

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05913

研究課題名(和文) 随意性・即応性に優れた自己身体所有感を有する多自由度筋電義手インタフェースの開発

研究課題名(英文) Design of Man-Machine Interface for Multi-degree-of-freedom Myo-Prosthesis with High Voluntary and Response

研究代表者

岩瀬 将美 (IWASE, Masami)

東京電機大学・未来科学部・准教授

研究者番号：50339074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、筋電義手のインタフェースならびに制御方式を研究対象として、従来、オンライン推定型に分類される方式を発展させた次世代オンライン推定型筋電位義手用インタフェースならびに制御方式の開発を目的とした。随意性、即応性、多軸多自由度の3性能を成立する筋電義手用のインタフェース・制御方式の開発した。動作判別器と非線形ARXモデル(NARXモデル)からなるハイブリッド方式を提案した。共同研究者の井上の取り組みによってベイジアンネットワークを導入し、事象と因果関係を明確化することで、次数の増大を抑えることを見出した。完成度の評価として、簡易上肢機能検査を実施し有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：This study is concerned with a man-machine interface development for multi-degree-of-freedom myo-prosthesis, especially which realize high voluntary and response. A hybrid method consisting of motion classifier and motion estimation is proposed to realize the interface. A Bayesian network method is also utilized for order reduction of the estimator. The artificial hand is developed for this purpose and it is used for verification of the method via STEF exam. These results demonstrate the effectiveness of the method.

研究分野：制御工学

キーワード：マンマシンインタフェース 筋電義手 非線形ARX ベイジアンネットワーク サポートベクターマシン
分類器 動作推定 随意性

1. 研究開始当初の背景

先天性四肢欠損症という先天的要因、または、事故や病気などの後天的事由により、失った手肢の代替として用いられる義手には、現在のところ、装飾義手、作業用義手、能動用義手の3種類がある。装飾義手は外観を重視しており、作業用義手、能動義手は可動性を持たせることで日常生活や仕事における手肢動作の補完を目的とする。能動用義手のなかでも、筋電義手は失われた手肢機能の「再現」を目指したものである。

筋電義手は、脳からの指令または反射によって生じる運動ニューロンの発火が、神経軸索を經由して筋繊維に伝わり、筋繊維膜上で脱分極を生じさせることで生化学反応を促す際に発生する活動電位を皮膚表面上で計測し(これを表面筋電位と呼ぶ)義手への指令値として利用する。このため、(1)表面筋電位の計測方法、(2)筋電位の信号処理、(3)筋電位に基づく義手制御方式、(4)筋電義手のメカ構造、の分野が主な研究領域となる。このうち、(4)メカ構造は、3Dプリンタなどの技術革新によって、高度な機能を有しつつ軽量かつ安価に製作が可能となってきた。一方で、(1)~(3)のインタフェース(以下IFと略す)、制御方式については様々な方式が提案されているが、プロジェクト当初まだ多くの課題が残されていた。特に、市販の筋電義手は、表面筋電位が設定した閾値を超えるとスイッチが入り、所定の動作を行うものが一般的であり、高度なものでも表面筋電位の電位に比例して動作スピードが変化する程度で、手肢機能の完全なる再現に向けて解決すべき問題が多い。

国内外における筋電義手のIF・制御方式は、大きくパターン認識型、オンライン推定型に分類できる。前者は、表面筋電位の時系列信号と装具者が意図する義手動作を関連付けおき、サポートベクターマシンやニューラルネットワークなどを用いて、計測された表面筋電位時系列を分類し、動作判別に用いる方法である。後者のオンライン推定型は、表面筋電位から筋張力や身体運動をリアルタイムに推定し、推定値に基づいて義手を動作させる方式であり、前者、後者共に長所、短所がある。パターン認識型は5指ハンド義手に対して、指形状を15パターンと日常生活に十分な型を認識し、再現する。オンライン推定型では、筋電義手ではないが、筋電位から筋張力を推定し、筋張力が発生する関節周りのトルクを、電動モータで補うパワードスーツへ応用されている。

これらの研究成果は大変優れているが、さらなる発展を検討する際、パターン認識型ではあらゆる動作を網羅しようとするほど判別器が複雑となり、誤判別や判別時間の増大という問題を招く。その点において、オンライン推定型に優位性があるが、現状では推定精度、自由度の点でパターン認識型に劣るという問題がある。

