

乳幼児・小児筋電義手のためのワイヤレス端末を用いた外部観測制御用補助システム

An interface to help infants to use myoelectric hands

○日吉祐太郎（電気通信大学） 村井雄太（電気通信大学） 高花謙一（電気通信大学）

矢吹 佳子(電気通信大学) 森下 壮一郎(電気通信大学) 姜 銀来(電気通信大学)

高山 真一郎(成育医療研究センター) 横井 浩史(電気通信大学)

Yutaro HIYOSHI, The University of Electro-Communications

Yuta Murai, The University of Electro-Communications

Kenichi TAKAHANA, The University of Electro-Communications

Yoshiko YABUKI, The University of Electro-Communications

Souichirou MORISHITA, The University of Electro-Communications

Yinlai JIANG, The University of Electro-Communications

Shinichirou TAKAYAMA, National Center for Child Health and Development

Hiroshi YOKOI, The University of Electro-Communications

Abstract: A myoelectric hand is an electrically powered hand which is controlled by the user's myoelectricity. In many cases, supervised learning is used so that the artificial hand can be controlled with myoelectric pattern recognition algorithms. To use this method, training data of the users are necessary, so that the myoelectric pattern is known when the user performs some hand action. However, it is difficult for child users to contract their arm muscles while imagining a spontaneous gesture with their hand which is in fact missing. Accordingly, a system to measure the user's myoelectricity to obtain training data without active cooperation of the user is necessary. Therefore, the principal aim of this study was to develop a system so that myoelectric patterns could be extracted from the training data. The data are acquired at a terminal from the myoelectric hand via Bluetooth and from those, suitable data are selected by assistants.

Key Words: myoelectric limb prosthesis, Electromyography, Infant

1. はじめに

筋電義手とは、使用者が筋電位によって制御する電動義手であり、外見を大きく損なうことなく上肢欠損者の手の機能を代替する手段の一つである。先天性上肢切断者の場合には、可能な限り早期から筋電義手を使用・訓練することが望ましい[1][2]が、成人用の筋電義手が複数の手動作を実現できることに対して、幼児・小児のための筋電義手は製品の種類も少なく、開閉のみしかできないものが多い[3]。この問題の一因として考えられるのが、幼児・小児でも扱える単純なシステムで義手を制御しなければならないという、ソフトウェア上の制限である。

筋電義手の制御には、筋電位のしきい値制御が一般的に用いられるが、成人用の多自由度筋電義手を制御するためには、多くの場合教師あり学習を利用した筋電のパターン認識が用いられる[4]。この場合、義手使用者は義手を動作させるときの筋電パターンを教師データとしてあらかじめ制御器に学習させ、実際に義手を動作させるときには、学習させた筋電パターンと類似したパターンが表れるように、腕に力を入れる。しかし幼児は、「義手を動作させたいときの力の入れ方」という概念を理解することが難しい。また義手のことを過剰に意識して腕に力を入れてしまうことで、幼児が特定の動作をするときの筋電パターンとは異なるパターンを教師データとしてその特定の動作と対応付けてしまう恐れがある。そのため雑多なケーブルなどによって幼児に必要以上に義手を意識させることがないように筋電を計測し、リアルタイムで教師データを収集する手法が必要となる。

本研究では普段の活動で現れる筋電パターンを教師データとすることで、使用者が自然に扱えるような識別器の学

習を行うことを目的とする。具体的には筋電義手使用者が義手を装着しているときの筋電データを Bluetooth 通信を介して外部端末で観測し、このとき得られた筋電パターンから外部補助者が教師データを選択して、義手制御器を学習させるシステムを開発する。また開発したシステムによる手動作識別率を成人被験者 1 名を対象に評価し、幼児被験者 3 名を対象にして筋電情報の観測実験を行った。

