

繊維人工筋で駆動される手指用装着型アシスト装置の試作と制御

研究者 広島市立大学大学院情報科学研究科 准教授 小寄 貴弘

〔研究の概要〕

繊維人工筋は、ナイロン繊維をコイル形状に加工することによって作製できるアクチュエータである。この人工筋は、加熱により筋肉のような収縮運動を生じ、柔軟、高い出力重量比、低コストといった特長を備える。しかしながら、繊維人工筋には、収縮過程の特性と伸長過程の特性の間にヒステリシスが発生し、制御性能に大きな影響を及ぼす問題がある。そこで本研究では、繊維人工筋を手指用装着型アシスト装置へ応用し、制御システムを構築するため、繊維人工筋が持つヒステリシス特性に対し、機械学習手法の一つである Extreme Learning Machine を用いたモデリングを試み、得られたモデルの性能を実験により検証した。

〔研究経過および成果〕

本研究では、フロロカーボンとナイロンのハイブリッド繊維と、比較的径が小さく、銀メッキが施された導電性ナイロン糸を束ねてコイル形状に加工し、熱処理を行うことにより、高強度、軽量、低コストといった特長を備え、かつ、通电による加熱で駆動できる繊維人工筋を製作した。したがって、入力電圧の大きさに繊維人工筋の変位を調節可能である。しかしながら、入力電圧と繊維人工筋の変位の関係にはヒステリシスが生じ、制御精度に影響を及ぼす。

これまでに、繊維人工筋のヒステリシス特性に対し、数式モデルを適用した研究があるが、ヒステリシスループの形状が動作条件に依存して変化するため、学習能力を備えたモデルが有効と考えられる。一方、ピエゾアクチュエータや McKibben 型人工筋のヒステリシスに対し、機械学習を用いたモデリングを行った研究がある。そこで本研究では、Extreme Learning Machine (ELM) を用いて繊維人工筋のモデリングを試みた。

ELM は、Single-hidden Layer Feedforward neural

Network (SLFN) の一種である。ELM では、入力層と隠れ層間のパラメータはランダムに設定する。また、隠れ層と出力層間のパラメータは擬似逆行列により解析的に求めることができる。本研究では、繊維人工筋に印加する電圧を入力、繊維人工筋の変位を出力とし、過去の入出力履歴から、現在時刻の出力を推定できるように ELM を学習させる。

本研究で構築した実験装置を図 1 に示す。作製した繊維人工筋の両端に電極を取り付け、一端をフレームに固定し、他端に重りをつり下げた。繊維人工筋を駆動するための電圧は、PC から D/A 変換器を介してアンプに出力され、繊維人工筋へ印加される。織

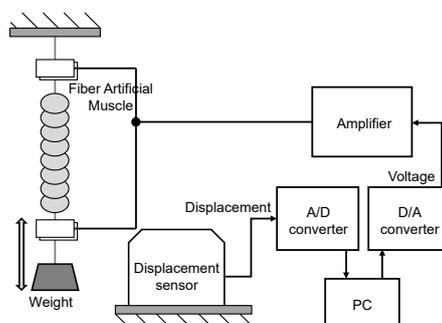


図 1 実験装置

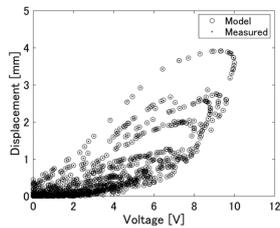


図2 実験1の結果

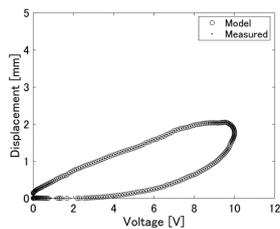


図3 実験2の結果の例

維人工筋の変位はレーザ変位センサで検出され、A/D変換器を通してPCに取り込まれる。

実験1では、繊維人工筋に加える電圧を正弦波状とし、静的な特性を想定して周期を長く設定し、振幅を増加させたときの変位を測定した。得られた測定データを、ランダムに学習用データセットと検証用データセットに分け、学習用データセットを用いてELMの学習を行い、検証用データセットを用いて誤差を算出した。測定値とモデル出力の誤差の評価にはMAE (Mean Absolute Error)を用いた。

本研究のモデリング方法を適用して学習を行い、検証用データセットに対して推定を行った結果を図2に示す。図2では測定値を●で、モデル出力を○で示している。また、モデリング誤差を表1に示す。結果より、モデル出力は測定値を近似できており、ELMにより繊維人工筋のモデリングが可能であることが確認できた。

次に、実験2では、繊維人工筋に加える正弦波状入力電圧の振幅を固定し、周期を増加させた場合

表1 誤差と学習時間

	実験1 誤差 [mm]	実験2 誤差 [mm]	学習時間 [ms]
ELM	2.54×10^{-3}	2.46×10^{-2}	3.21
SVM	6.45×10^{-3}	5.28×10^{-2}	88.1

(すなわち動作速度を変えた場合)の変位を測定した。測定結果からテスト用データセットを作成し、実験1で学習済みのELMに与え、誤差を算出した。得られたモデル出力と測定値の一例を図3に、モデリング誤差を表1に示す。図3より、動作速度を変えた場合のデータに対しても、精度良く近似できている。

また、実験1、実験2において、ELMの比較対象としてSupport Vector Machine (SVM)を用いた。性能比較のため、SVMを用いてモデリングを行い、実験1と実験2の誤差と学習時間を求めた結果も表1に示している。表より、ELMのほうが、特に学習時間がかなり短いという結果を得た。以上の結果に基づき、本研究のELMに基づくモデリング手法を適用して得られるモデルを、繊維人工筋の制御に応用するとともに、学習をオンライン化し、モデリングと制御を同時に行うシステムを開発中であり、図1の装置により基本性能は確認できた。

今後は、本研究で得られた結果を、繊維人工筋を用いた手指用装着型アシスト装置へ発展させる研究を進める。

[発表論文]

1. 小寄貴弘, 岡本亮, 李仕剛, ヒステリシス特性を有する繊維人工筋の機械学習モデル構築, 第30回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 45-46, (2021)