

リザバーコンピューティングを用いた 指角度・指関節トルクを推定可能な筋電義手制御システムの開発 —リザバーを利用した筋電義手開発—

1. 背景

国内における切断者に関する調査例は少なく、正確な数は把握されていないが、切断者数は推定数万から数十万人いるといわれている。筋電義手使用者の割合は切断者のうち約2%といわれており、普及率はかなり低い。普及率が低い原因として、主に流通している筋電義手の価格が非常に高価であることが挙げられる。例えば、国内で主に使用されている ottobock 社のミケランジェロハンドは300万円と非常に高価である。また、ミケランジェロハンドでは、手の開閉、手首の屈曲伸展といったモードを切り替えながら制御をするが、操作には訓練が必要となる。

また、義肢の制御方法には多くの手法が提案されており、これまでに提案されている方法では、アナログ・デジタルローパスフィルタを利用したもの、SVMなどによる手の形状をパターン分類し各指の屈曲・伸展を制御する方法、RNNやLSTMを用いて関節角度の時系列を推定する方法などがある。しかし、いずれの手法についても問題点があり、アナログ・デジタルローパスフィルタを用いた手法では、ローパスフィルタによる時間遅れが発生する問題がある。また、指で一定の力を発揮しているつもりでも、筋疲労によって筋電位が変化することや、力の入れ始めや入れ終わりのタイミングで筋電位が大きく変化するため、このような時間による変化に対応することが困難なことが挙げられる。また、SVMによるパターン分類による制御では、あらかじめ定義した動作しかおこなうことができないため自由度に制限がある。また各指の力はON・OFF制御によるものであるため、力の推定までおこなうことは難しい。RNN・LSTMによる指角度などの時系列制御を利用する場合、学習するためには多くの計算資源を必要とする。詳細な筋の情報を得るために多点で筋電位を計測する場合などは、十分な学習資源を用意する必要があり、筋電義手のような組込みシステムでは学習が困難である。

上記のような問題点を解決し、かつ少ない計算資源で時系列情報の学習が可能にするために、リザバーコンピューティング技術を筋電義手制御システムに利用することによって、自由度の高い筋電義手の開発が可能となる可能性がある。

2. 目的

本プロジェクトではリザバーコンピューティング技術を活用した筋電義手制御システムの開発をおこなう。リザバーコンピューティング義手を用いることによって本プロジェクトで開発する義手は、リアルタイムに推定可能であり、またパターン分類ではなく、指の任意の角度のような連続値で推定可能な義手の開発を目指す。またリザバーコンピューティングを用いることによって、学習コストを抑えることで

日々の中で無理のない学習が可能な義手制御システムが構築を目指す。連続値での指の制御をおこなうことによって、物体に合わせた柔軟な把持が可能な義手の開発が可能であると考える。

3. ソフトウェア開発内容

今回開発した筋電義手のシステム全体図について、図1に示す。

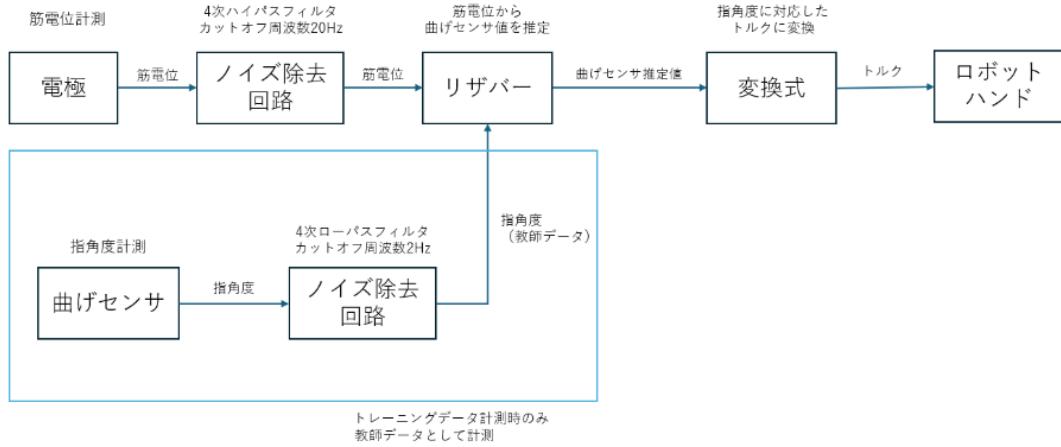


図1 システム概要図

開発した筋電義手システムでは、まず電極から得られた筋電位情報を、ノイズ除去回路を通し、商用電源による誘導ノイズ、導線や電極が動くことによって発生するモーションアーチファクトを除去した。筋電位計測用のノイズ除去回路は、作動増幅回路、4次ハイパスフィルタ（カットオフ周波数 20Hz）から構成された。