2. システム設計

システムの構成図を Fig.1 に示す。義手に内蔵されたマイコン(SH72544R)が筋電センサ 2ch から計測した筋電位は、高速フーリエ変換され周波数スペクトルとなる。0~500 Hz の区間で、基本周波数 7.8125Hz を定数倍した 8 つの周波数

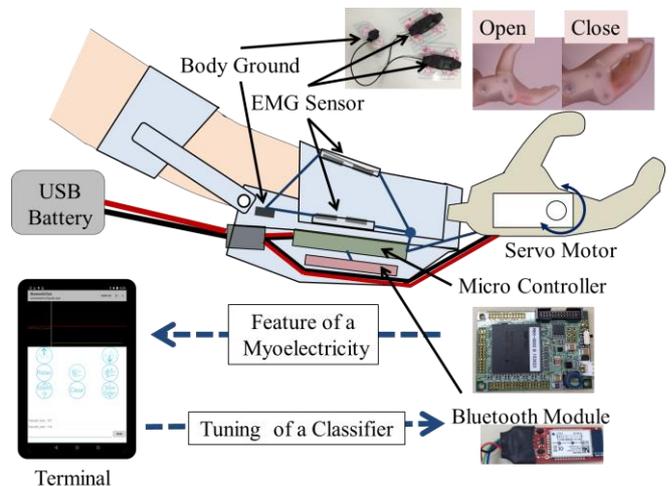


Fig. 1 Configuration of proposed myoelectric hand system

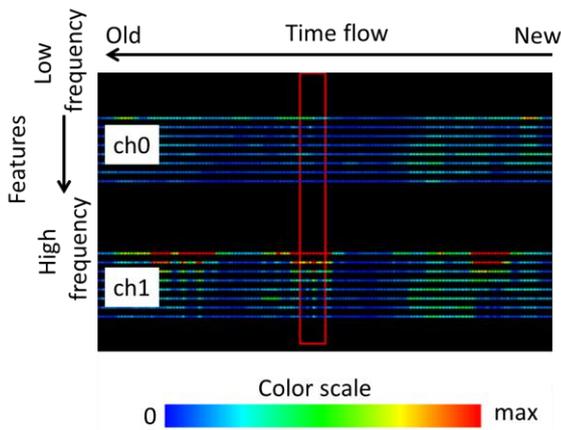


Fig. 2 Sample figure of heatmap

帯の，前後 15.625Hz でのパワーの平均を特徴量とした． 8 次元×2ch の 16 次元の特徴ベクトルを 10ms 間隔で 20 個連続取得したものを，一つの動作での 1 セットの教師データとした．識別器には 3 層ニューラルネットワークを用いて，入力層，中間層，出力層のニューロン数はそれぞれ 16, 32, 識別動作数(3, 5, 7 のいずれか)とした．

従来手法では，使用者に特定の動作を指示した時の筋電情報を教師データとすることで，教師データに付与する手動動作のラベルを決定していたが，幼児・小児を対象とした場合，手動動作の指示を伝えること自体が困難である．

上記問題の解決のため，幼児・小児被験者の使用する筋電義手において計測された筋電情報を無線で外部 PC に収集し，外部補助者が教師データを手動動作のラベルと共に選択する手法を提案する．

外部 PC では筋電情報をヒートマップとして表示する．表示されるヒートマップの例を Fig.2 に示す．取得した特徴ベクトルの各値の強度が色で表現され画面縦方向に並ぶ．画面右端には最新の特徴ベクトルが配置され，すでに描画されたデータは最新のデータが追加される度に画面左端に向かって移動していく．1 画面内には 360 個の特徴ベクトルが描画され，赤線で囲われた部分が教師データとして選択する特徴ベクトルである．計測される筋電特徴量の値の大きさには個人差があるため，カラースケール上で最大とする値は描画する都度に設定可能とした．

