

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282160

研究課題名(和文) 肩義手使用者の両手協調を実現するための制御インタフェースの研究開発

研究課題名(英文) Development of control interface for bimanual coordination for shoulder prosthesis users

研究代表者

俞文偉(YU, Wenwei)

千葉大学・フロンティア医工学センター・教授

研究者番号：20312390

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、日常生活での使用を想定し、肩義手とその使用者の健常肢との協調の実現を目指すものである。以下の研究成果の統合で肩義手使用者の両手協調の実現が可能となった。1)日常生活動作に基づく可動範囲、衝突時の衝撃吸収性、アクチュエーター所要力、重量を評価指標とした肩義手の開発手法を確立した。本手法により目標とする軽量肩義手の実現ができた。2)両手協調動作の計測結果に基づき、上肢活動時の脳活動情報と肩部の筋活動情報を用いた手先の運動軌跡再構成を行い、適応型協調制御部を構築した。3)使用者への感覚フィードバックの効果をf-MRI実験で取得する脳活動情報で評価する手法を提案し、検証した。

研究成果の概要(英文)： This work aims to realize the coordination between a shoulder prosthesis and its user's normal arm, for improving the usability of shoulder prostheses in daily living environment. The integration of the following achievements would make it possible. 1) Based on the multiple indexes, including motion range, impact absorption, the force needed by actuators, weight of the prosthesis, a procedure to develop prostheses for daily living use for each individual has been established, which enabled a light prosthetic arm for this project. 2) Based on experiment results on bimanual coordination measurement, a motion reconstruction for hand from the brain activity (Electroencephalogram) and the muscle activity information (Electromyogram), an adaptive controller for bimanual coordination has been built. 3) A scheme to evaluate the effect of sensory feedback to users using f-MRI was proposed and verified.

研究分野：医用ロボティクス

キーワード：生体機能代行 福祉用具・機器

## 1. 研究開始当初の背景

上肢は人の知的作業の大半を担い、その切断は労働や日常生活に大きな障害となる。切断された上肢の機能再建を目的とし、切断者の意志で駆動される電動義手の重要性は非常に高い。両手動作の実現は片側切断者の義手装着の重要なモチベーションであり、特に肩義手の使用者の残存上肢機能が低いため、両手協調動作の要補助度が高いのみならず、残存端を介して両手協調の実現をほぼ不可能となる。

制御インタフェースにおいても、前腕義手と異なり、肩義手使用者は、制御信号源として用いられる残存上肢機能が少ないため、使用者と肩義手とのインタフェースの構築が困難である。研究代表者らの知っている限り、RIC Bionic 上肢義手の DARPA プロジェクトは神経移植をベースとした侵襲型インタフェース、イタリア Sant'Anna Pisa のグループの非侵襲型インタフェース以外、申請者らのグループは肩近傍の生体信号を用いた肩義手制御インタフェースしかない。しかし、それらの制御インタフェースは、主に肩義手単体の制御を目標として、身体の他部位との協調は、切断側の残存端と身体の固有関連を通して、行われていることを想定されたが、困難が容易に想像できる。

前腕義手のためのインタフェースにおいては、協調のための両手軌跡計測とモデリングに関する研究があった[1][2]。しかし、軌跡の再現では、上腕や肩付近の切断なら、残部が少ないため、位置合わせの精度が悪くなり、肩義手と使用者健常肢側の協調が実現不可能なことが予想できる。

現状としては、肩の切断者は、ワイヤーとハーネスを介して、体や肩の動きで操作する能動用義手以外に選択肢がない状態に陥っている。

## 2. 研究の目的

本研究は、日常生活での使用を想定し、肩義手とその使用者の健常肢との協調を実現するために、日常生活の使用に適する肩義手を開発し、ウェアラブルセンサから構成するセンサハーネスの情報を用いた適応型協調制御部、及び両手協調作業のパフォーマンスと使用者へのメンタル負荷を最適化した感覚フィードバック部からなる両手協調インタフェースを構成・検証・評価することを目指す。

