

平成 22 年 5 月 18 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19300199
 研究課題名(和文) 運動機能及び感覚機能代行におけるダイナミカルカップリングに関する研究
 研究課題名(英文) Dynamical Coupling in Motor-Sensory Function Substitution

研究代表者
 俞 文偉 (YU WENWEI)
 千葉大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：20312390

研究成果の概要(和文): 本研究は運動機能及び感覚機能代行における機能補助機器とその使用者間の動的協調の実現を目指すものである。研究期間中、機能補助機器を筋電義手に限定し、(a) 様々な動的タスクにおける肩・アーム・手複合体の協調特性の計測や動的補助動作を実現するための使用者運動意図の識別方法の開発、(b) 使用者への感覚提示方法の提案、(c) (a)と(b)の統合で、動的協調を実現するためのインタフェースの構築を行い、その有効性を検証した。

研究成果の概要(英文): The goal of this proposal is the realization of dynamical coupling between assistive device systems for motor-sensory function substitution and their users. During the term of this project, EMG (Electromyographic) prosthetic hand was taken as the example of the assistive device. Towards this goal, we proceeded in three stages: (a) investigation of the general sensori-motor characteristics of human shoulder-arm-hand complex, and development of an interaction-based adaptation method to enable the dynamical coupling, based on the results from the previous stage; (b) development of a multi-modal sensory feedback method; (c) realization of the prosthetic hand control system that uses EMG and kinematic signals for forward control and bio-sensory stimulation for feedback control. The evaluation then will be performed to the integrated prosthetic hand system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2009年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野： 総合領域
科研費の分科・細目： 人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学
キーワード： 生活支援技術，機能代行

1. 研究開始当初の背景

上肢，特に前腕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．したがって，切断された前腕の機能再建を目的とし，切断者の意志で駆動される義手の重要性は非常に高い．近年形状，重量，制御自由度的に人の手に近いロボットハンドが多数開発されてきた．しかし，日常生活において，使用できる電動義手はまだ少ない．その原因の一つは使用者とロボットハンドのインタフェースにある．

侵襲性のインタフェース技術は，関連残存神経から運動意思を直接に検知し，または関連残存神経を直接に刺激することに基づく．EUのCYBERHAND Project (ICT-2001-35094)は埋め込み電極，またDARPAにサポートされているRIC Bionic 上肢義手プロジェクトは神経移植をインタフェース実現のベースとしている．しかし，それらの侵襲性インタフェース技術は，まだ予備的研究の段階にあり，免疫面，衛生面または材料の生体適合の問題に対処しなければならず，実用まではまだ長い年月がかかる．したがって，ここ数年の間に，まず非侵襲型インタフェースの技術基盤を完全に確立する必要がある．

非侵襲型インタフェースには，BCI(brain computer interface)，圧力センサー及び筋電センサーを用いるものがある．BCIは脳波を制御信号源とし，重度運動機能損傷者にも外部機器を制御する可能性を与える．しかし，BCIによって提供される制御自由度の数はまだ少ない(1-2)．Rutgers大学Craeliusのグループは手切断者の前腕の皮膚表面に置かれた圧力センサーの情報から指運動を検知できたことを報告した．基本的な考えは，指を動かすための残存運動イメージ(residual kinetic imaging)は，適切なセンサー配置及び信号処理によって抽出できることである．同じ考えに基づいて，前腕表面筋電位も手と前腕運動意図の識別に用いられた．しかし，日常生活で義手を使用することを考えると，既存の非侵襲インタフェース技術には以下のような問題がある．

(1) ローカルセンサー情報に基づいた意図検出： 日常生活において，殆どの上肢活動は肩・アーム・手複合体の協調を必要とする．運動制御の研究領域では，把持，リーチング，指で平面上のスリットの触知，ボール投げ運動中に，手，肘，肩の軌跡が密にカップリングしている

ことが示された．よって，ローカルセンサー情報のみで，全身(少なくとも肩・アーム・手複合体)の協調運動を識別しようとする，誤認識が発生しやすくなる．その結果，安定な連続的運動の実現が困難となる．

