

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 6月 4日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700669

研究課題名（和文） 表面筋電信号を用いた関節角度推定型筋電義手の開発

研究課題名（英文） Development of a Robot Prosthetic Hand System Based on Finger Joint Angle Estimation Using Surface EMG Signals

研究代表者

荒木 望（ARAKI NOZOMU）

兵庫県立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10453151

研究成果の概要（和文）：本研究では、表面筋電信号から手指関節角度を推定することで使用者の思い通りに動作する筋電義手の開発を目指して研究を行った。そこで、表面筋電信号のヒストグラムと線形モデルを用いた指関節角度推定手法を提案するとともに、提案法により推定された関節角度を再現するための2自由度指型ロボットを試作した。試作したロボットと指関節角度推定手法を実装した関節角度推定型筋電義手システムのプロトタイプを構築し、その実現可能性を確認した。

研究成果の概要（英文）：The goal of this study was to develop a robot prosthetic hand system for an amputee that estimates his desired finger angle from surface EMG signals, and operates with the motion he intends. Consequently, we have proposed a finger joint angle estimation method based on a histogram of EMG signals and a linear model. Moreover, a 2-DOF artificial finger robot has been designed and developed. Using this robot and our proposed finger joint angle estimation method, we executed a robot prosthetic finger system demonstration experiment. As a result, it was confirmed that our system is technically feasible for application to a real prosthetic hand system.

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 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：ヒューマンインターフェース、筋電義手、表面筋電信号、関節角度推定

1. 研究開始当初の背景

現在、表面筋電信号から義手使用者の望む手指の動きを推定・動作する筋電義手と呼ばれる能動義手の研究開発が行われている。しかしながら、一般に市販されている筋電義手が再現し得る手指形状は手を開く・閉じるなどの単純な動作に限られている。このため、表面筋電信号からより複雑な手指の動作を推定する手法の研究が行われており、これらの研究を大別すると、

(1) 手指形状をいくつかのパターンに分類し、使用者がどのような手指形状を取ろうとしているかを識別する手法

(2) 手指の関節角度を直接推定する手法

の2つに分類することができる。本研究は自由度の高い筋電義手の実現のため、(2)の関節角度を推定する手法の確立と、これを用いた筋電義手の開発を目指している。

2. 研究の目的

本研究の目標は、人間の手の動きを高精度に再現することが可能である実用的な筋電義手を開発することである。本研究の目的は、これを実現するために必要となるハードウェアの試作および動作アルゴリズムの確立である。具体的には、

- (1) 手指関節角度を表面筋電信号から直接推定する手法の確立
- (2) 指関節角度を制御可能なロボット義手の試作
- (3) 上記(1)、(2)を統合した関節角度推定型筋電義手システムのプロトタイプ構築および動作検証

の3点に関して研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 手指関節角度を表面筋電信号から直接推定する手法の確立については、研究代表者らが提案している表面筋電信号から複数の指関節角度を同時に推定する手法（文献[1, 2]）を改良・拡張することで手法の確立を行った。この手法は、筋が収縮した際に表面筋電信号に現れるスパイク状の波形（図1）の振幅と発生頻度が筋の収縮量（指の曲げ量）の増加とともに大きくなることから、このスパイク状の波形の振幅と発生頻度を特徴量として指関節角度を推定する手法である。文献[1, 2]で提案した手法は関節を屈曲状態で保持した際に、得られる角度推定値に周期的な誤差を生じる問題をもっている。この誤差の周期は1Hz以下の低い周期であるため、本手法により得られた推定角度に基づいて実際のロボットを制御すると指が小刻みに振動するなどの問題を生じる。本研究では信号処理手法を見直すことによりこの問題点を解決する。

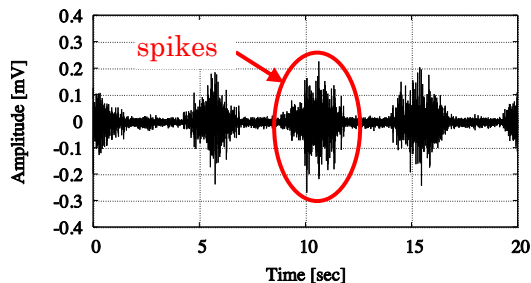


図1 表面筋電信号の一例

(2) 指関節角度を制御可能なロボット義手の試作については、指を部分的に欠損している患者数が手そのものを失っている患者数よりも多いことと、構造が手全体よりも単純な

