

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：22303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500240

研究課題名(和文)脳波(EEG)を用いたパワーアシストを行う人間・機械システムの構築

研究課題名(英文)Construction of the Power Assist System for Human-Machine System Using EEG signals

研究代表者

朱 赤 (Zhu, Chi)

前橋工科大学・工学部・准教授

研究者番号：20345482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、4つの異なるタスクを設計し、脳波により運動有無の自動判別手法を提案・確認した。訓練を受けている被験者と受けていない被験者の判別率がそれぞれ85%と平均70%以上の高い判別率に成功した。また、Mirror Neuron Systemの概念に基づき、運動を想起したときの脳波から、人が持っている負荷に関する情報を抽出し、その成功率は80%以上になった。さらに、脳波を用いてパワーアシストシステムを構築するため、脳波から表面筋電を推定し、推定された筋電と実測した筋電との相関係数が、平均0.70、最大0.88と高い推定ができた。これらの結果によって、パワーアシストが可能であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In this research, four different tasks are designed for easily extracting the EEG (electroencephalography) signals. With these extracted EEG signals, an automatic discrimination approach is developed to determine whether the motion happens or not. On the other hand, with the concept of Mirror Neuron System, the load information that whether a subject is holding a load or not is extracted and the success rate is over 80%. Moreover, to construct the power assist system with EEG signals, an approach of EMG signal estimation directly from EEG signals is developed. The average of the coefficient of correlation between the estimated EMGs and the actually measured EMGs is about 0.70 and the best is as high as 0.88. The above results prove the possibility of power assist by EEG signals.

研究分野：ロボット工学

キーワード：BMI EEG パワーアシスト 人間・機械システム

1. 研究開始当初の背景

10 年間で侵襲型 BMI (Brain Machine Interface) の研究は飛躍的な進展が見られる一方、非侵襲型、特に脳波 (EEG) を用いる BMI の研究も盛んに行われている。PC の画面に表示された点滅する文字をユーザーが注目したときに発生する P300 と呼ばれる EEG をスイッチとし、ユーザーが注目した文字を PC に打ち込む脳波キーボードがあるが、1 時間に 2、3 文字と遅いという問題がある。また、モニターに映し出された点滅マーカに注目し、P300 の EEG や、ユーザーが運動を想起したときの α 波 (8-12Hz) の変化を EEG の特徴として電動車椅子を制御する研究も行われているが、これらのものは、各進行方向への ON/OFF 制御となっており、解析速度は 125ms ~ 500ms である。これらの研究から、ユーザーが運動想起した際の EEG は、ユーザーの望む動作を能動的にロボットの制御に用いる可能性を示したが、解析速度の遅さや多次元情報の抽出の難しさなどのため、EEG 信号を用いたりリアルタイムでのロボットの制御はまだ少ない。特に、これまでの BMI は殆ど重度障害者のために開発されてきており、障害者を介護する介助者のような重労働を行う健常者へのパワーアシスト装置を制御する BMI はまだ報告されていない。本研究は、この問題を解決するため、運動または運動想起時の人の脳波 (EEG) 信号を用いて、ロボットを利用しようとする時の人の多次元の必要な力・トルク情報を推定することにより、パワーアシストが可能になる非侵襲型 BMI を用いた人と機械システムの融合技術を開発する。

2. 研究の目的

外部の力センサや筋電センサを使わずに、運動または運動想起時の人の脳波 (EEG) 信号を用いて、人の行動意図を認識し、介護福祉ロボットを利用しようとする時の人の多次元の必要な力・トルク情報を推定することにより、

より、脳卒中の障害者の運動機能回復や介護者のパワーアシストが可能になる非侵襲型 BMI を用いた人と機械システム (福祉ロボットや義肢、義足、福祉機器など) の融合技術の確立および実機検証を本研究の目的とする。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、3 つの研究 (1) 運動想起および運動時の α 波と β 波の変化を用いた運動判別とロボットの制御 ; (2) 脳波から関節に作用している筋電の推定 ; (3) Mirror Neuron System に基づいた脳波から直接負荷情報の抽出、に展開した。