2.1. 筋電データの収集法

筋電義手を使用者に装着し，義手制御用マイコンに接続した Bluetooth モジュールから，外部の PC に使用者の筋電情報を送信する．外部 PC は受信した筋電情報を保存し，同時に周波数ごとのパワーの分布を画面にヒートマップとして表示する．画面に表示した筋電情報の中から，外部補助者が教師データとして適するものを選択することで，幼児・小児被験者に義手制御器の学習を意識させずに，複数の手動動作が識別可能な識別器を学習させることができる．

2.2. 成人被験者による識別精度評価実験

提案手法の有用性を確認するため，成人被験者 1 名を対象とし，従来手法と提案手法とで手動動作の識別率を比較した．また，識別可能動作数を検証するため，3 動作，5 動作，7 動作の学習を行った場合の識別率を，手法ごとに検証した．なお幼児・小児を被験者とした場合，実験における口頭での指示が困難であるので，成人を対象とした．

2.2.1. 実験設定

以下の 3 手法で比較を行った．

- ① 口頭で特定の手動動作を指示したタイミングの被験者の筋電パターンを教師データとする手法
- ② 被験者が何かしらの手動動作を指示されて行っているときの筋電情報から教師データを選択する手法
- ③ 被験者が玩具を用いて遊んだときの筋電情報から教師データを選択する手法

なお，手法①は従来の手法であり，手法②，③が提案手法に当たる．手法②では被験者が手動動作を意識して活動しているときの筋電情報から教師データを選択し，手法③では手動動作を意識せずに活動しているときの筋電情報から教師データを選択する．手法③は幼児の上肢切断者が筋電義手を使用する場合に近い状況である．

各手法において，安静・握り・開きの 3 動作，これらに回内・回外を加えた 5 動作，さらに掌屈・背屈を加えた 7 動作での学習をそれぞれ行い，識別テストを行った．識別テストでは，学習した動作のうちいずれかの手動動作と，被験者の筋電パターンを識別した結果が画面に表示されるようにし，両者が一致するように手に力を入れるよう，被験者に指示をした．なお被験者が目標とする手動動作は，学習した動作のいずれかがランダムな順で 10 回ずつ，それぞれ 5 秒間画面に表示されるものとした．筋電は前腕屈筋群と，前腕伸筋群の 2 か所で計測した．

2.2.2. 実験結果

各手法・動作数での識別率を Table 1 に示す．なお，識別率の計算には，識別テスト時のデータのうち，動作切り替えの前後 1 秒のデータを除外したデータを用いた．3 動作の識別では手法②③は手法①と同等以上の識別率であり，5 動作以上の識別では，手法②③は手法①に比して識別率が低下した．

被験者が各種手動動作を行っているときの，筋電特徴量を Fig.2 に示す．Fig.2 に示した値は，手動動作の切り替え前後 1 秒を除く，3 秒×10 回分の特徴ベクトルの平均である．また Fig.3 に，各手動動作で屈筋群・伸筋群別に特徴量の平均を求め，横軸を屈筋群での筋電特徴量平均，縦軸を伸筋群での筋電特徴量平均としてプロットした図を示す．

2.2.3. 考察

Table 1 に示した識別率から，3 動作（安静・握り・開き）を識別するときには，従来手法に比べて提案手法が優位であった．これは筋電情報を可視化する事で，安静時と筋活動時が明確に区別できたことが原因であると考えられる．また 3 動作の識別のみ識別手法が有意であった理由としては，握り動作では屈筋群・伸筋群が同程度の強度で収縮するのに対し，開き動作では伸筋群が屈筋群に比して高い強度で収縮するなど，収縮している筋の種類と表面筋電位の強度で手動動作の区別がつくことが理由として考えられる．手法③が手法②に比べて識別率が高くなった理由としては，被験者がある程度の重さがある玩具を持ち上げたり，玩具を投げようと瞬間的に力を入れたりといった，高い強度の筋電が計測される動作をしたときの筋電情報が提案手法により選択できたことが考えられる．なお被験者は，思った

Table 1 Identification rate (%)

