

片側麻痺のための上肢肘関節リハビリテーションシステムに関する研究

○楊 子逸 (香川大学), 郭 書祥 (香川大学), 劉 毅 (香川大学)

An Intention-based Upper Limb Bilateral Rehabilitation System for Hemiplegia

○Ziyi Yang (Kagawa Univ.), Shuxiang Guo (Kagawa Univ.) and Yi Liu (Kagawa Univ.)

Abstract: In this paper, a novel intention-controlled online real-time bilateral training system was proposed for upper limb motor rehabilitation. We systematically analyzed the offline, online and real-time bilateral control performance of the proposed system. A model-free method based on a BPNN was employed for the direct estimation of the motion intention from user sEMG signals.

1. はじめに

脳卒中は、脳の血管を破壊して脳の一部の機能を喪失させる可能性があるため、身体障害者の一般的な理由であるが、障害のリハビリテーション訓練は常に長い回復サイクルを要し、医療資源の不足を引き起こす。この問題を解決するために、セラピストに代わりロボットを使用して、同等の効率のリハビリテーション訓練を達成するという概念が提唱されている[1]。

筋電図 (sEMG) 信号は、筋細胞から生成される生体電気信号として取得され、特にリハビリテーショントレーニングでの幅広い用途がある。最も重要なのは、最もアクティブな部分である上肢の動きの運動学を推定するために使用されることである。現在、多くの種類の sEMG ベースのリハビリテーションロボットが発表されており、脳卒中後の片麻痺で失われた腕の機能に対する回復効果が検証されている。

2. 研究目的

一般に、リハビリテーションシステムは、動力駆動のアクチュエータによって身体障害者を支援できる。コラボレーションタスクでは、患者は運動ができないため、患者の意図を理解する必要がある。現在、最先端の研究では、バイオシグナルにより人間の意図の予測をする。生体信号は、sEMG 信号、EEG 信号など、患者自身によって生成される。上肢運動リハビリテーションのためのケーブル駆動の動力付き可変剛性外骨格装置 (PVSED) を使用した意図ベースのバイラテラル訓練システムを提案した[2]。提案されたシステムは、sEMG 信号を介して無傷の上肢による肘関節角度を予測し、PVSED によって障害のある上肢をリアルタイムで誘導する対称運動を提供する機能を備えている。正確な肘関節角度予測のために、バックプロパゲーションニューラルネットワーク (BPNN) がセットアップされ、オフラインフェーズの sEMG 信号の多機能ベクトルによってトレーニングされ、オンラインのリアルタイム筋電制御に利用できる[3]。リアルタイム制御の予測精度と計算時間に対するさまざまな入力特徴ベクトルの影響を調査するために、2つの単一特徴入力ベクトルと提

案された多特徴入力を含む 3 つの異なる種類の入力特徴ベクトルの比較ベクトルを実行しました。オンライントレーニングの実験結果は、ユーザーが提案されたシステムによって上肢の直感的な対称制御を完了して、バイラテラルリハビリテーショントレーニングを実現できることを示している。

3. 研究のアプローチ

研究目的を実現するために、次の 3 つのアプローチを意図している。1) sEMG 信号測定構成をセットアップするための筋肉運動学モデルを分析する。2) 予測精度を向上させるために、ニューラルネットワークベースのモデルを構築する。3) リハビリテーション訓練評価のためのリアルタイムのバイラテラル制御方法を実現する。

4. sEMG の測定と処理

通常、生の sEMG 信号処理には 2 つのステップがある。1つ目は、環境とデバイスに起因するノイズを除去することである。2つ目は、ターゲットが有用な情報を取得するための特徴抽出である。最初に、信号を記録するプログラムの前に、電源周波数ノイズや低周波ノイズなどのノイズをバターワースフィルタで除去する必要がある。2番目の部分では、信号の特徴を抽出する必要がある。この研究では、時間領域と周波数領域の両方での sEMG の 9 つの特徴を、筋肉の運動意図と特性を分析および認識するための特徴ベクトルとして紹介する(MAV, RMS, WA, ZC, WL, DASDV, SSC, MNE, MDF)。

5. 一般回帰ニューラルネットワークベースのセグメント化予測モデル

意図に基づくバイラテラル訓練は、脳卒中患者の健康な上肢の筋肉からデコードされた運動学的情報を使用して、反対側のバランスの取れていない上肢に継続的な運動訓練を提供することを目的としている。人工ニューラルネットワークは、sEMG 機能と上肢の運動学の間非線形関係を近似するものと見なすことができる回帰問題に対して優れたパフォーマンスを発揮する。したがって、上肢の肘関節の屈曲-伸展運動を予測する

ために、バックプロパゲーションニューラルネットワーク (BPNN) を選択した。入力と目的のターゲットの間の数値関数をマップできる。

特徴ベクトルは、上腕二頭筋と上腕三頭筋の 2 つの特徴ベクトルで構成されている。つまり、特徴ベクトルの次元は 18 に設定される。データの前処理と特徴抽出の後、入力特徴ベクトルを使用して入力層と処理されたジョイント角度が構築される。ターゲットマトリックスを構築するために使用されます。MATLAB で BPNN を設定し、データによってニューラルネットワークをトレーニングした。BPNN をトレーニングするには、すべてのデータを標準データの正規化で処理する必要がある。正規化プロセスとして、BPNN テスト期間では、すべてのデータは元の状態である。その後、実際の角度と予測角度にマッピングする必要がある。