ことから、関節角度を任意に制御可能なロボット義指を設計・試作することとした。なお、指部を極力実際の人間の指と同程度の大きさとするために、ワイヤ（もしくはベルト）およびプーリにより外部に配置したモータにより指関節を駆動することとした。また、今回のロボット義指の試作にあたり、周辺回路（生体アンプおよびモータコントローラ）に関しても持ち運び可能な程度の大きさを目標とすることとした。

(3) 上記(1)、(2)を統合した関節角度推定型筋電義手システムのプロトタイプ構築および動作検証については、文献[1, 2]で提案した関節角度推定手法の検証のために用いたロボットハンドによる実証実験システム（図2）を基礎として構築するものとする。

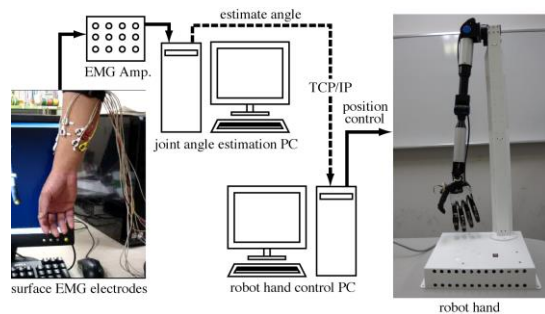


図2 ロボットハンドを用いた関節角度推定手法の実機検証システム

参考文献

- [1]. Y. Hoashi, et. al., ICIC Express Letters, Vol.4, No.6(A), pp.2183-2188 (2010)
- [2]. 荒木ら、第25回生体・生理工学シンポジウム論文集、pp.151-154 (2010)

4. 研究成果

(1) 手指関節角度を表面筋電信号から直接推定する手法の確立については、表面筋電信号に現れるスパイク状の波形の振幅および発生頻度の評価方法を新たに提案した。具体的には、10kHzで取得した0.5秒分の表面筋電信号データからヒストグラムを計算することでスパイク状の波形の振幅および発生頻度を評価するものである。ヒストグラムを算出する際には、筋電信号に定常的に存在するノイズ成分を閾値処理により除去し、スパイク状の波形の振幅および頻度のみを評価するために信号の極値（ピーク値）のみを取得する処理を行う。また、得られた信号の極値を振幅により6つの強度に分割し、ヒストグラムを算出することで筋電信号から特徴量を求める。このような評価方法自体は以前から行っていたが、本研究では強度を分割する際に領域を振幅の大きさによって指数的に

変化させることとした（図3）。

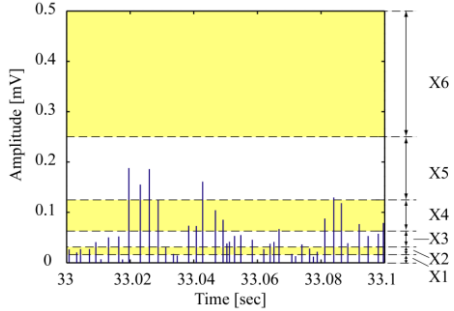


図3 筋電信号から取得した極値とヒストグラム算出のための信号強度分割

さらに、屈筋側の筋電信号を処理することで得られたヒストグラムの推移に着目し、屈曲保持状態では最も振幅の小さな X1 の頻度が増加し、それ以外では減少する傾向が見られることを確認した。この傾向から屈曲保持状態を識別し、角度推定値の誤差を抑制する新しい手法を提案した。本手法と以前我々が提案した手法による表面筋電信号からの角度推定値を図4に示す。図4から提案手法による角度推定値は実際に測定した関節角度によく一致していることが確認できる。なお、本手法の結果は現時点で報告されている表面筋電信号から指関節角度を推定する手法の中でも推定精度が高く、アルゴリズムも単純でリアルタイム計算が可能なることから筋電義手制御に有効な手法であるといえる。（本成果の詳細は5章、雑誌論文①および学会発表①、③にて報告）

