

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	非線形力学系に基づく半自律リーダー・フォロワシステムのインタフェース設計
Title(English)	
著者(和文)	岩野航平
Author(English)	Kohei Iwano
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12688号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岡田 昌史,土方 亘,武田 行生,西田 佳史,三浦 智
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12688号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	岩野航平	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	岡田昌史	教授	三浦 智	准教授
	審査員	土方 亘	准教授		
		武田行生	教授		
		西田佳史	教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「非線形力学系に基づく半自律リーダー・フォロシステムのインタフェース設計」と題し、全8章から成る。

第1章「序論」では、本論文の背景と目的を述べている。災害現場や採掘現場における作業者の安全の確保や遠隔地にある採掘現場への長距離移動を伴う労働環境の改善のために油圧ショベルの遠隔操作による無人化施工が行われているが、情報の通信遅延、伝達される感覚情報の相違などにより作業効率が低下することを指摘し、これを解決するためにリーダー・フォロロボットと非線形力学系を用いた半自律遠隔操作システム、および、インタフェースを設計することを本論文の目的としている。

第2章「半自律制御系のシステム構成の概要」では、リーダー・フォロロボットに対するアドミッタンス制御を利用した手動操作と軌道アトラクタを有する非線形力学系による自律制御を用いた半自律リーダー・フォロシステムの構成について述べた後、人への力覚提示と手動操作を行うための可変アドミッタンスを提案し、アドミッタンス内の仮想剛性と仮想減衰係数をリーダーとフォロの位置偏差に応じて可変とすることで、無負荷時の軽快な動作と障害物との衝突の力覚提示が両立できることを実験によって示している。

第3章「半自律制御系の離散的なタスク選択の設計」では、軌道アトラクタを有する非線形力学系における離散的タスク選択を実現するために、軌道の分岐と淀みを含む自律制御系を設計している。淀みを1点に収束する吸い込みのベクトル場とし、掘削と旋回に分岐点に配置することで、リーダー・フォロロボットを分岐点で一時停止させ、人が掘削、旋回それぞれの方向へ操作入力を加えることで淀みから抜け出す、すなわち、作業内容が選択可能であることを実験によって示している。

第4章「半自律掘削制御系における淀みの歪みに基づく離散的タスク選択の優先度の設計」では、第3章で提案した離散的タスク選択において、人の操作ミスが減らすために淀みに歪みを付することで操作の優先度を定め、正しい操作方向への入力をしやすくする手法を提案している。また、人の操作履歴・操作頻度によって歪みの形状を変化させ、タスクの優先度を変更する学習則を提案している。淀みの歪みとその学習則を用いることで、分岐点での操作方向の提示が可能となり、操作ミスが低減されることを実験より示している。

第5章「半自律制御系の連続的な掘削位置の変更の設計」では、掘削位置を変更し広範囲を掘削するために、軌道アトラクタを座標変換によって変形させることで連続的タスク選択を実現している。また、座標変換による軌道の連続的な変形に加え、第4章で提案した離散的タスク選択をひとつの操作インタフェースで実現するために、座標変換のためのパラメータ変化に動特性を埋め込むことで拡張カルマンフィルタを適用し、操作の周波数分離を行う手法を提案するとともに、実験によってその有効性を示している。

第6章「類似タスク区別のための非線形力学系次元拡張の設計」では、第3章で提案した離散的タスク選択において、類似するタスク、交差を持つタスク軌道を分離するために、ロボットの状態空間の次元を拡張する手法を提案するとともに、掘削、旋回タスクに土砂をかき集める類似タスクを加え、操作入力の方向によって類似タスクの選択が可能であることを実験により示している。また、第4章で提案した淀みを多次元に拡張し、類似するタスクはある場合でも淀みによって人の操作が誘導でき、拡張次元成分の変動不足に起因する意図に反したタスク選択を回避する手法を提案している。

第7章「大域安定性を有するアトラクタの新たな設計手法」では、ダイレクトティーチングと軌道のオンライン変形を実現するための新たな軌道アトラクタの設計手法を提案している。目標軌道

を関数近似し、現在位置との最近傍点を探索することで、軌道に収束する速度ベクトルと軌道に沿った流れベクトルを求め、これらを合わせることで大域的に安定な軌道アトラクタの設計手法を示すとともに、急峻な障害物回避と軌道全体の平行移動といったアトラクタ軌道のオンライン変形を両立するために、軌道パラメータの逐次更新における変化量を基底関数の次元ごとに重み付けし、重み行列を人の操作入力信号のスペクトラムに基づいて決定することで、操作の周波数に応じて軌道の変形の急峻さの選択が可能な手法を提案している。

第8章「結論」では本論文を総括し、本論文における成果と今後の課題および展望について述べる。

以上を要するに、本論文は操作負担を軽減するリーダー・フォロワロボットと非線形力学系を用いた半自律遠隔操作システム、および、インタフェースを設計するものであり、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。（1974文字）

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。