

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656170

研究課題名(和文)筋シナジーに基づく多チャンネル型機能的電気刺激による運動学習の支援

研究課題名(英文) Motor learning support through multi-channel functional electric stimulation based on muscle synergy

研究代表者

宮崎 文夫 (Miyazaki, Fumio)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：20133142

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：申請者らの過去の研究では、EMG(筋電位)パターンから筋活動の協調関係(筋シナジー)、関節平衡点、関節剛性を抽出する方法を提案している。これに基づいて運動学習を支援するための電気刺激パターンに生成し、複数の拮抗筋ペアを同時に刺激することにより意図通りの手先関節平衡点・剛性が生成できることを確認した。本方法は、複雑な非線形変換を用いず、関節の平衡点と剛性を独立に制御できる点が利点である。

研究成果の概要(英文)：The applicants have established a methodology that extracts a muscle synergy, joint equilibrium and joint stiffness from EMG signals. In this project, we generate electrical stimulation patterns of antagonist muscle pairs for motor learning support based on the methodology, and validated that we can control joint equilibrium and stiffness. An advantage of this method is that we do not use elaborate nonlinear transformation.

研究分野：知能機械学・機械システム

科研費の分科・細目：人間機械システム

キーワード：筋シナジー 機能的電気刺激 関節平衡点 関節剛性

1. 研究開始当初の背景

近年、身体に麻痺を抱えた患者の運動支援や機能代行の実現へ向けた研究が盛んに行われている。特に末梢筋系を直接電気刺激することで筋活動の活性化を促し問題の解決を図る機能的電気刺激 FES (Functional Electronic Stimulation) は重度の四肢麻痺に対して適用可能な手法として多くの注目を集め、最近では、BMI(Brain Machine Interface)に代表される脳情報や神経活動の解読から身体を直接制御する手法としても、その応用可能性が期待されている。しかし、複雑な非線形性、時変性を有する冗長筋骨格系である身体の制御手法が明らかになっていない現在、本技術は特定の筋肉への電気刺激に留まっている。一方、申請者は「筋シナジー評価システム」として、筋電位情報のみから身体各部の運動を推定・評価する方法を発明し、特許出願を行っている(特願2009-212149)。筋拮抗比・筋活性度の2つの新概念を導入し、冗長筋群の活動を数個の運動パターンに圧縮して運動タスク固有の筋シナジーと関連づけることを可能にする本発明に基づき、FESを多チャンネル化することで、複数筋群を同時刺激しながら身体を協調的に制御する方法の確立および、生体信号フィードバックを用いた身体協調動作の運動支援を行う。さらに、本機能を健常者のスキルコーチングに応用することで新技術の適用範囲拡大を目指す。

2. 研究の目的

本申請は、筋シナジーの概念に基づいた多チャンネル型機能的電気刺激(Multichannel FES)を行うことでヒトの運動学習を促進する運動技能支援システムの実現を目的とするものである。提案手法の最大の特徴は、特定部位の皮膚表面数カ所に電極を付着させるだけで、手軽に運動タスクやユーザに適した身体操作法について直接補助を受けられる点にある。本目標の達成に向けて、研究期間では筋拮抗比・筋活性度の2つの新概念を導入し、多チャンネル FES の効果的な制御方法を確立するとともに、筋シナジーの観点から運動技能の自律的改善を誘導する手法の実現を図る。また、これらの手法がスポーツ等のスキルコーチングやリハビリテーションに効果的であることの実験実証を行う。

3. 研究の方法

ヒトの身体運動を直接コントロールするのが EMG パターンであると考え、電気刺激は EMG パターンを補正する役割を担う。その補正量を決定することが本研究の目的を達成するための最大の課題となる。本研究では、まず歩行タスクに焦点を絞り、EMG パターンと筋活動や生成される運動の関係を明確にした後、実際に電気刺激を入力した

際に生成(出力)される運動との入出力関係をモデル化し、適切な電気刺激を決定する方法を確立する。

4. 研究成果

本研究では下肢運動に着目し、典型的な日常動作である歩行運動をタスクとして扱う。申請者らの過去の研究において、歩行動作の EMG(筋電位)パターンから筋活動の協調関係(筋シナジー)を抽出しタスク変数で表現された運動指令を推定する技術(特願2009-212149)を用い、(1)ある歩行速度域において、筋活動がパターン化され、(2)関節拮抗筋ペアの筋電位比率と歩行パターンが著しく一致する、という大きな2つの知見を得ている。平成24年度には、人工的に与えた筋拮抗比・筋活性度を電気刺激パターンに変換し、拮抗筋ペアを同時電気刺激することにより、意図通りの関節運動が生成できることも確認した。これに基づき、歩行動作中の EMG から筋シナジーおよび運動指令を抽出・推定し、電気刺激パターンに変換する方法を提案した。