	3 actions	5 actions	7actions
Method ①	81.5	63.4	68.7
Method ②	84.6	42.3	41.6
Method ③	95.9	32.8	45.8

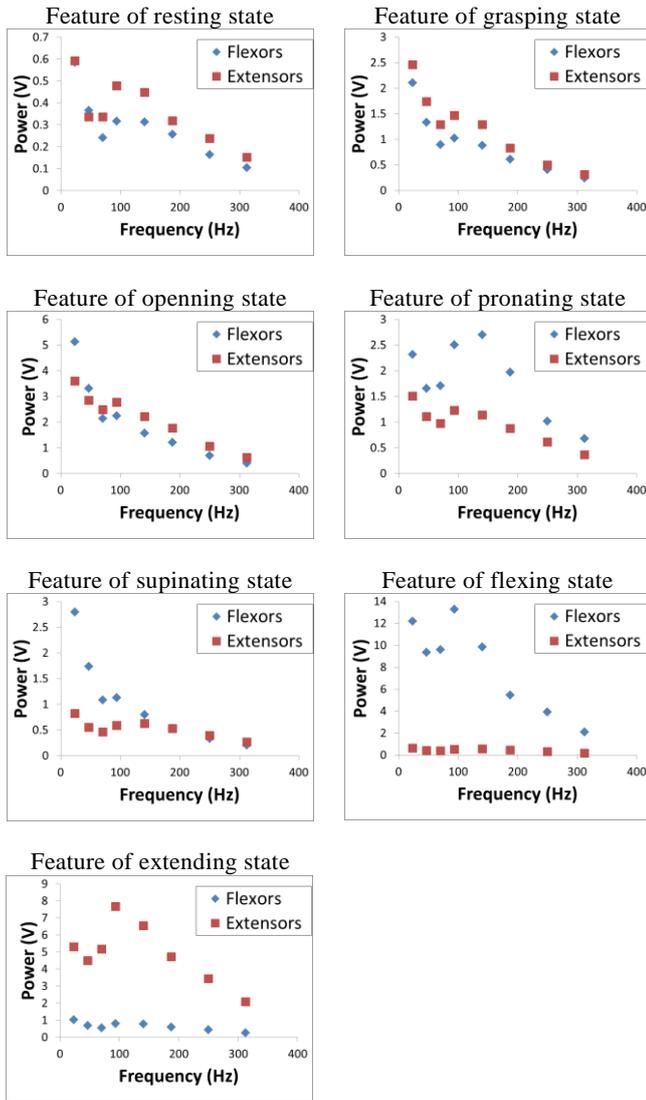


Fig. 3 Features of EMG during all hand actions measured from adult subject

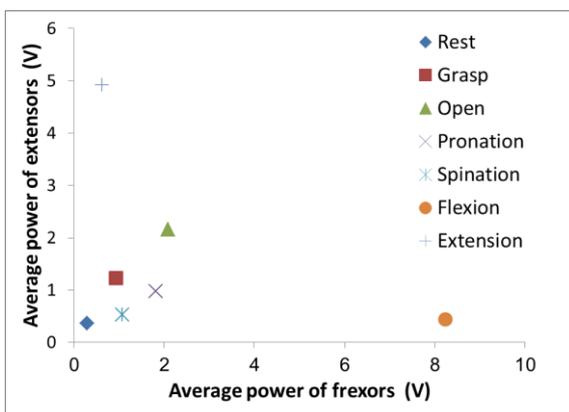


Fig.4 Average power of features during all hand actions

通りに手動作が識別されないときに、より強く力を入れる傾向があるので、外部補助者が高い強度の筋電情報も教師データとして選択することで、識別率が向上すると考えられる。