2. 研究の目的

本研究では、筋電義手のIF・制御方式を対象として、従来のオンライン推定型を発展させた次世代オンライン推定型筋電義手IF・制御方式の開発を目的とする。目指す特徴は、随意性、即応性、多軸多自由度の3点である。

随意性：随意性とは、自己身体の一部であるかのように義手を動作させることである。このためには、任意性と操作直観性が重要となる。任意性とはすなわち、所望動作を義手でそのまま再現することである。パターン認識型では定義されるパターンしか再現できず、任意性はオンライン推定型の大きな特徴である。操作直観性は、例えば、手首動作には手首動作に対応する筋の筋電位を対応させることである。上腕部から腕を失い既に肘から先が無く手首動作させるための筋が存在しない場合には、この随意性の定義は意味を為さない。しかし、これまでの多くの筋電義手は対応付けが可能な筋が残存しているにも関わらず対応関係を保持していない。これを改善することで操作直観性が向上し、随意性を大幅に向上することができる。

即応性：身体運動時を基準として、パターン認識型、オンライン推定型、提案法の即応性に関する関係を示す。

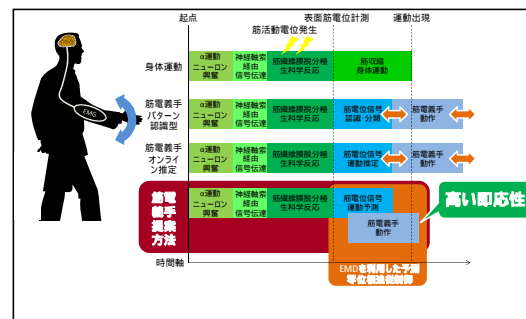


図1：従来法と提案法の違い

従来のパターン認識型やオンライン推定型は、表面筋電位の計測、計測信号に基づく筋電義手への駆動指令生成、指令に応じた筋電義手動作と、一連がシーケンスとなっている。これに対し、提案法では、計測された表面筋電位から筋電義手の駆動指令を生成しつつ、筋電義手を駆動させる制御方式を構築するため即応性に優れる。身体運動では、表面筋電位が生じてから実際の身体運動が生じるまでには時間差があり、これを電気力学的遅延(以後EMDと略す)と呼ぶ。提案手法では、EMD間に、筋電位から駆動指令を生成することができ、なおかつ、ほぼ同時に筋電義手を駆動するため、身体動作と同時刻程度に義手が駆動することが可能となる。

多軸多自由度性能：多軸多自由度性能は、パターン認識型が優位である。この原因の一つは同時に多軸を運動する際、筋活動が各軸間で干渉するため、もう一つは、同じ身体運動を行う場合でも姿勢によって筋活動が異なるためである。オンライン推定型でこの問

題を解決するためには、所望の運動に関係するなるべく多くの筋に対して表面筋電位を計測し、干渉や姿勢を考慮しながら運動を推定する必要がある。

高い随意性と即応性、多軸多自由度性能の向上により、自己身体所有感を有する次世代オンライン推定型筋電義手用 IF・制御方式を開発することが、本研究の目的である。

3. 研究の方法

本研究では、株式会社岩田鉄工所製のハンドロイドを筋電義手と見立てて対象とし、SVMとNARXモデルを合わせたハイブリッド手法を確立して、5指の屈曲-伸展動作時の関節角度推定と、義手の動作を持って、随意性、即応性、多軸多自由度性を向上した筋電位による IF の実現と有効性を示す。ハイブリッド手法とは、動作パターン識別と角度推定を組み合わせた手法である。動作パターン識別では未学習のデータでも識別することが可能な SVM、角度推定には学習時間が安易な MISO-NARX モデルを用いる。SVM で操作者の動作パターンを識別し、識別結果を基に実現させる動作に必要な各指関節の MISO-NARX モデルを構築する。構築した MISO-NARX モデルを用いて、各指関節角度をそれぞれ推定する。

