

卒業論文要旨

表面筋電位を利用した歩行意図認識法の開発

Development of a Walking Rehabilitation Method based on Direction-Identification using sEMG signals

システム工学群

知能ロボティクス研究室 1210070 此尾 友花

1. 緒言

近年、歩行が困難な高齢者や身体障がい者の身体機能の回復を促す様々な電動型歩行訓練機が開発されている。もし電動型歩行訓練機が、何らかの方法により歩行訓練者の歩行意図を認識することができれば、歩行訓練者の歩行意図に合わせて、自立的な歩行訓練を実施できる。結果的に、歩行訓練者は自分の意図で歩行訓練を行うことができるようになる。そこで、本報告では、筋肉収縮時に生じる表面筋電位 (sEMG) を利用し、機械学習を用いて歩行方向の識別法を開発する。

2. 表面筋電位計測

2.1 表面筋電位の計測位置と計測条件

本報告では膝関節の屈曲、股関節の伸展を担うハムストリングスの一つである大腿二頭筋(Biceps femoris)、膝関節の伸展、股関節の屈曲を担う大腿四頭筋の一つである外側広筋(Vastus lateralis)、膝関節の屈曲、足関節の底屈を担う腓腹筋(Gastrocnemius)の3つの筋肉を使用し、左右両脚の各部位合計6chにおける表面筋電位の計測を行った。この6つの部位により足関節と膝関節、股関節の歩行時における筋肉の動作信号が得られる。図1に筋肉計測部位を示す。被験者は20代男性1名、動作タスクは初期安静5[s]、歩行6歩、安静5[s]とした。動作は前、後、左、右への歩行とし、各方向20セットずつ測定を行った。歩き出しは右脚からとした。

筋電位計測にはBTS社が開発したFreeEMG1000を使用した。仕様を表1に示す。



Fig.1 Measured position

Table 1 Specification of FreeEMG

Sampling Frequency	1000[Hz]
Size	24.8×41.5×14[mm]
Weight	13[g]

2.2 計測結果

例として、図2に前方向へ歩行時の筋電図を示す。初期安静5[s]間の直後、4方向で全体的な筋電位の値が大きくなっていた。これは歩き出しの際に脚を踏み出すことで各筋肉部位を使用したためである。歩き出しに着目してみると前方向では右脚の腓腹筋の筋電位が大きく表れていたのに対して、後方向では右脚の外側広筋の筋電位が大きく表れていた。また、両脚の大腿二頭筋は安静時でも筋電位が一定して発生していた。これは要訓練者が立位状態時に、身体の重心を支持基底面内に収めようとする筋肉の働きによるものであると考えられる。

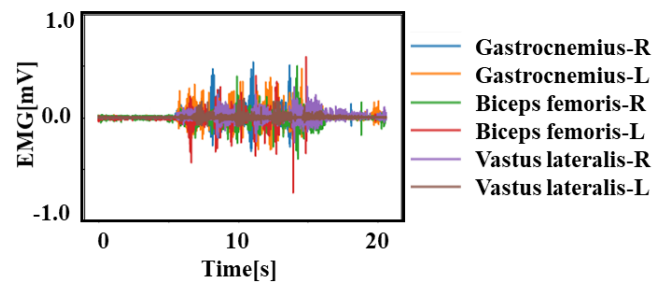


Fig.2 sEMG of forward walking

3. 識別方法

3.1 歩行開始条件の決定

本報告は歩行訓練機が要訓練者の歩き出し時における筋電位の識別を行うため、特徴抽出に用いる範囲は歩行開始時を起点とする必要がある。歩行開始条件は安静時の標準偏差と歩行時の標準偏差の比によって求めた。歩行時の標準偏差が安静時の標準偏差の2倍を超えた地点を歩行開始とした。歩行開始条件は両脚の外側広筋と腓腹筋の筋電位を用いて決定した。

3.2 特徴抽出法

計測結果から図2のような特徴を持つ筋電図が得られたが、そのままの生データから歩行方向の識別を行うことは困難である。そこで筋電位の振幅値を評価するために、筋電位の評価法として一般的に用いられる二乗平均平方根(Root mean square: RMS)を使用した。時刻 t における筋電位のRMS値は計測された筋電位 e_t から式(1)のように計算される⁽¹⁾。

$$RMS(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1+(t-L)}^t e_i^2}{L}} \quad (1)$$

本報告では $L=300$ とし、 $0.03[s]$ ごとに過去 300 サンプル間 ($0.3[s]$ 間)の筋電位から RMS 値を計算した。例として図 3 に右脚の大腿二頭筋を特徴抽出した前方向、後方向のデータを示す。

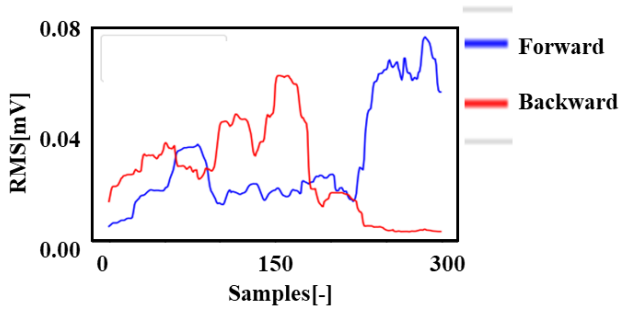


Fig.3 Example of RMS values of biceps femoris

RMS 値を計算した各方向の試行毎に 300 個のデータから最大値を求め RMS_{max} とした。その後、前後左右方向それぞれ全 6ch の RMS_{max} 値を 6 次元の特徴ベクトルとして保存する。本報告では、各試行及び各方向から抽出した RMS_{max} 値を識別に用いることとした。

