

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：14603

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540085

研究課題名(和文)筋電時系列の時空間伸縮による姿勢・発汗・筋疲労に頑健な筋電ロボットインタフェース

研究課題名(英文)Robust myoelectric interface for postural change, sweating and muscle fatigue based on spatio-temporal warping of time-series EMG signals

研究代表者

松原 崇充 (Matsubara, Takamitsu)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：20508056

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではユーザの筋電位信号から動作意図を読み取り、ロボット等の直感的操作を可能にする筋電ロボットインタフェースについて、従来技術では困難であった動作意図-筋電位信号間の対応関係に重大な影響を及ぼす1)姿勢変化、2)発汗、3)筋疲労の要因に頑健な動作意図認識手法の開発を行った。提案手法では特別なセンサや詳細な人体モデルを必要とせず、時間的・空間的な伸縮を許容する距離計算法に基づくパターン認識技術によって筋電時系列に内在する動作意図を頑健に認識する。姿勢変化が発生する条件下において被験者による動作識別実験を行い、提案手法は従来法よりも高い識別性能を達成できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we consider the development of myoelectric human-robot interfaces that enable intuitive control of complex robots based on the user intention estimated from myoelectric signals. More concretely, we propose a motion intention recognition method based on the surface Electromyography (sEMG), robust to the factors of 1) postural change, 2) sweating and 3) muscle fatigue, all of which can largely change the relationship between the sEMG signal and the motion intention. Our method is achieved with using pattern matching techniques, and without either other sensors for measuring the postural change, the sweating and muscle fatigue, or physiological models of human body. Through the subjective experiment under the postural change, the proposed method resulted in better performance than that of previous methods.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：筋電ロボットインタフェース 表面筋電位 動作識別 姿勢変化 時系列カーネル

1. 研究開始当初の背景

人の脳で発した運動指令により筋繊維上に筋収縮を誘発する電位を皮膚表面の電極から観測する筋電位信号は、非侵襲に動作意図に関する情報を機械に伝えることを可能にする。そのため、筋電位信号に基づく動作意図認識は筋電義手やパワーアシストロボット、ゲームやアミューズメントに至るまで広く注目されている。

しかしながら、筋電位信号は不安定な信号である。具体的には、対象部位の 1)姿勢変化によりセンサが対象筋から外れ、神経支配帯に移動することで信号が微弱化する。2)発汗により皮膚インピーダンスが低下し信号が増幅される。3)筋疲労により信号の増幅および徐波化や低周波数域へのシフトなどの現象が起こる。上記要因に関する詳細な人体モデルは複雑・多様であるため、これらの要因に対処した認識精度の高いインタフェースの構築は未だ困難であり、また、実用的な解決法を追求する研究は国内外においてもほとんど見当たらない。

従来、上記の要因 1)-3)に対し、ユーザ毎に長時間の計測実験を実施し、各要因が及ぼす動作意図-筋電位信号間の複雑な特性をモデル化することで、頑健な動作意図認識器を構成するアプローチが検討されてきた。しかしながら、ユーザ毎に専門技術者によるテイラーメイドなシステム構築が必要であり、費用と労力の観点から実用性に乏しい。また、同定された結果を認識器に利用する際には、時々刻々と変化する計測状況を捉えるために姿勢・発汗・筋疲労を計測する付加的なセンサ機器が必要となる。よって、ユーザ毎に長時間の計測実験が必要、かつシステムも複雑化するためインタフェースの実用性と汎用性を著しく低下させることとなる。

2. 研究の目的

本研究では、従来技術のように詳細な人体モデルや計測状況を捉える付加的なセンサを一切必要としない画期的なアプローチにより、ユーザの動作意図と筋電位信号間の対応関係を変化させる 1)姿勢変化、2)発汗、3)筋疲労の要因の影響を受けない頑健な動作意図認識技術の確立を目指す。提案するアプローチの概要を図 1 に示す。提案手法では、上