ハイブリッド手法によって、その動作に対して必要な指の関節角度のみ MISO-NARX モデルで推定することが可能となる。その結果、複数の動作に対して、随意性のある指動作が実現可能となり、筋電義手の活用範囲を広げることが可能となる。5 指の屈曲-伸展動作を実現させるために、(1) 実機の環境構築、(2) ハイブリッド手法の確立、(3) 本推定手法の有効性の検証が必要である。ハンドロイドの動作環境構築、SVM による 5 指動作の識別、MISO-NARX モデルによる指角度推定によって有効性を示す。



図 2：ハンドロイド

5 指の屈曲-伸展動作を実現するために、3つの課題を設定する。1 つ目の課題は実機の環境構築である。ハンドロイドの指動作を制御させるには、ハンドロイドに搭載されている RC サーボの回転角度を制御する必要がある。本研究では、RC サーボの制御方法として PWM 制御を用いる。また、筋電信号を入力としてハンドロイドの RC サーボを制御する環境を構築する必要がある。筋電信号から関節角度を推定し、ハンドロイドの関節を制御す

る。さらに、モータの回転角度を制御測にフィードバックすることで、制御精度を向上させる。2 つ目の課題は、ハイブリッド手法の構築である。まず、目標とした動作を識別する SVM を構築する必要がある。取得した筋電信号から各動作における特徴量を抽出し、SVM で動作を識別する。各動作の MISO-NARX モデルを構築することで、ハイブリッド手法を確立する。SVM による識別結果を用いることで、各動作に応じた筋電信号を用いて MISO-NARX モデルのパラメータを同定することが可能であると考えられる。3 つ目の課題は本推定手法の有効性の検証である。オフラインで角度推定した場合、角度値や応答性を確認することが可能である。しかし、オンラインで指関節角度を制御した場合、システムの遅延などが発生する可能性が考えられる。そこで、1 つ目の課題で構築したハンドロイドの環境を用いて、2 つ目の課題で構築したハイブリッド手法の有効性を検証する。

4. 研究成果

筋電信号から手指動作を判別するための SVM を構築にあたり、筋電位信号をそのまま使うよりも、適切に抽出した特徴量を学習データとして利用したほうが判別率向上に寄与すると推察される。まず、動作識別に用いる特徴量をフレーム単位で抽出する。各フレームで切り出した信号に対して、フレーム間における平均 IEMG (Averaged IEMG; AIEMG 特徴量)、EMG 信号のケプトラス係数 (Cepstrum coefficient; CC 特徴量) の 2 種類の特徴量を算出し、これらを統合して特徴ベクトルを構成する。

このように定義した動作特徴量に対して、サポートベクターマシン (以下 SVM) による識別器を構成し、手指動作パターンを識別する。本研究における特徴ベクトルの次元は 20 次元であるため、SVM の関数を決定するにあたり、特徴ベクトルを低次元化する必要がある。よって、主成分分析を用いて 20 次元の特徴ベクトルを 3 次元にする。各動作における筋電信号から 3 次元の特徴ベクトルを学習させ、その後取得した筋電信号を用いて動作パターンを識別する。学習させる際、動作か無動作の判断は指関節角度の値から判断する。

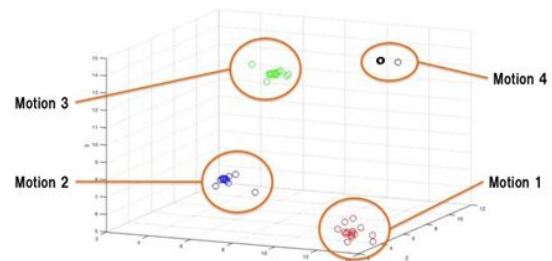


図 3：特徴ベクトル空間

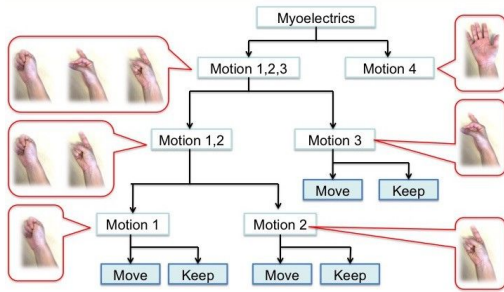


図4：ハイブリッド手法コンセプト

筋電信号と5指動作の関数をNARXモデルで表現し、計測された筋電信号を入力することで、5指関節角度を推定する。SVMによる動作パターン識別で利用した5つの筋を用いて、5指の各関節角度を推定するため、ハイブリッドモデルを構築する。

