

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Stable Posture Tracking Framework for Modular Hyper-Redundant Serial Arm - A Singularity Avoidance Driven Approach
著者(和文)	DIONEAIMESCHARLESALFRED
Author(English)	Aime Acadione
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12680号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:長谷川 晶一,小野 功,中本 高道,三宅 美博,山村 雅幸
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12680号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	Dione Aime Charles Alfred	
	氏 名	職 名	氏 名	職 名
論文審査員	主査 長谷川晶一	准教授	山村 雅幸	教授
	小野 功	教授		
	中本 高道	教授		
	三宅 美博	教授		

本論文は Stable Posture Tracking Framework for Modular Hyper-Redundant Serial Arms—A Singularity Avoidance Driven Approach と題し英文8章からなる。

第1章Introductionでは、冗長自由度の有用性を具体的な例により示した後、超冗長アームでは効果器に加えロボット全体の姿勢制御が有用だが、超冗長性を活かした目標の指定が難しく、より単純な目標指定が必要であると研究の動機を述べている。そして、本研究の目的が、アーム全体の目標姿勢を曲線として受け取り、特異点の周辺を含めて滑らかに追従する姿勢制御の枠組みを提案することであると述べている。また関連研究の特徴を紹介し従来研究では本研究の目的を満たせないと述べている。

第2章Jacobian Kinematicsでは、準備としてヤコビ行列による逆運動学を概説した後、効果器の姿勢という主タスクに加えて冗長性を活かして副次タスクを定式化する手法として零空間、Extended Jacobian、Augmented Jacobianの3つの手法を説明し、本研究でAugmented Jacobianを拡張した手法を提案すると述べている。

第3章Kinematic Singularitiesでは、まず一般的な運動学的特異点の種類について、ロボットアームに固有の幾何学的特異点、制御の定式化による表現的特異点、アルゴリズム的特異点があると述べ、提案する枠組みが後者2つを回避し、前者を安定化すると述べている。また、特異点とヤコビ行列の関係と特異値分解を用いて特異点への近さを定量化する手法を紹介している。

第4章Posture Tracking Formulationでは、まず、アームを構成するモジュールの構造から制御点の決め方を示し、与えられた目標スプライン曲線上に各制御点の目標位置を求めるアルゴリズムを示している。次に各制御点を目標位置に向かわせたいが、すべての制御点を用いると特異になるため、可操作性や誤差などを基準に安全に動かせる制御点の組み合わせを選択するアルゴリズムによる制御法である選択法を示している。最後に平面の場合について、2種類のモジュールを用いたアルゴリズムについて触れている。

第5章Manipulability Space Projectionでは、機構が特異点に近くなり選択法が動かせる制御点の組を選択できなくなった場合の代替手法として投影法を提案している。選択法では、制御点の速度を目標に向かう向きに速度に限定していたが、投影法ではその速度を操作可能空間へ投影することでより多くの姿勢制御点を一度に制御でき、特異点の周囲でも動作すると述べている。

第6章Application and Evaluationでは、空間と平面の超冗長アームへの適用例を示している。いくつかの初期姿勢と目標曲線について提案した枠組みによる姿勢制御を適用し、数値シミュレーションにより軌跡と誤差を評価している。また、選択法については可操作性の指標も評価している。さらに、目標姿勢が特異点である場合には選択法では残存誤差が大きくなったこと、初期姿勢が特異点である場合には選択法は用いることができず投影法が必要であったこと、平面のアームについてのみだが選択法と投影法を切り替えて用いることで特異点に近い目標姿勢に誤差をほぼ単調に減少させつつ精度良く到

達できたことを示している。

第7章Applicability and Limitationsでは、提案した枠組みが適用可能な目標曲線について考察している。まず追従可能な目標曲線の曲率と超冗長アームを構成するモジュールが追従可能な曲率の関係を示している。次に選択法について、制御点の初期位置と目標位置の位置関係と追従可能性について考察し、隣接する制御点を結ぶベクトルの向きが初期位置と目標位置で大きく異なる場合には特異点付近を通るため中間目標を与える必要があると述べている。

第8章Conclusionでは、本研究が特異点周辺を含めてユーザーが指定した目標曲線に超冗長アームを追従させるための制御の枠組みを提案するもので、選択法とそれを補完する投影法を提案すること、両手法とも姿勢制御点の速度を関節速度に対応させる完全階数の姿勢制御行列を構築する手法であること、数値シミュレーションによりこれらの特性を評価するとともに、2つの手法を組み合わせることで特異点付近を含めて安定に追従できることを結論として述べている。また、今後の課題として、到達可能性についての厳密な分析、選択法と投影法の統合についての広範な検討、計算量の分析、現実の問題への適用とそのためユーザーインターフェースの開発、提案に動力学を含めることを挙げている。

以上を要するに本研究は、超冗長アームロボットを曲線というユーザーにとって分かりやすい目標指定に対して姿勢制御する手法を提案するものであり、工学上の貢献が大きい。よって博士（工学）の学位論文として十分な価値を持つと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。