

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700596

研究課題名(和文)リアルタイムモーションシミュレーションを用いた両腕協調動作生成システムの評価

研究課題名(英文)Evaluation of a Motion Generation System with Bimanual Coordination Using a Real-Time Motion Simulator

研究代表者

猪平 栄一 (INOHIRA, EIICHI)

九州工業大学・生命体工学研究科(研究院)・講師

研究者番号：70363405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目標は、片方の前腕及び上腕を失った身体障害者(高位切断者)に対して、筋電義手と健常腕の両手を使って物を扱う動作を円滑に実現するため、両腕協調動作生成システムを備えた義手を構築することである。具体的には、健常腕の動作に協調して目的とする作業を実現する義手の動作パターンを自動的に生成し、そのパターンに沿った義手を制御するシステムである。本課題では、両腕協調動作生成システムの能力を評価するためにリアルタイムモーションシミュレータを構築し、そのシミュレータ上で筋電義手と健常腕の両手を用いてトレイを持ち上げる作業について評価した。

研究成果の概要(英文)：This study targets at developing a upper limb prosthesis with a bimanually coordinated motion in order to support to smoothly achieve two-handed tasks with the healthy arm and the upper limb prosthesis for above-elbow amputees, who lost their elbow or shoulder. The proposed system can automatically generate desired motion of the prosthesis in accordance with motion of the healthy arm and control the prosthesis to trace the desired motion. In this study, a real-time motion simulator has been developed to evaluate the motion generation system. A two-handed tasks in which a subject lifted up a tray with a healthy arm and a prosthesis has been conducted and its performance has been analyzed.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：福祉・介護用ロボット 医療・福祉 リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

能動義手の一つに、筋肉が発する電気信号を用いて動作を制御する筋電義手がある。前腕及び上腕を失った高位切断者の場合、残存する筋肉は少ないが、筋電義手に必要となる駆動関節数は多い。そのため、高位切断者は筋電義手によって失われた部位の機能を補うことが困難である。

そこで、申請者らは、限られた信号源から義手の動作を生成するため、両腕の協調動作に着目した。一般に、両手で物を扱う動作のように、両腕を使った動作には一定の協調関係がある。しかし、日常生活における腕の動作は多種多様でかつ複雑であり、それらの協調関係を一つずつ定式化することは困難である。そこで、学習によって入出力パターン間の隠れた関係を獲得することが可能なニューラルネットワークを用いる。すなわち、代表的な動作パターンを用いて、両腕の協調動作に隠れた関係をニューラルネットワークに獲得させる。ニューラルネットワークが隠れた協調関係を獲得できたならば、学習時とはわずかに異なる健常腕の動作パターンを入力したとしても、それに協調した義手の動作パターンを出力させることが可能である。また、図1に示す両腕協調動作生成システムは、健常腕の動作を認識してから義手の協調動作を生成するのではなく、健常腕の姿勢の入力と同時に義手の目標姿勢を出力する。両腕協調動作生成システムには、現在から一定時間前までの健常腕の姿勢が記憶されており、単なる健常腕と義手の相対姿勢の関係ではなく、時間の流れを考慮した両腕の動作間関係が学習されている。そのため、健常腕の動作に遅れることなく、義手を協調的に動かすことができる。

これまでの申請者の研究成果は、モーションキャプチャを用いて計測した両腕の代表的な協調動作パターンを用いて、両腕の協調動作の関係をニューラルネットワークに学習させることが可能であること、未学習の動作パターンに対してもある程度の範囲で望ましい協調動作が得られることが確かめ、ニューラルネットワークを用いて両腕協調動作を生成する手法の有効性を明らかにしたことである。また、動力学シミュレータを用いて、一定の状況下では健常腕と義手の両手で箱を持つ作業が可能であることを示した。

