

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	手先の周期運動を利用した直列ロボットの誤差感度に基づく機構パラ ータ同定と制御
Title(English)	
著者(和文)	小池武
Author(English)	Takeshi Koike
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12493号, 授与年月日:2023年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:武田 行生,岩附 信行,山浦 弘,岡田 昌史,土方 亘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12493号, Conferred date:2023/6/30, 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

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		小池 武	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	武田 行生		教授	審査員	土方 亘	准教授
	審査員	岩附 信行		教授			
		山浦 弘		教授			
		岡田 昌史		教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「手先の周期運動を利用した直列ロボットの誤差感度に基づく機構パラメータ同定と制御」と題し、全 6 章からなる。 第 1 章「序論」では、本研究の背景と目的を述べている。製造業の就業人口の減少に伴い、ロボットによる溶接作業の自動化の必要性を挙げ、その手先位置の精度向上を課題として指摘している。特に、アーク溶接では溶接トーチを水平方向に周期的に動かすウィービング動作が用いられるが、その際にトーチと母材間の距離計測に基づいて母材の開先中心を求めることからロボットの手先上下方向の位置精度が重要であると述べている。手先位置精度に大きな影響を与える要因として関節のクーロン摩擦力や機構パラメータの誤差が挙げられるが、高い要求精度に対して既存のクーロン摩擦補償、および従来の最小二乗法に基づくパラメータ同定手法では実現できる精度が不十分であることを指摘したうえで、ウィービング動作などのロボットの目標運動の周期性を利用した誤差解析に基づく、時間的に滑らかなクーロン摩擦補償入力の決定手法、および、ロボットの動力学パラメータを周期運動に適するように同定する手法を提案するとともに、その有効性を平面 3 リンクマニピュレータによって検証することが本論文の目的であるとしている。 第 2 章「マニピュレータの運動学と運動方程式」では、本論文で用いるマニピュレータを対象として、その運動学解析を行うとともに、運動方程式に基づいて動力学モデルを導出し、関節の粘性摩擦係数、クーロン摩擦係数を含めた 15 個の最小動力学パラメータがマニピュレータの動特性を定めるパラメータであり、これらが同定対象であると述べている。 第 3 章「誤差解析に基づく摩擦補償のためのフィードフォワード制御」では、クーロン摩擦を補償するために摩擦を打ち消すステップ状の関節トルクを発生させた場合、時間的なずれやモデル化誤差によりトルクが過大となって出力誤差がかえって増大する可能性があることを指摘し、これらの影響を小さくするために時間的に滑らかな補償トルクの決定手法を提案している。すなわち、ウィービング動作が周期運動であることを利用し、目標軌道と動力学モデルに基づいてクーロン摩擦による手先位置の誤差を定式化した結果から、手先の上下方向誤差と水平方向の振幅誤差のみに着目することで入力に冗長性が生まれることを見出し、この冗長性を用いて補償トルクを滑らかにするための目的関数を設定して、最適化により補償トルクを求める手法を提案している。提案手法を用いた実験により手先位置誤差の平均値が、補償なしの場合に比べ約半分に、既存のステップ状の摩擦補償を用いた場合に比べ約 10% 低減できたことを示している。 第 4 章「運動の感度解析に基づくパラメータの確率的同定」では、一般にパラメータ同定では最小二乗法が用いられるが、実機にはモデル化されない動特性が含まれること、実験データにはノイズが含まれることから、設定したパラメータの数では不十分であり、得られる値は同定用実験データを平均的に近似したものであって、本論文で対象とする要求精度の高い運動に対して適したパラメータではないことを指摘している。さらに、目標の周期運動を対象とした実験データのみではパラメータ同定に十分な情報が含まれず、適切なパラメータが得られない場合があると述べている。これらを鑑み、パラメータを確率変数であるとみなして手先上下方向位置のパラメータに関する感度に基づいてパラメータの同定誤差共分散行列を定めることにより、目標運動に適した最小動力学パラメータを同定する手法を提案している。このパラメータを用いてフィードフォワードトルクを求めることで、最小二乗法で求めたパラメータを用いた場合に比べて、手先位置誤差の平均値が約 60% 程度に低減されることを実験によって示し、目標運動に適したパラメータ同定が達成できたことを示している。 第 5 章「独立画像計測による関節角度原点誤差の高精度同定」では、ロボット組み立ての際の関節角度原点誤差に着目し、故障などによって機体を交換した際にこれが精度の劣化を生むことを指摘すると共に、コストや生産現場の環境を考慮して簡易に同定できる手法を提案している。これは、手先位置の関節角度原点に関する感度が拡大される運動を求めて同定しやすくすると同時に、ロボットの関節角度に基づく手先位置と、独立な画像計測系を持つ簡易なカメラによって計測された手先位置の差異が、関節角度原点誤差の影響によるものとするすることで、一連の運動において整合性がとれるよう関節角度原点誤差を同定するものであり、比較的低性能で安価なフルハイビジョン、60fps のカメラで撮影して得られた位置の計測データからでも最大誤差 0.07 度で同定できることを実験により示している。 第 6 章「結論」では、各章で得られた結論を総括し、今後の課題を述べている。
--

以上を要するに、本論文は直列ロボットの要求精度の高い周期運動に対し、運動の周期性を利用し、誤差感度に基づいた制御系設計手法とパラメータ同定手法を提案し、実験によりその有効性を実証したものであり、工学的および工業的に貢献するところが大きい。よって、博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

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。