

## 上腕高位切断者のための上腕筋電義手の開発

## —ニューラルネットワークを用いた筋電位信号による方向識別

## Development of the myoelectric upper limb prosthesis

## Directions Discrimination during reaching motion of using a neural network

○佐久間遥<sup>†</sup>, 關達也<sup>††</sup>, 中村達弘<sup>††</sup>, 加藤龍<sup>††</sup>, 横井浩史<sup>††</sup>, 本多敏<sup>†</sup>

† 慶應義塾大学 †† 電気通信大学

Haruka SAKUMA, Satoshi HONDA, Keio University

Tatsuya SEKI, Tatsuhiro NAKAMURA, Ryu KATO, Hiroshi YOKOI, The University of Electro-Communications

**Abstract:** In this study authors developed a multiple degrees-of-freedom myoelectric upper limb prosthesis, which is intended for people who have lost their upper limbs. In order to work the prosthesis, myoelectric signals from the humeral articulation and the body trunk muscle are needed. We intended to improve manipulation capability of the prosthesis. To use limited information from the electromyogram effectively, authors distinguish the motion of upper limbs, and improve the rate of discrimination of motion. This research conducted experiments with 9 directions in the reaching motion, 3 directions crosswise, 3 directions lengthwise, and in 4 directions diagonally. We analyze the separateness of the feature of myoelectric signal during motion. As a result the diagonal motion, used muscles largely different from the other conditions, was distinguished easily.

**Keywords:** myoelectric upper limb prosthesis, Machine Learning, Neural Network,

## 1. 諸言

日本国内の上肢切断者数は8万2千人であり<sup>(1)</sup>, 上肢切断者の4割は, 切断部位が上腕切断や肩関節離断となっている<sup>(2)</sup>. 多くの上肢切断者が手の代替として用いる義手の一種である筋電義手は, 皮膚表面で計測される筋電位信号(ElectroMyoGram, EMG)を制御信号とすることで, 装着者の随意的な制御を可能にする. 筋電義手を希望する切断者が全体の76%を占めるのに対し, 実際の利用者数は1%程度となっている<sup>(2)</sup>. この要因は, 筋電義手の価格と機能が見合っていないためだと考えられ, 機能性向上が急務である. さらに, 上腕高位切断者用の義手については, 比較的低位での切断に比べて, 残存筋から肘先や指先の筋情報が得られる可能性が減り, 操作自由度が小さくなる. 限られた自由度を有効に活用するためには, 日常生活で必須となる動作に動作の限定化をすることが重要であるとする. 日常生活の中で必須となる動作には, 捕捉動作がある.

そこで本研究では, EMGの情報から手を伸ばす方向を決定することで, 「手先を伸ばす所から対象物を把持し, 把持した状態で定位置まで義手を戻す」という一連の動きを自動で制御し, 捕捉動作を実現する義手の開発を目指す.

本稿では, 捕捉動作における, EMGからの方向制御の方向識別率検証を目的とし, 肩関節及び体幹の筋の筋電情報による, 9方向に向けた指さし動作時のEMGの特徴分離性の解析を行った. それによって, 方向識別の基礎的知見を得ることを目的とする.

## 2. 肩及び体幹筋群のみの表面筋電位を用いた上腕運動のニューラルネットワークによる方向識別

上腕二頭筋, 上腕三頭筋が残存しない状態の上腕高位切断者を想定し, 肩及び体幹筋群のみ6箇所(胸鎖乳突筋, 大胸筋鎖骨部, 大胸筋胸部部, 僧帽筋, 広背筋上部, 広背筋下部)において計測されるEMGから, 9方向への上肢指差し動作を識別するパターン認識問題を解いた. それにより, 方向識別精度を検証する.

