

平成20年4月10日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500193
 研究課題名（和文） オンライン学習型超高速特徴生成に基づく次世代手首 EMG インタフェースの開発
 研究課題名（英文） Development of new wrist EMG interface based on fast feature generation by on-line learning
 研究代表者
 福見 稔（Fukumi Minoru）
 徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授
 研究者番号：80199265

研究成果の概要：

本研究では、手首 EMG（筋肉電位）を用いる次世代インタフェースを構築するために、オンライン学習型の超高速特徴生成法 Simple-FLDA を改良し、精度改善を行い、顔画像と EMG に対する計算機シミュレーションにより有効性を定量的に検証した。さらに、非線形高次元空間への拡張と追加学習機能の付加を行ったアルゴリズムを開発した。それらを DSP 学習ボード上に実装化し、オンライン学習での有効性も検証した。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 1,700,000 | 510,000 | 2,210,000 |
| 2008年度 | 1,500,000 | 450,000 | 1,950,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,200,000 | 960,000 | 4,160,000 |

研究分野：情報工学，ヒューマンセンシング

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトウェアコンピューティング

キーワード：手首 EMG，オンライン学習，Simple-FLDA，非線形高次元空間，パターン認識，特徴生成

1. 研究開始当初の背景

(1) 生体信号である EMG に関する研究は従来から、義手や義足、様々なインタフェースへの応用の期待から世界中で活発に行われていた。しかし、それらは太い筋肉繊維（橈側主根屈筋と尺側主根屈筋上）に電解クリームを塗布して装着する方式であり、装着に際して若干の専門的知識を必要とするなど、実用性に乏しい。本研究で目指す手首 EMG の利用形態（リストバンド型、腕時計型）がインタフェース利用目的の場合、最も装着性に優

れている。また、本研究で利用する手首 EMG 計測センサは4チャンネル型であり、手首動作中でもセンサと皮膚表面との接触性に優れ（2チャンネル以上が接触する）、計測ミスが少なく、電解クリームを必要としない。

(2) EMG の認識方法に関してであるが、EMG はノイズや様々な筋活動電位の合成信号として計測されるため、従来のように単純にニューラルネットなどで学習認識させる場合には学習速度と精度の点で個人差に対応できるレ

ベルには到達しない。日本国内で最も優れたEMG研究拠点である辻敏夫研究室（広島大学）でも腕の太い筋肉繊維に電解クリームを塗布して計測したEMG（かなり良い条件といえるが）をEMGに特化したアルゴリズムで学習するために15秒程度の時間を必要とする。我々のグループで従来作成したEMGを学習認識できるDSPボード（過去の科研費で作成）では、手首7動作のEMGを学習するためにニューラルネットを用いていたため、数分の時間を要した。また、高速化するためにニューラルネットの学習結果をルール化し、このルールに基づいた学習認識を試みたが、個人の特性に特化させるための学習時間がネックとなっていた。

2. 研究の目的

本研究では、手首EMG（筋肉電位）を用いる次世代インタフェースを構築するために、手首EMGの特徴生成と認識を高速・高精度に実現するオンライン学習型の特徴生成法を研究開発することが目的である。

次世代のインタフェースとして実用化するためには、オンライン（実時間）学習が可能で認識精度が高く、かつ装着性に優れていることが必須の条件である。この目的のために、申請者は統計的手法の一つであるフィッシャー判別分析に注目し、これをオンライン学習で実現することを試みた（Simple-FLDAと呼ぶ、Fisher Linear Discriminant Analysis）。この場合、優れた特徴生成が可能で判別精度が高く、手首EMGの学習時間も0.2秒以内（2GHz CPU）であることが確認できた。これは従来の行列型判別分析や、学習の主成分分析（Simple-PCA）よりも格段に優れた性能と言える。本科研申請研究では、このアルゴリズムSimple-FLDAの統計的性質を考慮してさらに改良し、手首EMGインタフェース実現に必要な不可欠なオンライン学習認識アルゴリズムを構築する。さらにカーネル関数を利用した非線形高次元空間でのオンライン学習アルゴリズムを実現する。

次に、そのアルゴリズムを非線形高次元空間に拡張し有効性を定量的に検証する。これらのアルゴリズムをオンライン学習型 DSP ボード上に実装し、有効性を評価し、次世代インタフェースに役立てることが目的である。

