

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	システム蘇生変換による出力制約を考慮した非線形システムの制御
Title(English)	Control of Nonlinear Systems subject to Output Constraints via System Revival Transformation
著者(和文)	木村駿介
Author(English)	Shunsuke Kimura
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10786号, 授与年月日:2018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,山北 昌毅,早川 朋久,畑中 健志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10786号, Conferred date:2018/3/26, 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	木村 駿介		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、出力制約を考慮した非線形システムに安定化制御問題に取り組む。この問題のために、新たにシステム蘇生変換と呼ばれる座標変換と入力変換の写像対を導入する。各章の概要は以下の通りである。

第1章「序論」では、はじめに本論文の研究背景について述べ、非線形システムの制御の難しさと出力制約を考慮することの重要性を示す。つぎに、本論文で扱う非線形システムである非ホロノミックシステムに対する制御とシステム蘇生変換の概要、研究目的を示す。さらに、既存の研究との比較を通して本研究の貢献を具体的に述べる。

第2章「準備」では、まず本論文で用いる数学的な用語の定義とその性質を紹介する。つぎに制御対象である一般的な非線形システムと、非線形システムの中でも安定化制御が難しいことで知られている非ホロノミックシステムについて述べる。また、システムと合わせて、非線形システムの制御に有効である制御 Lyapunov 関数とそれに付随する関数を紹介する。

第3章「一般化同次局所半凹制御 Lyapunov 関数」では、まず出力制約を考慮しない非線形システムに対する安定化制御問題に取り組む。第2章で示した定義に基づき、新規に一般化同次局所半凹制御 Lyapunov 関数を定義する。また、この関数を非ホロノミックの正準系の一つである Brockett integrator に対して提案し、Brockett integrator の原点を漸近安定化する制御則の設計を行う。さらに、Brockett integrator は2輪車両型移動体のシステムと局所的に等価な変換をもち、これを利用することで2輪車両型移動体のシステムに対しても漸近安定化制御則を得る。以上の提案制御則を iRobot 社製のロボット掃除機である Roomba の内部エンコーダを用いた実機実験に適用して、その有効性、妥当性、および先行研究に対する優位性を確認する。

第4章「システム蘇生変換」では、出力制約を考慮した一般的な非線形システムに対する安定化制御問題に取り組む。この問題を解決するために、座標変換の前後で状態方程式の形を保持するシステム蘇生変換を提案する。システム蘇生変換は座標変換と入力変換の写像対であり、この入力変換は、座標変換により得られる仮想システムを制御対象と同じ形をした状態方程式に蘇生する特徴をもつ。状態方程式の形の保持は、任意の既存制御則に対して出力制約の付加を可能にする。本章では、システム蘇生変換の性質を明らかにするとともに、システム蘇生変換を用いた制御則設計法を提案する。さらに、非線形システムの中でも入力アフィンシステムに対して、システム蘇生変換の設計法を提案する。システム蘇生変換の設計定理には、システムの入力にかかる行列値写像の左逆行列と左零因子を要求するが、それらの導出方法も補題として示す。以上の理論を線形システムと非ホロノミックシステムへの適用する例を通して、システム蘇生変換とそれを用いた制御則設計の手順を示す。

第5章「2輪車両型移動体の移動領域制約制御」では、第4章で述べたシステム蘇生変換を2輪車両型移動体に適用する。システム蘇生変換に基づいた制御則は出力制約の境界で過大な制御入力を要求する問題を言及する。この問題に対して飽和関数に基づく写像を導入して、入力制約を考慮した制御則の設計を行う。本章では OptiTrack 社製のモーションキャプチャシステムを用いた実機実験の結果を示す。本環境は、3章で示した Roomba の内部エンコーダを用いた環境に比べて、制御周期の短さと現実の状態をより正確に推定できることに優位性をもつ。この優位性をもってしても、入力制約を考慮しない制御則では、実験機の原点を漸近安定化できないことを確認し、入力制約を考慮した制御則ではその原点を漸近安定化することを示す。また、システム蘇生変換の設計定理には、座標変換が満たすべき仮定が存在するため、簡素な不等式拘束のような出力制約以外を扱うことが困難であることも問題である。そこで、システム蘇生変換に加えて一般化同次局所半凹制御 Lyapunov 関数と多層最小射影法を用いることにより、システム蘇生変換で得られる出力制約を任意の出力制約へ拡張する手法を示す。本手法により、システム蘇生変換だけでは設計が困難であった簡素な不等式拘束で表せない出力制約に対して、2輪車両型移動体の原点安定化制御を行う。さらに同手法を用いて、システム蘇生変換ではそもそも設計が不可能であった非可縮な多様体で定義された出力制約への適用も示す。

第6章「結論」では本論文の主要な成果をまとめ、今後の課題と展望を示す。

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).

## 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	木村 駿介		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)

Almost all of control objects are described by a system of nonlinear differential equations. Moreover, nonlinear systems have several constraints in a practical case. For control of nonlinear systems, transformation is a fundamental tool. As a contribution to output constrained problem, this dissertation offers a new transformation method named "System Revival Transformation." The system revival transformation separates output constraints from nonlinear constraints.

The aim of this study is to propose a design method of stabilizing controller for a target equilibrium of output-constrained nonlinear systems. By the proposed method with a system revival transformation, a controller for the output-constrained system can be designed by using a controller for unconstrained one.

This dissertation firstly addresses a stabilization problem of nonlinear systems unconstrained for output constraints. As a nonlinear system that is difficult to control, nonholonomic system is well known. Because, nonholonomic systems cannot be asymptotically stabilized by any time-invariant continuous state feedback controllers. For this problem, this study gives the definition of "Generalized Homogeneous Locally Semiconcave Control Lyapunov Function" and proposed a discontinuous state feedback controller. Then, an asymptotically stabilizable controller is obtained for the two-wheeled mobile robot system. The effectiveness of the proposed method is confirmed by numerical simulation and experiments. It is found from these results that the origin of the nonholonomic system is finite-time stable. In addition, the proposed controller can contribute to robustness to small errors with a much simpler switching rule than previous works.

Next, this dissertation addresses output constrained problems by using system revival transformations. For general nonlinear systems, this dissertation provides a mathematical definition of the system revival transformation. The main contribution of this research is to prove that a controller based on a system revival transformation ensures asymptotic stability of target equilibrium within output constraints. Moreover, the design method of system revival transformation is also presented for input-affine nonlinear systems. The effectiveness of the system revival transformation is confirmed through stabilization problems of three-integral system, three-wheeled system, and two-wheeled system.

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).