

直感的な遠隔操作ロボット用コンソールの開発と制御

三 浦 智*

Development and Control of Intuitive Console for Teleoperated Robot

Satoshi MIURA*

The purpose of this research is to construct an intelligent control of an interface to intuitively operate a robot with Cartesian coordinate system input based on a human cognitive model. Using an interface (Fig. 1) originally developed by the applicant, the following will be carried out. (A) Construct a system that returns force feedback in response to XYZ, Pitch, Yaw, and Roll inputs based on a human perception model. (B) Since the inputs for each degree of freedom are prone to interference, the AI learns the human operation habits, etc., and builds a control model that reflects only the intended input. (C) Assuming the tasks of both movement and manipulation, we will build a cooperative model for the dominant/nondominant hand and control it by installing originally developed interfaces on both the left and right hands.

1. 背景・目的

ロボットを遠隔で操作する技術の需要は高まっている。例として、内視鏡の操作や、ドローンによる橋梁点検、宇宙アームのドッキング等がある。それらのロボットは、人間の身体とは異なる構造や形態をしている場合が多く（身体性の違い）、操作者は自身の身体のようにロボットを動かさない。この理由の一つは、一般的にドローン等の速度制御で動くロボットは、XYZ、Pitch、Yaw、Rollの直交座標系に合わせた入力で操作されるが、人間の身体は筋骨格系の制御や網膜座標系による認知の性質から、異なる座標系に適して動いているためである。

申請者は、速度制御で動くロボットを直感的に操作するために、XYZ、Pitch、Yaw、Rollの直交座標系に合わせて手を動かし、ロボットを直接つかむような操作感のインタフェースを独自に開発した（内閣府SIP、図1）。当インタフェースを用いてドローンを操作した結果、従来のジョイスティック方式に比べて、初心者は4倍の成功率でミッション達成でき、初心者・熟練者問わず全員が20%以上の達成時間を短縮できた。

このインタフェースは、ロボットの操作方向を認知しやすくした一方で、まだ直感的な操作は実現できていない。この原因は (A) 各自由度の入力量が分かりにくい、(B) 各自由度方向の入力がお互いに干渉しやすい、(C) 人間の利き手/非利き手の左右差、といった操作者の認知モデルに関する問題のためである。これらの問題は、一般的なインタフェースにおいても共通の課題であり、操作者の入力に柔軟に適応する知的制御が求められている。

本研究の目的は、人の認知モデルに基づき、直交座標系入力によるロボットを直感的に操作するインタフェースの知的制御の構築である。申請者が独自に開発したインタフェース（図1）を用いて、次を実施する（図1）。(A) 人の知覚モデルを基に、XYZ、Pitch、Yaw、Rollの各入力量に応じた力覚フィードバックを返すシステムを構築する。(B) 各自由度の入力は干渉しやすいため、人の操作のクセ等をAIで学習させ、意図した入力だけを反映する制御モデルを構築する。(C) 移動と操作両方のタスクを想定し、独自開発したインタフェースを左右両手に搭載して、利き手/非利き手に合わせた協調モデルを構築し制御する。

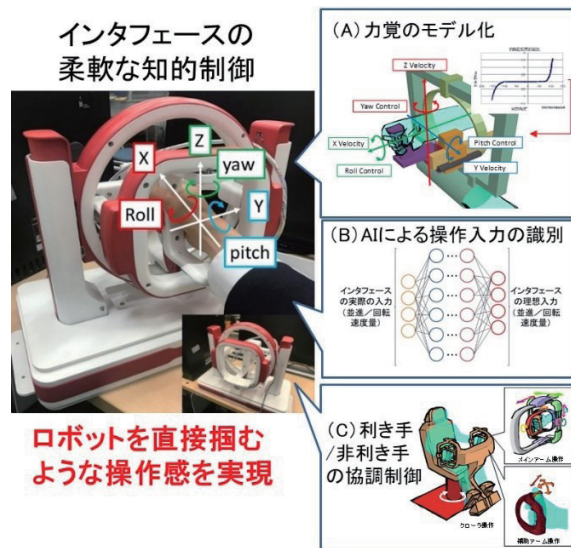


図1 研究の提案内容。

2023年3月1日 受理

* 豊田理研スカラー

東京工業大学工学院機械系

2. 進捗結果

(A) 各自由度の入力量に応じた力覚のモデル化

当インタフェースにモータを搭載した新型を開発した。まずは力覚を提示するのに必要な力やトルクを測定する実験を実施した。次に、静解析と固有値解析を実施し、インタフェースの構造を最適化した。また、インタフェースの作業領域および可操作楕円体を算出した。