6. 実験方法と結果

上肢肘屈曲および伸展運動実験の連続的な等速運動は、すべての実験者に障害の問題および筋肉疲労がなかったという条件で実施された。ボランティアは椅子にリラックスするように座って、アルコールによる皮膚洗浄後、2 つの Ag / AgCl 双極表面 sEMG 電極を、ボランティアの左前腕の上腕二頭筋と上腕三頭筋に配置して、それぞれ sEMG 信号を収集しました。MVC テストは、sEMG 信号の正規化のために行われました。MVC テストでは、ボランティアは、上腕三頭筋 MVC と上腕二頭筋 MVC にそれぞれ対応する 0 度と 140 度で、肘の屈曲と伸展の最大可動域で等尺性収縮を実行する必要があります。被験者は、左上肢によってのみ、事前定義された一連の肘の屈曲および伸展運動を実行するように求められました。事前定義された一連の動作

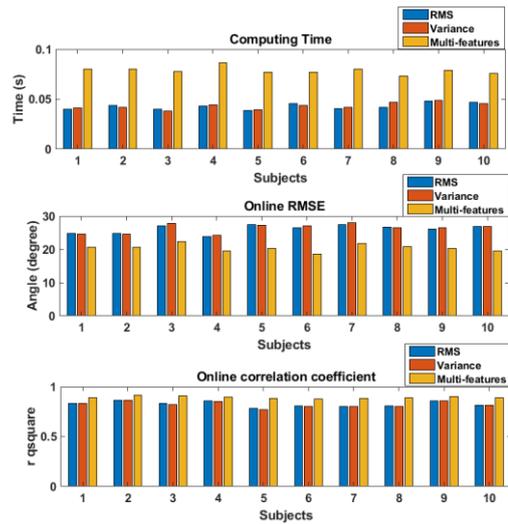


Fig.2 提案方法の実験結果

は、0~140 度の最大動作範囲での定速動作として設定されました。前述のように、予測モデルの最高のパフォーマンスを得るために、BPNN を設定するのに最も円滑なデータが選択された。角度予測モデルの性能を評価するには、その他のデータがこの訓練された BPNN に入れられた。Fig.1 と Fig.2 に示すように、BPNN に基づく角度予測モデルの予測性能は良好である。予測結果はそれぞれ、実際の角度によく適合している。

7. 結論

本論文では、訓練効果とシステム性能の評価を改善する能力を持つ BPNN に基づくリハビリテーション回復システムを提案した。提案されたシステムは、反対側の無傷の肢からの sEMG 信号に従って、外骨格デバイスによって障害のある肢に同期運動を提供することができる。

参考文献

- [1] S. Guo, Z. Yang and Y. Liu "EMG-based Continuous Prediction of the Upper Limb Elbow Joint Angle Using BPNN," In Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp.2168-2173, 2019.
- [2] Y. Liu, S. Guo, etc. "Development of a powered variable-stiffness exoskeleton device for elbow rehabilitation" Biomedical Microdevices," Vol.20, No.3, pp. 63-76. 2018.
- [3] Z. Yang, S. Guo, etc. "An intention-based Online Bilateral Training System for Upper Limb Motor Rehabilitation," Microsystem Technologies, <https://doi.org/10.1007/s00542-020-04939-x>, 2020.

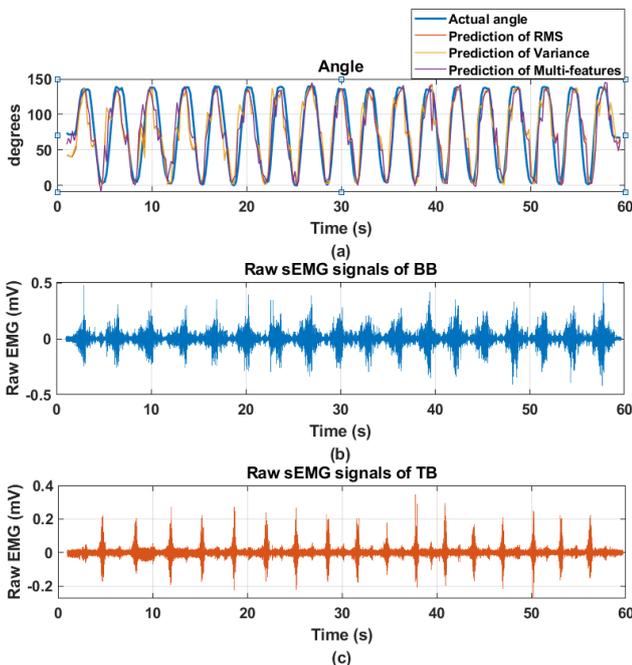


Fig.1 リアルタイム予測結果