

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22500202

研究課題名(和文) 手首・足首筋肉電位を用いる次世代インタフェースの基盤的研究

研究課題名(英文) Research on New Interface Using Wrist and Ankle EMG

研究代表者

福見 稔 (FUKUMI, MINORU)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：80199265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず線形版の Simple-FLDA (フィッシャー判別分析の近似版) に対しカーネル関数に基づいて非線形拡張を行い、非線形 Simple-FDAを開発した。このアルゴリズムの定量的・定性的評価を様々なデータセットに対して行い、高精度化の知見を得た。次に、手首 EMGによるジャンケン 3動作のオンライン高精度識別法に関する研究を行い、オフラインで識別精度80%以上を達成した。また、オンライン実験で70%の精度を得た。さらに、足首 EMGによる高精度な足首の単純 3動作(底屈、ニュートラル、背屈)の識別を行い、オンライン実験で95%以上の高精度認識を達成できた。

研究成果の概要(英文)：In this research, first, a simple Kernel Discriminant Analysis (Simple-FLDA) for higher recognition performance by applying a kernel trick to the linear Simple-FLDA (Fisher Linear Discriminant Analysis) is developed. The Simple-FLDA algorithm is composed with simple calculations, but in recognition experiments using the UCI datasets as well as face image dataset; its features equal or surpass those of the Simple-FLDA algorithm.

Next, finger motions of the Janken "rock", "Scissors", "paper" and when not doing anything "neutral" were recognized by using wrist EMG signals. Off-line recognition and On-line recognition accuracies are 80% and 70%, respectively. Furthermore, three ankle motions were recognized by using ankle EMG signals. In this experiment, feature vectors are generated by On-line training using the Simple FLDA. Recognition accuracy is greater than 95%.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：情報学，感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：筋肉電位(EMG) 統計学習法 Simple-FLDA

1. 研究開始当初の背景

生体信号であるEMG(筋肉電位)に関する研究は、義手や義足、様々なインタフェースに応用(ゲームコントローラも含む)できるのではないかと期待から世界中で活発に行われている。しかし、それらの研究では、腕のEMGを利用する場合、上腕や前腕の太い筋肉繊維(橈側主根屈筋と尺側主根屈筋など)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。指や顔のEMGを利用する研究でも、計測装置(センサ)を容易に装着することが困難であり、本研究で目指す手首・足首EMGの利用形態(リストバンド型、アンクルバンド型)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・足首EMG計測センサは乾式4チャンネル型であり、手首・足首が動作中でも皮膚表面との接触性に優れ(2チャンネル以上が接触)、計測ミスが少なく、電解クリームを必要としない。センサ数が多い多チャンネルタイプもあるが、前腕等を全て覆うタイプであり装着生が問題となる。花博(名古屋開催)で紹介された車いす制御でも前腕の太い筋肉上で計測されたEMGを使用している。

一方、EMGの認識に関して、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研究拠点の一つと考えられる辻敏夫研究室(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(比較的良い条件であるが)をEMG信号に特化したアルゴリズムで学習するために数秒程度の時間を必要とする。我々のグループで作成したEMGオンライン学習認識用のDSP学習ボード(科研費で作成)では、当初ニューラルネットを利用したため学習速度と精度の点で不十分であった。さらに、制御機器として利用するためには、確実に機器の動作を停止させるための機能が必須であるが、手首EMGでは100%の精度での動作認識は実現できていない。

次世代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)学習が可能で初期認識精度が高く、かつ個人の特性に特化できる追加学習の機能により認識精度を改善でき、同時に装着性に優れている

ことが必須である。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、Simple-Fisher Linear Discriminant Analysisの略)。この場合、優れた特徴生成が可能で認識精度が高く、手首EMGの学習時間も1秒以下(2GHzCPU)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、学習的主成分分析(Simple-PCA)よりも格段に優れた性能である。本申請研究では、このアルゴリズムを学習速度と特徴抽出性能の両方に関して改善する。

2. 研究の目的

本研究では、手首と足首で計測された筋肉電位(以後EMG)を用いて様々な機器を動作させる次世代インタフェースを構築するための基盤的研究を行う。研究期間内では、特に手首EMGによるジャンケン3動作の認識、足首EMGによる100%精度の単純足首動作認識を目指す。また、学習・認識方法として、申請者(代表研究者)の提案しているSimple-FLDA(判別分析の近似学習法)をさらに改善して超高速学習・高精度性を両立し、次世代インタフェースのための基盤を構築し、これまで存在しなかった携帯機器操作の総合操作装置の基礎開発を最終目的とする。下記の研究を行う。

