

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24700593

研究課題名(和文) 実用的な筋電義手実現のための上肢切断者を考慮した動作・速度推定システムの構築

研究課題名(英文) Estimation System of Hand Motions and Speeds for Practical Myoelectric Prosthetic Hand

研究代表者

末光 厚夫 (Suemitsu, Atsuo)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：20422199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：自然な感覚で動かすことのできる筋電義手を実現するためには、表面筋電位から意図した動作を推定するだけでなく、その速度も推定することが必要である。本研究では、6動作(手首屈曲、手首伸展、握る、開く、手首回内、手首回外)とその速度を推定するシステムを構築した。さらに、無数の動作への適用を目指して、手首の関節角速度を推定するシステムへの拡張を行った。従来の推定手法と比較した結果、提案システムが最も良い推定性能を示した。

研究成果の概要(英文)：Estimating not only hand motions but also their speeds from the surface electromyogram (sEMG) is required in order to operate a myoelectric prosthetic hand like human hand. In this study, we constructed an estimation system of types and speeds for six hand motions (wrist flexion, wrist extension, grasping, opening up, wrist supination, and wrist pronation) from multi-channel sEMG signals. Furthermore, we also conducted a system that can estimate joint angular velocities from multi-channel sEMG signals for handling numerous motions. Experimental results showed that both of the proposed systems achieved higher estimation accuracy than conventional methods.

研究分野：生体情報処理

キーワード：医療・福祉 生体機能代行 筋電義手 ニューラルネット

1. 研究開始当初の背景

腕から筋電位信号を計測し、その信号に応じて義手を動作させる筋電義手は、身体障がい者や高齢者の能力を支援・増幅・拡張するものとして実用化が大いに期待されている。これまでに製品化された筋電義手の多くは、筋電位の閾値判定に基づいた ON-OFF 制御や筋電位の大きさに基づいた比例制御を用いているため、限られた少数の動作の制御しか実現できていなかった。そのため、多動作の識別を目的とした研究が進められ、ニューラルネット、ファジー、隠れマルコフモデル、サポートベクターマシンを用いて、多チャンネルより計測された筋電位パターンより動作の識別を行う手法が提案され、それぞれ一定の成功が得られていた。

しかし、識別できる動作数を増やしたり、複合動作を識別したり、「動作識別」の性能をどんなに向上させても、それだけでは本物の手のような制御を実現することはできない。人間は同じ動作でも状況に応じてその速さを変化させることにより、繊細な動作から素早い動作まで柔軟な動作を実現している。従って、健常時と同等の生活を実現するための筋電義手の制御には、筋電位から意図した動作だけでなく、その速度も推定することが必要となる。

これまで筋電位を用いた動作速度のコントロールでは、筋電位の強さに応じて速度を変える比例制御が用いられ、市販されている一部の筋電義手に実装されている。しかし、対応している動作が手の開閉の2動作だけであり、多動作の速度制御には対応できていない。さらに、意図した速度で動かすためには、目的となる筋電位を生成できるように使用者は長期の訓練を必要とするため、使用者にとって大きな負担となっていた。これを解決するために、筋電位パターンと意図した動作速度をモデル化し、直接推定しようとしても、筋電位と速度の関係が複雑であるためうまくいかない。そのため、多動作に対応し、使用者の意図した動作速度を推定する手法は確立されていなかった。

2. 研究の目的

研究代表者らは実用的な動作識別を目的として、非線形の変数関数の近似能力が従来手法よりもはるかに優れた選択的不感化ニューラルネットを基に前腕の動作識別システムを構築した。これは筋電位から意図した前腕の動作を高精度で識別可能であるだけでなく、大量の学習データは不要、センサの冗長性を許容、事前・事後トレーニングは不要という実用的な特徴を持つ。これを動作速度の推定にも拡張すれば、多数の動作と速度の組合せに対しても、少数のデータサンプルを学習するだけで、未学習の筋電位パターンから使用者の意図に近い動作とその速度を推定することが可能になると考えられる。