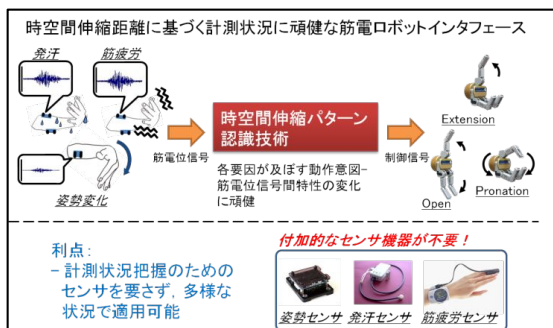


図 1. 提案するアプローチの概要

記要因が同一動作の筋電時系列を時空間的に変化させるが、筋内部に誘発される信号はおおよそ共通であるという仮説に着目し、時間的・空間的な伸縮を許容する距離計算法に基づくパターン認識により内在する動作意図を頑健に認識する。従来技術では不可欠である姿勢・発汗・筋疲労センサや詳細な人体モデルの利用を前提としない点において極めて挑戦的かつ独創的であり、成功した場合にはインタフェースの実用性と汎用性の飛躍的向上が期待できる。統制された実験設計の下、被験者実験を実施し、提案手法の有効性と応用可能範囲を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、人体モデル構築のための長時間の計測実験や、状況を捉えるための付加的なセンサ機器を要しない実用性・汎用性の高い解決策を目指す。その具体的なアプローチとして、要因 1)-3)が同一動作の筋電位信号を時空間的に変化させるが、筋内部に誘発される筋活動電位の時系列信号はおおよそ共通であることに着目する。つまり、計測された異なる二つの筋電時系列を時間的・空間的に伸縮させることで、その隠れた共通成分を抽出できる可能性がある。そこで提案手法では、まず特定条件下で計測された筋電時系列を収集する。そして、得られたデータを訓練データとし、各要因を含む状況下で計測された筋電時系列データに対し時間的・空間的な伸縮を許容する距離計算法に基づくパターン認識により、内在する動作意図を頑健に認識する。

筋電位信号の生成過程を一切モデル化せず、また、計測状況を捉えるための付加的なセンサ機器も用いず、筋電時系列の時空間伸縮のみにより計測状況の多様性の問題の解決を目指す提案手法は、極めて独創的かつ挑戦的であり、成功した場合にはインタフェースの実用性と汎用性の飛躍的向上が期待できる画期的な技術となり得る。

平成 25 年度では、1)姿勢変化、2)発汗、3)筋疲労の影響に頑健な筋電ロボットインタフェースのための、時間的・空間的な伸縮を許容する距離計算法に基づくパターン認識アルゴリズムを開発することとした。平成 26 年度(最終年度)では、前年度に開発された 1)姿勢変化、2)発汗、3)筋疲労の影響に頑健なパターン認識アルゴリズムを筋電ロボットインタフェースとして実装し、多数の被験者による性能評価実験を実施することで、その有効性や実用性を検証することを目指した。

4. 研究成果

平成 25 年度では、詳細な人体モデルを必要とせず、時間的・空間的な伸縮を許容する距離計算法に基づくパターン認識技術によって筋電時系列に内在する動作意図を頑健に認識する手法を開発した。具体的には SVM

などのカーネル法による動作識別器の構成を前提に、姿勢や動作時間が異なり得る状況下において、それぞれの単一動作から計測された2つのsEMG時系列データに対して、時空間伸縮を許容して類似度を与える「ガウシアン時空間整列カーネル」を考案した。また、5人の被験者について2chのEMG計測器を用いた5動作の識別実験を行い、姿勢や動作時間の変化に対する頑健性を確認した。実験で識別対象とした動作と姿勢変化を図2に示す。さらに、姿勢変化と識別率の関係を図3(GSTKは提案法、他は比較手法)に示す。これらの成果をまとめた論文が国内論文誌に採択された。また、多数動作の識別実験を展開するため、16chのEMG計測器を購入するとともに、計測や解析に必要なソフトウェアを開発した。しかしながら、提案手法では必要計算時間が長く(一つの動作識別に約2秒)、これが実用上の問題点であった。

平成26年度では、前年度に開発した時間的・空間的な伸縮を許容する距離計算法に基づくパターン識別技術について、その問題点であった必要計算時間を削減するために手法の改良に関する研究を行った。具体的には、

