

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	人間機械協調掘削のための場に基づく自律系の設計
Title(English)	
著者(和文)	岡本裕
Author(English)	Yutaka Okamoto
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12768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,遠藤 玄,山北 昌毅,菅原 雄介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12768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	岡本 裕	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	岡田昌史	教授	菅原雄介	准教授
	審査員	土方 亘	准教授		
		遠藤 玄	教授		
山北昌毅		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

<p>本論文は「人間機械協調掘削のための場に基づく自律系の設計」と題し、全6章から成る。</p> <p>第1章「序論」では、本論文の背景と目的を述べている。日本の建設業では人材不足が年々深刻化している一方で、建設作業の需要は増加する状況にあり、これを解決するために油圧ショベルを用いた無人化施工技術が求められていると述べている。無人化施工では作業の自律性と緊急時対応のための人の操作介入の両立が課題であるとしたうえで、その解決のためには半自律制御系、すなわち、人間機械協調系の設計が必要であると指摘し、運動に時間の拘束をもたない軌道アトラクタを利用した自律系を人の介入を前提としながら設計することで、半自律制御系を実現すること、および、人の介入を少なくした自律の高性能化を行うことを本論文の目的としている。</p> <p>第2章「掘削深さに関する人の操作モデルに基づく掘削の半自律制御系設計」では、先行研究で提案されている軌道アトラクタをベースとして掘削中のバケットにはたらく力、および、人の操作介入に基づいて掘削深さが変化する半自律制御系を設計するとともに、その有効性を実験により検証している。この手法では、油圧ショベルの関節角空間で定義される軌道アトラクタの次元を拡張し、掘削深さ方向に軌道の変更を可能にしている。拡張した次元の基底を操作インデックスとしてバケット負荷のセンサ信号に基づいて変化させることで、連続的に掘削深さの変更が可能な自律制御系を設計し、目標の力で掘削を行う制御系を実現するとともに、拡張カルマンフィルタを用いて人の操作入力をインデックス値の変化として推定することで、人の操作によっても掘削深さを変更することが可能な半自律制御系を設計している。</p> <p>第3章「掘削深さと速度を導入した半自律制御系の設計」では、第2章で提案した掘削深さを変更する半自律制御系では、岩との衝突などの緊急時における対応が困難であることを指摘し、これを解決するために第2章で提案した半自律制御系を応用し、掘削速度の操作インデックスを付与した半自律制御系を提案している。軌道アトラクタの設計では、ベクトル場を定義しこれを関数近似することで制御系を設計していることに着目し、ベクトル場を目標掘削軌道に対して流れ方向と収束方向に分け、流れ方向のベクトル場の大きさを決定する係数を新たな操作インデックスとして導入することで、掘削速度の変更が可能な半自律制御系を設計している。さらに、提案手法を用いてリーダ・フォロワ掘削系による実験検証を行い、フォロワが障害物と衝突した際に、人の操作介入によって逆方向に動かすことで復帰可能であることを示している。</p> <p>第4章「土砂掘削モデルに基づいた掘削距離変化による掘削量の自律制御」では、適切な掘削距離で適切な量を掘削するために掘削距離をパラメータとした自律制御系を設計している。様々な掘削距離とそのときの掘削量の計測データに基づき、微小時間でバケットが土砂にする仕事とバケットが掃く体積が等しいことを仮定することで、その幾何学的関係からバケットが土砂にする仕事と掘削量の関係を表す微分方程式を導出し、これを積分することで先に得た計測データと合致した仕事と掘削量の関係を表すモデルを求めている。また、モデルに基づいてバケットにはたらく力と掘削距離によって掘削量の推定が可能であることを示すとともに、掘削距離を変化させることで掘削量を制御するアルゴリズムを提案している。さらに、バケットにはたらく力から土砂高さを推定しながら目標掘削量を達成するための掘削距離をオンラインで制御することで、目標の掘削量に対して1.2%程度の精度で掘削が可能であることを実験によって示している。</p> <p>第5章「土砂の特性変化に対する自律制御系のロバスト性検証」では、第4章では平坦な地形での掘削を仮定したが、実際にはこれは満たされにくく、例えば2回目の掘削では大きな凹凸がある地形での掘削となることを指摘したうえで、第4章で提案した手法が土砂高さを推定を行うことから土砂形状の変化に対して高いロバスト性があることを予想している。そこで、非平坦な形状を作り、複数回の掘削を行うことで、掘削量の平均とそのばらつきを求め、平坦な場合よりもやや大き</p>

なばらつきとなるものの、2%程度にとどまることを示すことで、提案手法は土砂形状の変化に対して掘削量の精度について高いロバスト性を持つことを示している。

第6章「結論」では、本論文で得られた成果を総括し、提案手法を実際の油圧ショベルに応用するための課題について述べている。

以上を要するに、本論文は掘削における遠隔操作のための半自律制御系の設計手法、および、自律制御系の高性能化のための制御則を提案し、実験によりそれらの有効性を実証したものであり、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。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(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。