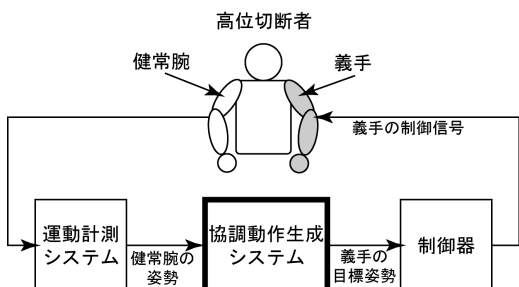


図1 両腕協調動作生成機能を持つ筋電義手

2. 研究の目的

本研究の目標は、高位切断者においても両手を使った作業を実現できるようにすることである。提案する義手を実用化するためには、協調動作生成手法の評価に加えて、使用者の意図に従って両腕協調動作と単腕動作を切り替える制御などの課題がある。その課題の内、今回の研究では、

- ・両手で箱を持ち上げる(把持)
 - ・両手で箱を動かす(並進・回転操作)
- という2種類の基礎的な両腕協調動作のみに対象を絞る。したがって、両手を使うといっても、箸と茶碗を持つというような片腕ずつ独立に動かすような動作は対象外である。また、指の動作生成、動力学シミュレーションは困難であるため、本研究ではそれらを考慮に入れず、指を除いた腕の動作についてのみ取り扱う。

今回の研究期間内に取り組む課題は、

- (a) 多くの種類の動作パターンについて評価を行うこと、
- (b) 両腕協調動作生成を用いた両手作業の達成度を評価すること、
- (c) 動作を自動生成する義手が使用者に及ぼす影響を評価すること

である。特に、(b)については、これまでの申請者らの研究では、義手の動作生成のみについて議論しており、力学的な観点から目標となる作業の実現性については触れていなかった。そこで、健常腕と義手を使って、滞りなく物体を両手で持ち運ぶといった作業が行えることを実証することが本研究の目的である。

本研究では、実際の義手を製作し高位切断者を被験者として実験を行う前に、義手と把持対象物を動力学シミュレータ上に構築し、さらに被験者の健常腕の姿勢をリアルタイムに入力できるリアルタイムモーションシミュレータを構築する。両腕協調動作生成システムの能力を評価するために、構築したリアルタイムモーションシミュレータ上で両手を使った作業における有効性の評価を行う。リアルタイムモーションシミュレータを用いることによって、義手の設計、開発、保守といった問題から離れ、義手の協調動作生成システムの開発、評価に専念することができる。

3. 研究の方法

(1) リアルタイムモーションシミュレータの構築

健常腕と義手の両腕協調動作を力学的に模擬するリアルタイムモーションシミュレータを構築する。リアルタイムモーションのシステム構成を図2に示す。被験者の健常腕の姿勢は、磁気式三次元位置計測装置を用いて実時間で計測する。義手に提案システムを搭載する際には、装着型の計測システムが必要となる。しかし、本研究では両手作業のリアルタイムシミュレーションの実現を優先させるため、計測が容易な磁気式三次元位置

計測装置を用いる。

これまでの研究で開発した両腕協調動作生成システムにより、健常腕の姿勢の入力と同時にそれに対応する義手の目標姿勢が直ちに生成され始める。健常腕、義手はそれぞれ7自由度の剛体リンクマニピュレータとしてモデリングされ、それらの姿勢は7関節の関節角度を用いて表現される。

健常腕の現在の姿勢とそれに対応する義手の目標姿勢をシミュレータに入力し、健常腕、義手、対象物の剛体リンクモデルを用いて、各物体の運動および物体間の衝突・摩擦をリアルタイムに模擬する。シミュレータの結果を表示する画面上には、被験者の健常腕と合わせて動作する健常腕の3DCGと、健常腕の動きに合わせて動作する義手の3DCGが表示される。被験者は、シミュレータの画面を見ながら計測対象の健常腕を動かすことにより、シミュレータ上で物を両手で持ち運ぶといった作業を遂行する。本研究では、指を考慮しないため、手先と対象物が接触すれば、把持したものと見なす。

本シミュレータは、被験者が健常腕を動かし、それと同時に健常腕と義手の動力学シミュレーションを行い、画面上で作業を達成させることを目的とするため、リアルタイムシミュレーションの実現が必須となる。

