

筋電義手に特化した水平制御システムの開発

Development of horizontal control system for Myoelectric Prosthetic Hand

鈴木悠一郎[†] 石田侑暉[†] 児玉京太郎[†] 後藤紡[†] 西野洋介[†] 海野良次[†] 廣田怜香[†]

Yuichiro Suzuki Yuki Ishida Kyotaro Kodama Tsumugi Goto Yosuke Nishino Ryoji Umino Reika Hirota

1. 研究背景

筋電義手は、能動義手や装飾義手と比べて操作における制約が少なく、動作の自由度が高いことが長所であり、肢体障害者において今後注目度の高い技術である。

一方で、日常生活では行うことのない力の入れ加減による操作や、繊細な力の入れ加減が必要なことが原因で、操作の難易度が高いという問題がある。実際に、筋電義手を使用したことがない人が予想した操作難易度と、実際に使用した際に感じた操作難易度の調査が行われた。[1] 操作前に簡単であると予想していた人は5名いたが、使用後には0名になっている。また、「難しい」「とても難しい」と回答した人は、使用前には22名だったが使用後には26名に増加している。(図1) 以上より筋電義手の操作が予想以上に難しいことは明らかである。

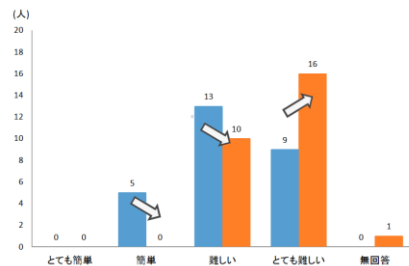


図1 筋電義手を体験して感じた難易度

また、日本で筋電義手の訓練を行っている医療機関は、各都道府県に平均1か所しかない[2]。そのような医療機関が遠方にある人にとって通院は大きな負担になるため、従来に比べ操作が容易で訓練が短期間で済む筋電義手の需要は高い。

筋電義手の操作を容易にする手法として、カメラによる認識を用いたものや、人工知能を用いた筋電信号の処理による自動制御を用いたものがあげられる。しかし、前者は環境によって認識精度の低下を起しやすく[3]、後者は身体特性による信号の個人差によって画一的な処理が行えないことや、身体特性の変化や運動学習により信号の分布が変化することで、長期間安定的に操作できない[4]。

2. 研究目的

そこで本研究では、習得難易度が高い筋電義手の操作を短期間で習得できるようにするため、慣性制御ユニットを用いた制御システムを開発する。特に、手先の水平姿勢を保つ制御に特化し実装する。慣性計測ユニットは環境に左右さ

れにくく、使用者から完全に独立しているため、専門的な知識が必要な使用者別のキャリブレーションが必要ない。これにより、装着訓練に含まれる、義手の調整の時間を減らすことができる。

また、筋電義手での一部の動作を自動化するためには、筋電義手がモーションプランナーなどで算出した姿勢をとるように、位置決めをする必要がある。その際、装着している腕の揺れの影響を受けずに、正確な位置や角度で動作するための水平制御が重要になる。そのため本研究では、様々な動作の自動化の基盤である水平制御の実装・評価を行う。

3. システム構成

筋電義手の操作が難しい要因の一つとして、現在普及している筋電義手の大半が比例制御で操作するものであり、繊細な力加減が必要であることが挙げられる。そこで本研究では、使用者の筋電位を、比例制御ではなく、閾値を用いて動作の種類に判別し、従来の筋電義手では比例制御で行っていた微妙な動作の加減を、慣性計測ユニットを用いてフィードバック制御で行う。

義手は使用者の断端の位置に合わせて複数の種類があるが、本研究では、前腕義手を開発した。

手先の角度を制御するため、手首を人間と同様に3軸で駆動できるように3つのサーボモータ(図2 i)を搭載した。指の開閉は、人差し指と中指、薬指と小指、親指の3組を駆動できるように3つのサーボモータ(図2 ii)を搭載した。義手の根本にはマイクロプロセッサのstm32(図2 iii)を搭載し、筋電位センサ(図2 iv)の信号を用いた動作の切り替えと、慣性計測ユニット(図2 v a, v b)を用いた水平を保つためのモータの動作量の演算を行った。

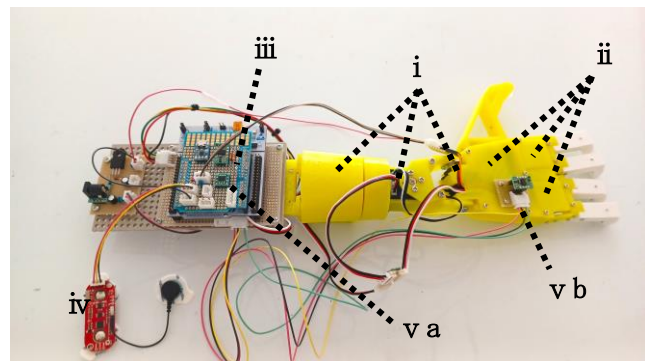


図2 筋電義手の構成

[†] 東京都立多摩科学技術高等学校 Tokyo Metropolitan Tama High school of Science and Technology

3.1 慣性計測ユニット

慣性計測ユニットは、ジャイロセンサ、加速度センサ、地磁気センサによって、センサの姿勢をクォータニオンで出力する。使用した慣性計測ユニットは Adafruit Industries 社製の BNO055 で、この製品はセンサ類とともにカルマンフィルタを実装したプロセッサを内蔵しており、独自にフィルタを実装することなく、誤差の少ないデータを使用できる。2つ搭載した慣性計測ユニットのうち、図2のvaを水平制御に使用し、図2のvbを傾きの軽減についての評価実験で使用した。

