

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	関節剛性に基づく筋骨格モデルから指の平衡位置推定に関する研究
Title(English)	A Study on Estimation of Equilibrium Position of Finger from Musculoskeletal Model Based on Joint Stiffness
著者(和文)	何梓遜
Author(English)	Zixun He
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12479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,吉村 奈津江, 霞田 貴子
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12479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)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

氏名:何梓遜

加齢に伴う筋力低下の高齢者や疾患による肢体不自由者は日常生活において多様な障害が生じる。特に、上肢の機能障害により、障害者は自立した日常生活を営むことができなくなる。上肢障害者の支援を目的とした前腕動作支援デバイスの開発研究が多くなされている。ユーザーの運動意図をより正確にデバイスに伝えられるため、人間が運動時に発生する表面筋電(EMG)信号を利用し機械を制御するインタフェースが多く存在しているが、(1)多くの筋活動が混合された EMG 信号から手指運動を高精度に推定できない、(2)物体を把持する時の指姿勢が推定できないといった問題点が既存の手法ではまだ解決されていない。物体を把持する時に指の位置情報と力情報を同時推定できれば、人間の柔軟な対応能力を反映した制御方法が実現可能となり、よりユーザーの意図に基づいて機械を動かせると考えられる。本研究では、EMG 信号から混合した筋活動を分離するために独立成分分析(ICA)を使用し、筋シナジーを非負値行列因子分解(NMF)で抽出する。ICA と NMF を統合した手法で運動パターンを代表する ICA-Synergy を計算し、手指運動推定に用いることで、従来の方法よりも推定精度を向上させることができるかを検証した。また、関節剛性に基づく筋骨格モデルを使用して、物体を把持する時の指の角度とトルクを同時に推定する手法を提案した。

第一章では、EMG 信号から手指運動を推定する手法が抱えている問題点や、本研究に関わるヒトの運動制御に関する仮説など、研究の背景について述べた。

第二章では、手の筋骨格構造や筋肉の収縮による筋張力の変化特性、そして本研究で使用した数理的な筋骨格系のモデルについて述べた。そして、近傍の筋活動も含めた EMG 信号から特定の筋活動を抽出するために、ICA と NMF を応用した ICA-Synergy の抽出手法を提案した。また、本研究の目的を述べた。

第三章では、運動意図の推定において EMG 信号の代わりに ICA-Synergy を入力とすることで、推定精度の向上が可能かどうかを検討した。提案手法は、拇指、示指、中指、および手首の周期的な伸展・屈曲運動を計測した前腕の筋肉 EMG 信号に対して ICA と NMF を適用し、関節の伸展と屈曲の運動パターンを代表する ICA-Synergy を抽出した。したがって、ICA-Synergy を用いた MSM(Synergy MSM)を用いて指と手首の角度を推定し、推定結果と従来の手法(MSM, Synergy-LRM, Synergy-SVR)と比較した。提案手法から推定した角度とモーションキャプチャーから測定した角度の相関係数(CC)はであり 0.93 ± 0.01 、正規化二乗根誤差(NRMSE)は 0.11 ± 0.01 であり、他のモデルよりも優れ

た推定性能を示した。その結果から、前腕の角度推定に ICA-Synergy を用いることで従来の EMG 信号や ICA に基づく方法よりも高い精度で推定できることを示した。

第四章では、これまでの手法では推定できない物体を把持する際に、指の実際位置を推定するために平衡位置制御仮説に基づき、関節トルク、剛性と平衡位置の関係から指の把持姿勢を推定した。また、物体を把持する時の指の平衡位置を仮定するための脱負荷反射実験も提案した。この提案手法の有用性を検討するために、前章で提案した Synergy-MSM を用いて指の平衡位置と剛性を同時に推定し、提案手法による把持姿勢の実際位置とトルクを同時に推定して実測値と比較した。実験の結果から、提案手法は三種類の把持動作でも示指と拇指の関節トルクと角度を精度良く推定できることを示した。

第五章では、本研究の成果を概括し、その意義と今後の展望について述べた。

研究業績

- Z. He, Z. Qin, and Y. Koike, “Estimation of finger joint angle and torque during grasping tasks based on a musculoskeletal model,” Biomedical Signal Processing and Control. (submitted)
- Z. He, Z. Qin, and Y. Koike, “Continuous Estimation of Finger and Wrist Joint Angles Using a Muscle Synergy Based Musculoskeletal Model,” Applied Sciences, vol. 12, no. 8, p. 3772. (2022)
- Z. He, Y. Kang, and D. Shin, “A Design of Anthropomorphic Hand based on Human Finger Anatomy,” Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 6, no. 4, pp. 431–438. (2021)
- Z. Qin, Z. He, Y. Li, S. Sactia, and Y. Koike, “A CW-CNN regression model-based real-time system for virtual hand control,” Frontiers in Neurorobotics, vol. 16, 2022. (2022)
- Z. Qin, S. Stapornchaisit, Z. He, N. Yoshimura, and Y. Koike, “Multi-Joint Angles

Estimation of Forearm Motion Using a Regression Model,” *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 15, p. 103, Aug. (2021)

学会発表

- Z. He, R. R. Yurievich, S. Shimizu, M. Fukuda, Y. Kang and D. Shin, “A Design of Anthropomorphic Hand based on Human Finger Anatomy”. The International Symposium on Community-centric Systems (CcS 2020), Hachioji, Japan , September 2020. (Peer-reviewed)
- Z. He, D. Shin, “Development of a Prosthetic Arm Based on Human Anatomy”. The 43rd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, On-line Conference, July 2020. (Peer-reviewed)