本研究では、上肢切断者にとって実用的と

なる筋電義手の制御を実現するために、研究代表者らが提案している実用的な特性を持った前腕動作識別システムをベースにして、手の動作とその速度を高精度で推定するシステムを構築する。さらに、無数の動作への対応を目指して、動作を生み出す複数の関節の角速度を推定するシステムの開発も行う。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、次の項目を実施した。

(1) 多チャンネルの表面筋電位から動作速度または関節の角速度を推定するシステムを構築するために必要なデータを次のように収集した。

動作をイメージし易い手首屈曲、手首伸展、握る、開く、手首回内、手首回外の6つの動作(図1)を対象にして、コンピュータディスプレイで指示しながら被験者に様々な速さでそれぞれの動作を行ってもらった際の表面筋電位と速度を計測した。表面筋電位の計測には、筋電位計(追坂電子製 Personal-EMG)を用い、速度の計測には三軸ジャイロセンサ(MicroStone 製 MP-G3-2000B)を用いた。ひじと手首の周りに複数の電極(Ambu 製ブルーセンサ M-00-S)を貼り付け、Personal-EMG で取得した表面筋電位信号は、A/D 変換ボードを通して、サンプリング周波数 1000[Hz]、量子化ビット数 12[bit]でコンピュータに取り込んだ。また、同時に中指の先に貼り付けた三軸ジャイロセンサより3軸周りの角速度を同じ A/D 変換ボードより取り込んだ。なお、各動作の速度 $V(t)$ は、取得したジャイロセンサの x 、 y 、 z 軸周りの角速度 $V_x(t)$ 、 $V_y(t)$ 、 $V_z(t)$ を用いて以下の式によって定義した。

$$V(t) = \sqrt{V_x(t)^2 + V_y(t)^2 + V_z(t)^2}$$

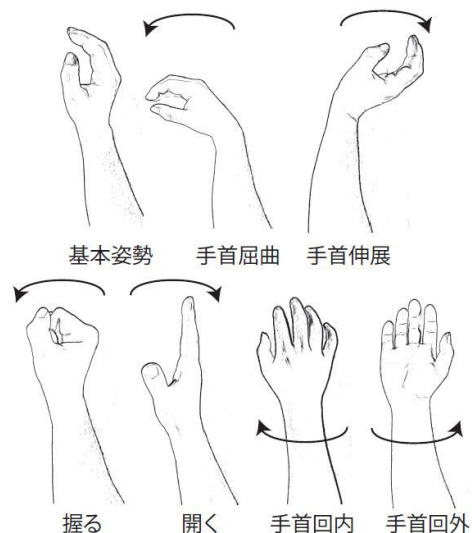


図1 対象動作

手首の関節を対象として、手首関節のピッチ軸周り（屈曲伸展方向）とロール軸周り（回内回外方向）の動作について、コンピュータディスプレイで指示しながら被験者にさまざまな速さでそれぞれの動作を行ってもらった際の表面筋電位と角速度を計測した。表面筋電位の計測および角速度の計測には同じ機器を用いた。角速度については、三軸ジャイロセンサ（MP-G3-2000B）を手の甲に貼り、手首関節のピッチ軸周りとロール軸周りに対応する軸の角速度をそのまま利用した。

(2) 選択的不感化ニューラルネットを用いた前腕動作識別システムを基にして、動作速度または関節角速度を推定するシステムの構築を行った。具体的には、(1)で計測したデータを用いて速度推定のシミュレーション実験を繰り返し行いながら、表面筋電位から抽出する特徴量を検討するとともに、動作速度または関節角速度を推定する関数近似器の選択的不感化ニューラルネットの構成およびパラメータについても検討を行った。この際、実用性を考慮して、データの学習時間が短時間となるように計算コストの制約を設けた。

(3) 構築した動作速度を推定するシステムおよび関節角速度を推定するシステムをそれぞれ評価するために、6動作の速度推定実験および手首関節のピッチ軸周り（屈曲伸展方向）とロール軸周り（回内回外方向）の角速度を推定する実験を行った。この際、実用場面を想定し、同じ姿勢で同じ動作を繰り返すのではなく、ある程度の姿勢変化があり、かつ動作の大きさや速さが多様となるようにした。

