

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 10 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420449

研究課題名(和文) 実用的な多機能型筋電義手制御システムの開発

研究課題名(英文) Development of Practical Multifunctional Myoelectric Hand Control System

研究代表者

関 弘和 (Seki, Hirokazu)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：90364900

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、前腕部筋電位によるロバスト動作認識に基づく筋電義手制御システムの開発を目的として実施し、主に前腕部動作識別法、義手制御法、筋電操作訓練法の開発を具体的課題として挙げた。動作識別法については、ダミー変数型特徴量や腕姿勢変動モデルを導入した手法を提案し、90%以上の高精度識別を実現した。義手制御については、主に物体の把持・移動動作に注目し、その作業効率を効率化するための義手速度設計、LEDによる把持力の視覚フィードバック、一連の作業訓練方法等を検討し、タイムトライアル実験により有効性を示した。切断者による評価実験は今後の課題としたが、研究期間全体として目標の90%程度を達成した。

研究成果の概要(英文)：This study aims at realizing a useful myoelectric hand control system based on the robust motion discrimination. One of the important problems is a high precision motion discrimination with improved robustness against the arm posture change. The other problem is the development of myoelectric hand control method and operation training method. First, some motion discrimination methods with the dummy variable feature and arm posture change model were proposed, and the high precision motion discrimination over 90% was realized. Secondly, a practical myoelectric hand control system for pick and place operation with hand motion velocity design, visual feedback of grasping force by LED and operation training procedure was proposed, and the effectiveness of the proposed methods was verified through some time trial experiments. Though the proposed system was evaluated by only healthy people, around 90% of the total goals were achieved.

研究分野：システム制御工学

キーワード：筋電義手 前腕動作識別 運動制御

1. 研究開始当初の背景

交通事故や災害などによって腕を失った人たちに対し、日常生活動作を行い易くするため、失った腕と同等の機能を持つ義手の開発が期待されている。運動時に発生する表面筋電位信号をセンサにより測定した筋電位信号の解析により、開く、握るなどの動作意思をパターン認識し義手を制御する、いわゆる「筋電義手」がその一つの解決手段である。例えばドアノブをひねってドアを開ける、お茶碗を持つなど、健常者と同等の日常生活も実現される。

筋電位による動作識別は古くから行われており、特に1990年以降にはニューラルネット等を利用した非線形システムの考えが登場しパターン解析研究が数多く行われてきたが、多動作識別型筋電義手としては未だ実用化には至っていない。動作識別精度やロバスト性(筋疲労、肘や肩の姿勢変動等の外乱要素に対しても高識別率を発揮する)、また筋電操作や義手操作のための訓練システムの構築などが課題として挙げられている。本研究ではこれらの問題点を解決し、実用的な筋電義手システムを開発することが最大の目的である。図1は本研究で構築した義手制御システムである。

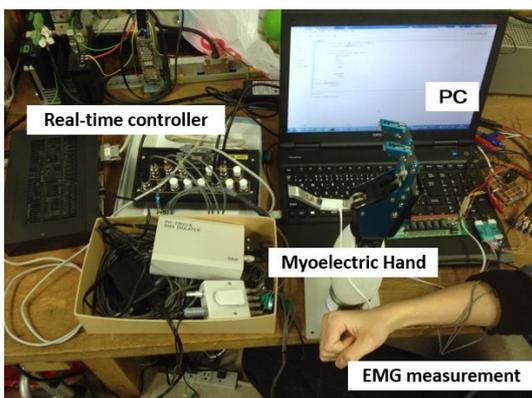


図1 筋電義手制御システムの構成

2. 研究の目的

本研究はヒトの前腕部運動時に筋線維から発生される筋電位信号によるロバストな動作パターン認識に基づく筋電義手制御システムの開発を目指し、いくつかの問題を解決し、より実用的なシステム設計を実現することを目的とする。具体的には、前腕部動作のロバスト識別法の開発、筋電操作の訓練支援法の開発、筋電義手制御法の開発と実験、被験者実地評価等を具体的課題として設定し、解決に取り組んだ。以下に主な課題を挙げる。

(1) 高精度動作識別法の開発

コップを持ったりドアを開けたりする日常生活動作においては肩や肘の姿勢変化を伴うが、その際は筋電位信号が変化することがあり、ある特定の姿勢時のみを学習データとするだけでは誤認識が起きやすい。従来の研究ではほとんど考慮されてこなかった要

素であるが、これに対応する動作識別手法が必要となる。なお動作識別の対象は、握る、開く、回内、回外、掌屈、背屈の6動作とし、筋電位信号から実効値を特徴量として抽出する。

