

学習機能を持つ小型表面筋電位計測装置の開発

Development of the Small Surface-Electromyogram Measurement System
with Learning Function

1081019



研究代表者

宮崎大学 工学部 助 教

田 村 宏 樹

共同代表者

宮崎大学 工学部 准教授

淡 野 公 一

〔研究の目的〕

近年、脳の研究が盛んであり、脳で発生している信号（脳波など）を計測する技術も確立されつつある。それらの技術を用いて生体信号の情報でロボットを制御するヒューマンインターフェイスの研究が近年注目を集めている。しかし、脳波を用いたインターフェイスは雑音に弱く、実用化はまだ困難である。

我々はこれまで、ニューラルネットワークなどを用いて人の表面筋電位信号を計測し、解析する研究を行ってきた。本研究では、今までの研究をさらに発展させ、障がい者、特に下半身不随の患者や ALS（筋萎縮性側索硬化症）患者を対象とし、それらの人たちが電動車椅子の制御やパーソナルコンピュータの操作を簡単にすることができる人に優しいヒューマンインターフェイスの開発を行い、障がい者の役に立つものづくりを目指して研究を行った。

本研究報告では長時間連続使用可能で小型の表面筋電位計測装置の開発とその応用について検討したので報告する。

〔研究の内容、成果〕

1. 組込み Linux を用いた学習可能な小型表面筋電位計測装置の製作

表面筋電位信号は数 mV で、0 ～ 500 Hz 程度の周波数特性を持っている。表面筋電位計測装置では表面筋電位信号を数 100 倍から 1000 倍ほど増幅することが必要である。本研究では図 1 に示すように電極、オペアンプ、組込み Linux と Bluetooth モジュールを用いて、表面筋電位信号を計測、増幅し、組込み Linux のシステムで解析、動作識別した結果を Bluetooth 信号で送信できるシステムを製作した。

本システムでは表面筋電位信号を 1000 倍に増幅できる。また、解析する方法を単純な解析

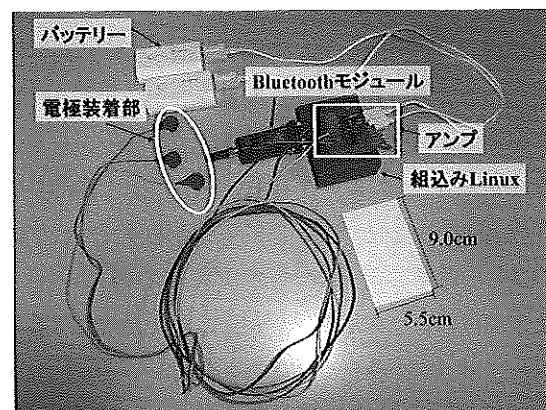


図1 小型表面筋電位計測装置

方法にすれば、組み込み Linux でなく PIC マイコンでもシステムを製作することができている。また、組み込み Linux で表面筋電位信号から筋積分値を算出し、筋積分値の情報からニューラルネットワークを用いてどのような動作をしたのか動作パターンの識別をすることができる [3]。図 1 のように小型で表面筋電位信号を計測でき、なおかつその信号の解析ができるシステムは、ヒューマンインターフェイスとして多くの応用の可能性があると考えている。

2. 表面筋電位の変化に対応可能なオンライン学習アルゴリズムの提案

表面筋電位は強い筋収縮状態が持続する場合に代謝物として乳酸が蓄積され、表面筋電位の低域のパワースペクトルが変化する。これは筋疲労と呼ばれ、この筋疲労によって表面筋電位を用いたアプリケーションの識別性能が低下することによって、信頼性に支障をきたす問題が生じる。実社会で用いるためにはこの問題点を克服する必要がある。

本研究では、高い性能を持つ 2 クラス識別の学習機械の Support vector machine (abbr. SVM) の学習構造に着目した教師なしオンライン学習法を提案し、従来の表面筋電位信号のパターン識別の問題点であった筋疲労などによる表面筋電位信号の変化に対応する効果的な識別システムを提案した [5]。

