

[研究助成 (C)]

食事支援ロボットアームに関する研究

A study on a self-feeding assistive robotic arm

2217004



研究代表者 琉球大学 大学院理工学研究科 博士後期課程 具 志 翔太郎

共同研究者 琉球大学 工学部 工学科 教授 比 嘉 広 樹

[研究の目的]

社会には生まれつき体が不自由な人や、老化や事故、病気などによって体に障がいをもつ人々がいる。これらの身体障がい者の中には、運動機能が徐々に低下することで体全体またはその一部が麻痺する筋ジストロフィーと呼ばれる疾患患者も含まれている。身体障がい者の中には日常生活において常に他者の支援や介護が必要となる要介護者となる人もおり、今日の日本では人材不足による介護者の負担増大や被介護者の尊厳などが社会問題となっている。特に日常生活において必要不可欠な食事に注目すると、介護者の都合や技術等により被介護者は自分のペースで食事ができなかつたり、食べたい量の食物を口へ運ぶことができなかつたりするなど満足に食事ができない場合がある。

そこで本研究では、筋ジストロフィー患者などの上肢障がい者でも容易に操作できる食事支援ロボットアームについて検討した。具体的には、まず7自由度の関節を有するロボットアームの制御を検討した。本研究の対象者である筋ジストロフィー患者は呼吸器を装着しているため、普段の食事ではスープやゼリーなど液体状で、すくいあげにくい食べ物を食す。したがって、本研究では7自由度のロボットアームを用いて、人間の腕のように自然な食事動作を行うことを目標とした。関節が多くなると制御が困

難になるため、逆運動学を用いた制御について検討した。次に、ロボットアームを操作するインタフェースについて検討した。本研究で使用するような関節が多いロボットアームの制御は、入力信号が多くなるため複雑化してしまう。特に本研究で対象とする上肢障がい者は自由に手先を動かすことが難しいため、簡単な入力操作で直感的にロボットアームが操作できるようにしなければならない。そこで本研究では、ロボットアームのコントローラを従来のボタンやスティックを用いたものから、ユーザの生体情報を活用したコントローラ（脳波、手指運動、眼球運動）へ変更することを検討した。

[研究の内容、成果]

1. ロボットアームの制御に関する検討

〈目的〉

本研究では、人間の腕のように自然な食事動作を行うことを目標とし、7自由度のロボットアームを用いている。関節が多くなると制御が困難になるため、初めに逆運動学を用いた制御について検討した。

〈システム構成〉

本研究で使用したロボットアームの機構図を図1に示す。本研究では人間の腕のように自然な食事動作を行うことを目標として、人間の腕と同じ7自由度の関節を有するロボットアーム

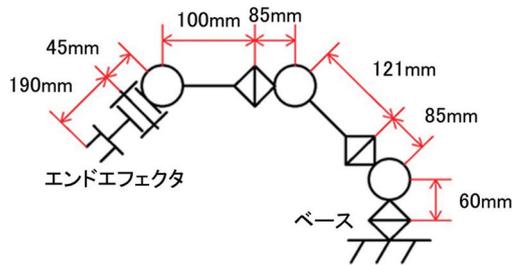


図1 ロボットアームの機構図



図2 実機のロボットアーム

を製作して使用した。ロボットアームの制御について検討するにあたり、まずロボットアームの改良を行った。パワー不足で動作が不安定だった関節のモータを変更し、安定した食事動作が行えるように改良した。改良した実機のロボットアームを図2に示す。本ロボットアームは、3D CADを用いて設計し、3Dプリンタを用いて出力した。

続いてロボットアームの制御について検討した。本研究では、ロボット用ソフトウェアプラットフォームであるROS (Robot Operating System) を用いて、実機のロボットアームを制御することを検討した。具体的には、まず図3に示すように、ROS内に本研究で使用する7自由度ロボットアームを構築した。次にロボットのプランニングフレームワークであるMoveItを用いて、ロボットアームの目標座標までのモーションプランニングを行った。図4にROSを用いた制御システムを示す。本研究では、まず把持対象物(本研究ではペットボト

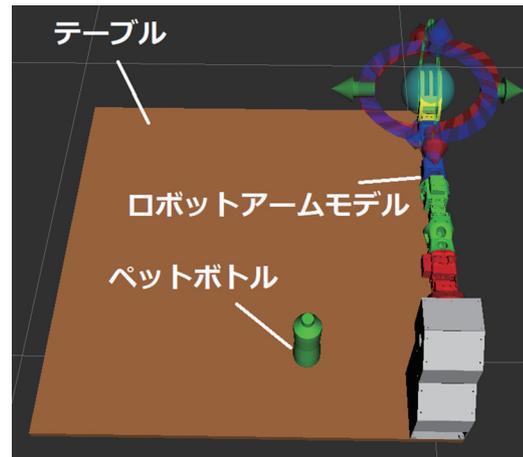


図3 ROSに構築したロボットアームモデル

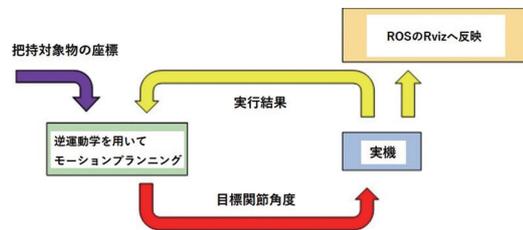


図4 ROSを用いた制御システム

ル)の座標をMoveItへ入力することで、逆運動学を用いたモーションプランニングを行った。次に、プランニングによって得られたロボットアームの各関節の目標角度(変位)を実機へ入力し、実機を動作させる。実機の動作結果は、3D可視化ツールRvizと逆運動学を用いた計算を行うMoveItへフィードバックされ、次のプランニングに使用される。
(実験および結果)

