



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Soft Computing Approaches for Effective Utilization of Elastic Energy in Flexible Manipulator [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	盖, 軼之
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12304号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61669
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	YIZHI_GAI_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 盖 軼之

審査担当者 主 査 教 授 小林 幸徳
 副 査 教 授 梶原 逸朗
 副 査 特任教授 成田 吉弘
 副 査 准教授 江丸 貴紀

学位論文題名

Soft Computing Approaches for Effective Utilization of Elastic Energy in Flexible Manipulator
(柔軟マニピュレータの弾性エネルギー活用のためのソフトコンピューティング手法)

本論文では、柔軟マニピュレータを駆動する際に、弾性変形により蓄えられるエネルギーを効果的に活用するために、ソフトコンピューティング手法による運動制御を研究している。柔軟マニピュレータの運動制御において、これまでは位置決め時の振動抑制を主目的とする振動制御の研究が広く行われてきた。しかし、発想を転換すると、弾性変形により蓄えられるエネルギーの高効率利用による高速駆動の実現が可能と考えられる。これは、弾性マニピュレータの力学モデルに基づくフィードフォワード制御によっても実現可能と考えられるが、弾性変形を伴う多リンクマニピュレータの数学モデルは高次の非線形系であるため、逆問題の解析が困難な場合が多い。本論文では、第1リンクが剛体、第2リンクが弾性アームで構成される2リンクマニピュレータによるボール投球動作を考え、ボールの初速度を最大化する問題をソフトコンピューティング手法で解決することを目指している。この問題では、弾性マニピュレータを高速駆動するため、遠心力とコリオリ力の影響が無視できない。本論文では、ハミルトンの原理に基づいて厳密な支配方程式を導出し、さらに最適化計算に適した力学モデルを示している。そして、近年注目されている粒子群最適化手法を導入して、最適化問題としての解決に取り組み、各関節の最適駆動トルク決定に有効な成果を得ている。さらに、複合材料を用いた軽量高剛性な柔軟アーム設計との同時最適化、およびボールリリース後の停止動作に発生する残留振動抑制にも取り組んでいる。

本論文は全6章で構成されており、以下にそれぞれの章の概要を示す。

第1章は序論であり、弾性マニピュレータおよびソフトコンピューティング手法についての概要を説明し、本論文に関連する従来の研究について述べている。

第2章では、本論文で取り扱う剛体リンクと弾性リンクからなる2リンクマニピュレータの概要を説明し、ハミルトンの原理より詳細な力学モデルを導出している。力学モデルに基づくシミュレーションでは、ボール把持時とリリース後の動作を連続的に取り扱う手法についても述べている。

第3章では、滑らかな投球動作を実現するために、駆動トルク関数を正弦関数の接続で生成することを提案し、速度最大化の問題を正弦関数の周期と振幅の最適化問題に帰着させている。そして、この問題を粒子群最適化の手法で取り扱うために、適切な目的関数を提案して弾性マニピュレータの動特性を考慮した入力トルク決定手法を示している。特にカオスアルゴリズムを組み込んだ手法の有用性を示すとともに、複合材料を用いた軽量高剛性な柔軟アーム設計との同時最適化も研究している。

第4章では、ボールリリース後に弾性マニピュレータに生じる残留振動の抑制手法について述べている。ここでも信号フィードバックを必要としない手法とするために、入力整形の手法を導入し、適切に入力トルクを整形することによって、ほとんど残留振動を生じないことを示している。

第5章では、提案した手法の妥当性を検証するために実施した実験について述べている。水平2リンクマニピュレータを構築し、先端にはボール把持装置を設け、ボールは最大速度時に自動的にリリースされる機構としている。シミュレーションによって決定した最適駆動トルクを用いて実験した結果、弾性エネルギーの効率的活用と残留振動の効果的抑制において、提案手法の有効性を確認している。

第6章は総括であり、本論文で得られた研究結果をとりまとめるとともに、今後の課題について述べている。

これを要するに、著者は、弾性マニピュレータの運動制御において弾性エネルギーを有効活用するためのソフトコンピューティング手法を提案して極めて有益な知見を得たものであり、ロボット工学および制御工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。