・オンライン学習アルゴリズム

図 2、3 にオンライン学習アルゴリズムの処理の概念図を示す。本研究でのオンライン学習アルゴリズムは SVM の訓練データを教師なしで更新し、その更新により識別境界線を決定するサポートベクターが変化したときに SVM を再構築することで時間的に変化する入力に SVM を対応させるアルゴリズムである。図 2 は未知の入力 X_n が入力してきたとき、図 2 (a) により仮のラベル付けを行い、図 2 (c) の d_0 と d_w の値を比較して仮のラベル付けがどの程度信頼できるのか判断し、図 2 (d) のよ

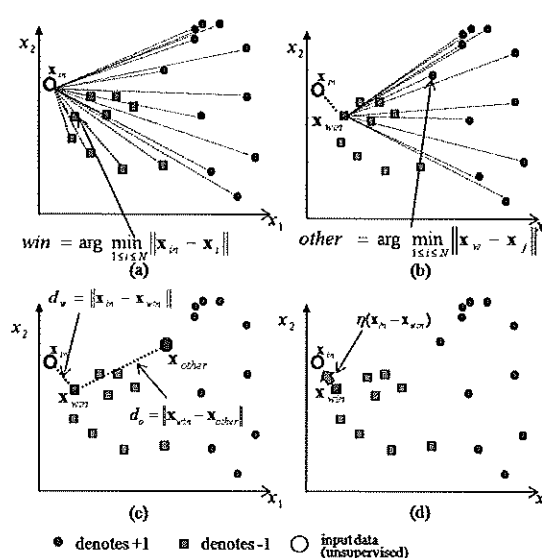


図2 自己組織化のアルゴリズム

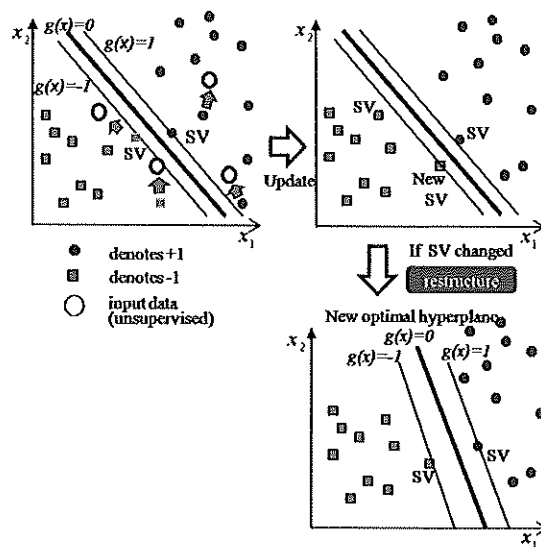


図3 SVMの再構築のルール

うに未知の入力 X_n に対応できるように訓練データを更新する方法である。図 3 は図 2 の更新により SVM のサポートベクターが変化したときに SVM を再構築する処理を示した概念図である。

・動作識別実験

腕曲げ動作 (図 4) の 6 パターンの識別実験を長時間行ったときのオリジナルの SVM の識別率とオンライン学習アルゴリズムを用いた SVM の識別率の比較を行った結果を図 5 に