## 3. 研究の方法

### 3.1 日常生活で使用する肩義手の開発

手指部・前腕義手に比べて高位切断向けの上腕、特に肩義手は機能、重量増加や残存部位の情報取得困難により開発及び患者への適用が難しい。従来の肩義手は能動式が多く、数少ない動力式開発例においても安定出力、

広可動領域であるモーター駆動が主流であるが、多段減速機構による低い逆可動性や低出力対重量比のために硬く重い義手をもたらす。少残肢のため義手移動・操作が難しく、健常腕が持つ柔軟性が喪失しており、出力性能に加え可動領域、軽量性、柔軟性すなわち安全性は肩義手に組込むべき性質である。

本研究ではこれらの性質をバランスよく有する肩義手の設計開発プロシージャの研究を行う。軽量かつ固有の柔軟性を持つ空気圧ゴムアクチュエーターと、その短所である可動領域と出力をアシストするデバイスを複合利用した肩義手を提案した。

### 3.2 インタフェースの研究・開発

これまで研究・開発してきた肩義手に、モーターおよび空気アクチュエーターのサーボ制御、肩義手の手先位置を正確に観察できるカメラの設置によって、リーチングや把持動作における正確な位置制御を可能とする。以下の方法で研究・開発を進めてきた。

- 健常者において、三つの協調モード：両手同動作、両手周期動作（位相差なし、位相差あり）、両手シーケンシャル協調（ネクターを締めるなどのタスク）において、実験を行い、動作時両側につけるウェアラブルセンサ情報の選定、特徴量抽出、運動学・動力学的再構築の方法の開発；
- 肩義手システムが健常側を計測後、追従する静的協調、及び肩義手システムが実時間で、三つの協調モードを実現可能にする動的協調制御部の実現；

### 3.3 両手協調の為の感覚フィードバックシステムの評価手法の確立

関節座標系や筋座標系と比べ、脳内活動はより直接に感覚フィードバックや機能訓練効果を反映することができるため、上肢機能における感覚フィードバックの効果について、Functional MRI (fMRI)を用いて、検討した。

## 4. 研究成果

### 4.1 日常生活の使用に適する肩義手

ベンチマークとなるパラレル/シリアル型2種類のモデル・試作機に対して、パラレル型ではリンク取付角度調整バイアスや受動柔軟装置、シリアル型には各関節におけるモーターとのハイブリッド駆動化を付加デバイスと設定した。部品寸法・使用選択などをパラメータとし、日常生活動作に基づく可動範囲、衝突時の衝撃吸収性、アクチュエーター所要力、重量を評価指標としてモデル毎に義手の最適構成を探索した。その結果、各指標が向上する構成を導出でき、本手法により目標とする軽量肩義手の実現可能性を示した。その成果は、雑誌論文1、3で公表された。

また、手部については、日常生活における様々な把持動作を行うために、把持物の形状に柔軟に適合できるソフトアクチュエータを用いた五指ハンド(右図)を開発した。こちらの成果は、国際学会 3、10 において公表した。



#### 4.2 インタフェースの開発と検証

上肢運動時肩部筋電信号、脳活動情報をとらえる脳波信号を信号源とした手の運動軌跡再構成を行った。目標とする運動軌跡と再構成された運動軌跡の相関は、相関係数 0.7 を達成した。16 名の被験者が参加する実験において、その有効性を検証した。この成果は雑誌論文 1、国際学会論文 7 において、公表した。さらに、肩義手の制御器を学習的に構築するために、不可欠な訓練手法として、バーチャルアバターを用いた提示手法を提案し、検証を行った。正確な運動提示ができなくても、制御器の構築、訓練が十分できることを立証した。その成果は、投稿中論文でまとめられた。

さらに、上肢につける加速度計によって、使用者が実行しようとする動作の推定手法を開発し、実験において、その効果を検証した。この成果は、雑誌論文 3 で公表した。

#### 4.3 fMRI を用いた感覚フィードバック法と機能訓練効果の評価

訓練中に、動作に合わせて、切断側(あるいは障害側)に振動を与え、fMRI でとらえた健常側と切断側(あるいは障害側)の脳活動の比較を行った。その結果、適切な振動覚を与えることで、感覚フィードバックの効果によって、訓練の効果があることが明らかになった。こちらの成果は、国際学会 9、図書 1 で公表した。