4. 研究成果

(1) 運動想起および運動時の α 波と β 波の変化を用いた運動判別とロボットの制御
閉眼時、開眼時、運動想起および運動の 4 つの異なるタスクを設計し、Short-time FFT により、それぞれの α 波、 β 波を EEG の特徴として抽出し、ロボットアームの 1 関節を制御することに成功した。図 1 に示した実験結果のように、運動想起は 10 数秒以上になると人間の集中力が落ちてしまい、逆に、運動 (荷物を保持する) 時の EEG 信号は比較的安定していることが分かった。このことから、被験者に負荷が掛かる時に EEG を用いたパワーアシストが可能であることが考えられる。さらに、運動判別の精度を向上するため、上記の 4 つのタスクと α 波、 β 波を調べ、Mahalanobis distance を用いて、運動有無の自動判別手法を提案・確認した。これまでの 2 次元での運動意図の判別の実績は訓練を受けている被験者は 85% 以上、訓練を受けていない被験者は平均 70% 以上。

(2) 脳波から筋電の推定

我々は筋電を用いた拡張アドミッタンス制御によるパワーアシストシステムを提案し、その有効性を実機検証により確認した。その

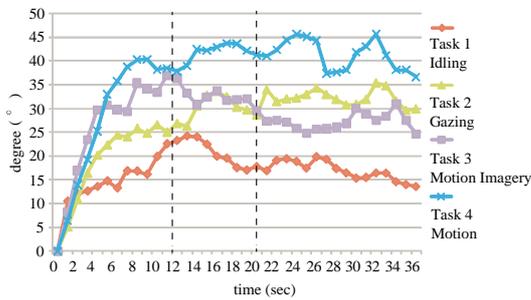


図 1 脳波を用いてロボットアームを制御する実験結果

技術を踏まえ、人間の脳活動の情報を用いてパワーアシストシステムを構築することを目的とし、主成分分析手法を用い、第一主成分により脳波（EEG）から肘関節の運動に関する上腕 2 頭筋の表面筋電（sEMG）を推定することに成功した。推定された表面筋電と実測した表面筋電との相関係数が、平均 0.70、最大 0.88 と高い推定が出来ていることが確認された(図 2)。この基礎研究の結果から、脳波から筋電の推定が可能であることを確認し、さらにパワーアシストが可能であることが示唆された。さらに、最近では、脳波から肩関節の表面筋電を推定しようとする際に、寄与率から、第一主成分のみで肩関節の表面筋電の情報量は低く、第三主成分まで 99% の肩の筋電情報が含まれていることを解明した。この研究結果から、主成分分析手法により、第一主成分から第三主成分までを用いれば脳波から筋電を安定的に推定することが可能であることが示唆された。現在はこの結果に基づき、逐次最小二乗法によりモデルの更新を行う手法を用い、リアルタイムで肩関節の筋電信号を推定する研究が進んでいる。

(3) 脳波から直接負荷情報の抽出

上記の研究と同時に、脳波から筋電の推定を行わず、脳波より直接パワーアシストができるかを試した。運動をイメージしたときの脳波から運動強度に関する情報を直接抽出

するために、Mirror Neuron System の概念に基づき、重りを持っている時と持っていない時の映像を見た後に、脳波の α 波(8-12Hz)

