

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：94301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18135

研究課題名（和文）EMGを用いたクラウド型動作推定によるアシストロボット制御の開発

研究課題名（英文）Development of assistive robot control method based on cloud-type motion estimation by EMG

研究代表者

古川 淳一郎（Furukawa, Jun-ichiro）

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・研究員

研究者番号：50721619

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、多くの他ユーザから集めたデータを再活用した新規ユーザに対するアシストロボット制御手法の構築を進めた。一般的に、ユーザから得られるセンサ情報をもとに制御する場合、予め取得したセンサデータとラベルデータとの規則性を事前に抽出し、その規則性に基づき推定した運動情報によりロボットを駆動する。一方、本研究では、装着者であるユーザから得た情報を他のユーザデータと照らし合わせることで、規則性を事前に抽出することなくアシストロボットを制御する手法を提案した。提案アルゴリズムの有効性は、モデルベースの一般的な回帰モデルと比較することで確認した。その結果、提案手法が有意に高精度であることを確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、筋電図（以下、EMG）は個人に依存するため、EMGを利用した制御ではユーザ毎に制御器を調整する必要がある。この調整は一般的に手間のかかる作業であり、EMGに基づくロボット制御がなかなか普及しない原因の一つとも言われている。そこで本研究では、協調フィルタリングの枠組みを援用することで、他のユーザの情報を利用したEMGインタフェースの手法を提案した。これにより、手間のかかる調整作業を削減できるようになった。

さらに本研究を通じて、他のユーザの情報を利用する際に重要な特徴量も明らかにすることができた。本成果により、EMGに基づくロボット制御手法の進展が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We developed an EMG interface to control assistive robot by using estimated joint torques which are constructed by incorporating other users' data.

Previous works in the literature have claimed that the characteristics of EMG signals depend on each person, thus EMG interface need to be carefully calibrated for each user in EMG-based control. On the other hand, in this study, we introduced the concept of collaborative filtering to estimate the joint torque of a novel user by exploiting the pre-identified relationships between motion-body features. To validate our proposed approach, we compare the performance of estimating joint torque by the proposed method with that by conventional linear regression models. As a result, the estimated joint torques from our proposed approach reveal a better performance than do those from the conventional method.

研究分野：ロボティクス

キーワード：筋電図 運動推定 アシストロボット

1. 研究開始当初の背景

近年、ヒトと共同作業が可能なロボットが注目されてきた。その代表例として、外骨格型ロボットをはじめとする運動アシストロボットが盛んに研究開発されている。特に、日本を含む先進諸国において超高齢社会を迎えるにあたり、運動支援機器としての期待が高まっている。しかし、ハードウェア開発が運動アシストロボットの中心的な課題であり、現時点において効果的に運動支援を行う制御方法は確立されていない。装着者の身体の使い方を評価したうえでアシストロボットを制御する方法の確立が課題であるが、動作の良し悪しを判断する方法は不明であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、筋電図（以下、EMG）から得られる筋活動をもとに動作特徴を評価し、アシストロボットを制御する方法を明らかにすることである。EMGはヒトの動作特徴を捉える有効な手段であるため、従来では主にEMGをヒトの運動制御信号とみなし、動作特徴を機械学習技術により抽出することでユーザの運動を推定しロボットが制御されてきた。しかし、これらは個人から得られるセンサ情報でいかに精度よくロボットを操作するかが課題であり、個人や対象動作ごとのデータのみが扱われてきた。一方、本研究では、多くのユーザから取得したデータを共有することで動作特徴の比較や評価が可能なクラウド型動作推定によるアシストロボット制御フレームワークを提案する。

3. 研究の方法

(1) まず、多数のユーザから動作時における筋活動およびそれに伴う運動データを取得する。本研究では、データ共有用の動作として上肢の単関節運動をターゲットとし、下記の図1に示す2種類の動作を設定した。また、それぞれの2種類の運動において、動作スピードも「Fast, Natural」の2種類設定した。動作計測においては、性別、身長、体重も様々な被験者の協力のもと行った。ここで、EMGセンサとモーションキャプチャシステムが同期システムにより、筋活動および運動データを同時に計測する。なお、本研究では上肢運動に関連する8つの筋からEMG信号を計測した。その後、取得した多数のデータをデータベース化することで、筋活動や運動情報の再利用を可能とした。

