種類（手首の屈曲、手を握る等）の動作の速度を推定する実験を行い、提案手法により各動作最大値の13%程度の誤差で速度推定ができることが示されている。また第4章では、手首関節のピッチ軸周り（屈曲伸展方向）またはロール軸周り（回内回外方向）の運動を自由に行ったときの角速度を推定するというより難しい実験を行い、提案手法によって1900 deg/s程度の速い動作の場合も含めて、各軸周りの角速度を最大値の5~10%程度の誤差で推定できたことが示されている。

第5章は考察であり、どのようにして筋電信号と運動速度の写像関係化が実現されたのか、手法各

部がどのような効果をもつかが検討されている。過去の筋電信号を用いることで、動作状態の異なる筋電サンプルを入力空間の離れた位置に配置できること、SDNN の表現能力や冗長入力に対する頑健性が課題を解決する上で大きく貢献していることなどが述べられている。

第 6 章では、提案手法の普及を目的として開発し公開した SDNN のライブラリについて記述されている。ライブラリの構成および使用例のほか、付録に使用方法が記載されている。

第 7 章は結論であり、論文のまとめと今後の課題について記述されている。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

筋電信号は主に筋張力を反映しており、筋張力や静止時の関節角度（屈筋と伸筋の張力によって定まる）の推定に用いた研究は多いが、筋電信号から運動の速度や関節角速度を直接推定した研究は少ない。特に、手首を捻るロール軸周りの運動は、角速度の最大値がかなり大きい上に多数の筋肉が複雑に関与するために、その速度を推定するのはこれまで困難であった。

本論文では、この問題を、関節のダイナミクス（筋張力と関節の動きの関係）を数式によってモデル化するのではなく、1 対多関係を解消して写像関係になるように特徴量を加えた上で、特徴量ベクトルと角速度との複雑な非線形関係を選択的不感化ニューラルネット（SDNN）という優れた関数近似器によって直接モデル化する新たなアプローチによって解決している。また、2 種類の評価実験によって、提案手法が有効であること、特にロール軸周りについては推定精度がカルマンフィルタを用いた既存手法を大きく上回ることを示している。

このように、本論文は、新たな発想で筋電信号から手の動作速度を直接推定する手法を提案し、具体的に推定システムを開発してその有効性を示したものであり、研究の独創性および有効性は十分に認められる。また、実験の方法および結果の記述は妥当であり、考察も十分になされているため、信頼性も高い。提案手法はセンサの取り付けが容易といった実用上の利点も多く、今後筋電インタフェースや筋電義手などへの応用も期待できる。さらに、実装が難しい SDNN のライブラリを開発し公開することによって、一般の研究者や技術者が提案手法および SDNN を容易に利用できるようにしたことは、研究成果の社会還元という点で高く評価できる。

なお、本論文の第 6 章を除く主要な内容は、厳正な査読を受けた上で *Journal of Signal Processing* 誌および電子情報通信学会論文誌に採録されていること、また第 6 章の内容は今後学術雑誌に投稿する予定であることを確認した。

### 【最終試験の結果】

平成 29 年 1 月 23 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。