

2022年 8月17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	Min Set Paing		学籍番号	第175113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	Spline-Based Approaches to Time-Optimal, Smooth, and High-Accuracy Trajectory Generation for Industrial Machines (スプライン関数に基づく平滑性と高精度性を考慮した産業機械の最短時間動作軌道生成)			
論文審査の期間	2022年7月14日 ~ 2022年8月17日			
公開審査会の日	2022年8月17日	最終試験の実施日	2022年8月17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	安部 洋平		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

工作機械に代表されるように日本の産業機械は世界で性能が高く評価されており、一層の高速度高精度化が期待されている。特に動作軌道の最適化による高性能化は実装が容易な点から幅広い研究が行われている。多くの最適化手法では、効率化の点から最短時間動作軌道の生成を目的としているが、動作軌道の輪郭形状、速度、加速度、ジャークなどの運動制約を満たす必要があり、一般には複雑な問題として定式化される。また、最適化における動作軌道の表現に関して、軌道上の離散的な位置により表す方法と、軌道全体を時間関数として表すものに大別されるが、前者では動作軌道の平滑化と運動制約の充足、後者では、運動制約のうち特に動作軌道の輪郭形状を満たすことが課題である。

本論文は、上記現状の課題を踏まえ、動作軌道の輪郭形状の変更が許容される問題と、そうでないものの双方を想定し、スプライン関数の特徴を用いて、滑らかな動作軌道を生成する最適化手法の提案と、制御実験による平滑化の有効性検証を目的としている。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、一般的な動作軌道表現と最適化の方法を紹介している。第2章では、本研究で用いるスプライン関数と特徴、最適化手法について詳述している。第3章では、指定された動作軌道の輪郭形状を維持しつつ動作時間とジャークを総合的に最小化するために、スプライン関数に基づく多目的最適化手法を提案している。一般的な線形媒介変数による手法に比較して提案法ではパレート解を大幅に低減でき、ジャーク低減の効果として、実験により制御性能（平均位置誤差）が改善できることを示している。第4章では、スプライン関数を用いて、輪郭形状のみならず速度、加速度、ジャーク制約を充足できる最短時間動作軌道の生成法を提案している。既存の動作軌道生成法と比較し、計算時間を低減しつつジャーク制約を満たし、この結果、平均位置誤差が改善できることを実験により確認している。第5章では、指定された公差範囲内で輪郭形状が変更できることを仮定し、スプライン関数に基づく最適動作軌道の生成法を提案している。NCプログラムの代表的な動作軌道とスカラロボットへの応用例を示し有効性を確認している。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

産業機械の高性能化のために、ハードウェアやフィードバック制御系を改良することは一般に労力が大きく、本論文では、運用中の装置への応用を想定した動作軌道生成法に関する研究をまとめている。同様の目的から、最適動作軌道生成についての研究が広く行われているが、輪郭形状やジャークなど運動制約の充足と平滑化の点で課題を有する。本論文ではスプライン関数を用いて上記課題を解決する新たな方法を提案しており、高い新規性を有する。また、シミュレーションと実験において、既存の手法に比較し優れた性能を示しており、実用性が高い。

本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。1) スプライン関数の媒介変数表現により、指定された動作軌道の輪郭形状を維持しつつ、時間最適性とジャーク低減を評価関数とする多目的最適化問題として定式化する手法を提案している。制御実験により、一般的な線形媒介変数による手法に比較して、平均位置誤差を約2.2%低減している。2) 指定された動作軌道の輪郭形状を維持しつつ、スプライン関数の凸包性を利用することで、速度、加速度、ジャーク制約を充足できる最短時間動作軌道の生成法を提案している。既存の方法と比較し、計算時間を約60%低減しつつジャーク制約を満たし、制御実験において平均位置誤差を約1.2%低減している。3) スプライン関数の凸包性を利用して位置公差を充足できる最適動作軌道の生成法を提案している。NCプログラムの代表的な動作とスカラロボットの物体受け取り動作への応用を想定したシミュレーションにより運動制約を満たしつつ滑らかな最適軌道が生成できることを確認している。

産業機械の動作軌道生成のための運動制約と平滑性を考慮した最適化手法は、システム工学分野での学術的独創性が高く、シミュレーションと実験により有効性を示しており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)