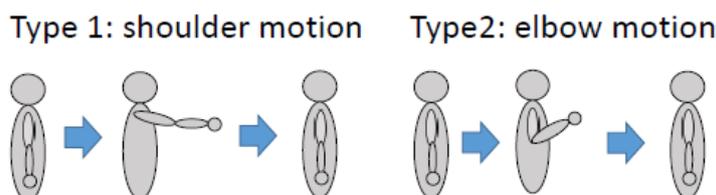


図1：データ共有用の動作

(2) 他ユーザのデータと比較することで新規ユーザの関節運動を推定可能とするアルゴリズム開発を進めた。他ユーザの情報と照らし合わせて新規ユーザの運動を推定するために、本研究では協調フィルタリングの枠組みを援用した。これは、多くのユーザの嗜好情報を蓄積し、あるユーザと嗜好の類似した他のユーザの情報を用いて自動的に推論を行う方法である。実際に協調フィルタリングのコンセプトを実装するにあたり、k-近傍法の回帰モデルを援用した。このモデルにより、新規ユーザの運動情報を他ユーザのデータを参照し推論するアルゴリズムを構築した(図2)。本研究では比較するユーザの動作特徴をEMG, 関節角度とし、推定する運動情報は関節トルクとした。

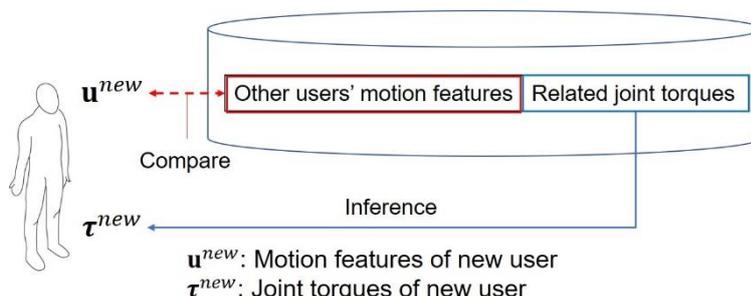


図2：提案方法による新規ユーザの運動推定（概要図）

(3) 提案方法の検証を行うために、推定する動作として図3に示す上肢2自由度運動を対象とした。つまり、データベースに保存されている運動は図1に示す単関節運動の情報であり、この情報を再利用して図3に示す2自由度運動を推定することでパフォーマンスを検証する。また、提案方法は、従来で一般的に用いられている回帰モデルによる運動推定と比較した。ここで、回帰モデルはベースラインとして次の2種類を用意した。モデルベース1：単関節運動において、新規ユーザから得たセンサ情報から回帰モデルを学習し、そのモデルを用いて同ユーザの2自由度運動を推定。モデルベース2：単関節運動において、他ユーザから得たセンサ情報から回帰モデルを学習し、新規ユーザの2自由度運動を推定。

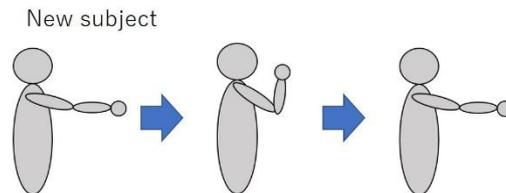


図3：Test motion (two joint motion)

4. 研究成果

提案方法の有効性を検証するために、関節トルク推定精度を調べた。具体的には、テスト運動時の関節角度情報から逆動力学計算により肩および肘の関節トルクを算出し、その値を真値と仮定し推定値とのRoot Mean Squared Errorを計算することで精度を調べた。その結果を図4に示す。

