

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 14 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760393

研究課題名（和文） 実用的な前腕用筋電義手制御システムの設計に関する研究

研究課題名（英文） Design of 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

研究成果の概要（和文）：本研究は、少数電極位置推定とロバストな動作認識法に基づく実用的筋電義手制御システムの開発を目指す。1 つ目の課題は前腕部動作の高精度識別法の開発と、筋疲労など様々な外乱要素に対するロバスト性向上である。2 つ目の課題は、前腕切断者の残存筋の状況により個人ごとに異なると考えられる少数の最適電極位置を推定する手法の開発であり、いくつかの統計的手法を用いてこれを実現する。複数の健常者による実験によりこれらの開発手法の有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：This study aims at realizing a useful myoelectric hand control system based on the fewer optimal electrode position estimation and robust motion discrimination. One of the important problems is a high precision motion discrimination with improved robustness against the muscle fatigue. The other problem is a fewer optimal electrode position estimation solved by statistical approach. The effectiveness of the proposed methods was verified by some experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御システム、生活支援機器、筋電義手、動作認識、最適電極位置推定

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（電極）により測定した筋電位信号の解析により（図1）、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。その理由として、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發揮する）、また多電極チャンネル（以下 CH）の使用が困難であること（義手装着ソケットの構造やコストのため）などが挙げられるが、それらを解決するための研究はほとんど行われていない。例えば 4～6CH の電極を前腕周りの固定位置に装着することが多く、上述の外乱要素も考慮されていない。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。

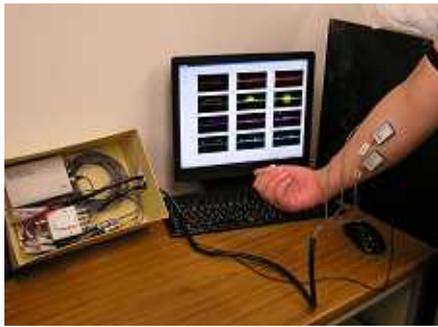


図1 筋電位解析システム

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、これまでほとんど考慮されてこなかった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。1つ目の重要な課題は、前腕部動作の高精度識別法の開発と、筋疲労や姿勢変動など様々な外乱要素に対するロバスト性向上である。2つ目の課題は、前腕切断者の残存筋の状況により個人ごとに異なると考えられる最適電極位置を推定する手法の開発であり、少数でかつ最適位置の電極使用で高精度動作認識が実現できれば、コスト面の優位性のみならずユーザごとのきめ細かい支援も期待できる。

(1)高精度動作識別法の開発

握る、開くなどの基本的な動作を対象として高い認識率を発揮するような動作識別法を確立する。その際、リアルタイムの動作識別を実現するために計算量のより少ない手法が適切である。さらに、筋電位信号は筋疲労が原因となり徐々に変化するため、これに随時適応していくための学習モデル再設計法も必要となる。

(2)最適電極位置推定法の開発

従来の研究では、全ての被験者が同じ位置から筋電位信号を測定することが多かったが、動作識別のための筋電位の最適測定位置は、前腕切断者の残存筋の状況により異なるため、使用者ごとの最適な位置で筋電位を測定した方が有利と言える。またコストや前腕切断状況により多数の筋電センサの使用が難しいため、できるだけ少数のセンサで動作を識別したい。

少数電極使用を実現するため、16ch電極を用いて筋電位を測定し、いくつかの統計的処理を適用することにより2chあるいは3chの最適電極位置を選択する手法を確立する。

3. 研究の方法

(1)高精度動作識別法の開発

実用的な筋電義手システムの実現の第一歩として、使用者の意図する前腕部動作を高精度に識別する手法が要求される。さらに、システムの実装を想定すれば高価な処理装置を使用することは現実的でないため、より計算量の少ない簡潔な識別手法が必要となる。本研究では、以下に記す4つの識別法を提案・検証した。

トラス型自己組織化マップの最適マッピング法

図2右のように、同じ動作の学習結果はより狭い範囲の領域に集中させ、各動作の学習結果群を十分に分散させることができる自己組織化マップ(SOM)の最適マッピング手法を開発した。さらに最適化したマップの特性を利用して、動作の誤認識を抑えるよう動作識別を行う。

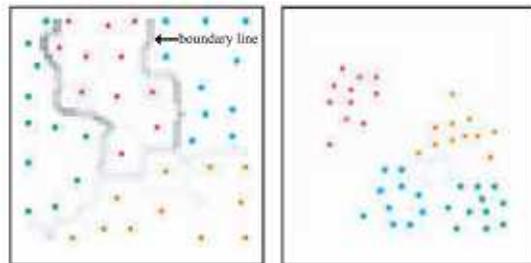


図2 SOMの最適マッピング

簡素な構造によるニューラルネットワーク

従来よく用いられてきた図3のようなニューラルネットワークにおいて、筋電位信号の実効値を増幅したものを入力データとし、識別対象動作ごとに実効値から求めた平均値を学習用データとして最適化することで、従来の方法では複雑化する傾向のあるニューラルネットの構造をより簡素化する。