- (2) 静的制御(オン-オフ)： 多種多様な日常生活動作において，使用者と連続的に協調的な運動を実現するために，補助機器の動作も時間の関数として制御を行う必要がある．すなわち，静的制御のみで，時間の概念を導入せずに，動的な運動は実現し得ない．
- (3) 求心性感覚フィードバック情報の欠如(視覚フィードバックのみ)： 視覚フィードバックにだけ依存する場合，使用者への認知的負担(Cognitive Burden)が大きく，技能獲得は十分な感覚情報が得られないため遅くなり，また，日常生活において，長期的使用を考える場合でも，補助機器と使用者間の一体感を達成し難しい．自己行動の感覚的効果(sensory consequence)を予測するための内部モデル，及び筋肉や関節の状態を表す固有感覚情報(proprioception)から適切な筋制御コマンドを計算する内部力学モデルが，運動制御の研究にとって重要な概念である．使用者の身体への適切な感覚フィードバックなしでは，手の固有感覚も失った切断者は，上肢の内部モデルの構築と維持ができなく，さらに，上肢の運動のモニタリングもできなくなるため，実時間で応答し，動的に運動することが不可能となる．感覚フィードバックに関しては，触覚をフィードバックするため，静止時表皮電気刺激の位置，周波数などの刺激パラメーターの影響について，80年度初期に，調査され報告されたが，動的補助動作を必要とする感覚代行及び運動機能代行を実現するための感覚フィードバック法，さらに自己運動関連のフィードバック法については，殆ど研究されていない．

2. 研究の目的

それらの機能補助機器の研究開発の最終目標は，使用者が日常生活において，補助機器を自分の身体の一部として認識し，自在に使用すること，すなわち機器と使用者の一体感の実現することである．本提案はその一体

感に関して次の研究仮説を立てた．すなわち，
一体感の実現は，日常生活動作(Activities of Daily Living: ADL)において，機能補助機器と使用者身体間の動きの協調を必要とする．この仮説を検証すると同時に，動的協調を実現するための機器のコントローラと使用者の運動制御のダイナミカルカップリングを可能にするインタフェース：動的補助動作を実現するための使用者運動意図の識別方法及び使用者への感覚提示方法の構築を目指すものである．

具体的に，本プロジェクトの研究期間中，研究対象を手の運動と感覚機能を代行する筋電義手に限定し，研究開発を行う予定であるが，ここでのアプローチは他の機能部位の機能補助にも適用可能である．

3．研究の方法

(1) 肩・アーム・手複合体の感覚-運動(sensory-motor)特性の計測・解析，及び上肢運動全体のセンシングによる運動意図検知

本項の主なゴールは，異なるタスク(例えば，異なる位置および方位の物体に到達そして把持し，異なる目的での移動)を実行中，肩，アーム，手の運動の力学的・運動学的相関性を調査することである．まず，肩・アーム・手測定システム：指運動計測用のデータグローブ，前腕と上腕用運動計測用 EMG センサー，加速度計，ジャイロスコプ・センサーおよび関節位置検知用のモーションキャプチャシステムを用いて測定システムを構築した．次に異なる運動タスク：異なる位置および方位の物体にリーチングし，それを把持するタスクで，10 人の健康者を被験者として上肢運動の測定を行った．

また，運動特性の個人差と時間変化性に対応する動的補助動作の意図識別を学習的に獲得する方法の構築を目的とする．具体的に複合体の計測・解析で得られる動的モデルを初期の制御モデルとする．このモデルは(a)ユーザによる指示及び(または)評価，(b)センサー入力および運動出力ペアのモニタリングによって，内部データモデルを構築し，制御モデルの修正を行う．そのように，特徴スペースの時空間的連続性を利用して，学習方法によってフォワード制御モデルを自動的に調節できる．すなわち使用者は，ある運動カテゴリーのための代表的な特徴運動を示すことにより，装置に指示を与え，指示された運動データは集められ，内部データセットの更新および既存の動的フォワード制御モデル微調整のために使用される．

(2) ボディ運動イメージの可塑性

本研究は，脳が一部の機能を代行する外部機器を身体の一部として識別することを可能にするメカニズムの解明を試みる．本項

の実験は 10 人の被験者を募集し，電気，音声などの物理システムで身体に多くの情報量を転送できるマルチモーダルの刺激スキームの開発を行った．また，感覚フィードバックによる人間の動的連続運動に対する影響を調べるために，異なる刺激プログラムに関して，運動の正確さおよび外乱に対する応答特性を評価する実験を行った．

(3) システム統合と検証

本項は，これまで確立した動的動作における意図識別法と感覚フィードバック法を統合し，検証した．具体的には，モデルや計測によって得られた動的過程における求心性活動情報を参考に，意図識別できた動的動作の過程に応じて，音声や電気刺激によって運動状態(位置，速度)を提示し，機器使用者と使用者間のカップリングを目指す動的インタフェースを構築した．