また、ユーザ個人の運動に応じた電気刺激(刺激パターンとタイミング)を適切に行うためには、各ユーザに依存した身体運動モデル(筋コマンド生成モデル)の同定が不可欠である。しかし、出力である筋活動は複雑な非線形性、時変性を有し、また動作履歴にも依存することから、その陽な表現を得ることは極めて困難である。そこでまず、1歩行周期を複数の歩行相に分割し、各相毎にユーザの身体運動特性を記述する入出力データベースを実験的に獲得し、統計マップ近似により上記問題の解決を図った。具体的には、電気刺激を与えない時の筋協調パターンをベースにし、複数筋肉の電気刺激パターンとタイミングの組(入力)を様々に変化させることで運動支援パターンを変え、実際に行われた動作の運動情報(出力)との入出力ペアを逐次蓄えていくことで入出力マップを構築した。また、電気刺激付加に伴う筋シナジーや中枢からの運動指令の変化に着目し、ヒトの身体運動に関わる長いスパンの適応機能のモデル化も試みた。

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 3 件)

Kazuhiro Matsui, Yasuo Hishii, Kazuya Maegaki, Yuto Yamashita, Mitsunori Uemura, Hiroaki Hirai, Fumio Miyazaki, Equilibrium-point control of human elbow-joint movement under isometric environment by using multichannel functional electrical stimulation, *Frontiers in Neuroscience* (section

Neuroprosthetics), 査読有り、掲載決定済み、<http://www.frontiersin.org/>

Hang Pham, Yohei Ariga, Kenta Tominaga, Takanori Oku, Kanna Nakayama, Mitsunori Uemura, Hiroaki Hirai, Fumio Miyazaki, Extraction and Implementation of Muscle Synergies in Neuro-mechanical Control of Upper Limb Movement, Advanced Robotics, 査読有り、Vol. 28, Issue 11, pp. 745-757, 2014. DOI 10.1080/01691864.2013.876940.

有賀陽平, 前田大輔, 宇野かな, Hang T. T. Pham, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫, 筋拮抗比と筋活性度を用いた拮抗駆動装置の線形制御と筋電インターフェースへの応用, 日本ロボット学会誌, 査読有り, Vol. 31, No.5, pp. 517-526, 2013. DOI 10.7210/jrsj.31.517.

〔学会発表〕(計 12 件)

D. Maeda, "Novel equilibrium-point control of agonist-antagonist system with pneumatic muscles II, Application to EMG-based human-machine interface for an elbow-joint system", IEEE/RSJ international conference on Intelligent Robots and Systems, 2012年10月7日~12日, ポルトガル.

松居 和寛, 多チャンネル型機能的電気刺激によるヒト肘関節運動の平衡点制御, 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, 2012年12月18日~2012年12月20日, 福岡国際会議場.

D. Maeda, Muscle synergy analysis of human adaptation to a variable-stiffness exoskeleton: human walk with a knee exoskeleton with pneumatic artificial muscles, Proc. IEEE/RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, 2012年11月29日~2012年12月01日, Osaka.

T. Oku, Analysis of muscle coordination in human pedaling and implementation with a musculoskeletal robot, Proc. IEEE/RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, 2012年11月29日~2012年12月01日, Osaka.

Yohei Ariga, Novel Equilibrium-Point Control of Agonist-Antagonist System with Pneumatic Artificial Muscles, 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), 2012年05月14日~2012年05月18日, St. Paul, USA.

富永 健太, 関節平衡軌道と関節剛性の同時支援がヒトの運動適応に及ぼす影響, 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, 2012年12月18日~2012年12月20日, 福岡国際会議場.

富永 健太, ヒトの歩行およびベダリング動作における筋協調性の比較, 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, 2012年12月18日~2012年12月20日, 福岡国際会議場.

前田 大輔, EMG変化に基づく剛性支援へのヒトの運動適応, 日本ロボット学会 2012, 2012年09月17日~2012年09月20日, 札幌コンベンションセンター.

富永 健太, 力学解析に基づくヒトの歩行動作における筋協調解析, 第14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, 2013年12月18日~2013年12月20日, 兵庫県 神戸市 神戸国際会議場.

奥 貴紀, 筋シナジー制御法による筋骨格型ロボットの平衡点制御, 第14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, 2013年12月18日~2013年12月20日, 兵庫県 神戸市 神戸国際会議場.

宇野かな, 上肢リーチングタスク中の筋シナジー解析と手先剛性に関する考察, 第14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, 2013年12月18日~2013年12月20日, 兵庫県 神戸市 神戸国際会議場.

村上健太, 一定外力場下におけるヒト上肢到達運動の筋電解析, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 2013年11月18日~2013年11月20日, 滋賀県 大津市 ピアザ淡海

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 件)

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 件)

名称:
発明者:

権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮崎 文夫 (Miyazaki Fumio)
大阪大学・基礎工学研究科・教授
研究者番号：20133142

(2) 研究分担者

平井 宏明 (Hirai Hiroaki)
大阪大学・基礎工学研究科・講師
研究者番号：60388147

(3) 連携研究者

植村 充典 (Uemura Mitsunori)
大阪大学・基礎工学研究科・助教
研究者番号：00512443