3. 研究の方法

手首EMGに基づく次世代インタフェースを実現するために下記の研究を行う。

(1)手首EMG計測センサの改良

手首の大きな動作に伴い4チャンネルセンサの内1~2個のセンサで接触性が悪くなる（すき間ができる）ことがあった。これを改善するためにバネ式の計測センサを使用する方式を試みる。ただし、このセンサは装着時に手首で不快感を発生するおそれがある点、EMG計測時のノイズ問題などがあるため、この点の評価を重点的に行う。

(2)オンライン特徴生成法Simple-FLDAのアルゴリズムの定性的評価と改良

申請者は判別分析を行列演算無く近似できる学習型のアルゴリズムを提案し、その有効性を検証してきた。しかし、アルゴリズムの定性的性質として学習データの存在する空間内の部分領域に固有ベクトルが収束し、かつクラス内分散をゼロにできない場合があることが分かった。本科研費研究では、このような特性を理論的に解析し、クラス間分散の最大化とクラス内分散の最小化の比を最適化するための条件を解明する。特に、学習データの次元と個数の関係に基づいてクラス内分散をゼロにできる条件を明確にする。また、その際にクラス間分散を最大にするための効率的な学習法を開発する。さらに、アルゴリズムの実用化レベルの定性的性質と定量的性質を明確にし、行列型判別分析（主成分分析による次元圧縮を伴う）との性能比較、行列型判別分析でのデータ圧縮に伴う情報ロスの影響評価を行う。線形版での評価後、カーネル関数を用いる非線形高次元空間でのアルゴリズム構築を行う。

研究期間内に、このアルゴリズムをEMG学習用DSPボードに実装し、オンライン学習での学習速度と識別精度を定量的に評価し、実用化を検討する。なお、識別部にはオンライン学習の速度を考慮して複数テンプレートによる最小距離分類法を用いる。

4. 研究成果

(1)まず Simple-FLDA の定性的解析を行い、精度を維持した状態で学習を高速化する方法を検討した。クラス内分散とクラス間分散の関係を考慮し、クラス内分散をゼロにした状態でクラス間分散を最大化する方法を理論的に検討できた。これはクラス内の入力データベクトル成分を現時点の特徴（固有）ベクトルから全て除去することにより実現した。これはグラムシュミットの直交化により実現できる。また、この方法が成立する入力データ数と入力次元の関係を考察した。そし

て、その方法をアルゴリズムで実現し、定量的な評価を行うために、手首 EMG と顔画像に対する計算機シミュレーションを行い、その効果を確認した。計算機シミュレーションの結果から、手首 EMG の場合には学習速度は速くなるが、認識精度が劣化する場合があることが分かった。顔画像の場合には、認識精度を維持したままで、学習速度を高速化できることが検証できた。

(2)次に、Simple-PCA と Simple-FLDA に追加学習機能を加えたアルゴリズムの開発を行った。この方式は実問題での学習サンプルの少なさと個人差への対応には不可欠な仕組みである。一度初期データを用いて固有ベクトルを学習しておいて、新たな追加データに対し、過去の学習成果（固有ベクトル）を保持した状態で固有ベクトルを逐次修正する方法を開発した。実問題（顔画像と手首 EMG）に対する計算機シミュレーションにより定量的に評価を行い、追加学習データを比較的効率的に学習できていることを検証できた。ただし、現時点のアルゴリズムでは、学習データの追加時に固有ベクトル間の直交性を確保できていない。したがって、今後さらに、固有ベクトル間の直交性を保持した状態で追加データに対処できる追加学習アルゴリズムの開発が重要である。追加学習型近似主成分分析である Simple-PCA と追加学習型 Simple-FLDA を比較すると、Simple-FLDA の方が精度的には有利である。しかし、演算量の点では Simple-PCA が優れており、問題に応じて使い分けるべきと考えられる。

(3)さらに、Simple-FLDA の非線形高次元空間への拡張法について検討した。行列型のフィッシャー線形判別分析の高次元空間への非線形拡張方法を参考にし、カーネルベクターに基づく学習アルゴリズムの構築法を開発した。カーネルベクターは学習サンプルを用いてカーネル関数により非線形化した入力信号ベクトルである。このアルゴリズムはカーネルベースベクターに基づくため、KB Simple-FDA と呼ぶ。このアルゴリズムは行列演算を用いないため、通常のカーネル型非線形判別分析のように行列の準正定な性質を考える必要がない。

この非線形アルゴリズムを顔画像を用いた顔認識もんだに適用し、線形版と非線形版の比較を計算機シミュレーションにより定量的に行った。比較したのは、Simple-PCA、KB Simple-PCA、Simple-FLDA、KB Simple-FDA の 4 種類である。PCA の方では累積寄与率が 90%以上となるまで固有ベクトルを求めて使用した。FDA の方では、2 クラス問題であるため、固有ベクトルの数は計算誤差を考慮して 2 個までとした。計算機シ