(1) Simple-FLDAの定性的評価とアルゴリズム改善

カーネル関数型オンラインFDA(Fisher Discriminant Analysis)と追加学習法の研究を行い、学習速度と精度の改善法を研究する。Simple-FLDAのクラス間分散の最大化学習で、有効な固有ベクトル数を理論的かつ定量的に解析し、さらに、Simple-FLDAによるノイズ除去法を検討する。

(2) 手首EMGによるジャンケン3動作の高精度識別法に関する研究

従来は手首の動作識別で90%以上の高精度を実現したが、様々な機器制御のためには指の動作識別が重要となる。ゲームとしても利用可能なジャンケン3動作の高精度識別を行う。

(3) 足首EMGによる100%精度の単純足首動作の認識

EMGの個人差により、手首EMGを用いた手首動作認識で100%精度を達成できていない。マウスクリックと同等な機能や大

型機器の動作停止を確実に実現するためには、100%精度の動作認識を一つ以上有することが重要となる。このための単純な足首動作の特定と計測方法（センサ個数と位置）など100%精度を達成するための足首EMG認識の研究を行う。

3. 研究の方法

本申請研究では、手首・足首筋肉電位（以後EMG）を用いる次世代インタフェースの基盤を構築するために、超高速学習が可能で高精度認識を実現できる統計的学習アルゴリズムを研究開発し、手首EMGに基づくジャンケン3動作（グー、チョキ、パー）の高精度識別、足首EMGに基づく100%精度での単純足首動作認識法の検討と評価検証を行う。統計的学習アルゴリズムは申請者が提案しているSimple-FLDA（近似的判別分析）を理論的・定量的に評価し、超高速学習性と高精度認識性を格段に改善することを目指す。下記を研究する。

(1) Simple-FLDAの定性的評価とアルゴリズム改善

開発済みのSimple-FLDAに対しブースティングの概念を導入して固有ベクトルの学習法を改善し特徴抽出での性能アップ法を開発する。またカーネル関数型オンラインFDA (Fisher Discriminant Analysis) の開発と個人に特化し高精度を実現できる追加学習法導入の有効性を検証し、学習速度と精度の両方を改善する仕組みを研究する。Simple-FLDAではクラス間分散の最大化学習を行うが、通常の行列型判別分析では「クラス数-1」までの固有ベクトル数しか使えない制約が存在する。Simple-FLDAでは直交判別ベクトル法と同様にこの制約はないが、実用的に有効な固有ベクトル数の範囲を理論的かつ定量的に解析する。また主成分分析の固有ベクトルとの併用も検討する。さらに、Simple-FLDAにより、EMGに含まれるノイズの除去法を新たに検討する。これは4チャンネルセンサ間の高次統計量を考慮した枠組みで検討する。

(2) 手首EMGによるジャンケン3動作のデータ計測法の検討と認識の予備実験

従来は手首の動作識別で90%以上の

高精度を実現したが、様々な機器制御や応用範囲の拡大のためには指の動作識別が必要かつ重要となる。本研究では、ゲームとしても利用可能なジャンケン3動作（グー、チョキ、パー）の識別を行う。まず、センサの装着位置と計測データの目視での確認を行い、ジャンケン動作の出し方を含めて識別可能な計測方法を検討する。ジャンケン動作では行動を開始する直前までは通常グーの形状を保持しているため、ジャンケンを出す前とグー動作の計測データが類似する可能性があるため、この点を確認し、認識可能性を検討す

(3) 手首EMGによるジャンケン3動作の高精度識別法に関する研究

従来は手首の動作識別で90%以上の高精度を実現したが、本研究では指の動作であるジャンケン3動作の識別で90%以上の精度を目指す。まずジャンケン動作の計測方法と予備実験を行うが、その後、Simple-FLDAの改良と理論的枠組みを背景として、EMGからのノイズの除去、有効な固有ベクトル数の最適化、学習法の改善成果を用いて高精度な識別を目指す。