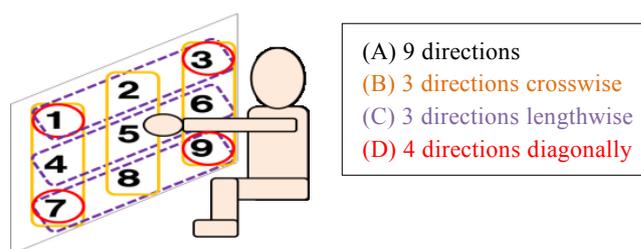


Fig. 1 Four different discriminations toward each directions

本手法は, 特徴抽出処理とパターン識別処理によって構成される. 抽出する特徴量をEMGのパワースペクトルとして処理し, 識別手法にはニューラルネットワークを用いる.

## 2.1 特徴抽出

計測周波数1600Hzで計測されたEMGから短時間フーリエ変換(窓サイズ0.32s, シフト量0.04s)により, 3-400Hz帯に相当するパワースペクトル(128周波数帯)を算出する. このパワースペクトルを, さらに低域から広域にかけて16個の周波数帯に等分し, 各周波数帯のパワーの平均値を特徴量とする16次元ベクトルを算出する. これを全センサの数(6個)の分だけ特徴量として並べた96次元ベクトルを, 特徴ベクトルとして算出する.

## 2.2 パターン識別

特徴ベクトルから上肢が9か所のどの方向を指しているかを, 3層フィードフォワード型の人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network, ANN)で識別する. ANNに特徴ベクトルを入力し(入力層ニューロン数=特徴ベクトル次元数), 各9方向にそれぞれ対応した9個の出力層ニューロンの出力を算出する. ANNは, 上肢を標的とする方向へと伸ばし切った状態で, 1.5秒間静止した際に計測される筋電特徴が入力されたときに, その方向に対応する出力層ニューロンのみが1.0, 他が0.0と出力されるように, Back Propagation法で学習を行う. 識別基準としては, 出力層ニ

ニューロンが1個のみが発火閾値(=0.5)を超えたときにそのニューロンに対応する方向を識別結果とし、それ以外は識別不能とした。

### 3. 実験：表面筋電位からの9方向指差し動作の識別

本手法の有効性を検証するため、肩及び体幹筋群で計測される表面筋電位から、9方向への指差し動作の識別を実施した。

#### 3.1 実験設定

Fig.1に示すように、被験者は椅子に着座し、前方50cm離れた所にある縦3×横3の格子状に9点(各点には1-9の番号を割り当て)が記された壁面(点間隔320mm)に対して、その中から一つを指で指し示してもら(これを1試行とする)。そのとき、被験者は肩及び体幹に湿式の表面筋電センサ(ノッチフィルタ(50-60Hz)付、心用電極)を装着している。本手法によって、計測された表面筋電位から被験者がどの方向を指さしているかを識別する。各点につき10試行ずつ実施した。ANNのパラメータは、学習回数を20000回、打ち切り誤差を0.01、学習率を0.001、入力層及び中間層ニューロン数を96とした。また、ANNの各方向の学習には、偶数試行目の腕を伸ばして静止した1.5秒間の特徴ベクトルを用いた。また、識別性能を示す識別率の算出に用いる検証データは、奇数試行目において、学習データ同様に腕を伸ばして静止した1.5秒間の特徴ベクトルを用いる場合(test1)と試行全体の特徴ベクトルを用いる場合(test2)の2つとし、それぞれ検証を行った。

また、識別する方向の数が多くなるほど多クラス識別問題となるため、識別境界が曖昧となり識別率の低下が予想される。そこで、どの程度の識別性能があるかを検証するため、(A)9方向全てを識別する場合、(B)横3方向(左中右)を識別する場合、(C)縦3方向(上中下)を識別する場合、(D)対角4隅を識別する場合の4種類について評価した。すなわち、ANNの出力層ニューロン数は、(A)(B)(C)が9、(D)が4である。

Table 1 The rate of discrimination (%)  
(A) 9 directions

test	1		2		3		4		5		6		7		8		9		unidentifiable	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	100
2	0	0	41	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	90
3	0	0	1	0	53	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	63
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	99
5	0	0	0	1	0	0	0	0	28	14	0	0	0	0	0	0	1	0	72	85
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	11	0	0	0	0	11	1	56	87	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	0	0	96	95	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25	2	0	94	75	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	14	9	86	