また、曲げセンサを利用し、指角度情報を計測した。曲げセンサで得られた指角度情報は4次ローパスフィルタ（カットオフ周波数 2Hz）を利用してノイズを除去した。ソフトウェア部の概要については図2に示す。

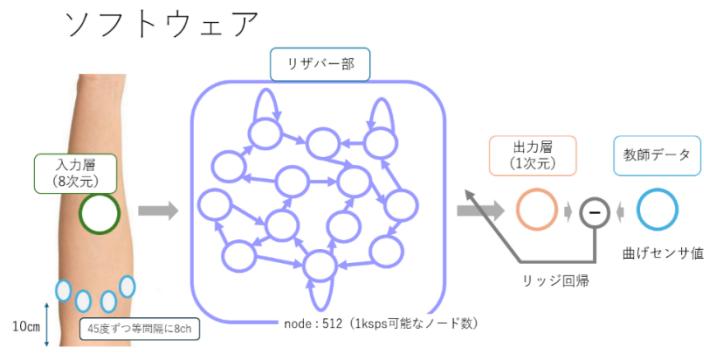


図2 義手ソフトウェア部概要図

ノイズを除去した筋電位情報を入力データ、指角度情報を教師データとしリザバーを用いて学習をおこなった。得られた指角度情報の推定値を、変換式を用いてトルクに変換、モータの制御をおこない義手を制御した。推定をおこなうソフトウェア部で

は、リザバーコンピューティング技術を用いることで、装着したその場で学習をおこない、個人に合わせたモデルを作成可能なシステムを構築した。

リザバーへの入力は、8ch の前腕部筋電位の値を使用した。リザバーパー部から得られた出力が、示指第三関節に貼付している曲げセンサの値と一致するように出力重みを調整した。出力重みの調整にはリッジ回帰を用いた。

4. 新規性・優位性

これまでの筋電義手開発では大きく分類し、次の 3 つの手法が提案されている。

- (1) アナログ・デジタルフィルタを利用し筋張力情報を取得するもの
- (2) SVM などのパターン分類手法を利用するもの
- (3) RNN, LSTM といった時系列手法を利用するもの

アナログ、デジタルフィルタを利用し制御する手法では、筋電位信号から筋張力情報を取得するために時定数の長いローパスフィルタを利用する必要がある。そのため、動作に時間遅延が発生する問題がある。また、制御する指に対応した筋の筋張力情報を適切に取得する必要があります、解剖学に関する詳しい知識が必要となる。また、筋電位は筋疲労により周波数・振幅が変化することが知られており、フィルタのみではこれらの変化への対応が困難である。

SVM といった、クラス分類手法を利用する場合は、あらかじめパターンを定義する必要があります、実際の手のような高い自由度を実現することは困難である。

RNN, LSTM といった時系列学習手法では、学習にかかる計算コストが高く、筋電義手システムのような、組込みシステムでは十分な計算資源を確保することが困難である。

これらの問題を解決するためには、低い計算コストで時系列の学習をおこなえる手法が有効である。そのため、リザバーコンピューティング技術を利用してすることで、従来のものと比較し、利便性の高い筋電義手制御システムの開発が可能であり、さらに開発を進めることにより、より複雑な動作を学習可能な筋電義手の開発も期待される。

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

個人によって筋の配置や発達状態がことなるため、筋電位は個人差が大きい。同じ指角度であっても、発生している筋電位は大きく異なることがわかっている。

また、電極の貼付位置によっても、計測できる筋電位は異なるため、同じ場所に電極を貼付したつもりでも、異なる波形の筋電位が計測される場合がある。

そのため、学習を必要とする筋電義手制御システムでは、電極の貼付位置や皮膚表面状態の変化が起きた場合、都度あらためて学習をおこなう必要がある。

また筋電義手は、入浴時や就寝時など、日常の中で多く取り外す機会があるため、電極のつけなおしが度々発生する、したがって、学習が必要な自由度の高い義手システ

ムを暮らしの中で使うためには、無理のない学習時間でその場で使用可能なモデルを構築できるシステムが望ましい。リザバーコンピューティング技術を用いることによって、筋電位から指角度のような時系列情報を推定するモデルを、計算コストを少なく、その場で構築することで、自由度の高い筋電義手の開発が可能となる可能性が高いと考えられる。

6. 氏名（所属）

都城宏治(公立はこだて未来大学 大学院システム情報科学研究科)

坂東紗希(公立はこだて未来大学 大学院システム情報科学研究科)