

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	櫛 弘明 (いちい ひろあき)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 847 号
○授与年月日	2012 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	手先幾何拘束条件下におけるロボットアームの軌道追従フィードバック制御に関する考察
○審査委員	(主査) 川村 貞夫 (立命館大学理工学部教授) 永井 清 (立命館大学理工学部教授) 馬 書根 (立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

ロボットアームが対象物に機械的な接触を伴って作業する場合、ロボットアームの運動と同時に手先に発生する力を制御する必要がある。従来、この問題は対象物の幾何情報およびロボットの運動学・動力学のパラメータを既知とする制御方法や適応制御法が提案されてきた。しかし、いずれの方法も実用性に問題があり、その理論的脆弱性から力制御の産業分野での利用も進んでいない。このような問題に対して本論文は、パラメータに誤差を含む場合にロバストなフィードバック軌道追従制御を提案している。その中では、ロボットの慣性行列および幾何情報の近似値を利用することの有用性が示されている。特に本論文では、フィードバックゲインの増加に伴って位置と力の軌道追従誤差が任意に小さくできることを、非線形ロボットダイナミクスに対してリアプノフ関数を用いて数学的に証明している。さらに、計算機シミュレーションにより提案制御手法の特徴と有効性を詳細に明らかにしている。

次に、本論文ではこれまでロボットアームの位置と力の制御では検討されてこなかった手先拘束面でのクーロン摩擦を考慮している。まず、上記の軌道追従制御法がクーロン摩擦存在下においても成立することを示している。次に、クーロン摩擦から生まれる拘束力に関する特異点を明らかにしている。さらに、2自由度ロボットアームモデルを利用してクーロン摩擦特異点近傍での拘束力の状態について数值的に解析している。

<論文審査の結果の要旨>

本論文では、多関節ロボットアームの手先が対象面に拘束され、拘束面上で運動する場合について、手先の位置と力の目標軌道追従を議論している。この問題に対して、以下の点が評価できる。

[1] 多関節のロボットアームのダイナミクスは非線形多変数であり、これに手先の幾何拘束が加わるために、全体を記述する方程式は一般に複雑となる。このような対象について、本論文は位置と力の軌道追従を証明可能なリアプノフ関数を提案し、軌道追従性能の評価を可能とした。また、その有効性をいくつかの計算機シミュレーションによって確認している。これら点に新規性が認められる。

[2] このようなフィードバック制御に関して、パラメータ誤差は多くの場合不安定現象を引き起こす。本論文は、上記[1]の制御法について、ロボットと拘束面の幾何学的パラメータおよび動力学パラメータのすべてに誤差を含む場合に対しても、軌道追従性が保証できることを数学的に証明している。さらに、パラメータ誤差の影響等を計算機シミュレーションによって明らかにしている。これらの点は、理論的に新規性を有するのみならず、実用的にも有用な結果を与えており高く評価できる。

[3] ロボットアーム手先と対象物間に作用するクーロン摩擦は、その取扱いが複雑であるために理論的には十分に研究されてこなかった。本論文では、ロボットアームの手先拘束力に関するクーロン摩擦を理論的に考察している。その結果、多関節構造特有のクーロン摩擦特異点が存在することを明らかにした。また、その性質をいくつかの数値例によって示している。さらに、クーロン摩擦存在下での軌道追従制御を検討し、上記の[2]と同様の性能が得られることを理論的に示し、計算機シミュレーションによっても有効性を確認している。これらの結果は、新規性があり評価できる。

本論文の審査に関して、2012年7月31日(火)16時00分～17時30分イーストウイング4階 機械システム系演習室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者櫛弘明氏に対する口頭試問を行った。各審査委員より、クーロン摩擦特異点の物理的意味、安定性証明の詳細、フィードバックゲイン設定方法などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切であった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。