3.2 筋電位センサ

筋電位センサは SparkFun Electronics 社製の MyoWare Muscle Sensor を使用した。このセンサは筋活動の強度を、センサの Vcc の電圧を最大、GND の電圧を最低としたアナログ信号で出力する。関節の駆動軸と、慣性計測ユニットの座標系は図3の通りに設定した。

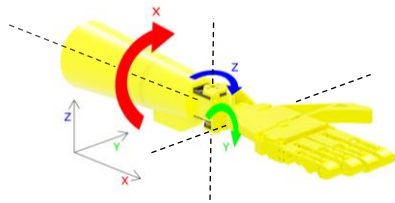


図3 手首関節の回転軸と座標系

操作に関しては、筋電義手の筋電位センサからの信号の強さを閾値で判定し、水平制御の ON-OFF を切り替えられるようにした。筋電位センサからの信号が閾値より小さいとき、水平制御を OFF にする。筋電位センサの信号が閾値を超えたら水平制御を ON にするように設計した。

4. 制御手法

制御の原理は、一般的なジンバルと同様に、傾きの分だけモータを動作させる。慣性計測ユニットから得られる姿勢クォータニオンを Q 、目標姿勢の姿勢クォータニオンを P とすると、モータの動作量となる差分 R は、

$$R = Q^{-1}P \quad \dots (1)$$

となる。筋電義手のモータの回転軸の配置は、腕に繋がる根本の位置を原点とすると、X-Z-Y の順(図3)であるため、手先の角度は、モータの角度を要素とした X-Z-Y 系のオイラー角で表せる。したがって、 R を X-Z-Y 系のオイラー角に変換する。変換後のオイラー角を $E(\theta_x, \theta_z, \theta_y)$ とすると、 E の要素をそれぞれ対応する回転軸のモータに適応することで、水平を保つことができる。

5. 評価実験

作成した水平制御システムが ON になっている状態で、水平維持が出来ているかを検証した。筋電義手の傾きの測定は、水平にした図3の状態から始め、根本の部分を押込んだ状態で円を描くように上下左右に動かして行った。

ここでは、慣性計測ユニットから得られる姿勢クォータニオンの X,Y,Z 要素を足し合わせたものを傾きの大きさとしている。傾きを軽減できた割合 k を、根本の慣性計測ユニット(図2va)の傾きを a 、先端の慣性計測ユニット(図2vb)の傾きを b として式(2)より算出し、一定間隔で得た k の平均を求めた。 k の数値が1に近いほど、傾きは軽減されている。

$$k = \frac{a-b}{a} \quad \dots (2)$$

6. 結果

測定を10回行った結果が表1である。傾きのサンプリングを含む水平制御の処理1回に要する時間は平均で12msであった。

表1 義手の傾きを軽減できた割合

| | k |
|------|------|
| 1回目 | 0.95 |
| 2回目 | 0.92 |
| 3回目 | 0.87 |
| 4回目 | 0.91 |
| 5回目 | 0.92 |
| 6回目 | 0.91 |
| 7回目 | 0.94 |
| 8回目 | 0.92 |
| 9回目 | 0.90 |
| 10回目 | 0.91 |

傾きを軽減できた割合が9割以上であったため、実用的な水平制御が実現できた。様々な動作を自動化する際の、外乱を取り除く基盤ができたと考えられる。

7. おわり

筋電義手の操作を期間で習得できるようにすることを目的に、様々な動作を自動化する基盤となる水平制御を実装した。傾きを9割以上軽減できたため、動作の自動化に近づくことができた。傾きに対する反応速度が課題となっているため、これから改善していきたい。

参考文献

- [1] 大庭 潤平, 柴田 八衣子, 溝部 二十四, 岡本 真規子, 毛利 由佳, 安藤 悠. “筋電義手を使用する子供の保護者が筋電義手を使用する効果について”. 神戸学院総合リハビリテーション研究誌. 2016, vol.11, no.2, p.125-133. (参照 2022-11-24)
- [2] 厚生労働省. “筋電義手の装着訓練等の実施医療機関一覧”. 2022. (参照 2023-06-05)
- [3] 竹元 寛朗, 大関和夫, 平川豊, 小林淳, 長沢卓哉. “夜間での車載ステレオカメラによる前方車両の距離測定” 第75回情報処理学会講演論文集. 2013, vol.2013, no.1, p575-576. (参照 2023-06-07)
- [4] 加藤 龍, 横井 浩史. “適応機能を有する運動意図推定システム—高機能ロボットハンドと日常生活支援—” 人工知能学会誌. 2008, vol.23, no.3, p326-333. (参照 2023-06-07)