

氏名	姜 長安
授与した学位	博士
専攻分野の名称	学術
学位授与番号	博甲第4003号
学位授与の日付	平成21年 9月30日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	Operator based robust control for nonlinear plants with Prandtl-Ishlinskii hysteresis (オペレータに基づく Prandtl-Ishlinskii ヒステリシスを持つ非線形プラントのロバスト制御)
論文審査委員	准教授 鄧 明聡 教授 則次 俊郎 教授 小西 正躬

学位論文内容の要旨

This dissertation discusses the control problem of nonlinear plants with Prandtl-Ishlinskii (PI) hysteresis. By using operator-theoretic approach, the designed controllers guarantee the robust stability of the considered plant with PI hysteresis and realize the system output tracking performance by compensating the effect of the hysteresis.

With development of smart materials, many kinds of actuators are made of them. However, hysteretic behavior exists widely in smart materials and affects the performance of actuators, even makes system with these actuators exhibit undesirable oscillations and instability. To compensate the effect of the hysteretic behavior, more and more researchers have paid attention to the research of hysteresis. In this dissertation, to address the hysteresis, PI hysteresis model is adopted to describe it. Especially, the PI model is decomposed into two terms that are invertible term and bounded parasitic term. In the proposed method, the invertible term can be considered as a part of the considered plant. Based on the concept of Lipschitz operator and robust right coprime factorization condition, a robust control design scheme is given to guarantee the bounded input bounded output (BIBO) stability of the obtained system. Further, a tracking controller design method is given to ensure the system output tracking performance under the existence of the parasitic term. The numerical simulation results show the effectiveness of the proposed operator based robust nonlinear control method for nonlinear plants with PI hysteresis.

The above mentioned PI hysteresis model is described by the weighted superposition of symmetric play hysteresis operators (which are also called backlashes). In practice, the slopes of backlashes in forward and backward movements are not the same. In order to make PI hysteresis model closer to the real hysteretic behavior, a non-symmetric PI hysteresis model is proposed by using non-symmetric backlash. As non-symmetric backlash is elementary unit of non-symmetric PI hysteresis, the control problem for non-symmetric backlash is firstly considered in the research. For facilitating the utilization of operator-theoretic approach, non-symmetric backlash model is redescribed as Lipschitz operator, which is decomposed into an invertible generalized Lipschitz operator and a bounded parasitic term. Since the slopes of non-symmetric backlash in forward and backward movements are unknown and not parallel, after fusing the invertible generalized Lipschitz operator into the considered plant, the above mentioned robust right coprime factorization condition is not workable. In order to guarantee the stability of the nonlinear plant with non-symmetric backlash, a theorem including a new robust right coprime factorization condition is proposed.

Then, by using description of Lipschitz operator of non-symmetric backlash model, non-symmetric PI hysteresis model can be also described as an invertible generalized Lipschitz operator and a bounded parasitic term. Based on the proposed theorem, the stability of the considered nonlinear plant with non-symmetric PI hysteresis can be guaranteed by designed controllers. Concerning with the system output tracking performance, operator based exponential iteration theorem is adopted to design a tracking controller to compensate the effect of the parasitic term. Since this tracking controller is not related to any information of the considered hysteresis, it is useful for compensating the effect of the unknown parasitic term of the hysteresis. And it is also able to be applied for non-symmetric backlash.

Finally, numerical simulations for unstable plants with non-symmetric backlash and non-symmetric PI hysteresis are given to show the effectiveness of the proposed design methods, respectively.

論文審査結果の要旨

Prandtl-Ishlinskii (PI)ヒステリシスモデルは対称的なプレイヒステリシスオペレータ(バックラッシュとも呼ばれる)の重ね合わせで表されるが、実際には、前方と後方への運動におけるバックラッシュの勾配は対称ではない。PIヒステリシスモデルを実際のヒステリシス特性に良く近似させるように、非対称的なPIヒステリシスモデルを非対称的なバックラッシュの使用によって提案している。このバックラッシュが非対称的なPIヒステリシス特性の基本単位であるので、本論文では非対称的なバックラッシュのための制御問題をまず考えている。またオペレータ理論の利用を容易にするため、非対称的なバックラッシュモデルをリブシツツオペレータとして表現し、このバックラッシュモデルを可逆一般化リブシツツオペレータと有界寄生項に分解して表現している。しかし、前方と後方への運動における非対称的なバックラッシュの勾配は未知でかつ平行ではない。また、可逆一般化リブシツツオペレータをプラントの一部とした後では、これまでの定理に基づく上記のロバスト右既約分解条件は実行可能ではない。そこで非対称的なバックラッシュを持つ非線形プラントの安定性を保証するために、新たにロバスト右既約分解条件を含む定理を提案している。

そして、非対称的なバックラッシュモデルのリブシツツオペレータを使用することによって、非対称的なPIヒステリシスモデルが、可逆一般化リブシツツオペレータおよび有界寄生項として表現可能となった。提案された定理に基づくコントローラによって、非対称的なPIヒステリシス特性を持つ非線形プラントの安定性が保証された。さらに、システムの出力追従性能を保証するため、有界寄生項の影響を補償するための出力追従コントローラ的设计に、オペレータに基づく **exponential iteration** 定理を適用している。この出力追従コントローラは、想定しているヒステリシス特性のどんな情報にも関連しないので、ヒステリシス特性の未知の寄生項の影響を補償することに有用である。すなわち、非対称的なバックラッシュに対しても適用可能である。最後に、提案法の有効性を示すために非対称的なバックラッシュと非対称的なPIヒステリシスモデルを持つ不安定プラントに対して数値シミュレーションを与えている。よって、本論文は、制御理論上の新たな知見を与え、さらに、実用上の有効性も示しており、学術的意義は極めて高く、本研究は博士（学術）の学位に十分値すると認められる。