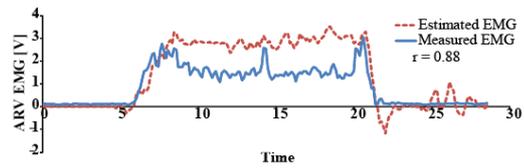


図 2 (a) 肘関節が 1 回の屈曲/伸展時の推定された表面筋電と実測筋電

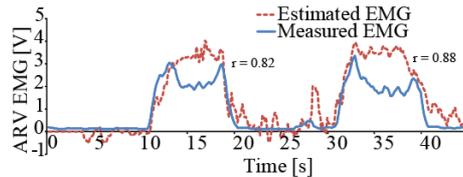


図 2 (b) 肘関節が 2 回の屈曲/伸展時の推定された表面筋電と実測筋電

による、自分が重りを持っているかどうかの運動想起の判別の成功率は 80% 以上になった。この結果により、運動想起時の脳波から負荷情報の差を識別可能であり、脳波から筋電の推定を行わず、脳波より直接パワーアシストができることが示唆された。

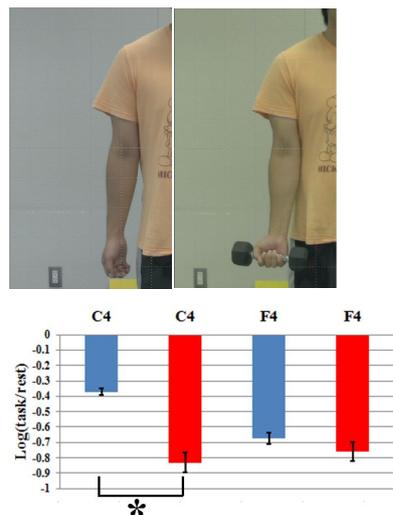


図 3 被験者が負荷を持っていないときと持っているときの映像を見た後の α 波の変化の有意差があることが確認できた。

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 5 件)

1. K. Uemoto, M. Yoshioka, H. Liang, and C. Zhu, Effect of Motor Intensity on Motion Imagery with EEG Signal Analysis in Mirror Neuron System, Journal of Neuroscience and Neuroengineering. Accepted. In press. 2015.
 2. M. Yoshioka, C. Zhu, K. Imamura, F. Wang, H. Yu, F. Duan and Y. Yan, Motion Classifier Generation by Mahalanobis Distance for BMI Robotic Arm Control System. Accepted. In press. 2015. Journal of Neuroscience and Neuroengineering.
 3. M. Yoshioka, C. Zhu, K. Uemoto, H. Liang,, H. Yu, F. Duan, and Y. Yan, Experimental design and signal selection for construction of a robot control system based on EEG signals, Robotics and Biomimetics, Vol. 1, Issue 1, pp.1-11. 2014.
 4. C. Zhu, Y. Okada, M. Yoshioka, T. Yamamoto, H. Yu, Y. Yan and F. Duan, Power Augmentation of Upper Extremity by Using Agonist Electromyography Signals Only for Extended Admittance Control, IEEE Journal of Industry Applications, Vol.3, No.3, pp.260-269, 2014.
 5. Feng Duan, Qi Gao, Chi Zhu, Ryu Kato, and Tamio Arai, An Assembly Skill Transferring Method for Cellular Manufacturing System - Part I: Verification of the Proposed Method for Motor Skill, IEEE Transaction on Automation Science and Engineering. Vol. 10, No.2, pp. 465-470, 2013.
- [学会発表](計 30 件)
1. H. Liang, C. Zhu, Y. Yoshikawa, M. Yoshioka, K. Uemoto, H. Yu, Y. Yan and F. Duan, EMG Estimation from EEGs for Constructing a Power Assist System, Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 419-424, 2014.
 2. K. Mun, H. Yu, C. Zhu, M. Cruz, EMG Design of a Novel Robotic Over-ground Walking Device for Gait Rehabilitation, The Proceedings of the 2014 13th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, pp.458-463, March, 2014.