(2) 義手制御手法の開発

動作識別結果を義手への動作指令とすることになるが、日常生活で頻繁に起こりうる把持動作においては、義手の動作速度の設計や、使用者への把持力フィードバック、さらにそれらの使用感覚をつかみ習熟するための訓練などの課題が存在する。そこでこれら一連の義手制御を実現するための方策を検討する。

3. 研究の方法

(1) 高精度動作識別法の開発

腕姿勢変化にも対応した高精度動作識別法を検討する。腕姿勢変化の様子を図2に示す。肩と肘の姿勢角度はセンサで測定するものとする。本研究では、肩と肘それぞれ90度までの範囲の姿勢変化を想定し、これらの姿勢での筋電位を学習データとして事前取得するものとする。ただし、あらゆる姿勢角度での筋電位を取得するのは現実的に不可能であり、義手使用者にも大きな負担をかけることとなる。そこで、少量の学習データのみを取得し、これらから近似モデルを作成し、学習データに存在しない腕姿勢時の参照データも推定して動作識別をする手法を検討する。

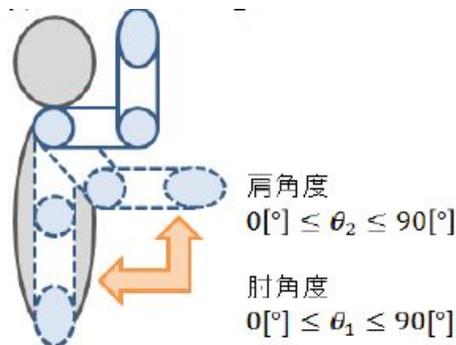


図2 腕姿勢変化の様子

姿勢変化に対応するための近似モデルと筋電位中央値推定の概要を図3に示す。肩と肘それぞれを変化させたときの筋電位実効値に対し、図3のように3次多項式で近似モデルを作成しておく。

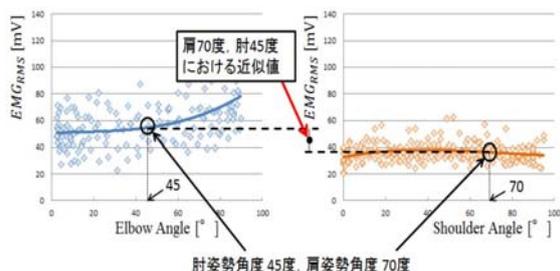


図3 筋電位中央値の推定

実際には肩と肘の両方が変化することが考えられるため、今回は図3のように、肩と肘それぞれの近似モデルから推定した値の中間値をその姿勢における筋電位中央値として推定することとする。これは他のいくつかの方法と併せて検討した結果、より高精度識別の効果を発揮したものである。

姿勢変化による筋電位の近似中央値を推定した後、これをメンバーシップ関数の中心としたファジィ推論により動作識別を行う。図4がメンバーシップ関数であり、これを各動作、各電極ごとに設計するが、推定した中央値が中心値となるようにする。つまりファジィ集合D, E, Fはその動作である確率が高いことを意味し、この中心値から外れるほど低確率であることを意味する。

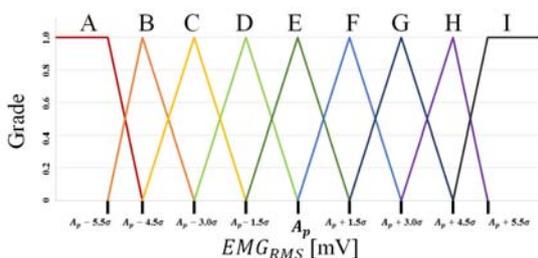


図4 メンバーシップ関数の設計

最後にこれらのファジィ集合のグレード値とファジィルールに基づき、動作識別のための確率値を推定する。例えばすべての電極において集合Eのグレード値が1であればその動作の確率値を100%と推定し、逆にすべての電極でAやIのグレード値が1であれば0%とする。これらの中には、電極数と集合数を用いた数式により確率値を算出する。