#### <引用文献>

- [1] 魚井、猪平、横井、筋電義手のための両腕協調動作生成システムによる日常生活で行う動作の生成、生体医工学、50(4)、337-344、2012
- [2] 大河原、金岡、吉川、関節変位情報に基づく動力義手操作手法、RSJ2009AC1C1-02

#### 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 6 件)

1. Jacobo Fernandez-Vargas<sup>1</sup>, Kahori Kita and Wenwei Yu, Real-time Hand Motion Reconstruction System for Trans-Humeral Amputees Using EEG and EMG, Front. Robot. AI, 17 August 2016 | <http://dx.doi.org/10.3389/frobt.2016.00050>, vol. 3, article 50, 14p.

2. Masashi Sekine, Kouki Shiota, Kahori Kita, Akio Namiki and Wenwei Yu, A lightweight, shoulder prosthesis with antagonistic impact-absorbing hybrid actuation for bimanual ADL, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 8(4) pp. 1-17, DOI: 10.1177/1687814016645982 April, 2016
3. Jose Gonzalez-Vargas, Strahinja Dosen, Sebastian Amsuess, Wenwei Yu and Dario Farina, Human-Machine Interface for the Control of Multi-Function Systems based on Electrocutaneous Menu: Application to Multi-grasp Prosthetic Hands, PLOS ONE, DOI: 10.1371/journal.pone.0127528, June, 2015
4. Masashi Sekine, Kahori Kita and Wenwei Yu, Designing and testing lightweight shoulder prostheses with hybrid actuators for typical ADL motions and impact absorption. Medical Devices: Evidence and Research, (Accepted for publication, 21st April 2015), DOI <http://dx.doi.org/10.2147/MDER.S83756> 6 July 2015 Volume 2015:8 Pages 279-294, 2015
5. Hailong Yu, Le Xie, Chao Lv, Wei Shao, Yuan Wang, Jinwu Wang, Wenwei Yu, A System for Upper Limb Rehabilitation and Motor Function Evaluation, Journal of Mechanics in Medicine and Biology, Vol. 15, No. 1, DOI: 10.1142/S0219519415500104, 19 pages, Feb. 2015
6. Masashi Sekine, Le Xie, Kazuya Kawamura and Wenwei Yu, Improvement and Quantification of Spatial Accessibility and Disturbance Responsiveness of Shoulder Prosthesis, International Journal of Advanced Robotic Systems, DOI: 10.5772/60031, Vol. 12, No. 11, Feb. 2015

〔学会発表〕(計 13 件)

1. Wenwei Yu (keynote), A Robotic Approach to Home Monitoring and Care Supporting, 2016 International Symposium on InfoComm & Media Technology in Bio-Medical & Healthcare Application (2016 IS-3T-in-3A), Oct. 23-26, 2016, Singapore
2. Keigo Nakahata, Enrique Dorrnoro, Nevrez Imamoglu, Masaki Sekine, Kahori Kita and Wenwei Yu, Active sensing for human activity recognition by a home bio-monitoring robot in a home living environment, Intelligent Autonomous Systems 14, July 3-7, Shanghai, China, 2016
3. Kouki Shiota, Tapio V. J. Tarvainen, Masaki Sekine, Kahori Kita and Wenwei Yu

