

2024年 8月26日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学専攻
学位審査委員会
委員長

小林 正和



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、学位審査会を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Haryson Johanes Nyobuya		学籍番号	第219101号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学専攻	
博士学位 論文名	Enhancement of Simple Adaptive Control for Industrial Feed Drive Systems (産業機械送り駆動系のための単純適応制御の高性能化)			
論文審査の 期間	2024年7月18日 ～ 2024年8月26日			
公開審査会 の日	2024年8月26日	最終試験の 実施日	2024年8月26日	
論文審査の 結果※	合格		最終試験の 結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条)				
学位申請者にかかる博士學位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。				
委員長	佐藤 海二			
委員	高橋 淳二		内山 直樹	
		印		印
		印		印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

日本の産業機械は耐久性や信頼性の点で高く評価され世界中の工場で広く利用されており、一層の高性能化が期待されている。産業機械の動作性能は摩擦などの環境変化に依存し、高速・高精度化のために、制御器パラメータをオンライン調整する適応制御の応用研究が行われてきた。しかしながら、同定と制御を同時に行う複雑な構成となるため、ロバスト性に課題があり実用化が十分に進んでいない。これに対し簡素な構成で適応制御系を実現する単純適応制御 (Simple Adaptive Control: SAC) が提案され、応用が期待されている。本論文は、多くの産業機械の基本要素である送り駆動系を対象として、SACを高性能化する方法に関する研究をまとめたものである。本論文は全6章から構成される。第1章では、本研究の背景、関連研究の概要、研究目的、論文構成を述べている。第2章では、本論文で対象としているSACの諸性質、誤差の収束性とロバスト性向上に有効な積分ターミナルスライディングモード制御 (Integral Terminal Sliding Mode Control: ITSMC)、送り駆動系の動特性と装置構成について述べている。第3章では、単軸送り駆動系を対象に、動作のジャーク信号を出力フィードバックに用いるSACの構成法を提案し、理論的に安定性を証明している。ジャーク信号は一般には計測できないため、これを推定するオブザーバの設計法も示している。さらに、目標動作への追従性能と省エネルギー性能が向上できることをシミュレーションと実験により確認している。第4章では、第3章で提案した方法を、X-Yテーブルの輪郭制御に拡張する方法を提案している。X-Yテーブルの各軸誤差を座標変換することで、第3章の方法の応用に成功している。シミュレーションと実験により輪郭追従性能と省エネルギー性能の向上を確認している。第5章では、第3章で提案したSACとITSMCを併用することで、一層の性能向上を試みている。理論的に安定性を証明し、X-Yテーブルを対象としたシミュレーションと実験により、追従性能の向上を確認している。第6章では、本研究で得られた成果をまとめると共に、今後の課題と展望を述べている。

審査結果の要旨

SACは簡素な構成により適応制御系を実現できるため、多くの応用が期待されているが、制御対象の概強正実性を前提としており、一般的な機械系への直接的な適用は困難である。このため、補助的な固定制御器により、制御対象の特性を見かけ上変更することが一般に行われているが、制御性能を犠牲にする必要がある。本論文では、制御対象の見かけ上の特性を変更することなく、産業機械送り駆動系へ適用できるSACの設計法を提案している。このことにより、実用上重要な輪郭制御やロバスト制御にSACを拡張することに成功している。

本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。1) 送り駆動系動作のジャーク信号をオンライン推定し、これを出力フィードバックすることで、制御対象モデルの概強正実性を実現し、SACの適用を可能にする方法を提案している。また、この制御系の安定性を理論的に保証している。従来の並列補償器を用いる方法と比較して、目標動作への追従誤差を約80%、消費エネルギーを約22%低減できることを実験により確認している。2) ジャーク信号を利用するSACをX-Yテーブルを対象とした輪郭制御に拡張する方法を提案している。輪郭誤差の計算に必要な座標変換を用いる場合においても、制御系の安定性を保証している。実験検証を行い、並列補償器を用いた場合に比べ、輪郭誤差を約46%、消費エネルギーを約3%低減している。3) ロバスト性と誤差収束性を向上するためにSACとITSMCを統合する方法を提案し、理論的に安定性を保証している。X-Yテーブルへの応用実験において、並列補償器を用いるSACと比較してX-Y軸それぞれ約58%、73%追従誤差を低減している。既存の適応スライディングモード制御とも比較を行い、それぞれ約52%、61%低減している。

広い産業応用を有する送り駆動系を対象とした新たなSACの設計法の提案と、その輪郭制御、ロバスト制御への拡張および安定性解析は、システム工学分野での学術的独創性が高い。また、シミュレーションと実験により、高精度性、省エネルギー性の点で有効性を確認し産業界への寄与も大きい。以上より、本論文を博士(工学)の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は1ページ以上可)