

# Extraction, Interpretation and Application of Nonlinear Muscle Synergies toward Proportional Myoelectric Control

著者	Dwivedi Sanjay Kumar
発行年	2020-03-25
その他のタイトル	比例筋電位制御に向けた筋シナジীর抽出、解釈、および応用の研究
学位授与番号	17104甲生工第372号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00007814">http://hdl.handle.net/10228/00007814</a>

氏名・(本籍)	Dwivedi Sanjay Kumar (インド)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	生工博甲第372号
学位授与の日付	令和2年 3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Extraction, Interpretation and Application of Nonlinear Muscle Synergies toward Proportional Myoelectric Control (比例筋電位制御に向けた筋シナジーの抽出、解釈、および応用の研究)
論文審査委員会	委員長 教授 古川 徹 生
論文審査委員	” 堀 尾 恵 一
論文審査委員	” 柴 田 智 広
論文審査委員	特命准教授 爲 井 智 也 (神戸大学)

### 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、筋電義手への応用を念頭に置き、複数の表面筋電位 (surface ElectroMyoGram; sEMG) 信号や指の運動学情報から運動制御科学分野におけるシナジーを抽出する新しい非線形モデリングアプローチを提案したものであり、主な貢献は次のとおりである。1) ノンパラメトリックベイズモデルである **Manifold Relevance Determination (MRD)** モデルを用いて、筋活動信号と対応する指の運動学信号とのシナジーを介した非線形関係を抽出する新しい戦略を提案した。2) 抽出したシナジーの徹底的な分析を行った。3) 複数の sEMG 信号から、23 関節骨格を有する手モデルの五指運動を推定するとき、MRD モデルを用いた推定方法が、従来一般的であった推定手法よりも優れており、多指人工装具の直感的な制御につながることを示した。4) 新しい筋肉からの sEMG 信号を MRD モデル入力に追加しても、一貫性のある筋シナジーを抽出できることが示唆された。

一般に筋電義手の制御は、線形または非線形回帰アプローチを使用して、sEMG 信号から手指運動へのマッピングを直接学習することによって実現される。sEMG 信号は大きな雑音を含み、また筋収縮や、その結果としての運動出力について非線形であるため、従来アプローチでは、同時に五指を直感的かつスムーズに制御することは困難であった。運動制御分野の筋シナジー仮説から着想を得て、従来の筋シナジー解析で一般的に用いられる手法は、非負値行列分解 (Non-negative Matrix Factorization; NMF) 法や主成分分析 (Principle Component Analysis; PCA) 法であり、抽出したシナジーを基底として、筋活動空間から運動学空間への線形マッピングを学習が可能であることを示した。しかし、従来研究では、シナジーは筋電位信号のみから抽出されており、筋電

位信号や運動学信号に存在する非線形性や強い相関を考慮していなかった。本論文ではこの問題に対して、非線形モデルであり、各信号内での低次元空間だけでなく、各信号間に共有された低次元空間を学習することが可能な MRD モデルを用いる戦略を提案し、その有用性を実証した。

提案アプローチの有用性を検証するため、現時点で 79 件の引用がある先行研究に用いられ、現在は IEEE DataPort で公開されているデータセットを用いてモデリングと解析を行った。この公開データセットには、10 名の健常な被験者が五指を 3 種類のタスクについて様々に動かす際に、同時に記録された前腕の 8 本の主要な筋肉からの筋電位信号と高性能なモーションキャプチャ装置で取得した五指の運動学情報が提供されている。その結果、それぞれ高次元の sEMG 信号と運動学信号を同時によく表現する低次元空間（共有潜在空間）を見つけることができた。この共有潜在空間をさらに分析すると、筋シナジーと運動シナジーが五指運動タスク固有の変動を捕らえている可能性があることを示した。そして、MRD を用いた提案手法により、前腕の sEMG 信号からの五指運動推定精度が、他の一般的な線形および非線形回帰技術を上回ることを示した。さらに改めて sEMG データのみに対して MRD を適用し、筋シナジーを抽出したところ、4 本の筋肉からの sEMG 信号から抽出される筋シナジーは、6 本、8 本と筋肉の本数を増やしていった場合に抽出される筋シナジーの中に保存されていることが分かった。一方、NMF を用いた場合には、そのような一貫性は見られなかった。以上のように、本論文で提案されたアプローチとその結果は、運動制御科学分野に大きく貢献するものである。

### 学位論文審査の結果の要旨

本論文に関し、審査委員から新規性や有用性、関連手法との関係性などについて質問がなされたが、いずれも著者から満足な回答が得られた。

また、公聴会においても、十分な数の出席者があり、提案アプローチにより抽出したシナジーについてその物理的な意味や従来法との相違点、MRD 適用に際するパラメータ設定の根拠、近年盛んな End-to-End アプローチとの比較など、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。