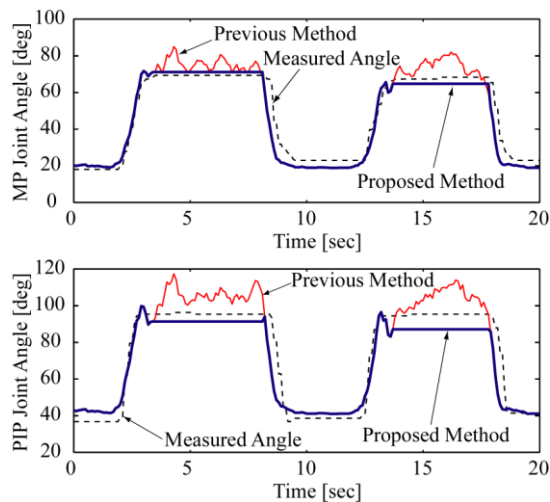


図4 表面筋電信号からの第3指 MP 関節および PIP 関節の関節角度推定結果（上：MP 関節、下：PIP 関節）

(2) 指関節角度を制御可能なロボット義手の試作については、上肢切断者のうち指のみを失う症例が最も多いことから、失った指を補う指型ロボットを試作するものとした。試作

した指型ロボットの駆動機構の模式図を図5に示す。試作した指型ロボットは2自由度を有し、アクチュエータにはDCモータを用いている。またワイヤ・プーリ機構により各関節を駆動するものとした。実際に試作した指型ロボットの外観を図6に示す。

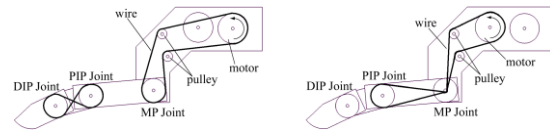


図5 指型ロボットの駆動機構（左：MP 関節駆動機構、右：PIP 関節駆動機構）



図6 指型ロボットの外観

なお、本ロボットの全体の質量は145g、指の長さ80mm、厚さ12mm、幅14mmであり、人間の手とほぼ同等の寸法となっている。（本成果の詳細は5章、学会発表③、⑤にて報告）

(3) 上記(1)、(2)を統合した関節角度推定型筋電義手システムのプロトタイプ構築および動作検証については、健常者の右手第1指と第2指の間に指型ロボットを装着し、表面筋電信号から推定された第3指の動きと同期させる検証実験を行った。この検証実験に用いた筋電義手システムのプロトタイプ概念図を図7に示す。

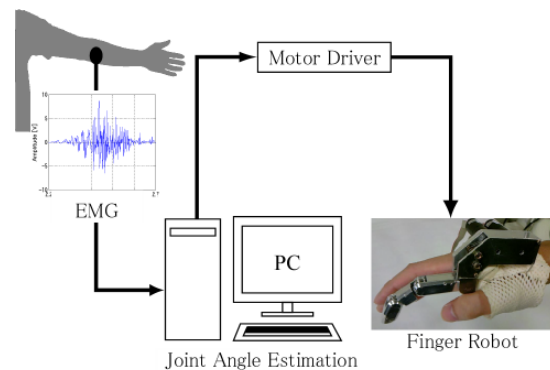


図7 関節角度推定型筋電義手システム概念図

本システムは、表面筋電信号から(1)で述べた関節角度推定手法により義手使用者の望む関節角度を推定し、得られた推定値を目標値

として②)の指型ロボットの各関節を PID 制御により制御することで関節角度推定型筋電義手の実証実験を行うシステムである。また、本システムを構築するにあたり、実際のロボット義手システムとしての使用も可能とするために、角度推定に用いる PC を A4 サイズのノート PC とした。さらに、生体アンプおよび指型ロボットのモータドライバは 110×75×25mm でノート PC の USB から電源供給が可能な小型デバイスを特注で製作した (図 8)。



(a) 生体アンプ (差動 2Ch)



(b) モータドライバ (2 系統)

図 8 義手システム用に試作した小型アンプおよびモータドライバ

上記システムを用いて健常者の右手第 1 指と第 2 指の間に指型ロボットを装着し、表面筋電信号から推定された第 3 指の動きと同期させる検証実験を行った結果を図 9 に示す。図 9 より、指型ロボットが表面筋電信号からの推定角度に良好に追従しており、関節角度推定型筋電義手システムとして動作していることを確認した。また、MP 関節屈曲時にワイヤが弛むなどの問題点も確認した。この構造上の問題点については今後の課題とする。なお、本動作実験の動画は、研究代表者の研究室ホームページ (兵庫県立大学知能計測工学研究室ホームページ)