5指の筋の中で、独立して伸筋を持っている指は拇指、示指、小指の3指のみである。角度推定では屈曲-伸展時両方の筋電信号が必要になるため、本研究では拇指、示指、小指の3指の指関節角度を推定する。筋電義手で5指動作を実現させる際は、識別した動作に合わせて、中指、薬指を他の指に追従させることで、5指動作を実現させる。

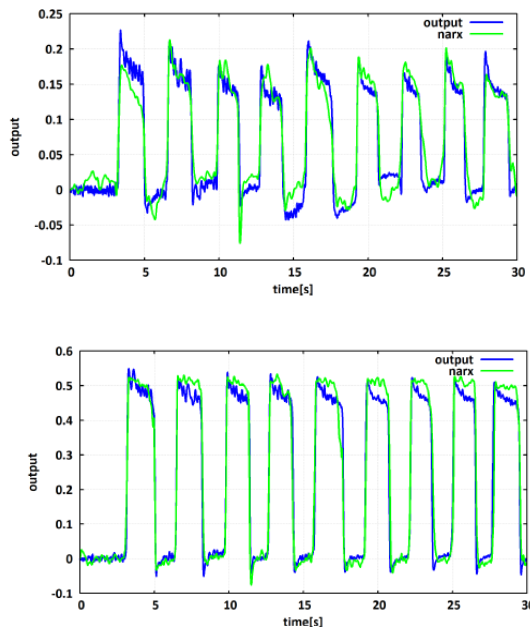


図5：推定・動作結果

これらの成果として、筋電義手における5指屈曲-伸展動作の角度推定が実現された。筋電信号から指の屈曲-伸展動作を識別するSVMを構築し、5パターンの指動作を識別しつつ、MISO-NARXモデルを合わせたハイブリッド手法を提案することで随意性、即応性、多軸多自由度性能を有する筋電位を利用したIFが実現できた。

ハイブリッド手法と構築した手法の有効性を、ハンドロイドを用いて検証した。その

結果、動作識別においては識別率が80%以上でかつ、指関節角度を推定した結果、拇指、示指は平均二乗誤差を 10^{-2} オーダーを多勢氏した。これらの結果を基に実機実装した結果、ハンドロイドの母指が推定値と一致しており、即応性にも優れていることが確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計8件)

太田 匠, 岩瀬 将美, 筋電義手制御のためのNARXモデルを用いた筋電位信号に基づく肘関節角度推定法, 平成27年電気学会電子・情報・システム部門大会(2015)

太田 匠, 岩瀬 将美, NARXモデルに基づく筋電義手肘角度制御: 表面筋電位からの肘角度推定, 第4回制御部門マルチシンポジウム(2016)

廣木 梨紗子, 岩瀬 将美, 太田 匠, 筋電義手の5指屈曲動作の制御, 第4回制御部門マルチシンポジウム(2016)

Risako Hiroki and Masami Iwase, Hand and Finger Control of Myo-Prosthesi based on Motion Discriminator and Voluntary Control, 11th Asian Control Conference, Gold Coast, Australia (2017)

Taiki Kobayashi, Risako Hiroki, Masami Iwase and Jun Inoue, EMG-based Interface Multi-degree of Freedom and Optionality, AETA 2017: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences: Theory and Application (2017)

Yuuto Ohno, Jun Inoue, Masami Iwase and Shoshiro Hatakeyama, Validation of a Model to Estimate Body Motion from the EMG Signal: Identification of the EMG model in Volar/Dorsal Flexion of Wrist Using Lasso, 23rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 23rd 2018), Beppu, Japan (2017)

Yuuto Ohno, Jun Inoue, Masami Iwase and Shoshiro Hatakeyama, Motion and Force Estimation based on the NARX with and EMG Signal, AETA 2017: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences: Theory and Application (2017)

Risako Hiroki and Masami Iwase, Hand and Finger Control of Myo-Prosthesis Based on movement Discriminator and Voluntary Control, The 36th JSST Annual International Conference on Simulation

Technology, Tokyo, Japan (2017)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

岩瀬 将美 (IWASE, Masami)
東京電機大学・未来科学部・准教授
研究者番号 : 50339074

(2)研究分担者

井上 淳 (INOUE, Jun)
東京電機大学・未来科学部・助教
研究者番号 : 20609284