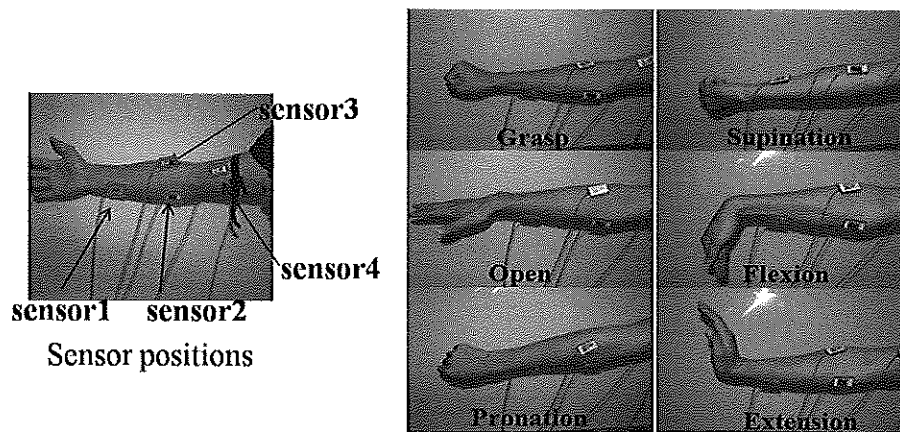


図4 腕曲げ動作識別実験

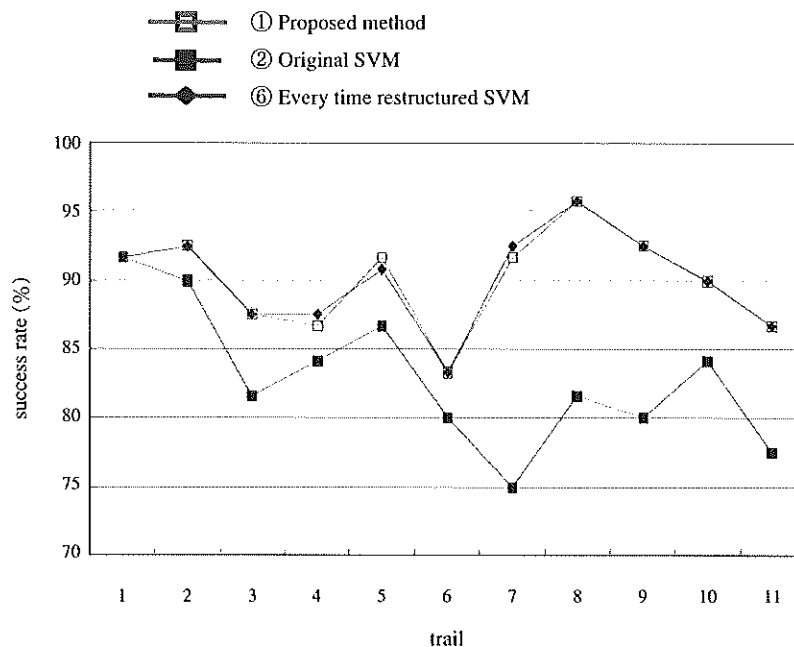


図5 腕曲げ動作識別実験の結果

示す。

図5より、オリジナルのSVMでは時間が経過すると識別率が低下していく方向へ変化していくことがわかる。しかし提案アルゴリズムは時間変化してもオリジナルのSVMほど識別率の低下は見られない。また、毎回SVMを構築する方法と提案アルゴリズムを比較しても識別率は同等であることがわかる。これにより少ない計算量でオンラインで対応できる提案アルゴリズムは、長時間連続して表面筋電位信号を解析し続けることができるといえる。

本アルゴリズムはまだ1.で報告した小型表面筋電位計測装置に実装して実験を行っていない。しかし、本アルゴリズムの有効性は既に計算機実験で確認されており、またオンラインで処理する計算量は少ないことから、組み込みLinuxに本アルゴリズムを実装して実験することは容易であると考えている。

3. 小型表面筋電位計測装置を用いた電動車椅子制御システム

本研究では、1.で報告した小型表面筋電位



図6 顔表情筋を用いた電動車椅子制御実験

計測装置の一部を使用して、図6のように顔に電極を装着し、顔表情筋を動かした際の表面筋電位を計測、増幅しパーソナルコンピュータでその信号を解析して電動車椅子制御を行うことができるシステム構築を試みた。本システムは、下半身不随により首から下が動かないジョイスティックによる電動車椅子の制御が困難な障がい者を対象としたシステムである。目線や脳波などを入力情報として用いた類似システムは既に提案されているが、それらの方法より表面筋電位信号は直接的で制御するには適した信号だと考えている。

本システムでは、随意的な右目瞬き、左目瞬き、両目瞬きと口を動かす動作の4パターンの動作識別を行い、電動車椅子の右旋回、左旋回、直進、停止の制御を行うシステムである。事前の計算機実験の結果、正確に顔表情筋を動作させることができる人であれば、4パターンの動作識別が約94%、口の動作を除外した3パターンの識別であれば約98%の識別が可能であり、高い識別率で電動車椅子を制御することが可能である[4]。また、不随意運動の瞬きや会話時の口の動きではほとんど誤識別が生じない。また、仮に誤識別した場合でも、停止にするような制御ルールを用いている。