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/mse/mse13/demonstration.html>

に掲載されている。

(本成果の詳細は 5 章、学会発表③、⑤にて

報告。また、同システムを学会発表②および④における実験のなかで使用した。)

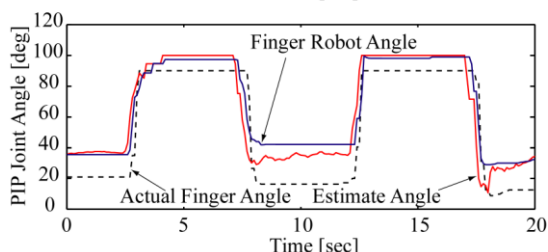
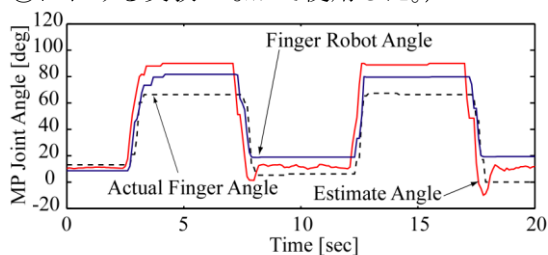


図 9 指型ロボットを用いた関節角度推定型筋電義手システム検証実験結果 (上: 第 3 指 MP 関節、下: 第 3 指 PIP 関節)

以上の結果から、本研究では関節角度推定型筋電義手システムの開発を目的として研究を行い、得られた研究成果から当初の目的を達成したものであると考える。今後は指型ロボットの改良などを行い、実際の指切断患者への適用を視野に研究・開発を行っていく予定である。

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 荒木望、帆足勇希、小西康夫、満洲邦彦、石垣博行、ベイジアンフィルタを用いた表面筋電信号からの動作指識別手法、電気学会論文集 C、査読有、No.131、No.4、2011、pp.736-741

〔学会発表〕 (計 5 件)

- ① 荒木望、帆足勇希、小西康夫、満洲邦彦、石垣博行、義手の運動制御のための生体信号からの手指関節角度推定 -表面筋電信号と針筋電信号を中心とした信号源の違いによる処理手法の検討-、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011、2011、2P1-H13
- ② 新納弘崇、荒木望、國本雅也、帆足勇希、鈴木隆文、深山理、満洲邦彦、下条誠、感覚神経線維刺激を用いた義手への感覚提示機能の実装に関する研究、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011、2011、2P1-O16
- ③ 稲谷健司、荒木望、小西康夫、満洲邦彦、

生体信号に基づいた手指関節角度推定型ロボット義手の開発、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012、2012、2P1-U11

- ④ 中谷真太郎、新納弘崇、横田将堯、荒木望、稲谷健司、國本雅也、鈴木隆文、深山理、石川正俊、石垣博行、下条誠、満洲邦彦、マイクロステイミュレーション法を用いた筋電義手に対する感覚機能の付与、第25回日本マイクロニューログラフィ学会抄録集、2012、p.3
- ⑤ N. Araki, K. Inaya, Y. Konishi and K. Mabuchi, An Artificial Finger Robot Motion Control Based on Finger Joint Angle Estimation from EMG Signals for a Robot Prosthetic Hand System, Proc. of the 2012 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, 2012, pp.109-111

[その他]

兵庫県立大学知能計測工学研究室ホームページ

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/mse/mse13/demonstration.html>

ホームページ掲載の動画「ロボット義手による物体把持実験」は、本研究により開発したロボット義手の動作実験を撮影したものである。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒木 望 (ARAKI NOZOMU)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10453151

(2) 研究協力者

満洲 邦彦 (MABHCHI KUNIHICO)

東京大学・情報理工学系研究科・教授

研究者番号：50192349

帆足 勇希 (HOASHI YUKI)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・

博士前期課程 (H23.3 修了)

中谷 真太郎 (NAKATANI SHINTARO)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・

博士後期課程 (H25.4 入学)

稲谷 健司 (INAYA KENJI)

兵庫県立大学・大学院工学研究科：

博士前期課程 (H26.3 修了見込)