(2) 義手制御手法の開発

本研究では把持・移動制御において、圧力センサによる把持力測定とLEDによる視覚フィードバック、作業効率向上のための2段階速度制御、操作訓練手順等を検討した。

最初に、義手の指部分に圧力センサを装着し把持力を測定し、これをLEDの点灯個数(全24個)に比例させるシステムを構築した。図5にこれらの関係性を示す。

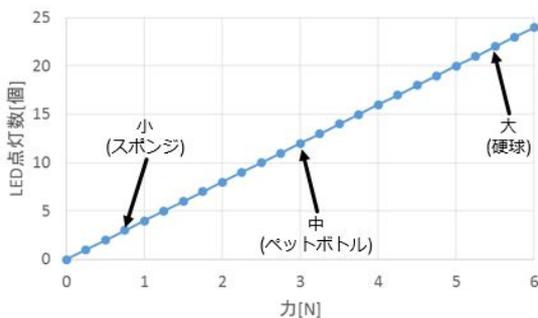


図5 把持力とLED点灯個数の関係

次に、把持動作を伴う作業を想定した場合の義手速度の設計を行う。前述のとおり物体を把持したかどうかについてはセンサにより検出可能であるため、把持するまでの間は

義手速度を大きくしても問題ない。一方、把持直後からは義手速度を小さくしなければ、物体を握りすぎたり、再度義手を開く必要が生じたりする可能性がある。そこで図6に示すように把持力を検知後に速度を下げるような2段階速度制御法を用いて作業効率の向上を目指す。

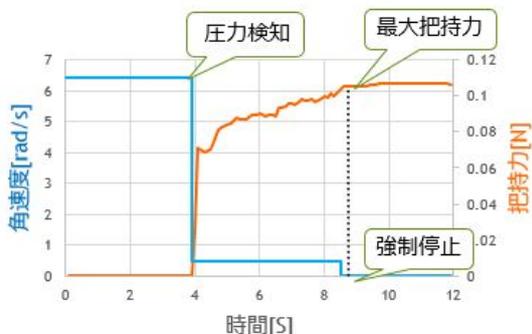


図6 把持力測定と可変速度制御

最後に、握る・開く等の動作識別のため筋電操作、把持力とLEDの関係性理解、LEDを視認しながらの把持作業、これら一連の要素を使用者にとって確実に実行可能なものとするための訓練手続きの方策を検討する。

まず正確な動作識別のための筋電操作訓練については義手装置本体を使用者の前に設置し、義手の動作を視覚的に確認しながら訓練を行う。次に把持力とLEDの関係性理解のための訓練については、図5に示すように、必要な把持力が大・中・小となる3種の物体を代表とし、それぞれを把持する感覚をLEDを見ながら習得する。これにより、それら3種以外の物体に対しても必要な把持力のある程度想像して把持作業できることが期待される。最後にそれらを実際に把持・移動させる作業を行う訓練をする。

4. 研究成果

前述のような動作識別法と義手制御法に対し、健常者による評価試験を行った。得られた成果を順に以下に記す。

(1) 高精度動作識別法の検証結果

提案手法の有効性を検証するため、動作識別率の実験検証を行う。ある被験者における実験結果を図7に示す。他の2名の被験者でも検証を行ったが、いずれにおいても6動作を総合して提案手法がより高精度な動作識別をもたらすことが確認された。

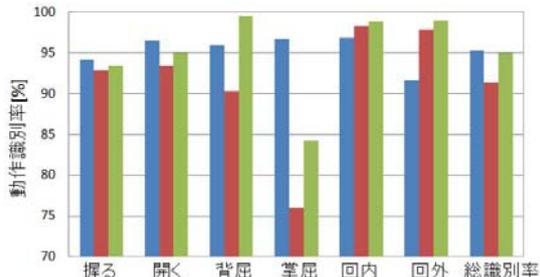


図7 実験結果

次に、上記の動作識別法が実際の義手制御にどのような効果をもたらすかについて、日常動作で必須となる把持・移動動作を対象として実験を行う。実験の様子を図8に示す。今回は健常者による検証のため、右腕の筋電位を測定・動作識別しながら、義手を左手で持ち実験を行う。2本のピンを右手と義手で掴み、平行移動させながら設置地点①に2本のピンを設置し、再び2本のピンを掴んで次の設置地点②に向かう。これを④まで行い、テーブルの中心に戻るまでの時間を測定する。これを、実際の手での作業、提案手法による動作識別を用いた義手での作業、ユークリッド距離による動作識別を用いた義手での作業のそれぞれについて、5周ずつ行う。

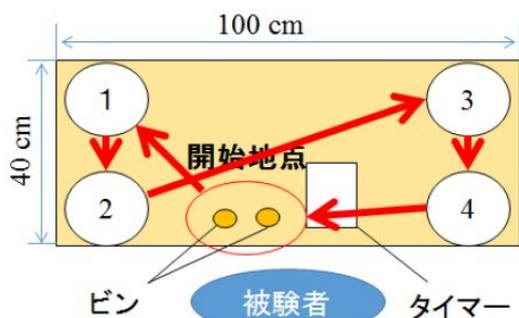
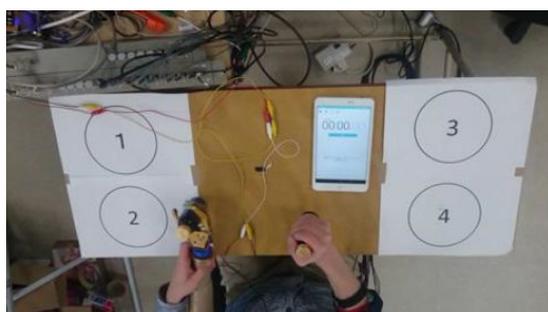