4．研究成果

(1) 上肢運動全体のセンシングによる運動意図検知

健康者 10 名で，運動タスク中の動作識別テストを行った．

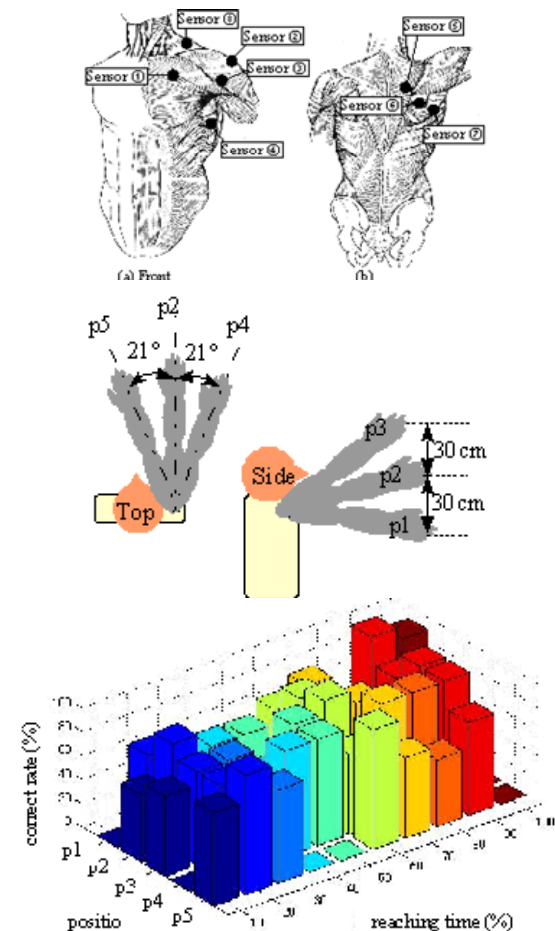


図1 肩周辺の筋活動より前腕動作の識別上：センサ位置 中：識別動作 下：識別結果

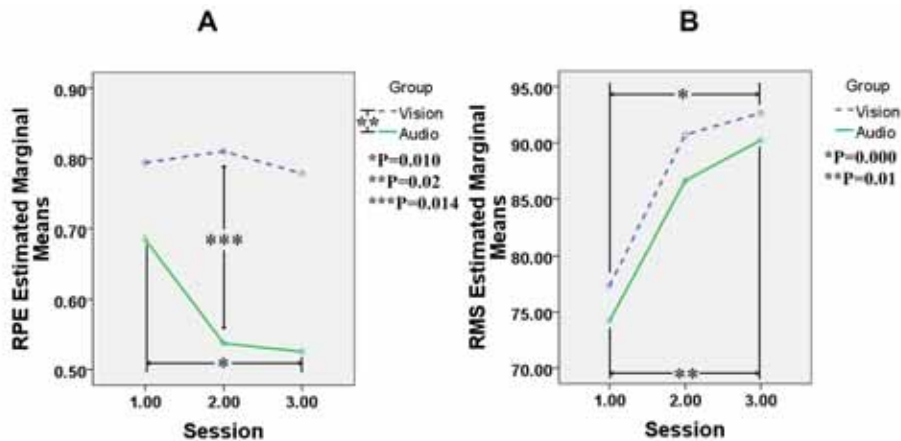


図2 音声フィードバックと視覚フィードバックグループの指標値の変化

図1は肩周辺の筋活動より前腕動作の識別実験のセンサ位置、識別動作、及び識別結果を示す。リーチング動作の過程(reaching time軸)の各時点に、識別率が異なるが、リーチング動作の途中から、識別が可能になっていることが分かる。

(2) ボディ運動イメージの可塑性

2種類の運動学指標を用いて、評価を行った。RPE(Relative Position Error)は各経過点における理想軌跡と実際軌跡の誤差を表し、RMS (Relative Motion Score)は時間的要因を考慮した評価指標となる。

図2は音声による感覚フィードバックグループ(AFG)と視覚フィードバックグループ(VFG)の指標値の変化を示す。セッションが進むにつれ、AFGとVFGのRPEの差が大きくなるが、RMSにおいては、その両グループの差はほとんど変化がなかった。音声フィードバックは視覚フィードバックよりも、理想軌跡の追従誤差を早く減少させる。認知負担の高い視覚フィードバックの代わりに、音声フィードバックによる運動の提示の可能性を示した。これから電気刺激や機械振動刺激などのフィードバック手段と組み合わせて、さらに有効なマルチモーダルフィードバックを目指す。