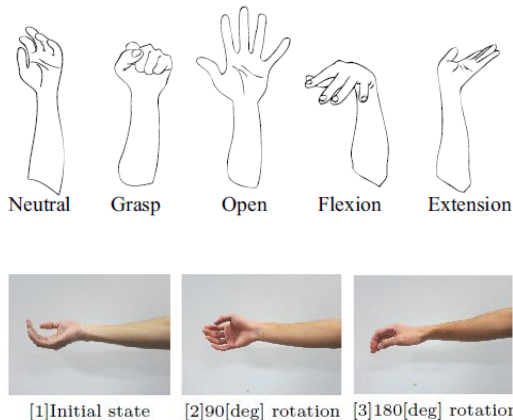


図2. 識別動作と姿勢変化の状態

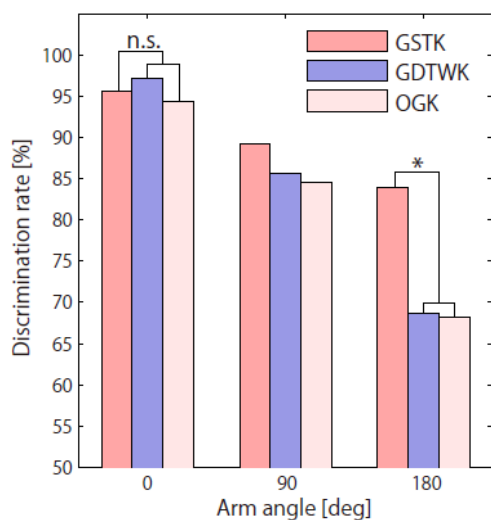


図3. 姿勢変化と識別率の関係

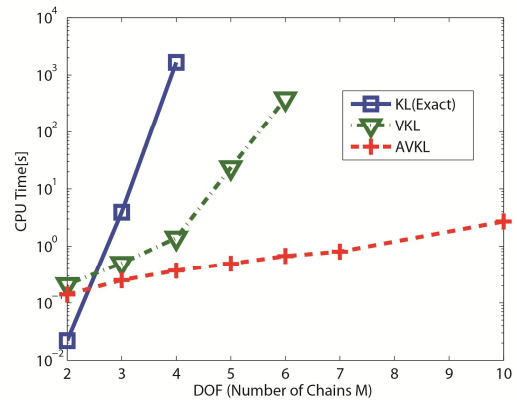


図4. 提案手法と比較手法の計算時間

時間的な伸縮の計算には動的計画法を用いていたが、その部分を近年提案されたカルバック・ライブラー(KL)制御の枠組みを用いて定式化できれば、計算量の大幅な削減が期待できる。そこで、隠れマルコフモデルなどの確率的グラフィカルモデルを用いて、連続状態空間を離散の潜在状態空間に縮約して表現し、さらに潜在空間上でKL制御問題を定式化して解く、潜在KL制御の枠組みを開発した。従来手法(厳密計算)と比較して、非常に高次元問題に対しても、精度を保ちつつ高速な近似計算が可能であることを確認した(図4参照)。また、これらの成果について、国際会議1件、国内会議1件でそれぞれ発表した。

潜在KL制御を前年度開発した動作意図識別手法に組み込むことで、識別の頑健性のみならず、計算の実時間性も兼ね備えた新しい筋電ロボットインタフェースの実現が大きく期待できる。今後は、開発したアルゴリズムを動作認識アルゴリズムに組み込む。さらに、実験検証を行った姿勢変化以外に、発汗や筋疲労に関する提案手法の有効性の実験検証を行う。

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1件)

[1] 井林雅樹, 松原崇充, 杉本謙二, 時空間整列カーネルによる姿勢変化に頑健なsEMG動作識別, 電子情報通信学会誌, Vol. J97-D, No.1, pp. 226-235, 2014年. 査読有

〔学会発表〕(計2件)

[1] Takamitsu Matsubara, Vicenc Gomez, Hilbert J. Kappen, Latent Kullback Leibler Control for Continuous-State Systems using Probabilistic Graphical Models, The 30th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI2014), 26th July, 2014, Quebec City (Canada).

[2] 松原崇充, Vicenc Gomez, Hilbert J. Kappen, 潜在カルバック・ライブラー制御とロボットの運動制御への応用, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 九州産業大学 (福岡県福岡市), 2014 年 9 月 4 日 .

〔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〕

無し

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

松原 崇充

(MATSUBARA TAKAMITSU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号 : 20508056