

1. 氏名	三浦 智
2. 所属機関	東京工業大学 工学院機械系
3. 研究題目	ロコモティブロボット用ハプティックデバイスの知的制御
4. 研究の目的:	<p>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。</p> <p>三浦は、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應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。</p>

5. 研究の内容(手法、経過、評価など。書ききれない場合には、同一様式のページを追加してください。):

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。

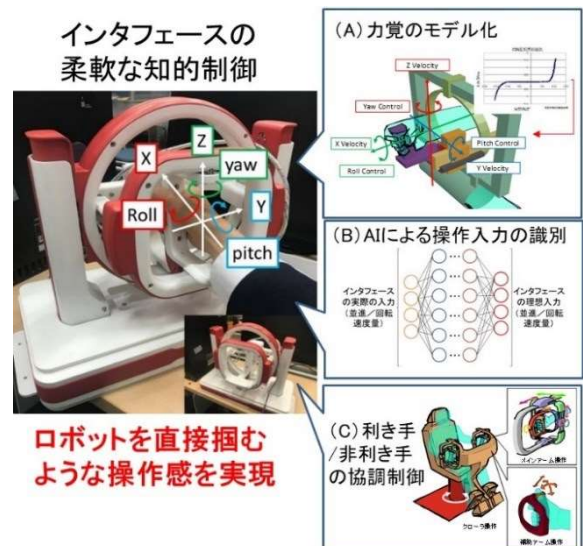


図 1 研究の提案内容

6. 研究の成果と結論、今後の課題:

(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。

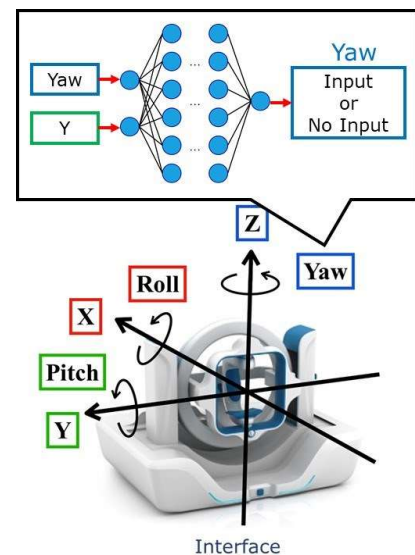


図 2 AI 識別

(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。

7. 成果の価値

7.1_学術的価値:

当研究成果により、直感的な操作システムを開発するためのインタフェースおよび知的制御に大きく貢献した。

7.2_社会的価値:

当研究成果により、ドローンやショベルカー、内視鏡、飛行機、自動車など幅広い遠隔操作ロボットおよび乗り物に適用でき、誰もが直感的に操作できるようになる。

7.3_研究成果:

「国際会議発表」

○[1] Mao Sekino, **Satoshi Miura**, "Differences in coordination between dominant and non-dominant hands in tele-operation", Proceedings of the 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Sydney, July 24-27, 2023 (Accepted)

[2] Tatsunori Uehara, **Satoshi Miura**, "An Intuitive Endoscope Operating System With an Interface Suitable for Cartesian Coordinate Input", Proceedings of the 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Sydney, July 24-27, 2023 (Accepted)

「特許」

三浦智, "遠隔操作用入力装置", 東京工業大学、特願 2021-153989

「受賞」

東工大工学院若手奨励賞、Oct. 28, 2022

日本ロボット学会 第 37 回研究奨励賞、Sep. 7, 2022

東工大挑戦的研究賞(末松特別賞)、Sep. 1, 2022

SI2021 優秀講演賞、Dec. 24, 2021