

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 前 匡鴻

本論文は「Multivariable High-Precision Motion Control with Structured Modeling and Data-Driven Convex Optimization (構造的モデル化とデータ駆動凸最適化による多変数超精密位置決め制御)」と題し、多変数系の精密位置決め制御法について、モデルに基づく制御器設計による見通しの良さとデータに基づく制御器設計による高性能化を組み合わせた制御法を提案し、諸種のメカトロニクス制御装置への応用を通じてその有効性を明らかにしたものである。英語で記述された全8章により構成されている。

第I部 (Introduction) では、第1章 (Multivariable High-Precision Motion Control in Industrial Applications) において、産業応用における多変数系の制御の背景について述べ、本論文の位置づけを行っている。産業界の高性能化の要求に伴い、多くのメカトロニクス制御装置が多変数系として構成されており、多変数系に特有な軸間干渉による性能の劣化や不安定化、軸数の増加に伴う制御器の調整パラメータの増加による冗長性と調整の煩雑さといった課題を指摘している。また、精密位置決め制御の観点では、装置に実装する際の離散化の影響を考慮する必要性を明らかにしている。多変数系の制御を取り巻くそれら複数の課題に対処することによる高性能化と、産業応用に適した制御器の見通しの良さを両立した制御器設計法の枠組みの必要性を述べている。

第II部 (Multirate Feedforward Control in Multivariable Motion Systems) では、目標状態変数軌道への完全追従により良好な連続時間軌道追従性能を達成するマルチレートフィードフォワード制御を、一般の多変数系の枠組みに拡張する手法について述べている。第2章 (Multirate Feedforward Control with Non-Causal Inversion and Mode Selection) において、複数共振モードを持つ精密位置決め系に対して、完全追従を達成する状態変数の選び方に冗長性があることに着目し、連続時間軌道追従性能の観点で最適なモード選択があることを統一的に論じている。また、指令値に対応した目標状態変数軌道の生成法を一般の多変数系に拡張する手法についても提案している。第3章 (MIMO Multirate Feedforward Control with Generalized Controllability Indices) において、複数入出力を持つ精密位置決め系に対して、入力サンプリング周期に冗長性があることに着目し、連続時間軌道追従性能の観点で最適な入力サンプリング周期の選び方があることを明らかにしている。

第 III 部 (Fixed-Structure Sampled-Data Feedforward and Learning Control) では、連続時間軌道追従性能の改善を目的とした状態追従型サンプル値フィードフォワード制御をデータ駆動制御器設計の枠組みに拡張する手法について述べられている。第 4 章 (Linearly Parameterized Feedforward Control with Sampled-Data Differentiator) において、状態追従型サンプル値フィードフォワード制御器を調整パラメータに対して線形に定式化することで、連続時間軌道追従性能の向上と制御器のパラメータ調整の見通しの良さを両立する手法を提案している。また、この手法は最適化を用いた自動設計への拡張も容易であることを示している。第 5 章 (Iterative Learning Control with MIMO Sampled-Data Basis Functions) において、第 4 章で提案した制御器設計法を多入力多出力系の一般的な枠組みに拡張している。指令値に対して汎化された基底関数型反復学習制御としてフィードフォワード制御器を構成することで、複数の調整パラメータを実験データから直接学習することを可能としている。また、物理的な意味合いを保存する形で構造化された基底関数の設計を行うことで学習したパラメータの直感的な解釈も可能となっている。

第 IV 部 (Feedback Controller Design using Frequency Response Data) では、モデル化の煩雑な多変数系に対する外乱抑圧のためのフィードバック制御器設計を、調整パラメータが物理的な意味合いを持つ形で定式化し、周波数応答データから凸最適化により自動設計する手法を提案している。第 6 章 (Disturbance Rejection with Robust Performance in Dual-Stage Actuator) において、複数共振モードを持つ制御対象に対してモデル変動を考慮したロバスト性能を達成するフィードバック制御器の自動設計手法を提案している。第 7 章 (Disturbance Rejection with Robust Stability in MIMO Motion Systems) において、複数入出力を持つ制御対象に対して軸間干渉を考慮したロバスト安定性を達成するフィードバック制御器の自動設計手法を提案している。

第 V 部 (Closing) では、第 8 章 (Conclusion) において、本論文のまとめとして、提案された複数の制御法の位置づけと技術的貢献を概観し、産業応用に適した多変数の精密位置決め系の制御器設計法の一般的な枠組みの構築に成功したと結論づけている。

以上これを要するに、本論文は、産業界のメカトロニクス制御装置に代表される多変数の精密位置決め系において、複数入出力、複数共振モード、複数サンプリング周期のダイナミクスを考慮した物理的解釈の可能な構造的モデル化と、軌道追従性能の向上とモデリングコストの低減を両立可能なデータ駆動凸最適化を組み合わせた制御器設計法を提案し、諸種のメカトロニクス制御装置に適用してその有効性を実証することで、産業応用に適した多変数の精密位置決め系の制御器設計法の一般的な枠組みを構築したといえ、学术界と産業界の双方に資するものであり、電気工学、制御工学、機械工学への貢献が少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。