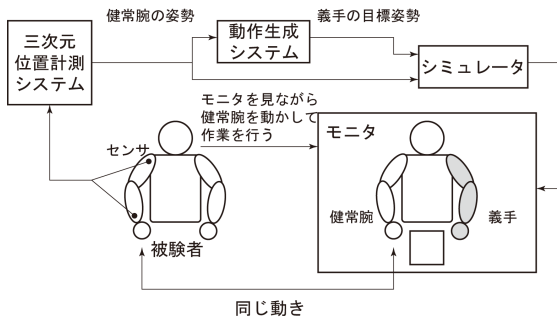


図2 リアルタイムモーションシミュレータのシステム構成

(2) 両腕協調動作生成システムの評価

健常腕と義手の両手を使った作業を対象として評価実験を行う。

両手を使った作業には、両手で台の上に置かれた物体を掴む動作、両手で物体を動かす動作が挙げられる。両腕協調動作生成システムの学習条件、把持対象物体の形状、大きさ、対象物の軌道が、実験条件となる。両腕協調動作生成システムは限られた個数の代表的な動作パターンを学習しているだけなので、学習時とは異なる健常腕の動作が入力された時に、作業を達成するような義手の動作を生成できるかどうかを本研究の評価のポイントとなる。

(3) 両腕協調動作を自動生成する義手が使用者に及ぼす影響の解析

本研究では、健常腕の動作から義手の協調動作を一方に生成することを想定しているが、実際には使用者側が義手の動作に合わ

せて、健常腕の動作を修正する可能性がある。すなわち、使用者と義手の制御システム上の相互作用や、義手の動作生成が使用者にどのような影響を及ぼすかこれまで調査していない。どのような場合に使用者が提案する義手を便利と感じるか、違和感を持つか、違和感があるとすれば、習熟とともに解消可能かなどについて、(1)で構築したシミュレータを通じて検証する。(2)の評価実験を通じて使用者への影響と、悪影響がある場合その対処法について調査する。

4. 研究成果

(1) 主な成果

図3に示すようにリアルタイムモーションシミュレータを構築し、応答速度について検証した。

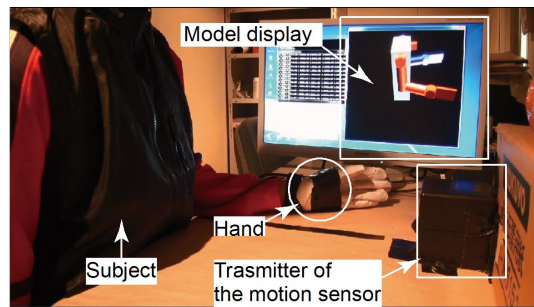


図3 構築したリアルタイムモーションシミュレータ

被験者の腕の姿勢を計測するプログラム、腕の運動を計算するプログラム、義手の動作を生成するプログラム、モニター上に三次元コンピュータグラフィックスを用いて両腕の姿勢を表示するプログラムの各処理のタイミングを計測し、設計通りに動作しているか検証した。その結果、平均 1/60 秒ごとに計算が行われていることを確認した。

また、被験者ごとに腕の長さなどが異なり、計算モデルの設定を変更する必要がある。被験者ごとに調整できるかどうかを7名の被験者による実験を確認した。実験前に、被験者の前腕、上腕の長さを計測し、それを計算モデルに反映させることで、シミュレータの調整が可能であることを検証した。

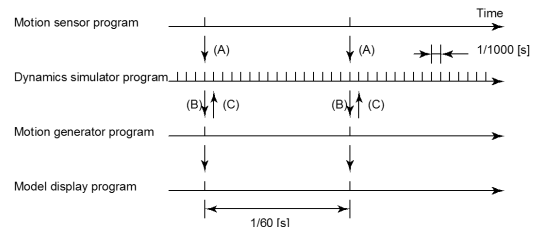


図4 リアルタイムモーションシミュレータを構成するプログラムのタイミングチャート

両手でトレイを持ち上げる作業を対象としてシミュレーションを行った。手とトレイの間に作用する力を計算するために、Bullet Physics Library を用いた。リアルタイム処

