

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	仲野 聡史		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	三平 満司	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)		

### 要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文では、拘束を考慮した剛体運動の制御問題に対して、Explicit Reference Governor を用いることで制御目標を達成することを目指す。本論文は全 6 章から成り、各章の概要を以下に示す。

第 1 章「序論」では、はじめに本論文の研究背景として、種々の移動ロボットを制御する際に剛体運動の制御理論が大きな役割を担うことを述べる。また、剛体運動の制御を考察する際、拘束の考慮が必要不可欠であることについて言及する。さらに、視覚フィードバックに基づく制御の工学的有用性についても触れる。つぎに、以上の背景を踏まえた本研究の目的・概要を述べる。最後に、関連研究との比較を通して本研究の具体的な貢献を述べる。

第 2 章「準備」では、まず本論文における制御対象である剛体運動を導入し、さらに二つの剛体間の運動である相対剛体運動も同様に導入する。つぎに、本論文で用いる受動性、安定性解析のための定理および不変集合の定義を行う。最後に、数学的な公式を複数紹介する。

第 3 章「SO(3) 上で記述されるシステムに対する Explicit Reference Governor」では、まずトルク入力拘束および方向ベクトル拘束を導入し、これらの拘束を考慮した剛体の姿勢制御問題を定式化する。つぎに、Explicit Reference Governor を用いた制御構造の提案および時不変な目標姿勢に対する安定化制御則の導入を行う。ここで、Explicit Reference Governor とは、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満足する性能を付加する制御機構である。この制御機構は、安定化されたシステムにおいてリアプノフ関数のレベル集合が制御状態の不変集合になることを利用している。まず、考察すべき拘束に対してリアプノフ関数のレベル集合が拘束領域内に完全に含まれるようリアプノフ関数の上界を導出する。つぎに、目標姿勢の更新方向を与えるベクトル場を設計する。このベクトル場は、関連研究で提案されている、剛体に取り付けられた方向ベクトルが三次元空間内の単位球上における最短経路を通りながら剛体の姿勢が目標姿勢に収束することを保証する制御則に基づき設計される。さらに、上記で導出された上界以下にリアプノフ関数が常に抑えられる修正目標値の更新則を提案し、修正目標値の収束性および拘束の満足を示す。最後に、提案制御則の有効性・妥当性を、数値シミュレーションを通して確認する。

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 章で提案した姿勢の拘束を考慮した提案制御手法に対して、位置の制御構造を加えることで SE(3) 上での Explicit Reference Governor による拘束を考慮した剛体運動制御手法へと拡張する。まず、第 3 章で考察した拘束に加えて力入力拘束および線形不等式拘束を導入し、拘束を考慮した剛体の運動制御問題を定式化する。つぎに、Explicit Reference Governor を用いた制御構造を提案し、位置・姿勢の安定化制御則を導入する。このとき、位置・姿勢それぞれに対してエネルギー関数を定義し、その両方が同時に減少するため位置・姿勢それぞれの拘束を独立に考慮することが可能となることを示す。つぎに、力入力拘束および線形不等式拘束に対するエネルギー関数の上界を導出し、この上界を常にエネルギー関数が下回るための目標値の更新則を提案する。さらに、以降の議論のために相対剛体運動における Explicit Reference Governor も同様に提案する。最後に、数値シミュレーションにより提案制御則の有効性・妥当性を検証する。

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、カメラおよび対象物体がそれぞれ取り付けられた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に基づく追従制御問題を考察する。二輪車両型移動ロボットは劣駆動システムの一つであるため、まずカメラロボットのボディ速度を入力とし、カメラと対象物体間の相対位置を目標値に制御する問題を考察する。この制御目標を達成するために、カメラと対象物体間の相対位置・姿勢および対象ロボット速度を、カメラから得られる視覚情報に基づき推定し、さらにその推定値に基づく位置の追従制御構造を提案する。つぎに、位置の追従が達成された場合の内部ダイナミクスであるカメラと対象物体間の相対姿勢の振る舞いを解析し、制御構造全体の安定性を考察する。また、二輪車両への入力力が力・トルクである状況を考察し、ボディ速度が直接入力可能な場合と同様に位置の追従制御を達成する力・トルク入力を設計する。最後に、Explicit Reference Governor による、対象物体をカメラの視野角内に留める可視性維持拘束を考慮する制御構造を提案し、数値シミュレーションを通して提案手法の有用性・妥当性を示す。

第 6 章「結論」では、本論文の成果をまとめ、今後の課題について述べる。

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

専攻 : Department of	機械制御システム	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 工学 )
学生氏名 : Student's Name	仲野 聡史		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	三平 満司	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

This dissertation investigates constrained control problems of a rigid body in three dimensions via Explicit Reference Governor (ERG) which suitably modifies the exogenous reference to satisfy the constraints based on invariant sets.

First, an attitude constrained control problem is considered to achieve the desired attitude while enforcing a dynamic torque input constraint and a geometric conic pointing constraint. The ERG scheme is divided into two main parts: (i) Lyapunov function thresholds for each constraint and (ii) a vector field to update the modified reference. The Lyapunov function thresholds are determined through the level set of the Lyapunov function included in the constrained region. The vector field is designed so that the modified reference converges to the desired one. The constraint satisfaction and the convergence of the present ERG scheme are proved.

Secondly, the attitude control scheme is extended to study a pose (position and attitude) control problem while handling dynamic force/torque input constraints and geometric pose constraints. The proposed control scheme is based on the property that both the position and the attitude energy functions decrease at the same time, which allows us to consider the position and the attitude constraints independently. For the subsequent discussion, an ERG scheme for relative rigid body motion between two rigid bodies is also proposed.

Finally, visual feedback tracking problems of two-wheeled vehicles are tackled in the case where a camera and a target object are respectively attached to the vehicles. Since two-wheeled vehicles are classified as an underactuated system, the relative position between the camera and the object is first driven to the desired one. To achieve the objective, the required information is estimated only based on the visual information acquired by the camera. Then, the relative attitude behavior is analyzed as the internal dynamics after the position tracking is achieved. Furthermore, an ERG scheme is proposed to confine the visibility constraints within the view field of the camera. The effectiveness of the proposed methods is shown through numerical simulations.

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).