5 動作（安静・握り・開き・回内・回外）を識別しようとしたときには、従来手法に比べて、提案手法の識別率は低かった。これは Fig.4 からわかる通り、屈筋群・伸筋群の表面筋電位の強度のみを見ると、握り・回内・回外の手動作の間に大きな違いが見られないので、適切な教師データの選択が困難だからであると考えられる。しかし Fig.3 から手動作別の特徴量を見ると、パワーの大きい周波数帯の分布は異なる。しかしながら開発したインターフェースでそれを区別することは難しい。すなわち、提案手法は強度を可視化するには十分であるが、周波数ごとのパワーの分布を強調して使用者に提示できない問題点がある。

7 動作（安静・握り・開き・回内・回外・掌屈・背屈）を識別しようとしたときの識別率が5動作の識別率と同程度か、改善されているのは、追加された手動作である掌屈と背屈が、それぞれ屈筋群のみ、または伸筋群のみを強く収縮させる手動作であるので、筋電情報を可視化することで、容易に教師データを選択できたからであると考えられる。

2.3. 幼児被験者による筋電情報計測実験

幼児被験者から、手動作識別器の教師データとして利用可能な筋電情報が収集可能なか、検証する実験を行った。

2.3.1. 実験設定

左前腕欠損の幼児被験者3名を対象とし、それぞれ実験を行った。被験者に筋電義手を装着し、屈筋群・伸筋群の2か所の筋電情報を観測し続けた状態で、被験者に自由に遊ばせた。また、義手側の手を利用する動作を誘発するため、健常肢だけでは持てない大きさのボールを渡すなどして、玩具を用いた遊びをするように誘導した。

2.3.2. 実験結果

3名の被験者全員から、安静状態、屈筋群と伸筋群から計測した筋電の強度に差がある状態、屈筋群と伸筋群の筋電が同程度の強度である状態の3パターンの筋電情報が収集できた。被験者1における例を Fig. 5 から Fig. 7 に示す。