(3) システム統合と検証

本項においては、具体的な成果は以下の2項目に分けることができる。

健常者10名を対象に、リーチング、グラスピング時外乱条件下の遂行性や認知負担の軽減を評価項目として、確認実験を行った。実験においては、健常者の手の動きに影響を与えないように、被験者の前腕に装具を介して義手を装着し、被験者を2つのグループに分け、それぞれ従来の静的インタフェースと動的インタフェースを用いて実験を行った。記録された関節軌跡やセ

ンサーログを分析した結果、その有効性を確認した。

機能的電気刺激による歩行支援においては、歩行位相を両足に付けている加速度センサーの信号から検出し、その位相に応じて、電気刺激信号を送ると同時に、位相遷移に応じて、音声や電気刺激によって運動状態(位置、速度)を提示するシステムを実装した。歩行障害者2名によって、検証実験を行い、有効性を確認した。

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 18件)

1. Jose González, Yuse Horiuchi, Wenwei Yu, Classification of upper Limb Motions from Around-Shoulder Muscle Activities for Hand Biofeedback, the special issue on Data mining techniques in Medical Informatics in Open Access Medical Informatics Journal, accepted
2. Wenwei Yu, Toshiharu Kishi, Rajendra Acharya U, Yuse Horiuchi, Jose Gonzalez, Finger Motion Classification by Forearm Skin Surface Vibration Signals, the special issue on Data mining techniques in Medical Informatics in Open Access Medical Informatics Journal, accepted
3. Myagmarbayar Nergui, Chieko Murai, Yuka Koike, Wenwei Yu, Rajendra Acharya U, Probabilistic Information Structure of Human Walking, Journal of Medical System, accepted
4. Baoping Yuan, Guanghao Sun, Jose Gomez, Yu Ikemoto, Jose Gonzarlez, Chieko Murai, Rajendra Acharya U, Wenwei Yu, The Effect of an Auxiliary Stimulation on Motor Function Restoration by FES, Journal of Medical System, accepted