理を保つために、図5に示すように指先、トレイ、テーブル間の接触のみを考慮し、計算のモデルを簡素化した。

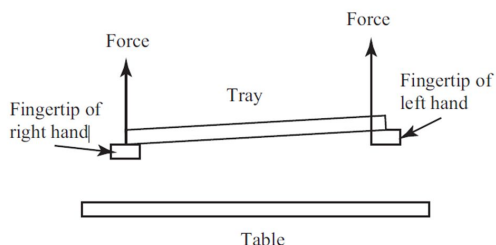


図5 トレイ持ち上げ作業の計算モデル

構築したリアルタイムモーションシミュレータを用いて、トレイ持ち上げ作業の評価実験を行った。被験者は図6のようにモニタを見ながら腕を動かす、トレイの持ち上げを試みる。そのとき、モニタ上に図7のように両腕とトレイのモデルが表示されており、被験者の腕の動きに合わせて、モニタ上のモデルが動く。



図6 リアルタイムモーションシミュレータを用いた作業実験の様子

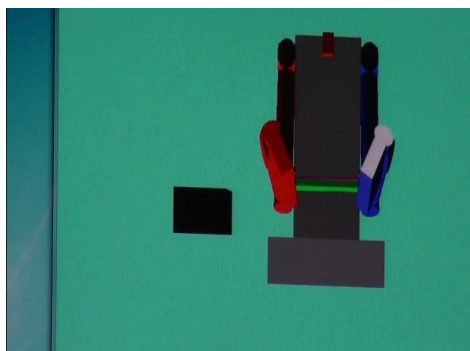


図7 トレイ持ち上げ作業実験時のモニタの表示

実験の結果、トレイの質量、指先とトレイの間の摩擦係数を変えることにより、作業の成功率が大きく変化することが確認された。特に、摩擦係数を小さくして、指先が滑りやすい状況下では、トレイが落下しやすくなる。その際に、図8に示すように、トレイを落とさないように被験者が指先を動かす動作を観測することができた。

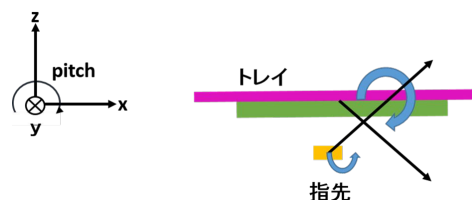


図8 トレイの落下と指先の動きの関係

(2) 得られた成果の位置づけとインパクト

本研究で構築したリアルタイムモーションシミュレータを利用することにより、実際に義手を製作する前に、動作生成システムや制御システムなどを含む義手の性能を評価することが可能になる。国内外を問わず、義手の研究開発の迅速化に貢献することを期待できる。

(3) 今後の展望

限られた期間内で解決できなかった問題がいくつかある。リアルタイムモーションシミュレータ上のモデルを変更することが容易ではないため、作業実験の条件、種類を増やすことが用意ではないこと、三次元グラフィクス上でのカメラの視点の変更が容易ではないことなどが挙げられる。これらの問題のため、様々な条件で作業実験を行うことが困難となっていた。より簡単に被験者による作業実験を行うことができるようにするため、リアルタイムモーションシミュレータの改良を行っていく予定である。

また、リアルタイムモーションシミュレータを用いることによって可能となる、両手作業時と片手作業時の動作生成システムの切り替え機能の研究開発を進めていく予定である。

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1件)

猪平栄二、末松崇志、木村祐太、把持物体との接触を考慮した筋電義手のためのリアルタイムモーションシミュレータの構築、信学技報、2014、Vol. 113、No. 499、pp. 59-62、査読無

〔学会発表〕(計3件)

猪平栄二、末松崇志、木村祐太、把持物体との接触を考慮した筋電義手のためのリアルタイムモーションシミュレータの構築、電子情報通信学会研究会 ME とバイオサイバネティクス研究会、2014.3.17、MBE2013-126、玉川大学

Eiichi Inohira, Takashi Suematsu, Kyouhei Takamune, Evaluation of a Real-time Motion Simulator for Realization of Two-Handed Tasks with a

Healthy Arm and a Myoelectric Arm Prosthesis, The 14th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2013.11.15, F5a-2, Daejeon, Korea

猪平栄一、高宗恭平、末松崇志、健常腕と筋電義手を用いた両手作業実現のためのリアルタイムモーションシミュレータの構築、電子情報通信学会 2013 年総合大会、2013.3.22、D-7-8、岐阜大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 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 0 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
<http://www.brain.kyutech.ac.jp/~inohira/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

猪平 栄一 (EIICHI INOHIRA)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・
講師

研究者番号：70363405