

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Explicit Reference Governor による剛体運動の拘束を考慮した制御とその応用
Title(English)	Constrained Rigid Body Control via Explicit Reference Governor and its Application
著者(和文)	仲野聡史
Author(English)	Satoshi Nakano
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11090号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三平 満司,藤田 政之,井村 順一,山北 昌毅,早川 朋久
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11090号, Conferred date:2019/3/26, 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

(博士課程)

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	仲野 聡史	
論文審査 審査員		氏名		職名	氏名	職名
	主査	三平 満司		教授	早川 朋久	准教授
	審査員	藤田 政之		教授		
		井村 順一		教授		
山北 昌毅			准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Explicit Reference Governor による剛体運動の拘束を考慮した制御とその応用」と題し、全6章から構成されている。

第1章「序論」では、論文の背景として、剛体運動の制御理論の工学的応用への有効性、および拘束の考慮の必要性を主張するとともに視覚フィードバックに基づく制御の必要性について述べている。そして、本論文の目的が拘束を考慮した剛体運動制御を考察し、この制御を視覚フィードバック制御に応用することであると述べている。

第2章「準備」では、まず本論文の制御対象とする剛体運動を導入し、二つの剛体間の運動である相対剛体運動について定義を行っている。また、受動性、安定性解析のための定理、不変集合の定義など、本論文に関連する数学的な公式の紹介を行っている。

第3章「 $S0(3)$ 上で記述されるシステムに対する Explicit Reference Governor」では、特殊直交群 $S0(3)$ の元で剛体の姿勢が表現されたシステムに対する、拘束を考慮した剛体の姿勢制御問題を扱っている。まず、トルク入力拘束および方向ベクトル拘束を定義し、これらの拘束を考慮した剛体の姿勢制御問題の定式化を行っている。つぎに、これらの拘束を考慮した制御問題に対する解決策として Explicit Reference Governor を用いた構造を提案している。この制御構造は、拘束を考慮せずに安定化されたシステムに対して、目標値を適切に修正することで拘束を保証するもので、リアプノフ関数のレベル集合が制御状態の不変集合となることに基づいている。また Explicit Reference Governor の構成要素として、それぞれの拘束に対応したリアプノフ関数の上界、および目標姿勢の更新方向を与えるベクトル場を設計している。Explicit Reference Governor は、求められた上界以下にリアプノフ関数の値を常に抑え続けながら目標値の修正を行うことで、拘束が常に満たされることを保証している。提案制御則の有効性を数値シミュレーションにより確認し、考慮すべき拘束が常に満たされていることを示している。

第4章「 $SE(3)$ 上で記述されるシステムに対する Explicit Reference Governor」では、第3章で議論している剛体の姿勢運動に対する提案手法に加え、剛体位置の制御構造を新たに考察することで、姿勢と位置を同時に表現した特殊ユークリッド群 $SE(3)$ 上での拘束を考慮した制御問題を扱っている。まず、第3章で定義した姿勢運動に関する拘束に加え、並進運動に関連する力入力拘束・線形不等式拘束を定義し、同時に制御問題の定式化を行っている。つぎに、Explicit Reference Governor を用いた制御構造に基づいた位置・姿勢の安定化制御則を提案している。このとき、位置および姿勢に対するエネルギー関数をそれぞれ考察することで、位置・姿勢の拘束が独立に考慮可能であることを示している。さらに第3章と同様に、力入力拘束・線形不等式拘束を満たすためのエネルギー関数の上界を計算する手法をそれぞれ示し、この上界を常に満足するための目標位置・姿勢の更新則を提案している。また、この位置・姿勢制御構造の発展として、二つの剛体間の運動である相対剛体運動に対する Explicit Reference Governor の提案も行っている。最後に、提案手法に対するシミュレーション検証を行い、 $SE(3)$ 上での拘束を考慮した制御が Explicit Reference Governor により達成されていることを確認している。

第5章「視覚フィードバック制御に対する Explicit Reference Governor の適用」では、二台の二輪車両型移動ロボットによる視覚フィードバック位置追従制御を考察している。まず、二輪車両の速度を入力として考えた状況に対して、視覚情報に基づいたカメラと対象物体間の相対位置・姿勢および対象物体速度の推定、加えてこれらの推定値に基づいた位置追従制御則を提案している。この位置の追従が達成された後、姿勢の振る舞いを内部ダイナミクスとしてとらえ解析することで、位置・姿勢をすべて考慮した全体のシステムの安定性を示している。つぎに、力・トルクが二輪車両の入力である状況に制御問題を発展させ、同様に視覚情報フィードバックのみに基づいた位置追従制御則を提案している。さらに Explicit Reference Governor を付加し可視性の維持を考慮した制御則を提案している。最後に、数値シミュレーションを通じた提案手法の有効性・妥当性の確認を行っている。

第6章「結論」では、本論文の貢献についてまとめ、今後の課題・展望についてまとめている。

以上を要するに、本論文は剛体運動の制御において、拘束を考慮する構造として Explicit Reference Governor を利用することを提案し、多様な拘束の実現が可能であることを示している。特に、収束性および拘束の満足の保証に関する証明を精密に行い、従来手法では考察されていなかった $S0(3)$ 、 $SE(3)$ といった多様体上での制御構造を提案しており、工学上貢献が大きい。よって博士(工学)の学位論文として十分価値のあるものとして認められる。

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