

2020年 8月 19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

佐藤 海二



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	Mathew Renny Msukwa		学籍番号	第155114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	Adaptive Nonlinear Control for Energy-Efficient and High-Precision Motion of Industrial Feed Drive Systems (産業機械送り駆動系の精密動作と省エネルギー化のための適応非線形制御)			
論文審査の 期間	2020年 7月16日 ~ 2020年 8月19日			
公開審査会 の日	2020年 8月 6日	最終試験の 実施日	2020年 8月 6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学位論文について、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	福村 直博		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

本論文は、生産工場等で広く利用されている送り駆動装置の制御性能向上に関する研究をまとめたものである。同装置の一層の高精度化のために動作環境の変動に適応できる制御法が必要である。また、環境・資源問題への対応のために、省エネルギー化も重要な課題である。このために、動作環境の変動を考慮できる適応スライディングモード制御法 (Adaptive Sliding Mode Control: ASMC) の新たな設計法を提案しており、全5章から構成される。第1章では、本研究の背景、研究目的、論文構成を記している。第2章では、送り駆動装置を対象に従来のスライディングモード制御法 (Sliding Mode Control: SMC) の制御器ゲインを適応的に調整する新たな方法を提案している。また、制御系の安定性について解析的に示している。ASMC と SMC の制御性能比較実験を行い、消費エネルギーを約3%低減しつつ、目標動作軌道への追従誤差を約45%低減している。第3章では、制御器ゲインの適応機構に加え、制御対象の不確実な動特性の影響を補償するロバスト制御機構を有する新たな ASMC の設計法を提案している。また、制御系の安定性を解析的に示している。実験により有効性を確認し、従来の方法に比較して、消費エネルギーをほぼ維持したまま、目標動作軌道への追従誤差を約64%低減している。同程度の追従性能になるように、制御器ゲインを調整した場合には、消費エネルギーを約2%低減できることを確認している。第4章では、第3章で示した方法を、多軸送り駆動装置の輪郭制御に応用する方法について述べている。多軸送り駆動装置各軸の位置追従誤差ではなく、機械加工等で重要となる輪郭動作軌道への追従誤差を低減できるように、目標動作軌道のリアルタイム修正機構を応用する方法を提案している。また、制御系の安定性を解析的に示している。シミュレーション検証を行い、消費エネルギーを大きくすることなく、最大輪郭追従誤差を低速動作時に約78%、高速動作時に約10%低減できることを確認している。第5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

産業機械の主要な機構である送り駆動装置において、一層の高精度化が期待されているが、このために動作環境の変動を考慮することが必要である。これに対し、適応制御法の応用研究が広く行われているが、実用例は多くない。この理由として、複雑な適応機構を用いた場合には、想定外の動作環境変動に対して制御器パラメータが不適当な値となり、制御性能が劣化することがあげられる。また、環境・資源問題への対応のために、省エネルギー化も重要な課題である。適応制御法において制御器パラメータが適切に調整された場合には、制御入力信号が滑らかとなり省エネルギー効果を期待できることが知られている。

以上から本論文では、想定範囲の外乱に対して有効である SMC に、制御器パラメータを調整する適応制御法と構造が未知な動特性の影響を補償するロバスト制御法を組み合わせることで、動作精度の向上と省エネルギー化の双方を達成できる制御法の提案を目的としている。本論文の主要な成果は次のとおりである。1) 簡易な適応機構を用いた新たな ASMC の設計法を提案し、制御系の安定性を証明した。既存の SMC と比較して、消費エネルギーを抑制しつつ位置精度を大きく向上可能なことを実験により示した。2) 構造が未知な動特性変動に対して制御性能を維持するために、これを考慮したロバスト制御系と ASMC を統合する設計法を示し、安定性を証明した。ASMC のみの場合と比較して消費エネルギーを同程度に維持しつつ、位置精度の大きな向上を実験により示した。また、ASMC と同程度の位置精度になるよう設計した場合には、消費エネルギーが低減されることを確認した。3) 多軸送り駆動装置においては、機械加工等で要求される輪郭精度が重要となるが、これを向上する ASMC の設計法を示し、安定性を証明した。また、シミュレーションにより、輪郭精度の大きな向上を確認した。以上のように本論文は、想定範囲の外乱に対して有効な SMC に、新たな適応およびロバスト制御法を組み合わせることで、送り駆動装置の動作精度向上と省エネルギー化を両立し、安定性を証明するとともに、有効性を実験とシミュレーションにより明らかにしており、工学および工業上の貢献が大きい。よって、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)