ミュレーションの結果、非線形版は線形版よりも認識精度において優れていることが実証できた。また、最も精度の良かったのは、KB Simple-FDA であった。他の方法よりも 1~2%の精度改善が可能であった。固有ベクトルの学習に要する計算時間であるが、固有ベクトルの数が少ないため、判別分析の近似アルゴリズムの方が若干であるが高速であった。

これらの成果は、全てのパターン認識問題に適用可能な画期的な方法である。今後、益々適用範囲が広がり、高速なオンライン処理が実現できると考えられる。

(4)Simple-FLDA と KB Simple-FDA はフィッシャー判別分析を行列演算無く学習的に固有ベクトルを計算できる近似的アルゴリズムである。しかしその一方で、従来から判別分析の固有ベクトルが一般には直交化しないことが知られている。これは、フィッシャー判別分析の評価基準となるクラス間分散の最大化とクラス内分散の最小化を同時に実現するための評価式の行列が対象でないことに依存する。したがって、その固有方程式を解くと直交化固有ベクトルが求まらず、一般的には斜行系の固有ベクトル群が求まる。

1980 年代にこの点を解決する一つの方法が提案されている。それは、固有ベクトルを一つ求める度に、次の固有ベクトルを求める空間をその直交補空間に限定する方法である。これは固有ベクトルを直交化することが可能となる（直交判別ベクトル法、行列演算に基づく方法）。この方法を用いると、判別分析で再々問題となる、固有ベクトル数に関する制約を取り除くことが可能となる。一般に判別分析で使用可能な固有ベクトル数はクラス数-1 に限定される。本研究で使用している基本アルゴリズムである学習型の Simple-FLDA はその直交判別ベクトル法の近似アルゴリズム版と考えることも可能であり、同様に判別分析での固有ベクトル数に関する制約を気にする必要がないことが判明した。また、本研究での Simple-FLDA のアルゴリズムは行列演算を用いない点で大きな優位性を持っており、今後、様々な問題に適用していくことが可能な汎用的な仕組みである。

ただし注意を要する点として、非線形版のアルゴリズムのパラメータ調整の困難さが上げられる。KB Simple-PCA および KB Simple-FDA はどちらも線形版よりも精度の点で優れていることが判明している。しかし、その高精度さは非線形版のパラメータの調整の結果に大きく依存する。これはカーネル関数を用いた拡張型アルゴリズムに一般的に通じる特性であるが、このパラメータ調整

の結果によっては、非線形版の方が精度的に不利に成ることも考えられる。したがって、線形版と非線形版のどちらを用いるかは問題に応じて注意深い考察が必要と考えられる。

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2件)

(1) T.Oyama, S.Karungaru, S.Tsuge, Y.Mitsukura, M.Fukumi, "Fast Incremental Algorithm of Simple Principal Component Analysis", 電気学会論文誌C, Vol.128-C, No.1, pp.112-117 (2009), 査読あり

(2) T.Oyama, Y.Matsumura, S. Karungaru, M.Fukumi, "Feature Generation Method by Geometrical Interpretation of Fisher Linear Discriminant Analysis", 電気学会論文誌, Vol.127-C, No.6, pp.831-836 (2007), 査読あり

〔学会発表〕(計4件)

(1) 尾山匡浩, Stephen Karungaru, 柘植覚, 満倉靖恵, 福見稔, "生体信号識別のための高速な特徴抽出アルゴリズム", 信学会総合大会, ADS-1-9, 松山, 2009年3月

(2) 尾山匡浩, Stephen Karungaru, 柘植覚, 満倉靖恵, 福見稔, "Simple-FLDAの高速な追加学習アルゴリズム", FANシンポジウム, pp.21-24, 広島, 2008年10月

(3) 尾山匡浩, Stephen Karungaru, 柘植覚, 満倉靖恵, 福見稔, "判別分析における高速な追加学習アルゴリズムの一提案", 電気学会C部門大会, 函館, 2008年8月

(4) 福見稔, S.カルンガル, 中野実代子, 柘植覚, 明石卓也, 満倉靖恵, "超高速学習型統計アルゴリズムによる特徴抽出", シミュレーション&ゲーミング学会秋期大会, pp.105-106, 秋田, 2007年10月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福見 稔 (Fukumi Minoru)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・教授

研究者番号：80199265

(2) 研究分担者

満倉 靖恵 (Mitsukura Yasue)

東京農工大学・大学院生物システム応
用科学府

研究者番号：60314845