

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 エンジニアリングデザイン	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	岡本 裕		審査員主査： Chief Examiner	岡田 昌史	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

日本の建設業では人材の低供給、高需要の状況下にあることから無人化施工が求められており、その中でも建設機械である油圧ショベルの無人化施工技術が重要である。遠隔操作や自律制御の従来手法では緊急時の柔軟な対応と通常時の精密な作業の個別の設計が行われ、その両立が難しく、新たな手法として人の入力を許容する人機械協調掘削が必要である。人間機械協調系における自律制御系には、挙動が現在の状態から定まる場の概念が適している。本論文は、掘削軌道をアトラクタとして埋め込んだ非線形力学設計手法を基に、人の操作入力を前提とした掘削の自律制御系の高性能化を目的とし、人の掘削操作要素である掘削深さ、掘削速度、掘削距離を操作インデックスとした人間機械協調掘削のための自律制御系設計手法を示す。

第1章「序論」では、社会的要請から建設の無人化施工技術が必要であることを述べ、その技術内の油圧ショベルの操作技術に焦点を当て、人機械協調掘削が必要であることを述べる。そして、その実現のために、アトラクタの設計手法を基にした人の操作入力を前提とした掘削の自律制御系の高性能化が本論文の目的であり、人の掘削操作(掘削深さ、掘削速度、掘削距離)に近い自律制御系を提案することを述べる。

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の実験検証」では、先行研究で提案されたアトラクタを用いたバケットにはたらく力に基づき掘削深さを変更する半自律制御系の実験検証を行う。この手法では、アトラクタ次元を掘削深さ方向に拡張する。その拡張次元を操作インデックスとし、その値をバケット負荷のセンサ信号で変化させることで連続的に掘削深さが変化可能な自律制御系を設計し、拡張カルマンフィルタを用いたインデックス値の推定により人の操作が介入可能な半自律制御を設計している。しかし、先行研究ではこの手法の有効性が未検証であったため、油圧ショベルを模したロボットに手法の実装を行い、掘削深さに関する半自律制御系の有効性を検証する。

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の半自律制御系において、岩との衝突等の緊急時における操作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拡張し、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する。自律制御系のアトラクタ設計過程において、自由度のカップリングを基にベクトル場を目標掘削軌道に対する流れ方向と収束方向に要素分割する。そして、新たな操作インデックスとして流れ場の大きさを決定する係数を導入することで、掘削速度の自律制御系を実現する。さらに、流れ場の大きさに関する操作モデルを導入し半自律制御系を設計する。最後に、提案手法を用いてリーダー・フォロワ系による実験検証を行い、リーダー側への人の操作介入によりフォロワ側が障害物との衝突を回避し、復帰可能であることを示す。

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自律制御系実現のために、ドラッグ距離を制御パラメータとした土砂の掘削量を達成する自律制御系を設計する。掘削量を制御するためには、オンラインで掘削量を推定可能な掘削モデルが必要であるが、土砂の挙動は強い非線形性を持ち、従来のミクロ的なモデルでは多くの設計パラメータが必要となるため、掘削現象を表す間接的な物理量としてバケットの土砂にはたらく仕事に着目し、仕事に基づいたマクロ的土砂掘削モデルを設計する。モデル設計のために、まず油圧ショベルを模したロボットを用いて掘削の予備実験を行い、掘削量と仕事の相関を確認する。次に、その実験データに基づき仕事から掘削量を推定可能な掘削の力学モデルを設計する。そのモデルを用いたドラッグ距離変化による目標量を達成する制御手法を提案する。最後に、提案手法の有効性を確認するために、油圧ショベルを模したロボットを用いて実験を行う。

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章で提案した自律制御系が土砂の特性が変化する非平坦な土砂への掘削においても適用可能であることを検証する。掘削作業において、1回目の掘削では平坦な土砂への掘削となり、2回目以降

の掘削では非平坦な土砂への掘削となる。非平坦な掘削においては、1 回目の掘削時に生成された盛り土により土砂の特性が変化し、土砂の挙動が1 回目とは異なるものとなるが、提案した自律制御系は土砂高さの推定機能を持つことからそのような変化に対してロバストであり、目標量制御が十分に達成されることが期待できる。まず、平坦な土砂と非平坦な土砂における掘削量と仕事の関係の差異を実験により確認するとともに、提案する掘削モデルが適用可能か検証する。次に、非平坦な土砂に対して提案手法による実験検証を行い、土砂の特性変化に対する提案手法のロバスト性を確認する。

第6章「結言」では、本論文で得られた成果を総括し、提案手法の実際の油圧ショベルへの応用に関する課題や展望について述べる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 機械 系
Department of Graduate major in エンジニアリングデザイン コース
学生氏名： 岡本 裕
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
審査員主査： 岡田 昌史
Chief Examiner

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In excavation by hydraulic excavator, autonomous control is effective in reducing the operator workload and improving work efficiency. This paper focuses on an autonomous excavation system for unmanned hydraulic excavator construction technology. For autonomous control systems in human-machine cooperation, the concept of a vector field in which the behavior is determined from the current state is appropriate. This paper proposes the design of autonomous control systems for human-machine cooperative excavation based on a nonlinear dynamics in which the excavation trajectory is embedded as an attractor, using elements of the human excavation operation (excavation depth, velocity, and distance) as the operation index.

Chapter 1 shows that the objective of this research is the design of the autonomous control system for human-machine cooperative excavation by hydraulic excavators and that the concept of the vector field is important for its realization.

Chapter 2 experimentally verifies the semi-autonomous control system that changes the excavation depth based on the force acting on the bucket using the attractor proposed in the previous study.

Chapter 3 proposes a semi-autonomous control system with an operational index for excavation velocity that extends the semi-autonomous control system proposed in Chapter 2 by coupling degrees of freedom of operation.

Chapter 4 proposes an autonomous control system to achieve the excavated soil weight by changing excavation distance as a control parameter, based on a dynamic model of excavation with experimental data on the excavated soil weight and the bucket workload.

Chapter 5 verifies that the autonomous control system proposed in Chapter 4 is applicable to excavation into non-flat soil with variable soil characteristics.

Chapter 6 shows that the results obtained in this paper are summarized.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).