

マニピュレータ制御のための筋電位を用いた手の動作パターン識別

2019SC007 GUERRA CUBILLA Einar Alexis

指導教員：中島明

1 はじめに

システムを人間の意図通りに操作するために、コントローラ、ジョイスティック、データグローブなど多くのインターフェースが用いられている。近年では、これらのインターフェースに加え、人間の脳波や眼球の運動、表面筋電位 (sEMG) などの生体信号も利用されている。表面筋電位は皮膚に電極を貼ることで計測できる、筋肉を動かしたときに発生する微弱な電圧のことであり、計測が比較的簡単で、力や動作意図の情報が含まれているため、筋電義手、ロボットハンドやパスイアシスト装置への活用などの研究が多く行われている。便宜上、表面筋電位のことを単に筋電位あるいは EMG と呼ぶことにする。

当研究の最終目標は、この EMG をロボットアームのインターフェースとしたとき、人間の日常的な手の動きである指の開閉、手首の屈曲、手首の伸展を、分類器を用いて識別し、その動作を行ったときの関節角度を推定し再現することである。そうすることで、マニピュレータを制御するマン-マシンインターフェース (MMI) とする場合、EMG がもたらす可能性を再確認することを期待している。本稿では、最終目標の前半、筋電位から人間の動作意図を推定するために、分類器を用いて実際に動作パターンを識別した結果を述べる。

2 識別対象とする手の動作

識別対象を上記の 4 動作に加え、手に力を加えない場合 (中立位) も含め、合計 5 動作とした。計測は、腕をぶら下げた状態で行っている。5 つの対象動作を図 1 にまとめた。

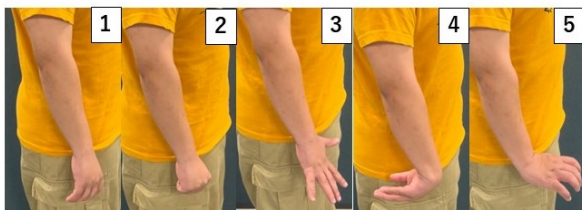


図 1 識別対象動作。1. 中立位 2. 指の閉 3. 指の開 4. 手首の屈曲 5. 手首の伸展

前述したように、EMG から動作を識別するために分類器を用いる。今回は SVM のアルゴリズムを分類器として使用することにした。それは、ほかの機械学習のアルゴリズムよりも予め調整する必要があるハイパーパラメータの数が少なく、また [1] では、サポートベクトルマシン (SVM) をほかのアルゴリズムに比べた結果、SVM が最も識別率が高いと報告されているからである。

3 筋電位と角度の計測方法

この実験では、本稿の著者から筋電位と角度を計測した。データの計測と操作には、MathWorks 社のソフトウェア MATLAB を使用した。EMG と関節角を計測するタイミングを合わせるために計測する動作をコマンドウィンドウに表示させ、それによって著者が動作を実行した。計測は 24 回行い、それぞれ約 3 秒ごとに動作を切り替えた。また計測を、中立位→手を閉じる→中立位→手を開く→中立位→手首屈曲→中立位→手首伸展の順に行い、1 回につき合計で 24 秒間計測した。EMG の計測には、Biometrics 社の DataLite 無線 EMG センサーを 4 台使用した。サンプルレートは 2000 [Hz] とした。計測部位は [2] で使用された筋肉から上腕二頭筋と上腕三頭筋を除いた 4 種類の筋肉で、一個目のセンサー (チャンネル 1) では深指屈筋、チャンネル 2 では浅指屈筋、チャンネル 3 では総指伸筋、チャンネル 4 では短橈側手根伸筋の筋電位を計測した。センサーの正確な位置は図 2 に示す通りである。

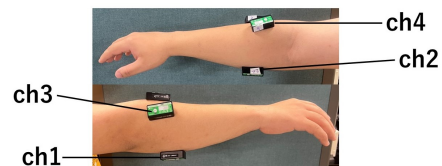


図 2 センサーの貼り付ける位置

手と指の位置の計測には、3 台の OptiTrack Flex 13 モーションキャプチャカメラを使用した。これらのカメラは、1 秒間に 120 フレームを出力することができる。図 3 にマーカー位置を示す。

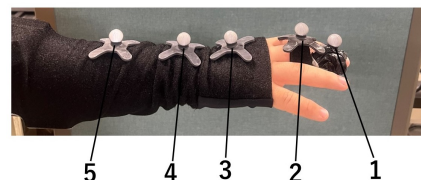


図 3 マーカーの貼る位置。1. DIP 関節, 2. MP 関節, 3. 手の甲, 4. CM 関節, 5. 前腕

モーションキャプチャにより、屈曲・伸展時の手や指の位置を読み取る。この位置データを用いて、中指と手首の角度を内積の式で算出する。図 4 に計測 EMG と角度の計測結果の一例を示す。