インタフェースの開発において、バックドライバビリティを向上させるために、並進運動はワイヤとプーリで牽引し、回転運動は回転軸にモータを直付けする小型のダイレクトドライブモータを取り付けた。開発したインタフェースに対して、磁気式三次元位置計測装置を用いてグリップ部の作業領域を計測し、解析時の作業領域との一致を確認した。また、磁気式三次元位置計測装置を用いて、当インタフェースの各関節運動の直交性を評価した。XYZ 軸それぞれにおいて誤差が 3.6° 以内に収まることが確認された。さらに、力センサをグリップ部に取り付け、力覚提示機能を評価したところ、指令値と実測値の誤差に対し、線形補正をかけて最大誤差 3.0%程度に収まった。以上より、直交座標系入力のしやすい力覚提示インタフェースを開発できた。

(B) AI を用いた操作入力の識別

意図した入力を識別するようなモデルを構築した (図 2)。被験者 7 名の単入力実験から、各軸方向のみを入力した際に、どの軸同士がお互いに干渉し合うのかを計測した。その結果、特定の軸方向が互いに干渉しやすいことが分かり、それらは複合入力実験を追加してデータを収集した。

集めたデータに対して、LSTM または GRU を用いて、意図識別モデルを構築した。グリッドサーチを用いてハイパーパラメータを最適化し、5 分割交差検証法でモデルの精度が最も高くなる組み合わせを導出した。

最適化したモデルを用いて、ドローンの比較操作実験を実施した。比較対象は、従来のプロポ方式、閾値識別の当インタフェース操作、AI 識別の当インタフェース操作、の三つである。被験者 10 名の実験の結果、操縦精度を下げることなく、有意に飛行時間を短縮できた。以上より、操作者の意図した操作入力を可能とする AI モデルの識別ができた。

(C) 利き手/非利き手の協調制御の構築

左右両手で当インタフェースを操作し、それぞれのロボットを操作する際に左右差を考慮した協調制御が必要となる。そこで協調制御を構築するに当たり、その際に必要となるデータを取得し解析した。左右それぞれの手で操作して、VR 内の仮想の動き回る目標に追従する実験を実施した。実験では各単軸方向のみで動かす実験をそれぞれ実施し、目標物の動きの振幅はランダムであった。

実験の結果、並進運動の左右差は全て有意に大きかった。一方で、回転運動の左右差はほとんど有意差が見られなかった。手首のみで動かせるような自由度は左右差が生じにくい、肘や肩まで含めた腕全体で動かす自由度は左右差が生じやすかった。そのため、これらを解決するような制御が必要となる。

3. まとめ

本研究では、開発したインタフェースの改良および制御を実施した。(A) では、力覚提示機能を有するインタフェースを設計、解析、開発、そして評価した。(B) では、操作時のデータを収集および解析し、機械学習を用いて、意図した入力を反映するようなモデルを構築した。そして、最適化されたモデルを用いてドローンの操縦制御を行い、従手法よりも有意に飛行時間を短縮できた。(C) では、左右差の協調制御を実施するために、左右各々の手で操作した時の追従誤差を測定した。その結果、特に並進運動で大きな左右差が生じやすかった。以上を基に、さらに直感的なインタフェースの開発を進める。

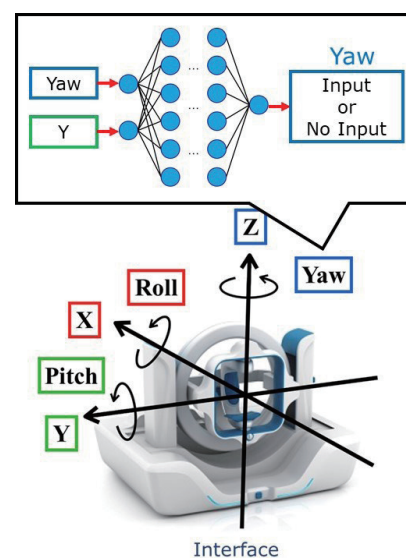


図 2 AI 識別.