(4) 足首EMGによる100%精度の単純足首動作の検討と認識・評価

足のEMGを用いた従来研究も福祉機器関連、歩行パターン分類など幾つか行われているが、足首EMGに特化した研究はこれまで行われていない。EMGの個人差により、手首動作認識では100%精度を達成できていないが、マウスクリックと同等な機能や大型機器の動作停止を確実に実現するためには、100%精度の動作認識を一つ以上有することが重要となる。このための単純な足首動作の特定と計測方法（センサ個数と位置）、疲労度による変化など、100%の認識精度を達成するための足首EMG認識の基礎検討を行う。特に、足首裏側（アキレス腱）に繋がる腓腹筋（ひふくきん）とヒラメ筋の最下部にセンサを設置することで安定した計測を目指す。

4. 研究成果

平成22年度～24年度において、下記の研究を行った。平成25年度に関しては、

最終年度前年度の申請課題が採択されたため、新規採択課題に関して研究を行った。

新規採択課題（平成25年度～平成27年度）
課題番号：25350669

「超高速統計学習に基づく下肢筋電を用いた立ち上がり動作補助システムの基盤的研究」

(1) Simple-FLDAを拡張（非線形拡張）と定性的評価

開発済みのSimple-FLDAに対しカーネル関数を用いた非線形高次元空間への拡張を行った。カーネル関数型オンラインFDA (Fisher Discriminant Analysis) を開発し計算機実験で有効性を検証した。これは行列型手法と比較して、学習速度と精度の両方を改善する仕組みである。カーネルトリックに用いるカーネル関数により、精度と学習速度が変わる可能性があるため、数種類のカーネル関数を用いて比較検討を行った。開発した非線形Simple-FDAを様々なデータベースに適用した結果、入力次元が比較的少ないデータよりも入力次元数が比較的大きいデータに対する精度改善効果が大きいことが判った。今後はさらに別のデータベースやEMG等の実信号を用いた評価を行う予定である。本研究成果は学術論文として掲載されている。

(2) 手首EMGによるジャンケン3動作のデータ計測法の検討と認識実験

従来は手首の動作識別で90%以上の高精度を実現したが、様々な機器制御や応用範囲の拡大（原発対応ロボットなど）のためには指の動作識別が必要かつ重要となる。本研究では、ゲームとしても利用可能なジャンケン3動作（グー、チョキ、パー）の識別を行った。まず、センサの装着位置と計測データの目視での確認を行い、ジャンケン動作の出し方を含めて識別可能な計測方法を検討した。

ジャンケン動作では行動を開始する直前までは通常グーの形状を保持しているため、ジャンケンを出す前とグー動作の計測データが類似する可能性があるため、この点を確認し、認識可能性を検討した。認識精度はオフラインの時は80%以上の精度を達成できたが、オンライン識別では、70%程度の識別精度であった。オンライン識別では高

速性を達成するために、識別記として最小距離分類とk-近傍法を使用した。また、EMG入力時のアウトライヤーを削除する方法についても検討し、データ分布をガウス分布として近似し一定距離以上に離れたデータを削除し再入力して精度を上げる方法を開発した。今後、システム構成を再確認し、さらに精度を改善する必要がある。

(3) 足首EMGを用いた足首動作の認識

さらに、足首EMGの認識実験を行った。足首のニュートラル、底屈、背屈の3動作の識別を線形版Simple-FLDAにより認識実験を行い、95%以上の高精度を達成できた。この際に必要な固有ベクトルの個数は2個だけであり、固有ベクトルの学習（Simple-FLDA）も可能であった。足首認識でもオンライン識別を行っており、上記の95%はオンライン識別での成果である。手首EMGよりも高精度認識が達成できた。この際の識別器は最小距離分類を用いており、k-近傍法を用いることにより、さらに精度改善が期待できる。

これらの手首と足首のEMG認識に関する研究成果は国際会議論文として掲載されている。

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) Yohei Takeuchi, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi: A Nonlinear Learning Algorithm for Large Scale Datasets, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, Vol.2, No.7, pp.407--412, 2013, 査読あり

(URL: <http://www.ijeit.com/>)

(2) Yohei Takeuchi, Momoyo Ito and Minoru Fukumi: Novel Approximate Statistical Algorithm for Large Complex Datasets, *International Journal of Machine*