 3. T. Suzuki, C. Zhu, T. Sakai, Y. Okada, Y. Yoshikawa, M. Yoshioka, Y. Yan, H. Yu and F. Duan, Power Assistance of an Omnidirectional Hybrid Walker and Wheelchair with Admittance Model and Iterative Learning Control, The Proceedings of the 2014 13th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, pp. 446- 451, March, 2014.
 4. M. Yoshioka, C. Zhu, K. Uemoto, Y. Yuichiro, H. Yu, Y. Yan, F. Duan, Motion Classifier Generation Using EEG for Robot Control, Proceedings of the 6th Annual International IEEE EMBS Neural Engineering Conference, pp. 711- 714, 2013.
 5. Y. Yoshikawa, C. Zhu, M. Yoshioka, K. Uemoto, Y. Yan, H. Yu, F. Duan, Muscular Activity Estimation From EEGs Using Principal Component Analysis for Brain Machine Interface, Proceedings of Fifth International Brain-Computer Interface Meeting, Article ID: 138, 2013.
 6. H. Yu, M. Cruz, G. Chen, S. Huang, C. Zhu, E. Chew, Yee Ng, N. Thakor, Mechanical Design of a Portable Knee-Ankle-Foot Robot Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2013), pp. 2183 - 2188, May 2013.
 7. K. Uemoto, M. Yoshioka, C. Zhu, Y. Yoshikawa , Analysis of the Relationship between Load and EEG by Wavelet Transform for BMI, Lecture Notes in Artificial Intelligence, International Conference on Brain and Health Informatics, pp.459-468, Springer, 2013.
 8. Y. Okada, C. Zhu, S. Shota, T. Suzuki, M. Yoshioka, Y. Yoshikawa, Y. Yan, H. Yu and F. Duan, Motion Support of Upper Extremity with Agonist alone under Negative Admittance Control, The Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2012), pp.198-203, 2012.
 9. T. Suzuki, C. Zhu, M. Yoshioka, S. Simazu, Y. Yoshikawa, Y. Okada, Y. Yan, H. Yu and F. Duan, Power Assistance on Slope of an Omnidirectional Hybrid Walker and Wheelchair, The Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2012), pp.198-203, 2012.
 10. H. Yu, S. Huang, G. Chen, S. Toh, M. Cruz, Y. Ghorbel, C. Zhu and Y Yin, Design and