右利きの成人（20代）男性5名から表面筋電位と6つの動作（図1）の速度を計測した。電極はひじと手首の周りをだいたい取り囲むように計11チャンネル分を貼り付けた。実用性を考慮して、個人ごとに配置を調整することはせず、代わりにチャンネル数を多くしている。計測した25のデータセットのうち、21セットを学習、残り4セットをテスト用として公差検定を行った。推定精度を見るために、推定結果と実際の動作速度との間の相関係数を求めた。また、構築したシステムの推定性能を評価するために、関数近似器として線形近似器（LA）を用いた場合と多層パーセプトロン（MLP）を用いた場合の推定結果を比較した。さらに、時間遅れのない制御の実現性の観点から、時間的に先の動作速度をどの程度予測できるか調べるために、表面筋電位信号と動作速度の対応をシフトさせて同様の推定実験を行った。

右利きの成人（20代）男性8名から表面筋電位と手首関節の2つの軸の各速度を計測した。電極は、実用性を考慮してひじと手首

の周りをだいたい取り囲むように計10チャンネル分を貼り付けた。計測した18のデータセットのうち、6セットを学習、残り12セットをテスト用として公差検定を行った。推定精度を見るために、推定結果と実際の動作速度との間の二乗平均平方根誤差を求めた。また、構築したシステムの推定性能を評価するために、関数近似器としてカルマンフィルタ（KF）を用いた場合とサポートベクター回帰（SVR）を用いた場合の推定結果を比較した。さらに、こちらの実験でも、時間的に先の角速度をどの程度推定できるか調べた。

4. 研究成果

(1) 構築した動作速度または関節角速度を推定するシステムは、腕から表面筋電位（sEMG）信号を計測する「信号取得部」、信号処理を行い特徴量を抽出する「信号処理部」と、特徴量と動作の速度または関節の角速度の関係を推定する「関数近似部」から成る（図2）。信号処理部で抽出する特徴量は、計算コストとシミュレーション実験の結果に基づいて、比較的単純で一般性のある特徴量である積分筋電位（IEMG）信号およびその過去平均値である平均積分筋電位（AIEMG）信号とした。また、チャンネルごとの信号強度のばらつきを抑えるために、各信号を、同チャンネルで観測された信号の最大値を用いて0~1の範囲に正規化（正規化された信号はそれぞれnIEMGとnAIEMG）している。これらの処理も含めた本システムの表面筋電位の取得から動作速度または角速度の推定までの処理は実時間で実行可能である。

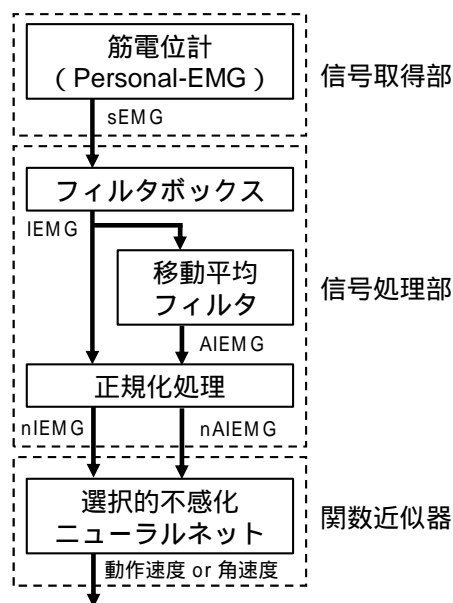


図2 システムの構成

(2) 6動作の速度推定実験の結果を図3に示す。Motion 1は手首屈曲、Motion 2は手首伸展、Motion 3は手を握る、Motion 4は手を開く、Motion 5は手首回内、Motion 6は

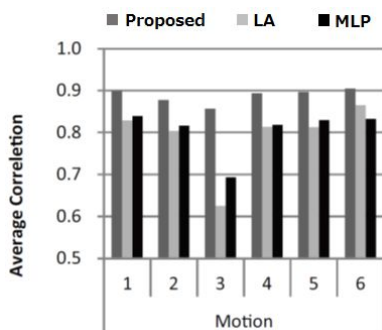


図 3 関数近似器の推定精度の比較 (6 動作)