図4の制御システムを構築した状態で、ROS内のロボットアームモデルへ任意の目標座標(目標姿勢)を入力し、MoveItのモーションプランニングにより実機が正しく動作するか確認した。

本実験の動作結果を図5に示す。図5(a)より、実機の動作前(目標姿勢の設定)ではROS内に表現された実機の姿勢と目標姿勢が異なっているが、図5(b)の実機動作後ではそれぞれの姿勢が重なっており、実機が目標姿勢へ到達できたことを確認した。



(a) 実機の動作前(目標姿勢の設定)



(b) 実機の動作後

図5 実験結果

〈考察〉

本実験より、MoveItのモーションプランニングによって実機のロボットアームを動作させることが可能であることが示された。本実験ではマウスを使用してROSに目標姿勢を入力したが、本研究の対象者は筋ジストロフィー患者など上肢障がい者であるため、ロボットアームを制御するためのインタフェースに関する検討が必要である。インタフェースについては次節で検討した。

2. インタフェースに関する検討

〈目的〉

本研究では、対象者である上肢障がい者がロボットアームを容易に操作できるように、ユーザの障がいの程度に合わせたインタフェースを提供することを目標とした。本研究では、手指運動、眼球運動および脳波を使用したインタフェースについて検討した(図6参照)。

〈手法〉

・手指運動を用いたインタフェース

本システムはPCおよびWebカメラで構成される。本システムでは予め取得した指先画像

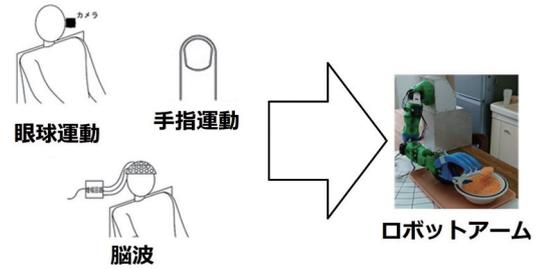


図6 本研究で検討したインタフェース



図7 手指運動, 眼球運動を用いたインタフェースのGUI

を用いて識別器を作成した。指先領域の学習・検出には、HOG (Histograms of Oriented Gradients) 特徴量とSVM (Support Vector Machine) を使用した。識別機の学習画像には、Webカメラと手指との距離を約8.0[cm]に保った状態で人差し指を外転30°から内転20°の範囲内で運動させた際の画像を60枚使用した。手指運動をロボットアームのインタフェースとして活用するために、図7に示すようなGUI (Graphic User Interface) を作成した。各領域に指先が入ることで制御信号が送信される。今回は、1番と3番の領域を使用した。

・眼球運動を用いたインタフェース

本システムはPCおよびWebカメラで構成される。なお、Webカメラは3Dプリンタで出力されたフレームに設置し、ユーザの頭に装着して使用する。眼球運動の検出には、Media PipeのFace Meshを使用した[1]。なお、本インタフェースも図7に示すGUIを使用して、ロボットアームを制御する。

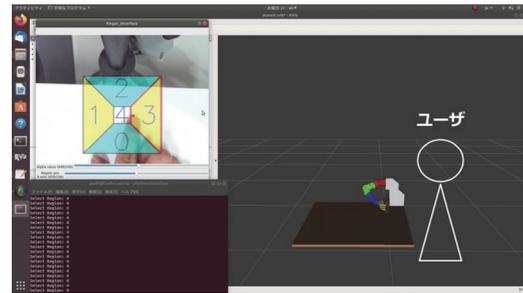
・脳波を用いたインタフェース

本研究は、研究室の修士2年次の研究成果を応用した[2]。1chのアクティブ電極(C3)と接地電極(GND電極)、基準電極(REF電極)を用いて、右手掌握運動想起/安静(握る/開く動作の想起)の二つの課題の判別を検討した。脳波取得後、CNN(Convolutional Neural Network)モデルを応用したVGG-16モデルを用いてモデルを作成した。