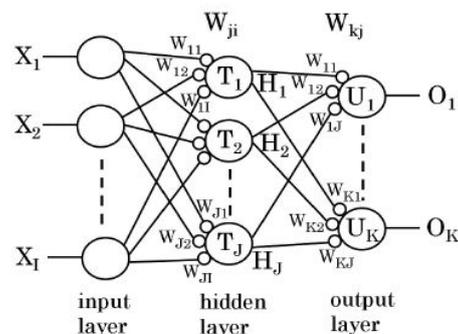


図3 ニューラルネットワーク

適応型ファジィ推論法

各チャンネルにおける筋電位信号の実効値から平均値と標準偏差を求め、それらから

図4のようなメンバーシップ関数とファジィルールをユーザごとの筋電位信号の特徴に適用させて設計し、可能性分布推論法により前腕部動作を推論する。また筋疲労への対応策として、複数回連続して同じ動作と識別されたとき、これを真の動作と仮定し平均値と標準偏差を更新することでファジィメンバーシップ関数を再設計する。図4に再設計の一例を示す。点線が再設計後を示す。

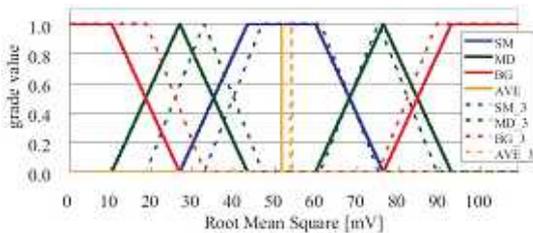


図4 再設計型メンバーシップ関数

ダミー変数型特徴量生成法

図5に示すように、例えば3つの電極から得られた筋電位の実効値に対し、あるダミー変数を追加し計4次元あるいはそれ以上の特徴量として扱うことで、実効値のみでパターン認識を行う場合よりも精度を高めることが可能と考えられる。今回は、互いに誤認識しやすい何組かの動作ペアに注目し、それぞれに対し特徴量間の距離が広がるようなダミー変数を追加する方法を検討した。

1ch	実効値		ダミー変数	
	2ch	3ch		
30.88	24.03	36.43	-1.5	0.2
41.84	34.18	30.40	1.5	0.2
46.81	30.80	27.32	-1.5	0.2
24.49	25.62	25.48	-1.5	0.2
43.31	28.43	37.04	-1.5	0.2
34.25	32.48	27.59	1.5	0.2
34.50	34.97	27.59	1.5	0.2
21.30	24.23	25.60	-1.5	0.2

図5 ダミー変数設計の例

(2)最適電極位置推定法の開発

図6のように16箇所から測定した筋電位信号の実効値に対し判別分析による変数増減法を行い、選択された測定位置による識別対象動作に対する判別精度をウィルクスにより判定を行い最適測定位置の推定を行う。

4. 研究成果

前述のような動作識別法と最適電極位置推定法に基づき、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

開発した自己組織化マップ、ニューラルネ

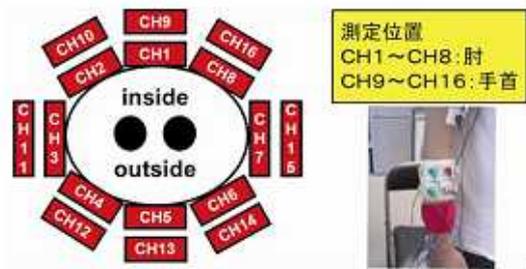
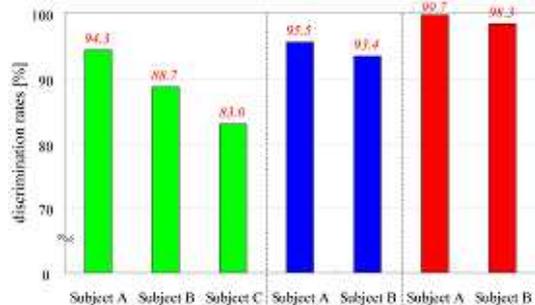


図6 筋電位の測定箇所

ット、ファジィ推論の各手法による動作識別率の結果を図7に示す。いずれも80%以上の精度が得られているが、特にファジィ推論による手法では98%以上という高精度な動作識別が実現できている。また四則演算のみの低計算量であり、簡素な義手制御システムの実現にも適した手法でもある。



SOM ニューラル ファジィ
図7 動作識別実験結果の比較

また、ダミー変数型特徴量生成について、3名の被験者(健常者)に対しこの手法を適用した場合としなかった場合の認識率の比較を図8に示す。いずれの被験者についても認識率が向上しており、特に元の認識率が低い不慣れな被験者に対しては大幅な向上が見られた。