Learning and Computing, Vol.2, No.5,
pp.720--724, 2012 , 査読あり
(DOI: [10.7763/IJMLC.2012.V2.222](https://doi.org/10.7763/IJMLC.2012.V2.222))

〔学会発表〕(計 12件)

国際会議論文：8件

- (1) Yohei Takeuchi, Momoyo Ito and Minoru Fukumi : Nonlinear Eigenspace Models Based on Fast Statistical Learning Algorithm, *Proceedings of IASTED International conference on Software Engineering and Applications*, pp.274--278, Marriott Las Vegas Resort and Spa Hotel (Las Vegas, USA), 13 Nov. 2012.
- (2) Yoshimi Miki, Yohei Takeuchi, Momoyo Ito and Minoru Fukumi : Decision of Two Alternatives by EEG using Genetic Algorithm, *Proceedings of International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (CD-R), D-T3-05*, International convention center(Sapporo, Hokkaido), 17 Jul. 2012.
- (3) Takahide Funabashi, Yohei Takeuchi, Momoyo Ito, Koji Kashihara and Minoru Fukumi : Recognition of Finger Motion by Wrist EMG, *Proceeding of 2012 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communication and Signal Processing NCSP'12*, pp.433--436, Waikiki Beach Marriott Resort and Spa Hotel(Honolulu, USA), 2 Mar. 2012.
- (4) Yusuke Yamamura, Yohei Takeuchi, Momoyo Ito, Koji Kashihara and Minoru Fukumi : Classification of Ankle Motions by EMG, *Proceeding of 2012 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communication and Signal Processing NCSP'12*, pp.285--288, Waikiki Beach Marriott Resort and Spa Hotel(Honolulu, USA), 2 Mar. 2012.
- (5) Yohei Takeuchi, Momoyo Ito, Koji Kashihara and Minoru Fukumi : A Novel Nonlinear Discriminant Analysis by Iterative Operations, *Proceeding of 2012 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communication and Signal Processing NCSP'12*, pp.104--107, Waikiki Beach Marriott Resort and Spa Hotel(Honolulu, USA), 2, Mar. 2012.
- (6) Yohei Takeuchi, Momoyo Ito, Koji Kashihara and Minoru Fukumi : Novel Supervised Feature Extraction Algorithm Based on Iterative Calculations, *Proc. of The IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI2011)*, pp.304--308, Tuscany Suites & Casino Hotel (Las Vegas,USA), 4 Aug. 2011.
- (7) Yohei Takeuchi, Momoyo Ito, Koji Kashihara and Minoru Fukumi : Supervised Feature Extraction Algorithm by Iterative Calculations, *Proc. of The 2nd Conference on Next Generation Information Technology (ICNIT2011)*, pp.46--49, Gyeongju Hilton Hotel (Gyounju, Korea), 22 Jun. 2011.
- (8) Yohei Takeuchi, Momoyo Ito and Minoru Fukumi : Novel Approximate Stastical Learning Algorithm for Large Complex Datasets, *Proc. of 2011 3rd IEEE International Conference on Machine Learning and Computing (ICMLC'2011)*, Vol.3, pp.236--239, Quality Hotel (Singapore), 27 Feb. 2011.

口頭発表：4件

- (1) 山村 祐介, 伊藤 桃代, 伊藤 伸一, 福見 稔：足首の筋電による足首の動作の分類, 日本生体医工学会中国四国支部大会, 11頁, 「愛媛大学(愛媛県)」, 2013年10月19日
- (2) 竹内 洋平, 伊藤 桃代, 福見 稔：非線形空間における繰り返し演算型判別分析, 信学技報, Vol.112, No.69, 59~64頁, 「秋田市民交流プラザ(秋田県)」, 2012年5月29日
- (3) 舟橋 孝秀, 伊藤 桃代, 柏原 考爾, 福見 稔：EMGを用いた指の動作識別, 計測自動制御学会四国支部講演会, No.PS2-23, 「徳島大学工業会館(徳島県)」, 2011年11月11日
- (4) 竹内 洋平, 伊藤 桃代, 柏原 考爾, 福見 稔：繰り返し演算による教師あり特徴抽出手法の開発, 高速信号処理応用技術学会研究会, 10~11頁, 「高知工科大学(高知県)」, 2011年8月23日

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

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 ()

研究者番号：

- (3) 連携研究者 ()

研究者番号：