図8 把持・移動動作実験の概要

ある被験者による実験結果を図9に示す。提案手法により正確な動作識別を行うことにより周回時間が短く作業効率が向上し、さらに周回回数とともに徐々に時間が短縮していることがわかる。これは使用者が握る・開くの動作時の力加減を学習・習熟しているためであると考えられる。



図9 把持・移動動作の実験結果

(2) 義手制御手法の開発

提案した義手制御・訓練方法の効果を検証するため把持・移動動作実験を行う。実験の様子を図10に示す。被験者は訓練の有無それぞれで3名ずつ(いずれも健常者)用意する。同じ物体3個について約50cmの距離を右から左へ1つつつ把持・移動を行い、作業時間を測定する。被験者ごとにこれを5セット行う。把持物体は、訓練ですでに使用しているスポンジと、訓練で使用していないカラーボールとスチロールを用いる。

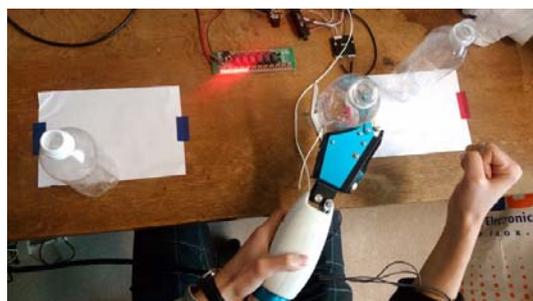


図10 把持・移動動作実験の様子

タイムトライアルの実験結果を図11に示す。訓練ありの方はLED点灯数と把持力の関係性を知った状態で習熟度比較の物体移動を行うため、素早く適切な把持力調整を行うことができ、より早く運ぶことができた。また、訓練で使用していないカラーボールと円柱型発泡スチロールも上手く運ぶことができた。これらの結果から、LEDによる感覚フィードバックは有効であるが使いこなすには訓練が必要であると考えられる。

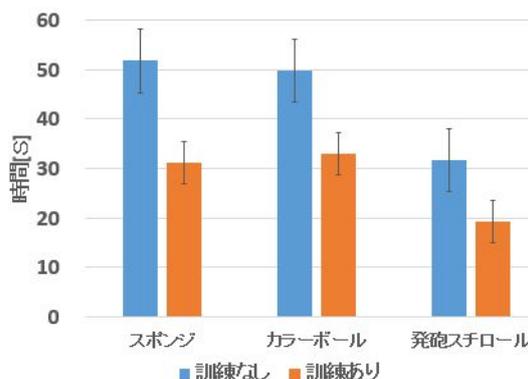


図11 タイムトライアル実験の結果

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)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 関弘和、鈴木一茂、筋電義手制御を目的としたダミー変数型特徴量に基づく高精度動作認識、日本福祉工学会誌、査読有、1巻、2014、26-32

[学会発表] (計5件)

- ① 灰谷達哉、関弘和、筋電義手の日常動作制御における外乱要素の影響に関する検

証、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015、2015、2505P、2015 年 9 月 3 日、公立はこだて未来大学（北海道函館市）

- ② 山口知也、関弘和、筋電義手制御のための腕姿勢変化を考慮したファジィ推論型動作識別、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015、2015、2P1-I05、2015 年 5 月 19 日、京都市勧業館（京都府京都市）
- ③ 山口知也、灰谷達哉、関弘和、腕動作を考慮した筋電義手のための姿勢角度間データ補間による動作識別、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014、2014、1P1-F03、2014 年 5 月 26 日、富山国際会議場（富山県富山市）
- ④ 灰谷達哉、山口知也、鈴木一茂、関弘和、筋電義手の高精度動作識別を目的としたダミー変数型特徴量設計法、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014、2014、1P1-E04、2014 年 5 月 26 日、富山国際会議場（富山県富山市）
- ⑤ 関弘和、鈴木一茂、ダミー変数型特徴量に基づく筋電義手の高精度動作識別、生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2013、2013、GS3-1-1、2013 年 9 月 4 日、山梨大学（山梨県甲府市）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.seki-lab.it-chiba.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関 弘和 (SEKI HIROKAZU)
千葉工業大学・工学部・教授
研究者番号：90364900