

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K04071

研究課題名(和文) マルチセンサと確率共振を用いて計測した筋電位からの事前運動推定法の開発

研究課題名(英文) A time advance estimation method for human motions using stochastic resonance and multiple EMG sensors

研究代表者

貞弘 晃宜 (Sadahiro, Teruyoshi)

大分大学・理工学部・准教授

研究者番号：40424676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：筋電位は機械を動かす際の入力信号として利用することで、人間の意図を効率的に機械に伝えることができる。従来の研究では、電気力学的遅延と呼ばれる、筋電位のおこりから実際に運動がおきるまでの時間差(電気力学的遅延；EMD)は無視されていたが、本研究ではこれを確率共振とマルチセンサの組み合わせを用いて取得することにより、従来法でこの時間差を減らす要因となっていた位相遅れのない筋電気取得法を提案し、これと昨今隆盛の機械学習による推定モデルとを組み合わせることで、EMD時間分(おおよそ100から200 ms)事前に人間の運動を推定する方法を提案し、実験的にその有用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先行研究として EMD に着目し人間の運動の事前推定を行う研究を行ってはいったものの類似する研究はなく、そのような研究の発展として行われた。応募時に目的とした提案手法については実験的に検証を行うことができた。また研究を進めるにつれて、問題解決の糸口は入力の前処理をどのように行うかという観点と、推定モデルの選択にあることがわかった。そのため、提案手法以外にも2つの入力の前処理法と、3つの推定モデルを利用する方法を提案し、より事前に運動推定が可能で推定精度の良い手法の提案をおこなった。これら提案手法は、ますます重要になる VR 空間における視線移動時のVR酔い低減等に利用可能である。

研究成果の概要(英文)：Electromyography can be an efficient transmission signals of human intentions to machines when it is used as input signal to machines. In conventional researches, the time lag from the occurrence of electromyography to the actual human joint movement, it is called as the electromechanical delay (EMD), has been ignored. Therefore, The low pass filter are widely used as a preprocess for the electromyography, although it makes EMD shorter by its phase lag phenomenon. In this study, we has proposed a preprocessing method using the stochastic resonance and multi-sensors, it does not make EMD shorter. By combining some estimation models, methods to estimate human movements in advance of the EMD, it is approximately 100 to 200 ms, are proposed and experimentally validated for their usefulness.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：マルチセンサ 確率共振 筋電位 電気力学的遅延 特徴量抽出 操作能力熟達

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始前に研究代表者も所属するグループで筋電位の電気力学的遅延 (EMD) 特性と、筋電位から関節角度までのモデリングを組み合わせることにより、EMD 時間分実際の動作よりも先んじて動作推定を行う方法を提案、実験機によるマン・マシン・インターフェンスの実装までを行っていた。しかし研究を進めていく中で、筋電位の前処理として平滑化のために行われる低域通過フィルタが、より長い (正確な) EMD を得ることを阻害している可能性に気がついた。そして文献を調査する中で、確率共振とマルチセンサを用いることで、高い SN 比を得るセンサの研究があることに気がついた。

2. 研究の目的

本研究の目的は確率共振とマルチセンサを用いることで、LPF なしに高い SN 比で筋電位を取得可能な手法を用いることにより、より長い (正確な) EMD をもつ筋電位信号を取得し、時間遅れを考慮したモデルへの入力とすることで、従来法よりもより事前に人間の動作推定を可能にする方法を提案することであった。また、マルチセンサを用いた場合の各出力は理想的には、ある運動単位から出力された筋電位と考えることから各センサ出力に重みをつけ、それを学習的に得ることで、操作能力熟達の指標となりうるのではないかと考えた。この可否を問うことも研究の目的とした。

3. 研究の方法

従来手法では電極としてカーボンナノチューブ複合紙を用いていた。本研究はセンサの開発を目標とするものではないため、安価に購入可能な市販の筋電位センサと付属電極、マイコンを用いることで確率共振を用いた筋電位計測システムを構築し、特殊な電極なしでも事前推定のために利用可能であるかを確認した。市販の筋電位センサに付属する電極は一つの筋肉に複数つけるマルチセンサ状態にすることが筋肉の大きさによっては難しい。そのため比較的大きな筋肉である上腕二頭筋と上腕三頭筋に4つずつ張り付け、関節角度としては肘関節の角度を計測することとした。また、重力方向での運動は文献調査により、重力を利用した運動になるため筋電位単体での運動推定が難しいということがわかっていたため、水平方向での運動に限定して実験を行った。その結果十分に運動推定可能な実験データが得られた。

このようにして得た筋電位と関節角度のデータ組から推定モデルの作成を行ったが、推定精度をよくするために機械学習の手法を多く活用したため、その効率的な重み探索 (学習) のために数値計算機を作成した。これにより効率的なモデル探索とその検証が可能となった。

操作能力熟達のためには、測りやすく熟達が容易ではないが可能であるような運動であることが必要であると考え、自転車漕ぎ時の筋電位とクランク角度やパワーの測定が可能なシステムを構築した。

4. 研究成果

目的の通り確率共振現象とマルチセンサを用いることで人間の動作を実際の動作よりも早く推定する方法を提案し、実験的にもその有用性を確かめた。

また研究を進めるにつれて、EMD を活用した事前運動推定問題の発展と解決の糸口は入力である筋電位の前処理をどのように行うかという観点と、時間遅れを考慮した推定モデルの構築にあることがわかった。