- Yu, Development of a Soft Robotic Thumb Rehabilitation System Using Parallel Link Mechanism with Pneumatic Actuators, The 14th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-14), July3-7, Shanghai, China, 2016
4. Leeyee Chu, Jacobo Fernández-Vargas, Kahori Kita and Wenwei Yu, Influence of Stimulus Color on Steady State Visual Evoked Potentials, The 14th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-14), July3-7, Shanghai, China, 2016
  5. Jacobo Fernandez-Vargas, Lee Yee Chu, Kahori Kita, Wenwei Yu, 3D Continuous Hand Motion Reconstruction from dual EEG and EMG recordings, DOI: 10.1109/ICIIBMS.2015.7439491, 2015 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS), 28 Nov - 30 Nov 2015, Okinawa, Japan
  6. Jacobo Fernandez-Vargas, Lee Yee Chu, Kahori Kita, Wenwei Yu, BCI Optimization for 3D Continuous Hand Movement Reconstruction from EEG and EMG recordings, poster session, German-Japan Adaptive BCI Workshop, Oct. 28-29, 2015, Kyoto, Japan
  7. Fernandez-Vargas J, Chu L, Kita K and Yu W (2015). BCI Optimization for 3D Continuous Hand Movement Reconstruction from EEG and EMG recordings. Front. Comput. Neurosci. Conference Abstract: German-Japanese Adaptive BCI Workshop. doi: 10.3389/conf.fncom.2015.56.00021 Received: 14 Sep 2015; Published Online: 04 Nov 2015.
  8. Tarvainen, Tapio Veli Juhani, Wenwei Yu, Preliminary Results on Multi-Pocket Pneumatic Elastomer Actuators for Human-Robot Interface in Hand Rehabilitation, 2015 IEEE Conference on Robotics and Biomimetics, December 6-9, 2015, Zhuhai, China
  9. Kazuya Imai, Kahori Kita, Wenwei Yu, Vision and Touch Illusions Improve the Experience Given by the Mirror Feedback on Brain Activity with Cerebral Stroke, poster session, 2015 International Symposium on InfoComm & Media Technology in Bio-Medical & Healthcare Application (2015 IS-3T-in-3A), November 15-18, 2015, Chiba, Japan
  10. Kouki Shiota, Masashi Sekine, Kahori Kita, Wenwei Yu, Development of a Soft Robotic Thumb Rehabilitation System using Parallel Link Mechanism with Pneumatic Actuators, poster session, 2015 International Symposium on InfoComm & Media Technology in Bio-Medical & Healthcare Application (2015 IS-3T-in-3A), November 15-18, 2015, Chiba, Japan
  11. Tapio V. J. Tarvainen, Wenwei Yu, Development of a Soft Hand Rehabilitation Device with Integrated FES, poster session, 2015 International Symposium on InfoComm & Media Technology in Bio-Medical & Healthcare Application (2015 IS-3T-in-3A), November 15-18, 2015, Chiba, Japan
  12. Jacobo Fernandez-Varga, Wenwei Yu, 3D Continuous Hand Movement Reconstruction from EEG and EMG Recordings, poster session, 2015 International Symposium on InfoComm & Media Technology in Bio-Medical & Healthcare Application (2015 IS-3T-in-3A), November 15-18, 2015, Chiba, Japan
  13. Wenwei Yu, (Invited), Evaluation of Mental Workload of Assistive Devices, The 4<sup>th</sup> International Conference of Rehabilitation Medical Engineering (CRME), May 30-31, 2015, World Expo Park, Shanghai, China.
- 〔図書〕(計 1 件)
1. Kazuya Imai, Kaori Kita and Wenwei Yu, Examination of the effect by using touch illusion stimulation together for mirror therapy -Measurement by the fMRI, Advances in Intelligent Systems and Computing, Proceedings of the 14th International Conference IAS-14, Eds: Weidong Chen, Koh Hosoda Emanuele Menegatti, Masahiro Shimizu Hesheng Wang, Springer, ISBN: 978-3-319-48035-0, pp. 539-548, 2016
- 〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)  
取得状況 (計 0 件)
- 〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.tms.chiba-u.jp/~yu/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
俞文偉 (YU Wenwei)  
千葉大学・フロンティア医工学センター・教授  
研究者番号：20312390
  - (2) 研究分担者
  - (3) 連携研究者
  - (4) 研究協力者  
栗城真也 (KURIKI Shiya)  
王力群 (WANG Liqun)  
ROLF Pfeifer (ROLF Pfeifer)  
関根 雅 (SEKINE Masashi)