手首回外である。各棒は 5 名の結果を平均したものである。6 動作全ての平均値は、線形近似器が 0.79、多層パーセプトロンが 0.80 であり、提案システムの方が 0.09 ほど推定精度が良い。学習データに対する誤差を調べたところ、線形近似器も多層パーセプトロンも全体的に値が高かった。従って、提案システムの関数近似器である選択的不感化ニューラルネットの学習能力の高さがより良い推定性能を実現していると考えられる。また、時間的に先の動作速度の推定については、動作によってばらつきはあるものの、16ms 程度までは大きく精度が低下することなく現在の速度を予測することができた。

(3) 手首関節の角速度推定実験の結果を図 4 に示す。図 4(a) は提案システムとカルマンフィルタとの比較、図 4(b) は提案システムとサポートベクター回帰との比較である。各棒は 8 名の結果を平均したものである。ピッチ軸周り、ロール軸周りとも提案システムの方が二乗平均平方根誤差の値が小さい。カルマンフィルタのピッチ軸周りの結果を除いて、統計的に有意であった。また、手首関節の角速度についても時間的に先の角速度の予測精度を調べた結果、24ms までは大きく誤差が増えることなく現在の速度を予測することができた。

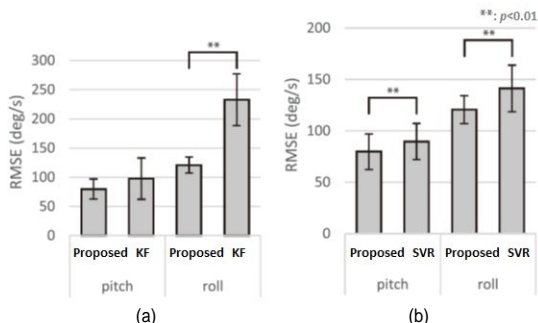


図 4 関数近似器の推定精度の比較 (手首関節)

(4) 構築したシステムは従来手法よりも推定精度が高いだけでなく、次のような実用的な利点も兼ね備えている。電極の貼り付け位置に寛容なので、センサの設置が容易である

こと、全チャンネルで同じ単純な特徴量を用いているため、動作の種類や個人に応じた特徴量の選択やパラメータ調整がほとんど不要であること、学習に大量のデータを必要としないので、比較的短い時間で学習データの取得を済ませられることなどである。今後は、推定精度のさらなる向上に取り組むとともに、手首以外の関節における角速度の推定や前腕切断者のデータによる評価を進めていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

堀江和正、末光厚夫、丹野智博、森田昌彦、選択的不感化ニューラルネットによる表面筋電位からの手首関節角速度推定、電子情報通信学会論文誌(D)、査読有、J99、6、2015、617 - 629
DOI:10.14923/transinfj.2015JDP7081

Kazumasa Horie, Atsuo Suemitsu, Masahiko Morita, Direct estimation of hand motion speed from surface electromyograms using a selective desensitization neural network, Journal of Signal Processing, 査読有、18、4、2014、225 - 228
DOI:10.2299/jsp.18.225

〔学会発表〕(計 2 件)

Kazumasa Horie, Atsuo Suemitsu, Masahiko Morita, Direct estimation of hand motion speed from surface EMG using a selective desensitization neural network, 2014 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'14), 2014 年 3 月 3 日, Honolulu (America)

堀江和正、末光厚夫、丹野智博、森田昌彦、Half-vs-Half 法を適用した選択的不感化ニューラルネットによる筋電パターンの多クラス分類、ニューロコンピューティング研究会、2012 年 6 月 28 日、沖縄科学技術大学院大学(沖縄県・国頭郡恩納村)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

末光 厚夫 (SUEMITSU, Atsuo)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：20422199

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4)研究協力者

森田 昌彦 (MORITA、 Masahiko)

堀江 和正 (HORIE、 Kazumasa)