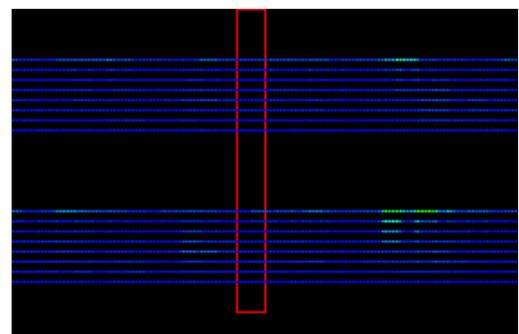


Fig. 5 EMG Heatmap of subject 1: rest

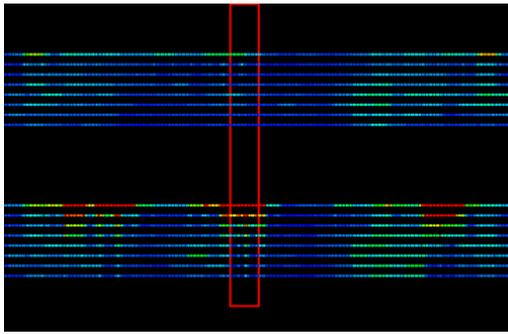


Fig. 6 EMG Heatmap of subject 1: contract flexors

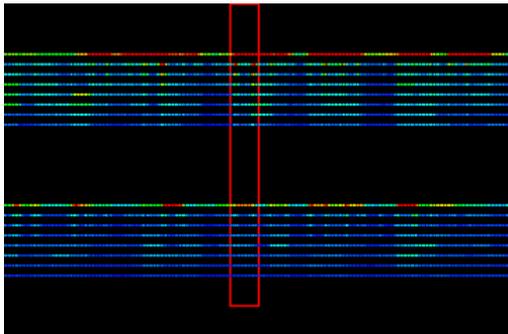


Fig. 7 EMG Heatmap of subject 1: contract flexors and extensors

2.3.3. 考察

記録された上記の筋電パターンは安静時の筋電パターンとは全く異なり、また、Fig.7に見られるように周期的な運動（風船を複数回振るなど）をしたときに、筋電パターンにも周期性が見られ、かつ高周波の値が計測されたことから、ノイズではなく、筋電位を計測できていたといえる。また、すべての被験者において、大きなボールを持つ動作をしたときに屈筋群から強い筋電位を計測することができた。幼児の興味を引きやすく、かつ片手では持てない物品を渡すという動作は、被験者が義手側の手も利用せざるを得ないので、提案手法において有効であるといえる。2.2節の成人被験者での実験において、3動作（安静・握り・開き）識別を提案手法で選択した教師データを用いて行ったが、そのときに教師データを選択する目安としたのが、安静については屈筋群・伸筋群が両方とも活動していないこと、握りについては屈筋群・伸筋群が同程度の強度で収縮していること、開きについては屈筋群・伸筋群の活動の強度に差があることであった。上記の3つの筋電パターンは3人の幼児被験者全員から収集できたので、手動作を口頭で指示することができない幼児の上肢切断者であっても、従来手法と同程度かそれ以上の精度で3動作の識別が行えると期待できる。しかし意思疎通が難しい幼児被験者に対し、成人被験者と同様の識別率評価実験を行うことは困難であるため、幼児被験者のための識別率評価実験を新たに設計する必要がある。

3. おわりに

本研究では、筋電情報を外部PCに無線でリアルタイム送信し、手動作の識別に用いる教師データを任意に選択できるインターフェースの開発ができた。これにより、口頭で手動作を指示することが困難な幼児が義手を使用する対

象であっても、安静・握り・開きの3動作を高い精度で識別できることが期待される。また、幼児被験者から、教師データに適した強度の高い筋電情報を取得する方法として、被験者が片手では持てない大きさの物品を渡す、という行為が有効であることがわかった。なお幼児・小児用筋電義手において使用することを目的としたインターフェースであるが、教師信号とする筋電情報を視覚化する事で、成人の筋電義手使用者に対しても、従来手法より高い識別成功率が得られる可能性があることを示した。

4. 今後の課題・展望

本研究では、成人被験者のみで、開発したインターフェースを用いた手動作識別実験を行った。実際に幼児・小児の上肢切断者を被験者とし、提案した手法を用いた手動作の識別がどこまで可能であるか、実験をして確認すること。また、成人被験者での実験では、安静・握り・開きの3動作では従来手法と同等か、それ以上の識別精度が提案手法により得られたが、回内・回外を含む5動作以上の識別では識別成功率が悪化した。インターフェースにおいて、被験者の筋電情報を適切に表示することで、5動作以上の識別においても、従来手法と同等か、それ以上の識別成功率が得られるようにすることが、今後の課題である。

今後の展望としては、幼児・小児の上肢切断者だけでなく、成人の上肢切断者においても、適切に表示された筋電情報から教師データを選択することで、従来手法よりも高い識別成功率が得られること、また使用している筋電センサが2つと少なく、センサの設置位置を指定することが可能なため、センサが正しく設置されていれば、およそこのような筋電パターンが、手動作の何々に対応する筋電パターンであると、使用者に提示することが可能となりえる。

5. 謝辞

本研究は国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）「医療分野研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム（A-step）」の支援によって行われた。

参考文献

- [1] Mitsunori Toda, Takaaki Chin, Yaeko Shibata and Futoshi Mizobe: Use of Powered Prosthesis for Children with Upper Limb Deficiency at Hyogo Rehabilitation Center, PLoS One, Vol. 10, No. 6, 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0129869
- [2] 陳隆明：上肢切断のリハビリテーションの今後、日本義肢装具学会誌，Vol.20, No.1, pp.37-41, 2004.
- [3] Ottobock: Elektrohand 2000, Ottobock, http://professionals.ottobock.co.jp/cps/rde/xbcr/ob_jp_ja/im_646s1_1996_gb_electrohand_2000.pdf, 2016年2月閲覧.
- [4] 加藤 龍, 横井 浩史：筋電義手使用による運動機能再建の評価，日本ロボット学会誌，Vol. 27, No.8, pp.926-932, 2009