- Analysis of a Novel Compact Compliant Actuator with Variable Impedance, The Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2012), Dec. 11-14, pp.198-203, 2012.
11. G. Hoston, J. T. Ang, A. Bhandari, Y. Yan, C. Zhu, Nyquist Plot and Quantitative Characterizations of Acoustic Voice Signals for Speaker Recognitions, The Proceedings of the 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA2012), pp. 1778-1783, 2012.
 12. 岡田有司, 朱赤, 島津翔太, 吉岡将孝, 鈴木俊活, 吉川裕一郎, ネガティブアドミッタンス制御による主動筋のみのEMGを用いた腕のパワーアシスト, 第18回ロボティクスシンポジウム論文集中, pp169-174, 2013.
 13. 朱赤, 人間の筋電信号を用いた パワーアシスト技術の開発. 群馬県次世代産業研究シーズカンファレンス 2014.
 14. 上本和広, 吉岡将孝, 吉川裕一郎, 朱赤, ミラーニューロンシステムに基づいた Brain-Machine Interfaceにおける脳波と運動強度の関係性の検討, ロボティクス・メカトロニクス講演会2014, 3P2-P04, 2014年5月.
 15. 吉岡将孝, 吉川裕一郎, 上本和広, 梁宏博, 朱赤, パワーアシストシステムの構築のための脳波を用いた筋電推定手法の提案, 平成26年電気学会産業応用部門大会, 2-21, pp.II - 167 - 172, 2014年8月.
 16. 山本多聞, 朱赤, 拡張アドミッタンス制御による腕部パワーアシスト技術の開発, 平成26年電気学会産業応用部門大会, Y-67, 2014年8月.
 17. H. Liang, Y. Yoshikawa, M. Yoshioka, K. Uemoto and C. Zhu, EMG Estimation from EEGs for Constructing a Power Assist System, 第32回日本ロボット学会学術講演会, 1P1-03, 2014年9月.
 18. 朱赤, パワーアシストシステム構築のための脳波を用いた筋電推定, 上肢の神経機能回復セミナー, pp.37-38, 2014年6月.
 19. 上本和広, 朱赤, 吉岡将孝, 吉川裕一郎, Brain-Machine Interfaceにおけるウェーブレット変換を用いた脳波 (EEG) による運動識別に関する基礎研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013, 1 P1-B02, 2013年5月.
 20. 岡田有司, 朱赤, 山本多聞, 1関節1筋電センサによる肘・肩二関節連動制御手法の提案, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 1K1-02, 2013年9月.
 21. 吉岡将孝, 吉川裕一郎, 上本和広, 岡田有司, 鈴木俊活, 朱赤, ロボットアーム制御における脳波によるマハラノビスの汎距離を用いた運動判別の提案, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 1E1-08, 2013年9月.
 22. 朱赤, 拡張アドミッタンス制御による腕部パワーアシスト技術の開発, 一般財団法人群馬大学科学技術振興会H25年度セミナー, 2013年6月.
 23. 島津翔太, 朱赤, 岡田有司, 吉岡将孝, 西川知宏, 鈴木俊活, 吉川裕一郎, 伊藤貴庸, ネガティブアドミッタンスを用いたパワーアシスト性能に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2012概要集, pp.217 (2P1-C01), (2012年5月).
 24. 吉岡将孝, 吉川裕一郎, 島津翔太, 西川知宏, 鈴木俊活, 岡田有司, 伊藤貴庸, 朱赤, 運動または運動想起における特徴変化を用いたロボットアームの制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会2012概要集, pp.157 (2A1-M10), (2012年5月).
 25. 岡田有司, 朱赤, 島津翔太, 吉岡将孝, 西川知宏, 吉川裕一郎, 鈴木俊活, アドミッタンス制御と1関節1センサを用いた腕のパワーアシスト技術の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2012概要集, pp.217 (2P1-C02), (2012年5月).
 26. 吉川裕一郎, 朱赤, 島津翔太, 吉岡将孝, 岡田有司, 鈴木俊活, BMIにおける人の負荷状況の推定に関する基礎研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2012概要集, pp.157 (2A1-M09), (2012年5月).
 27. 吉岡将孝, 吉川裕一郎, 上本和広, 島津翔太, 西川知宏, 岡田有司, 鈴木俊活, 朱赤, 運動及び運動直前に関するEEGを用いた腕型ロボットアームの角度決定, 第30回記念日本ロボット学会学術講演会.
 28. 岡田有司, 朱赤, 島津翔太, 西川知宏, 吉岡将孝, 鈴木俊活, 吉川裕一郎, ネガティブアドミッタンス制御を用いた1関節1センサで実現する腕のパワーアシスト技術の開発, 第30回記念日本ロボット学会学術講演会, 口頭発表, 講演概要集 pp.150 (2k3-6), (2012年9月).
 29. 吉川裕一郎, 吉岡将孝, 朱赤, 上本和広, 島津翔太, 岡田有司, Brain-Machine Interfaceによるロボット制御のための主成分分析を用いた脳波からの筋活動推定, 第30回記念日本ロボット学会学術講演会, 口頭発表講演概要集, pp.245 (4C2-6), (2012年9月).
 30. 上本和広, 吉岡将孝, 吉川裕一郎, 朱赤,

Brain-Machine Interfaceにおけるウェーブレット変換を用いた脳波と運動負荷の関係に関する基礎研究. 第3回電気学会東京支部 栃木・群馬支所合同研究発表会.

()

研究者番号:

〔図書〕(計 0 件)

(3)連携研究者

()

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

研究者番号:

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:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.maebashi-it.ac.jp/~zhu/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

朱 赤 (ZHU, Chi)

前橋工科大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 20345482

(2)研究分担者