

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, 葭田 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)	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	何	梓遜	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	小池康晴	教授	審査員	葭田貴子	准教授
	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			
	吉村奈津江	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「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」と題し和文5章から構成されている。

第1章「序論」では、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ている。また、人の運動の元となる筋肉の活動を皮膚表面で計測した表面筋電信号を利用した義手などを操作する上で、手指運動の推定手法が抱えている問題点を指摘している。一つ目としては、指の運動には皮膚表面近くにある筋肉だけでなく深部の筋肉が関係しており、これらの混合信号として電極で計測されることで、指の運動推定の精度が悪くなることであると指摘している。さらに、日常生活で物を把持する場合には、物体の特性に応じて力の制御も行う必要があることから、指の位置だけでなく力の大きさも推定する必要があることを指摘している。

第2章「研究目的及び関連研究」では、まず、手の筋骨格構造や筋肉の収縮により発生する筋張力の変化特性、及び本研究に用いた数理的な筋骨格系のモデルについて述べている。そして、深部の筋活動も含めた筋電信号から特定の筋活動を抽出するため、独立成分分析 (Independent Component Analysis:ICA)と非負値行列因子分解 (Non-negative Matrix Factorization:NMF)を応用する必要性を説明している。また、脳は筋肉一つ一つを独立に制御しているのではなく、複数の筋肉を協調させることで自由度を減少させているという筋シナジー仮説について説明している。そして、本研究の目的は物体を把持・操作するときの指関節トルクと角度を筋シナジーを利用して同時に推定する手法を提案することであると述べている。

第3章「筋シナジーに基づく筋骨格系モデルを用いた指角度の連続推定」では、ICA と NMF を利用して推定した筋シナジーを入力とした筋骨格系モデルを用いた運動意図の推定手法を提案している。実験では、親指、人差し指、中指と手首の周期的な伸展・屈曲運動を行なっているときの前腕の筋電信号と指と手首の関節角度を同時に記録している。記録した筋電信号から各指の屈曲・伸展に関係する2つの筋シナジーを抽出している。そして、筋肉骨格系モデルの入力として提案手法で得られた筋シナジーと従来の筋電信号を直接利用する手法、および、提案手法の信号を利用し、線形回帰モデル (Linear Regression Model:LRM) やサポートベクトル回帰モデル (Support Vector Regression:SVR) とを比較し、提案手法から推定した角度とモーションキャプチャーにより測定した角度の相関係数の平均値は 0.93 ± 0.01 、平均平方根二乗誤差の平均値は 0.11 ± 0.01 であり、提案手法は他のモデルより良い推定性能を示したと述べている。

第4章「指の平衡位置と関節剛性から把持姿勢の指関節トルクと角度の推定」では、親指と人差し指で物体を把持しているときの指の関節トルクと角度を腕の運動制御で提案されている平衡位置制御仮説に基づいて推定した結果について述べている。指で物体を把持している状態では、指は物体の中に侵入しようとしても物体表面から中には入ることができない。そこで、仮想的に指先が物体に侵入したとして、その侵入量と指の剛性から力を計算することで、指の関節トルクを推定する手法を提案している。また、本手法の有用性を検討するために実験を行い、推定精度を確認している。物体把持中の指先の力と筋電図を同時に計測している。さらに実際に物体を握っているときに物体を急に取り除くことでどの程度指先が物体に侵入しているのかを計測している。これらのデータを用いて、第3章で提案した筋シナジーに基づく筋骨格系モデルを用いて、指の角度、物体に侵入している平衡位置、剛性を推定することで、指先の力を計算し、指の角度と力の実測値と比較している。その結果、提案手法は三種類の異なる把持姿勢において、親指と人差し指の関節トルクと角度を精度良く推定できたと述べている。

第5章「結論」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、平衡位置制御仮説に基づき、指の関節角度とトル

クを同時に推定する手法を提案するものであり、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。