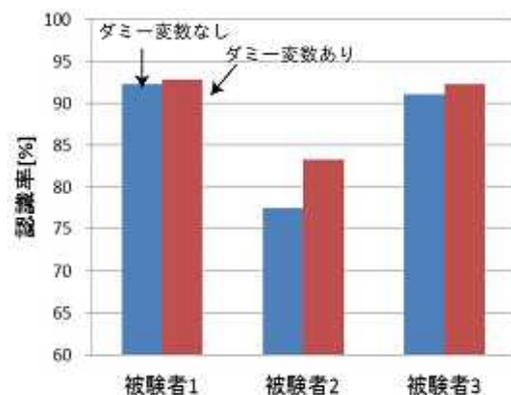


図8 ダミー変数法による認識率

(2)最適電極位置推定法の検証結果

3名の被験者に対し、最適測定位置推定とその位置における動作識別率を検証した。最適測定位置は2~4chを選択することとした。

図9は各被験者ごとに、16chから最適な3chを選択した様子を示している。健常者であっても被験者ごとに全く異なる位置が選択されていることがわかる。

この結果に基づき、適当な4CHを選んだ一例としてCH5,6,7,8, 選択された4CH,

選択された3CH, 選択された2CH,のそれぞれにおいて、動作認識率を検証した結果を図10に示す。いずれの被験者についても統計的な電極選択による効果が見られ、また2CHという極めて少数の電極であっても測定箇所次第で70%以上の認識率が得られることも明らかになった。

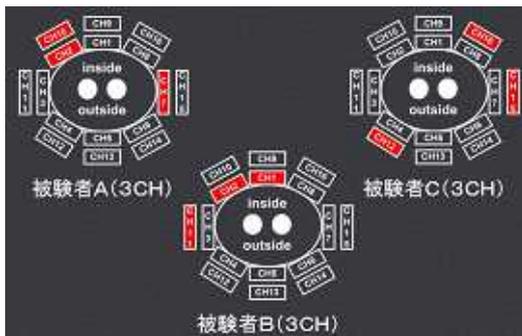


図9 選択された電極位置

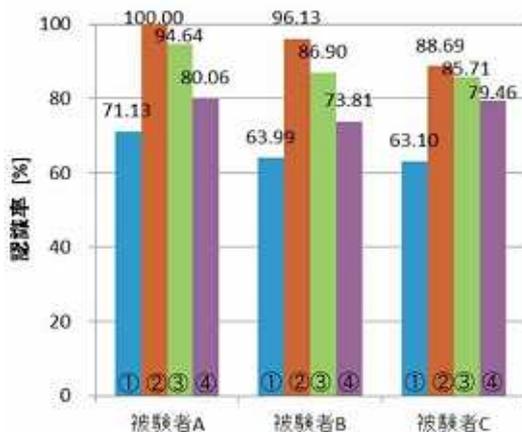


図10 各測定法による認識率

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2件)

- (1)木曾淳, 谷口悠, 関弘和, ウィルクスに基づいた判別分析による前腕部筋電位信号の最適測定位置推定, 電学論 D, 査読

有, Vol.132-D, No.3, pp.411-417, 2012
<http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/27-publication/index101.html>

- (2)木曾淳, 関弘和, 筋電位信号に基づく前腕部動作識別のためのトラス型自己組織化マップの最適マッピング, 電学論 C, 査読有, Vol.131-C, No.8, pp.1409-1415, 2011

<http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/27-publication/index101.html>

[学会発表](計6件)

- (1)鈴木一茂, 関弘和, 筋電義手の高精度動作識別のためのダミー変数の最適設計, 日本福祉工学会第16回学術講演会, 306, 千葉, 2012年12月1日

- (2)関弘和, 肩姿勢変動を考慮した筋電義手のための動作識別法の検討, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, GS1-5-1, 愛知, 2012年11月2日

- (3)谷口悠, 木曾淳, 関弘和, 多電極による前腕部筋電位信号測定と判別分析を用いた最適測定位置推定, 電気学会次世代産業システム研究会, pp.11-16, 東京, 2012年2月27日

- (4)鈴木一茂, 木曾淳, 関弘和, 筋電位信号のダミー変数型特徴量に基づく高精度前腕部動作識別, 平成23年電気学会産業応用部門大会, Y-81, 沖縄, 2011年9月6日

- (5)谷口悠, 木曾淳, 関弘和, 前腕部動作高精度識別のための判別分析を用いた筋電位最適測定位置推定, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 3N3-4, 東京, 2011年9月9日

- (6)A. Kiso, Y. Taniguchi and H. Seki, Optimal Measurement Position Estimation by Discriminant Analysis Based on Wilks' Lambda for Myoelectric Hand Control, IEEE EMBC2011, pp.4094-4099, ボストン, アメリカ, 2011年9月1日

[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