3.3 SVM 識別器の構築

SVM は一般的に 2 値の分類に用いられる。よって 4 方向の分類を 2 方向ずつに分け、前後方向、左右方向の 2 つの識別器を作成した。未知パターンの特徴ベクトル $x(p)$ (以降 x とする) を 2 クラスのいずれかに識別する識別関数を (2) 式で表す。

$$F(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^D \lambda_i y_i K(x_i, x) + b \right) \quad (2)$$

本報告では (3) 式で示す非線形識別器の Radial basis function (RBF) カーネルを使用した。ここで γ はカーネルパラメータである。カーネル関数は線形分離不可能な学習データを、高次元の特徴空間に写像し写像先の特徴空間において線形分離可能にする。そのため、線形分離不可能な分布になりやすい筋電パターンの識別に適している。実際に式 (2) に示した識別関数を求めるためには、マージン最大化基準によって (4) 式を最大にする λ_i を求める。

$$K(x_i, x) = \exp(-\gamma \|x_i - x\|^2) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^D \lambda_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^D \lambda_i \lambda_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad (4)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^D \lambda_i y_i = 0, 0 \leq \lambda_i \leq C$$

C はどの程度の誤識別を許すかを決定するペナルティパラメータであり、学習時にあらかじめ求めておくハイパーパラメータは、この C とカーネルパラメータ γ の 2 つのみである。 C と γ に対して、それぞれ $\{0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100\}$ の $6 \times 6 = 36$ 通りの組み合わせについて交差検証法を用いてモデルの学習と評価を行った。最も良い精度を示したパラメータを採用し識別器を作成した。1 方向あたり 20

セットのデータのうち 10 セットを学習用データ、残り 10 セットをテストデータとして使用した。使用するデータは他条件データと比較するために標準化を行った。標準化とは平均 0、分散 1 となるようにそのデータ値から平均値を引いて、そのデータの標準偏差で割った値を得ることである。図 4 に $C=1$ 、 $\gamma=0.1$ の時の ch3 (右: 大腿二頭筋)、ch4 (左: 大腿二頭筋) を特徴量とした左右方向の識別線と学習データ、テストデータの分布を示す。

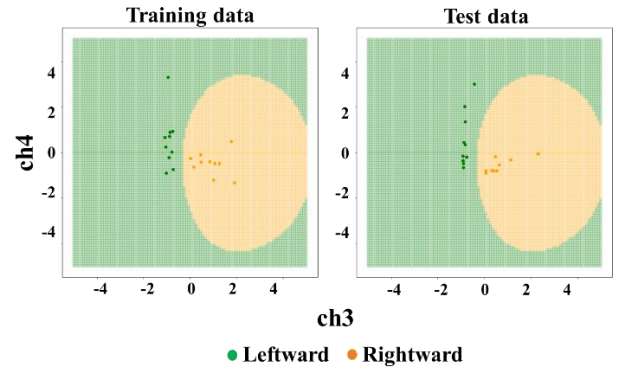


Fig.4 Boundary line of non-linear discriminator and RMS values

4. 識別結果

3.3 で構築した識別器を用いて、オフラインにてテスト用データを識別した。特徴量には前後方向、左右方向の両方の識別器において最も識別結果が高かった ch3、ch4 を使用した。前後左右 4 方向における 10 試行中の識別結果を表 2 に示す。前方向の 1 試行が後方向と誤認識された。これは実際の脚の踏み出しよりも前に歩行開始と判断されたため、ch4 の RMS_{max} 値が小さくなり、後方向のデータ分布へ近くなったことに起因すると考える。

Table 2 Identification results of 4 directions

	Results
Forward	9/10(90%)
Backward	10/10(100%)
Leftward	10/10(100%)
Rightward	10/10(100%)

5. 結言

本報告では、表面筋電位を用いた歩行方向識別法を提案した。まず、各方向の脚部動作を可視化するにあたり、両脚の筋電位を計測した。次に SVM を利用した識別方法を提案した。識別方法には筋電位の RMS_{max} 値を利用した。また、提案した SVM 線形識別器によりテストデータの 4 方向分類を行った。今後はリアルタイムでの識別を目指す。

謝辞

本研究は、科学研究補助金(15H03951)の助成を一部受けたことを記し、感謝を申し上げる。

文献

- 1) 中谷真太郎, 荒木望, 佐藤孝雄, 小西康夫: 「筋電位による動作識別のための半教師付き学習を用いた識別器更新手法」, 計測自動制御学会論文集, Vol.51, No.8, 535/541(2015)
- 2) 吉川雅博, 三河正彦, 田中和世: 「筋電位を利用したサポートベクターマシンによる手のリアルタイム動作識別」, 電子情報通信学会論文誌, D, Vol. J92-D, No.1, pp.93-103(2009)