本システムでは、電動車椅子を制御する際に

転倒防止、衝突回避などの機能は備わっておらず、実際の障がい者に使用するにはそれらの機能を追加することが必要であると考えている。

[今後の研究の方向、課題]

本研究の今後の方向、課題としては下記に挙げる3つの課題を考えている。

1) 電極の装着方法

表面筋電位信号を計測するには電極を複数箇所装着する必要がある。電極は1cm程度ずれただけで解析の精度を著しく低下させるため、正確に電極を装着するか、毎回キャリブレーションを行う必要がある。本研究でも、安定して電極を装着する方法を検討したが、被験者に負担を与えない方法は困難であった。電極の装着方法は実用化のためにはクリアしないといけない課題である。

2) ALS患者用のインターフェイス開発

本研究では、表面筋電位信号を計測する装置を開発し、それを用いたインターフェイスの開発を試みた。しかし、ALS患者のように筋肉が動かなくなっていく症状の患者では、筋肉そのものの制御ができないため、本研究で提案したシステムを使用することが困難である。そこで我々は、ALS患者が随意的に制御できる眼球の動きに着目し、本研究で提案したシステムを眼電位信号を計測するシステムに応用し、図7のように目線の動きを判断してパーソナルコンピュータを制御可能なシステムを開発中である。現在の問題点として、眼電位信号は表面筋電位信号と異なり、周波数特性が50Hz以下と低周波であるため、ドリフト現象より長時間連続的に安定した計測が困難である点が挙げられる。今後この問題を克服して、より多くの患者が安定して使用できるシステムを開発する必要があると考えている。

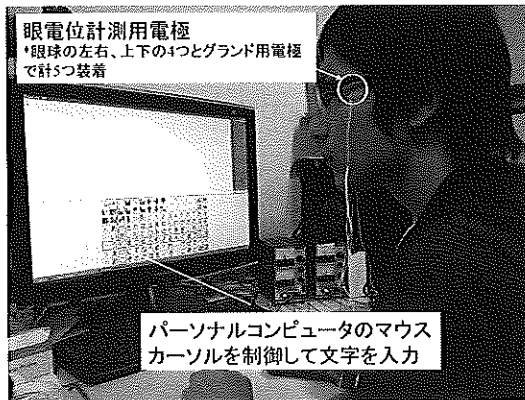


図7 眼電位を用いたマウスカーソル制御実験

3) 実際の障がい者での検証実験

本研究では、実験の被験者は全て健常な人を用いて実験を行っている。今後は、実際の障がい者で実験を行い、システムの改善等を行っていく必要があると考えている。

[成果の発表、論文等]

1. 後藤孝文, 奥村大, 田村宏樹, 淡野公一, 田中寿, 外山貴子, 石塚興彦: 顔表情筋電位のパターン認識

に関する研究, 第61回電気関係学会九州支部連合大会, No.01-2A-04 (2008)

2. H. TAMURA, K. TANNO: Midpoint-Validation Method for Support Vector Machine with Margin Adjustment Technique, ICICIC 2008, Proceedings CDROM, June 20, 2008 / International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 5, No. 11 (A) pp. 4025-4032 (Nov. 2009)
3. H. TAMURA, T. GOTOH, D. OKUMURA, H. TANAKA, K. TANNO: A Study on the s-EMG Pattern Recognition using Neural Network, ISII 2008, Extended Abstracts pp. 46, 2008 / International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 5, No. 12 (B) pp. 4877-4884 (Dec. 2009)
4. 眞鍋考雄, 田村宏樹, 淡野公一: 顔表情筋電位を用いた電動車椅子の制御実験, 第8回情報科学技術フォーラム, pp. K-008 (2009)
5. S. KAWANO, H. TAMURA, K. TANNO: Unsupervised Learning Method for Support Vector Machine and its Application to s-EMG Recognition, ARQB 14th '09, Proceedings CDROM, pp. 168-171, 2009/Artificial Life and Robotics (in press.)