5. Wenwei Yu, Yu Ikemoto, Rajendra Acharya, Jun Inoue, Comparing Normal Walking and Compensated Walking, Their Stability and Perturbation-Resistance -A Simulation Study-, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H, Journal of Engineering in Medicine, accepted
 6. Jose Gonzalez, Alejandro Arieta, Wenwei Yu, Multichannel Audio Biofeedback for Dynamical Coupling between Prosthetic Hands and Their Users, Industrial Robot, accepted.
 7. Wenwei Yu, Rajendra Acharya U, Teik-Cheng Lim, Hiong Wei Low, Nonlinear Analysis of Body Response to Functional Electrical Stimulation on Hemiplegic Subjects, Journal of Engineering in Medicine, part H, accepted.
 8. Mizukura, T. Tamura, Y. Kimura and W. Yu, New application of IEEE 11073 to home health care, The Open Medical Informatics Journal, Vol. 3, 2009 (in press)
 9. Ryu Kato, Hiroshi Yokoi, Alejandro Hernández Arieta, Wenwei Yu, Tamio Arai: Mutual adaptation among man and machine by using f-MRI analysis. Robotics and Autonomous Systems 57(2): 161-166, 2009
 10. Yu Ikemoto, Wenwei Yu, The Roles of CPG Phase Modulation and Reflexive Muscular Patterns in Balance Recovery During Walking - A Simulation Study, Applied Bionics and Biomechanics, Vol. 5, No.1, 1-11, 2008.
 11. Wenwei Yu, Yu Ikemoto, An artificial reflex improves the perturbation-resistance of a human walking simulator, Medical and Biological Engineering and Computing, Special Issue of World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006, springer. DOI, 10.1007/s11517-007-0255-1, 2007
 12. H. Yokoi, R. Kato, A. H. Arieta, T. Arai, K. Ikoma, T. Miyamoto, H. Makino, T. Onishi, W. Yu, EMG Prosthetic Hand Based on Mutual Adaptable Functionality, PO Academic Journal, pp.83 - 92 , Vol. 14 No.2, 2007 (in Japanese)
 13. Alejandro Hernandez Arieta, Ryu Kato, Wenwei Yu, Hiroshi Yokoi, The Man-Machine Interaction: The influence of Artificial Intelligence on Rehabilitation Robotics, In 50 Years of Artificial Intelligence : Essays Dedicated to the 50th Anniversary of Artificial Intelligence, M. Lungarella, F. Iida (Eds.) , Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4850, pp. 221-231, Jan. 2007
 14. Toshiharu Kishi, Wenwei Yu, Finger Motion Recognition by Skin Surface Vibration Patterns, International Journal of Bioelectromagnetism, Num. 1, Vol. 9, pp. 48-49, 2007
 15. Akifumi Suzuki, Wenwei Yu, Detecting Slip Perturbation during Walking from Accelerometer Information, International Journal of Bioelectromagnetism, Num. 1, Vol. 9, pp. 50-51, 2007
 16. Haifeng Li, Wenwei Yu, Effect of Self-Action on Hand Tactile Sensing, International Journal of Bioelectromagnetism, Num. 1, Vol. 9, pp. 92-93, 2007
 17. Jose Gonzalez Vargas, Wenwei Yu, Preliminary Results of a Recognition Training for Dynamical Electrical Pattern Feedback, International Journal of Bioelectromagnetism, Num. 1, Vol. 9, pp. 94-95, 2007
 18. Yu Ikemoto, Wenwei Yu, A Human Walking Simulator with Reflexive Responses to Perturbation and Its Evaluation, International Journal of Bioelectromagnetism, Num. 1, Vol. 9, pp. 134-135, 2007
- [学会発表](計 8 件)
1. Jose Gonzalez, Wenwei Yu, Multichannel Audio Aided Dynamical Perception for Prosthetic Hand Biofeedback, WeDINT2.6, IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 23-26, 2009, Kyoto
 2. Yuse Horiuchi, Toshiharu Kishi, Jose Gonzalez, Wenwei Yu, A Study on Classification of Upper Limb Motions from Around-Shoulder Muscle Activities, WeDINT2.18, IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 23-26, 2009, Kyoto
 3. Yu Ikemoto, Wenwei Yu, An Artificial Reflex Improves the Perturbation Resistance of Normal and Spastic Walking, ThDINT4.18, IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 23-26, 2009, Kyoto
 4. G. V. E., Jose, W. Yu, Audio Aided Electro-Tactile Perception Training for Finger Posture Biofeedback, Proceedings of 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 4230-4233, Vancouver, Canada, Aug. 20-24, (2008)
 5. Yu Ikemoto, Wenwei Yu, A Study on Balance Maintenance Strategies During Walking, Proceedings of 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 5073-5076,

- Vancouver, Canada, Aug. 20-24, (2008)
6. C. Murai, W. Yu, A Study on Phase Division for AOAAT Stair-Climbing, Proceedings of Indonesia-Japan Joint Scientific Symposium 2008, pp. 137-142, Sep. 9-11, (2008)
 7. H. Li, W. Yu, Self-action's Effect on Tactile Sensing, Proceedings of Indonesia-Japan Joint Scientific Symposium 2008, pp. 143-148, Sep. 9-11, (2008)
 8. Yu Ikemoto, Wenwei Yu, The Roles of CPG Phase Modulation and Reflexive Muscular Patterns in Balance Recovery Reflexive Responses to Perturbation during Walking, Proc. of the 29th annual International Conference of the IEEE Engineering In Medicine and Biology Society (EMBS07), pp. 2389-2393, Lyon, France, (2007)

〔図書〕(計 2 件)

1. W. Yu, J. V. Gonzalez, Y. Ikemoto, C. Murai, B. Yuan, R. Acharya, A. Arieta, H Yokoi, Functional Electrical Stimulation for Daily Walking Assist, in Distributed Diagnosis and Home Healthcare, ed. R. Acharya, et. al., American Scientific Publisher, Accepted.
2. Yu Ikemoto, Wenwei Yu, Jun Inoue, A Simulation Study on Balance Maintenance Strategies during Walking, Recent Advances in Biomedical Engineering, IN-TECH, accepted, in press.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称：指筋活動検出方法

発明者：俞文偉，岸寿春，

権利者：千葉大学

種類：特願

番号：2007-268432

出願年月日：2007 年 10 月 15 日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

俞文偉 (YU WENWEI)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20312390

(2) 連携研究者

横井 浩史 (YOKOI HIROSHI)

電気通信大学・電気通信学部・教授

研究者番号：90271634

汪 金芳 (WANG JINFANG)

千葉大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：10270414

村田 淳 (MURATA ATSUSHI)

千葉大学・医学部附属病院・准教授

研究者番号：20344997