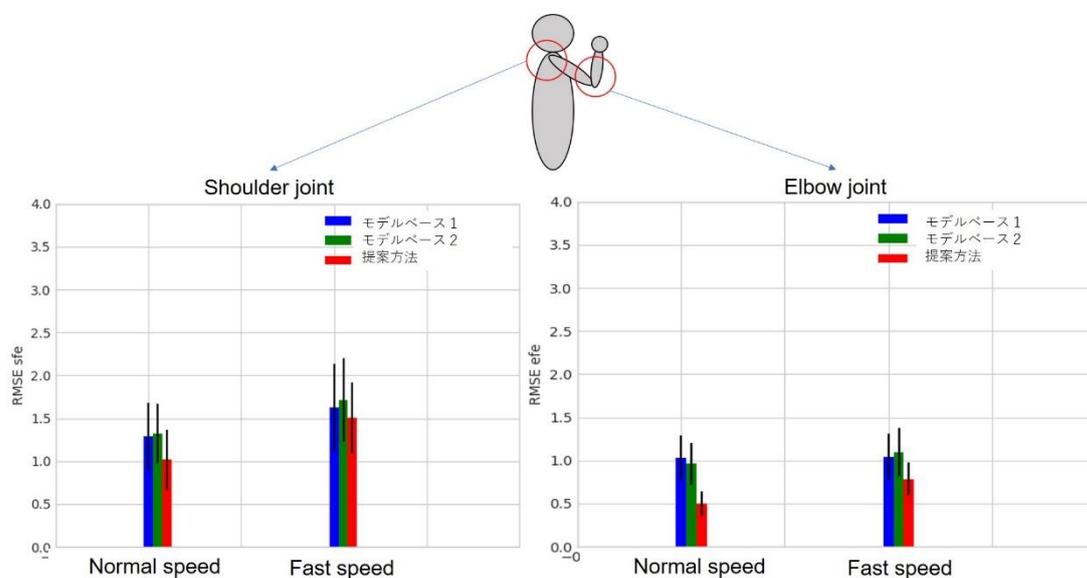


図4：関節トルクの推定精度（肩関節、肘関節）

また、提案方法とベースライン手法らに対し統計的に違いを調べた結果、肩関節におけるNormal speed条件のモデルベース1と提案方法、肩関節におけるFast speed条件の提案方法、モデルベース1およびモデルベース2の間には有意差は見られなかったものの、他の全ての条件では有意差があることを確認した。これらの結果から、提案方法はベースライン手法に比べて高い推定精度を示すことが分かった。

本研究で提案した手法により、他ユーザの状態と比較および評価が可能な枠組みで動作推定を行えるようになった。さらには、従来EMGを利用したロボット制御ではキャリブレーション（例えば回帰モデルの学習など）が必要であったが、本提案により、そのキャリブレーションプロセスも削減できるようになり、EMGインタフェースの利便性を向上することができた。今後は、他の動作への汎化性や精度向上のための動作特徴をさらに調査する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 2件）

1. 著者名 Jun-ichiro Furukawa and Jun Morimoto	4. 巻 6
2. 論文標題 Composing an Assistive Control Strategy Based on Linear Bellman Combination From Estimated User's Motor Goal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1051-1058
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2021.3051562	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 -

1. 著者名 Jun-ichiro Furukawa and Jun Morimoto	4. 巻 1909.02288
2. 論文標題 An Optimal Assistive Control Strategy based on User's Motor Goal Estimation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Jun-ichiro Furukawa and Jun Morimoto
2. 発表標題 Composing an Assistive Control Strategy Based on Linear Bellman Combination From Estimated User's Motor Goal
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masashi Hamaya, Takamitsu Matsubara, Jun-ichiro Furukawa, Yuting Sun, Satoshi Yagi, Tatsuya Teramae, Tomoyuki Noda, Jun Morimoto
2. 発表標題 Exploiting human and robot muscle synergies for human-in-the-loop optimization of EMG-based assistive strategies
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ichiro Furukawa and Jun Morimoto
2. 発表標題 A data-driven approach for estimating human behavior with collaborative filtering
3. 学会等名 Joint workshop of UCL-ICN, NTT, UCL-Gatsby, and AIBS
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱屋政志、松原崇充、古川淳一朗、孫雨庭、八木聡明、寺前達也、野田智之、森本淳
2. 発表標題 ユーザ嗜好に基づくEMGを用いた運動支援制御器のベイズ最適化
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川淳一朗
2. 発表標題 筋電情報を用いたロボット制御とその応用
3. 学会等名 日本スポーツ心理学会第45回大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 動作支援装置および動作支援方法	発明者 古川淳一朗、森本淳	権利者 株式会社国際電気通信基礎技術研究所
産業財産権の種類、番号 特許、2019-161737	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------