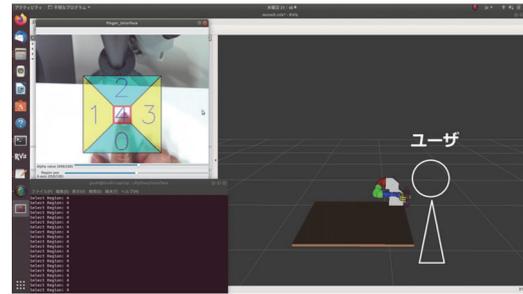
〈実験および結果〉

図3に示すようにROS内のロボットアームモデル近くにペットボトルモデルを配置し、前節のROSを用いた制御システムを使用してペットボトルの把持動作および移動実験を行った。各インタフェースからの制御信号(2入力)に対して、把持したペットボトルをテーブル上から口元付近まで移動させる、またはペットボトルをテーブル上へ戻す動作を割り当てた。手指運動および眼球運動では、図7のGUIの1番領域にボトルをテーブル上へ戻す動作を、3番領域にはペットボトルを口元へ移動させる動作を割り当てた。また、脳波を用いた実験では、掌握運動(握る動作)の想起時にペットボトルを口元へ移動させる動作を、安静時(開く動作)にボトルをテーブル上へ戻す動作を割り当てた。それぞれの実験には健常被験者1名(手指運動、眼球運動:被験者A、脳波:被験者B)が参加し、各インタフェースを用いてロボットアームシステムを操作してもらった。なお、本実験では実機のロボットアームではなく、ROS内のロボットアームモデルを使用して実験した。

実験結果を図8に示す。図8は手指運動を用いたインタフェースによる実験結果であるが、手指運動によって3番の領域(ペットボトルを口元へ移動させる動作)を選択すると、3秒後にはROS内のロボットアームモデルがユーザの口元へペットボトルを移動させることができた。図9は眼球運動を用いたインタフェースの実験結果であるが、眼球運動によって1番領域

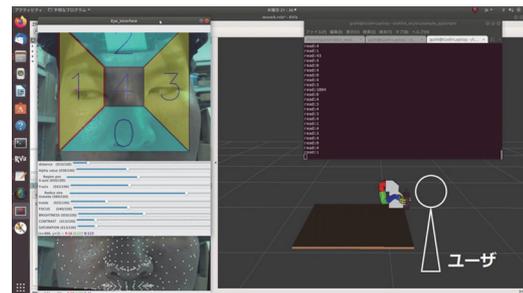


(a) 移動開始前($t = 0$ [s])

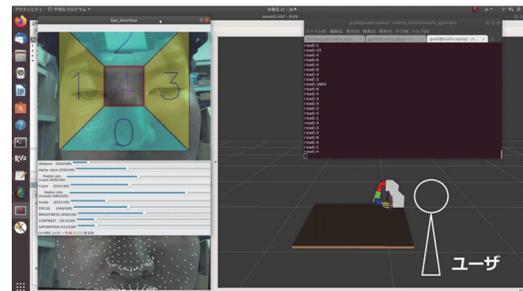


(b) 口元へ移動後($t = 3$ [s])

図8 手指運動を用いたインタフェースの実験結果



(a) 移動開始前($t = 0$ [s])



(b) テーブル上へ移動後($t = 4$ [s])

図9 眼球運動を用いたインタフェースの実験結果

(ペットボトルをテーブル上に戻す動作)を選択すると、4秒後にはテーブル上へペットボトルを戻すことができた。また、図10は脳波を用いたインタフェースの実験結果であるが、掌握運動(握る動作)を想起して10秒後には、ロボットアームモデルがユーザの口元へペット

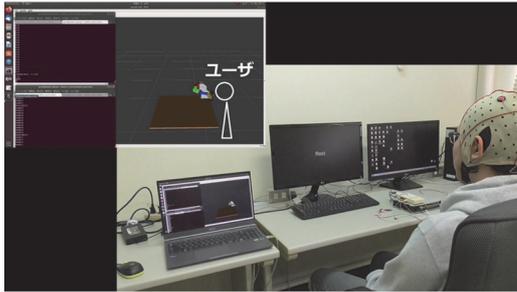
(a) 移動開始前 ($t = 0$ [s])(b) 口元へ移動後 ($t = 10$ [s])

図10 脳波を用いたインタフェースの実験結果

ボトルを移動させることができた。

〈考察〉

実験結果より、本実験で使用したすべてのインタフェースで本ロボットアームシステムを操作することができることを確認した。特に、手指運動と眼球運動を用いたインタフェースにおいては誤検出が非常に少なく、ユーザの意図した動作を好きなタイミングで実行することがで

きた。また、脳波を用いたインタフェースにおいても運動想起によって本ロボットアームシステムが動作することを確認できたが、誤検出も多かったため、今後は脳波の判別結果の精度向上について検討する必要がある。

〔今後の研究の方向、課題〕

今後の課題として、実際の食物を使った実験や脳波の判別結果の向上が挙げられる。また、健常被験者を増やして評価実験を行い、十分な安全性、操作性が確認できた後、上肢障がい者による評価実験を実施する。

〔成果の発表、論文など〕

具志翔太郎, 山城凜弥, 比嘉広樹, “上肢障がい者を対象とした文字入力インタフェースの検討”, 火の国情報シンポジウム 2022, B22-2 (2022)

〔参考文献〕

- [1] “MediaPipe”, <https://google.github.io/mediapipe/>, 【閲覧日: 2023年3月】
- [2] 具志椋之輔, “SMR 波帯を用いた BMI システム”, 琉球大学大学院理工学研究科修士論文 (2023)