(B) 3 directions crosswise (C) 3 directions lengthwise

test	left		middle		right		unidentifiable		test	upper		middle		lower		unidentifiable	
	1	2	1	2	1	2	1	2		1	2	1	2	1	2	1	2
left	41	9	8	16	0	4	51	70	upper	56	68	1	17	1	1	42	15
middle	6	17	19	2	1	31	73	51	middle	5	2	20	48	9	7	66	43
right	0	4	0	16	90	29	10	51	lower	0	0	3	11	67	57	30	32

(D) 4 directions diagonally

test	upper left		upper right		lower left		lower right		unidentifiable	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
upper left	90	88	0	0	0	0	0	0	10	12
upper right	1	0	86	89	0	0	0	0	14	11
lower left	13	12	0	0	44	67	0	0	43	21
lower right	0	0	1	0	0	0	95	96	4	4

### 3.2 結果

4種類の識別の結果をTable 1(A)~(D)に示す。(A)の結果からtest1, 2の両方で、タスク1, 4, 7, 8等の左半分タスクが識別不能になる割合は9割以上であった。すなわち、9方向については、筋電特徴の差が小さく、識別はほぼ来ていない。

次に、横3方向、縦3方向における識別が、どの程度可能であるかを検証するため、(B)(C)について比較を行う。まず、(B)については、test1, 2の両方において、右、中、左の順に識別率が高い値を示した。(C)については、test1では下、上、中の順に、test2については、上、下、中の順に高い識別率を示した。この結果から、試行の全段階において、左右の特徴差は、上下の特徴差に比べて安定的に、はっきりと表れていると考えて良いだろう。しかし、(B)(C)のどちらに関しても、識別率は7割に満たず、上腕義手の方向識別に利用するために十分な識別精度は得られていない。

最後に、指差し姿勢に大きな特徴差がある(D)では、(A)~(C)と比べ、test1, 2のどちらにおいても、左下以外では各方向について識別不能となる割合は小さく、識別率は9割以上であり、高い識別精度を得た。これは、クラス間の特徴差が大きいためだと考えられる。また、「右下を指し示す」といった、測定筋である大胸筋や僧帽筋等を大幅に動かす方向は、特徴がはっきりと表れるため、識別率が高いということが分かる。このことから、識別率向上のためには、各クラス間に大きな特徴差をつけることが重要であると言える。そのために、左方向や左上方向、左下方向について、より大きな特徴を持つような計測部位の探索を行う必要がある。

### 4. 結言

上腕高位切断者のための上腕筋電義手を高精度で制御するための基礎的な実験として、体幹及び肩関節の筋からの筋電情報による方向識別率を検証した。筋電情報をパワースペクトルとして取り出し、次元圧縮して特徴ベクトルとし、ニューラルネットワークによる方向識別を行った。9方向や縦3方向、横3方向の識別率は決して高いとは言えない。しかしながら、特徴差の大きく分かれる対角の識別のうち、「左下」以外の3クラスでは、高い識別率が得られた。

今後の課題は、縦3方向、横3方向、9方向などの、クラス間の特徴差が小さい識別の精度を向上させることである。そのために、今後は多クラスの識別において、特徴差の出やすい体幹及び肩関節の筋やその筋の位置を模索していく。また、被験者数を増やし、個人差の検討を行う必要がある。さらに、切断者への適応を行い、本実験との比較を行いたい。本実験では、フィードバック等による運動の学習過程は存在せず、クラス間の分離性能については考慮していない。しかしながら、分離性を向上させるためには、学習過程を実装することが不可欠である。最終的には、代償運動によって、機能の割り当てを行うことで、操作自由度がより高い義手の開発を目指す。

### 参考文献

- (1)平成18年身体障害者・児実態調査結果, 厚生労働省
- (2)川村次郎, 福井信佳, 中川正巳, 藤下武, 青山孝, 古川宏, 切断者の現状と動向—近畿地区におけるアンケート調査から—, リハビリテーション医学誌, vol.36, pp.384-389, 1999.