そのため、入力の前処理として、目的から進展した研究内容ではあるが、並列加算ネットワークを用いる研究も行った。これは得られる信号に確率的なノイズを加えたものを多数つくりその和をとることで信号の SN 比を上げる方法である。同じ信号を何度も得られると仮定したときの加算平均を取る作業に相似したものだが、これをマルチセンサで得られる筋電位信号に対して行うことで、より効率的に SN 比の向上した筋電位信号を得ることができた。また同じく目的から進展した研究内容として、EMD を活用することで実時間処理可能な特徴量抽出を用いる方法も提案した。特徴量抽出はオフラインの筋電位信号の処理としては比較的広く使われている方法で、たとえばよく使われる特徴量抽出法の一つとして移動平均がある。しかしこれらの処理は位相遅れが無いように信号を得ようとする、処理点の前後の窓関数内の時間の信号を必要とする。つまり未来時間の信号が必要であるため、従来はオンライン処理には使われていなかった。EMD を考慮することで、推定すべき出力である関節角度を得るための入力である筋電位は EMD の時間内であれば未来時間のものを利用できるということになる。そのため窓関数の (未来時間が必要な) 半分の時間を電気力学的遅延内に限ることで、オンライン処理が可能な方法とした。

モデルについても、従来研究と同様の NDARX モデルの利用から 1D-CNN や RNN を使った方法等、昨今隆盛の機械学習をとり入れた方法により推定精度を改善することも行った。特に EMD は角度依存性があるため、単一の RNN だとこれを表現できない。そのため、複数の RNN を固定値の EMD をもつものとして学習させそれを Experts Network とし、別にその出力の割合を調整する Gating Network を学習することで、角度依存性の問題を考慮した Mixture of Experts をモデル

として利用することも行った。

操作能力熟達はいくつかの実験を行えたものの、新型コロナウイルス感染症の流行期と重なってしまったため、多くの被験者による長期の実験を行うことが難しく、初心者と熟達者の間に差異があることのみがわかった。

以上のような研究を査読付き雑誌論文 1 編、査読付き国際学会発表 4 件、その他学会発表 10 件として公表した。またそれを通して研究協力者 3 名の国際学会発表や、大勢の学生の教育の礎として利用した。さらにイノベーション・ジャパン 2021 においてはシーズ展示も行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ikeda Naoki, Sadahiro Teruyoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 A human motion angle prediction method using a neural network and feature-extraction-processed sEMG obtained in real time to utilize mechanical delay of sEMG	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 102 ~ 115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15748/jasse.10.102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 N. Ikeda and T.Sadahiro
2. 発表標題 An Elbow joint angle prediction method using a NN considering EMD with FE processed sEMG as inputs
3. 学会等名 The 41th JSST Annual International Conference on Simulation Technology（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩本輝，貞弘晃宜
2. 発表標題 筋電位信号を入力とする Mixture of Experts によって EMD の変動を 考慮した肘関節角度の事前推定法の実験的検証
3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第 54 回 学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 D. Kashimoto and T. Sadahiro
2. 発表標題 Elbow Joint Angle Estimation Method Using 1D-CNN with Quantized EMG Generated by SR and Multi-sensor
3. 学会等名 The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Ikeda and T. Sadahiro
2. 発表標題 Elbow Joint Angle Estimation from Smoothed EMG Using Summing Network and Multi-sensor
3. 学会等名 The 40th JSST Annual Inter- national Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田直樹、貞弘晃宜
2. 発表標題 並列加算ネットワークとマルチセンサを用いたローパスレス筋電位による肘関節角度推定法
3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第52回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平野遼太、貞弘晃宜
2. 発表標題 First Person Shooter ゲームにおけるマウス操作時の筋電位測定によるニューラルネットワークを使用した熟達課程の解析
3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第52回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇野龍市、平野遼太、貞弘晃宜
2. 発表標題 粗く量子化された筋電位を用いた簡易な投球動作における熟達課程の解析
3. 学会等名 第63回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柏本大知、貞弘晃宜
2. 発表標題 ヒステリシス関数とセンサ数の差異による確率共振によって粗く量子化された筋電位信号からの肘関節角度推定結果の比較
3. 学会等名 第39回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 貞弘晃宜、濱崎由光、古川徹
2. 発表標題 マルチセンサと確率共振を用いた電気力学的遅延を拡大する筋電位信号の取得法
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Teruyoshi Sadahiro, Yumi Hamasaki, Toru Furukawa
2. 発表標題 Experimental Verification of Obtaining Longer EMD of EMG Using Multi-sensor and SR Phenomenon
3. 学会等名 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇野龍市、貞弘晃宜
2. 発表標題 機械学習を用いた簡易な投球動作の熟達度判別
3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柏本大知、貞弘晃宜
2. 発表標題 簡易な動作における粗く量子化された筋電位信号からの関節角度推定
3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 濱崎 由光, 古川徹, 貞弘晃宜, 中浦茂樹
2. 発表標題 マルチセンサと確率共振を用いた筋電位からの関節角度推定
3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第50回学生員卒業研究発表後援会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣川 虎太郎, 中尾好宏, 貞弘晃宜, 中浦茂樹
2. 発表標題 深層学習による筋電位から関節角度までのモデル同定
3. 学会等名 日本機械学会九州支部九州学生会第50回学生員卒業研究発表後援会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

イノベーション・ジャパン2021 シーズ展示(理工学部 貞弘 晃宜 准教授)
https://www.youtube.com/watch?v=7v_BcNRBV_U

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	宇野 龍市 (Uno Ryuichi)		
研究協力者	柏本 大知 (Kashimoto Daichi)		
研究協力者	池田 直樹 (Ikeda Naoki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関