



Title	Modeling, Robustness and Stability for Sparse Optimal Control of Dynamical Systems
Author(s)	Zhang, Zhicheng
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/96217
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (ZHANG ZHICHENG)	
Title	Modeling, Robustness and Stability for Sparse Optimal Control of Dynamical Systems (動的システムのスパース最適制御のためのモデリング、ロバスト性、および安定性)

Abstract of Thesis

Sparse optimization with uncertainty has been widely applied in operations research and industrial engineering. For instance, in control systems, sparsity effectively minimizes the control efforts by deactivating control actuators through holding a long-period of zero-valued control inputs - a paradigm known as sparse optimal control. In practical applications, dynamical systems often encounter diverse uncertainties, such as noise, disturbances, parameter mismatches, or missing data, which significantly affect their stability and reliability. These uncertainties pose challenges in modeling systems, where solutions become highly sensitive to uncertain variables. Therefore, pursuing a robust, stable, and optimal solution for uncertain models is a critical issue for optimization theory and its control applications.

This dissertation aims to address these challenges. Firstly, by implementing the dynamic linear compensator for system modeling, an explicit sparse feedback controller can be inferred from its open-loop optimal solution to closed-loop realization, which also provides the initialization robustness guarantees for control systems. Secondly, a chance-constrained sparse optimization problem is proposed by modeling the stochastic dynamics, where the uncertain parameters are assumed to be random variables. By means of convex relaxation and data-driven sampling technique, the sparse random convex program and risk-aware sparse optimal (predictive) control problem setup are presented. This framework not only delivers a randomized sparse solution but also ensures robustness with a high level of confidence in probabilistic guarantees. Thirdly, a data-driven framework for a discrete linear time invariant system is employed in conjunction with sparse feedback control synthesis. Instead of a priori knowledge of true system model, the black-box control systems can be purely exploiting experimental input/state/output data samples. Fourthly, a methodology for linear quadratic sparseoptimal control is devised to tackle a continuous-time master-slave tracking issue, employing a framework grounded in the non-smooth maximum principle. Finally, numerical benchmarks illustrates the effectiveness of the proposed theoretical results and its control technologies.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (ZHANG ZHICHENG)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	藤崎 泰正
	副 査	教授	森田 浩
	副 査	教授	鈴木 秀幸
	副 査	准教授	和田 孝之

論文審査の結果の要旨

不確かさのもとでのスパース最適化は、オペレーションズリサーチの分野を超えて、工学一般で幅広く実現が期待されるものである。特にシステム制御理論の分野では、制御入力の時系列としてのスパースさが制御に必要なエネルギー消費の抑制に効果的であるため、スパース最適化によりゼロ値の制御入力を長期間保持して制御アクチュエータの休止時間を最大化するスパース最適制御の研究が、近年活発に行われている。しかし、制御システムが用いられる実際の状況では、ノイズ、干渉、パラメータの不一致、または欠損データなど、さまざまな不確かさが存在し、これら不確かさが制御システムの安定性や信頼性に大きな影響を与える。したがって、不確かさに対してロバスト性をもつスパース最適化の実現は、現在、システム制御理論における重要な基本課題の一つとなっている。

本論文では、動的システムのスパース最適化を対象に、種々の切り口から上述の基本課題に取り組んでいる。まず、通常スパース最適制御が与えるものが制御入力の時系列であり、初期状態に依存する開ループ制御となってしまうのに対して、コントローラのモデリングを工夫し、最適化する問題自身を拡張した空間で考えることにより、スパース最適制御を動的な線形フィードバック補償器により実現する手法を考案している。これにより、スパース最適性を有する閉ループ制御が得られるため、任意の初期状態に対応することが可能となり、制御システムの初期状態に対するロバスト性が保証される。次に、制御システムのダイナミクスの不確かさを確率的にモデリングすることを考え、不確かなパラメータを確率変数と仮定し、機会制約付きのスパース最適化問題を提案している。そして、ランダムサンプリングに基づくシナリオアプローチを援用することにより、有限次元の凸最適化に帰着する解法を提案し、ある確率的な意味で高い信頼性をもつ解が得られることを明らかにしている。さらに、離散時間線形時不変システムに対するデータ駆動型制御の設計法を、スパースなフィードバックゲインの設計も取り扱えるように拡張することにより、制御対象のモデリングが不要な、実験により得られる入出力データに直接基づくスパース最適制御の設計法を構築している。本論文では、以上の研究成果が他の関連する設計法とともに整理してまとめられており、数値例を通して効果の検証も行っている。

以上のように本論文は、動的システムのスパース最適制御に種々の切り口で取り組んだ研究を内容とするものである。システム制御理論における基本課題の一つに対して網羅的な検討を行っており、SDGsを実現するための制御手法の基礎理論を与えるものとして、情報科学と数理科学における重要な貢献である。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。