4 手の動作パターン識別方法と SVM による動作パターンの識別結果

SVM の実装には MATLAB 版 LIBSVM[3] を用いた。特徴抽出を行うために、[1] に従って、EMG から積分筋電図 (IEMG) を全波整流し、カットオフ周波数 5 [Hz] のローパスフィルタをかけて平滑化することで計算し、角度と同じフレーム数になるように EMG と IEMG をフレーム化する。このために各フレームの長さを 968 [ms] とし、フレーム周期 8 [ms] (125 [Hz]) でフレームをシフトする。フレーム化後、ハミング窓による窓処理を行った。IEMG の各フレームよりフレーム内平均積分筋電図 (AIEMG) を、EMG の各フレームより最初の 3 つのケプストラム係数を求めてこれらの特徴量にして、SVM の入力となる特徴ベクトルを構成した。また、正解クラスのラベル付けに関して、得られた角度のデータに基づいて各動作の動作区間を決定し、これらに即してラベル付けを行った。

なお、SVM の多クラス分類方式として 1 対 1 を選び、カーネルとして RBF カーネルを用いた。 γ の候補として $\gamma = [2^{-6}, 2^{-5}, \dots, 2^2]$ 、 C の候補として $C = [2^0, 2^1, \dots, 2^8]$ と定めてグリッド作った。各グリッド点の値について 10 分割交差検証法を用いて、1~10 回の正答率の平均値が最も高い組み合わせ $[\gamma, C] = [4, 256]$ をハイパーパラメータの値に選択した。実験で得られた 24 個のデータ集合のうち、22 個を訓練集合とし、残りの 2 セットを評価セットとした。0 クラスのベクトルが他のクラスより多いため、学習時のみ、0 クラスのベクトルを他のクラスのベクトルと同様な数に減らした。分類器が 2 つの評価セットのクラスをどの程度正確に予測できたかを数値化するため、動作識別率を次のように定義する。

$$\text{動作識別率} = \frac{\text{動作クラスが正しく予測された特徴ベクトル数}}{\text{同一動作クラスの特徴ベクトル本数}} \times 100$$

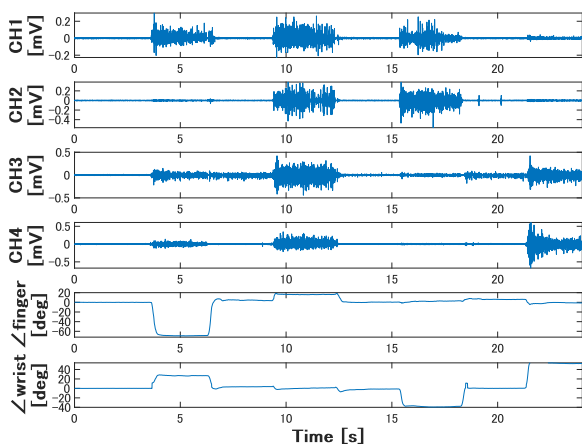


図 4 計測結果の一例。1~4 番目のグラフはチャンネル 1 から 4 までの EMG であり、5~6 番目はそれぞれ指と手首の角度である。

表 1 に第一と第二評価セットの各動作に関する動作識別率をまとめた。

表 1 第一と第二評価セットの各動作に関する動作識別率。

Set	Ne.	Op.	Cl.	Fl.	Do.	Total
1	99.0	90.2	96.7	77.8	98.0	92.3
2	96.8	81.6	70.5	90.2	100	87.8
Mean	97.9	85.9	83.6	84.0	99.0	90.0

表 1 では、Ne: 中立位 (Neutral), Op: 手の開 (Opening), Cl: 手の閉 (Closing), Fl: 手首の屈曲 (Flexion) and Do: 手首の伸展 (Dorsiflexion) である。最下行の Mean は評価セットごとの同一動作識別率の平均値を表している。また、最右列の Total は、各評価セットと Mean における各動作識別率の平均値を表している。これ以降では、Total を総識別率と呼ぶことにする。この表から、最も低い動作識別率は 70.5% であり、最も高い動作識別率は 100% であることが分かる。また、Mean を見ると、どの動作識別率も 80% を超えており、その総識別率が 90.0% に達していることも分かる。したがって、SVM は、筋電位を入力としたとき、手の動作パターンを識別するのに有用な手段であることが示された。

5 おわりに

本稿では SVM による動作パターンの識別法を用いて実際に手をぶら下げた状態で動作を行わない中立位、手の閉、手の開、手首の屈曲、手首の伸展といった、手の 5 動作パターン識別を試みた結果について説明した。EMG から得た 2 種類の特徴を抽出し、それをもとに作った特徴ベクトルを入力とし、SVM を用いたとき、ラベルを予測した結果より、最低で 70.5%、最高で 100% の動作識別率に加え、90.0% の総識別率が得られたことから、SVM は上記の手の動作パターン識別に有効であるという結論に至った。これで筋電位から動作パターンを識別することに成功したことが分かる。今後の目標として EMG と角度のデータからの動作角の推定を次に行う予定である。このためにシステム同定を用いたモデルの作成を検討している。そしてその後、6 自由度ロボットアームの制御を行う予定である。

参考文献

- [1] 吉川雅博・三田友記・三河正彦・田中和世: 「前腕切断者を対象とした筋電位信号に基づく手の動作識別法に関する基礎的研究」。人間工学, 第 46 巻, 第 3 号 (2010), pp. 197-207.
- [2] 棒谷英法・大須賀美恵子: 「表面筋電信号に基づいた腕・手の動作識別」。人間工学, 第 49 巻, 第 1 号 (2013), pp. 1-9.
- [3] C.C. Chang and C.J. Lin: LIBSVM: A library for support vector machines. 2001. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.