

令和元年9月3日現在

機関番号：56203

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K21591

研究課題名(和文) グロブナ基底に基づいたモデル予測制御系の最適設計パラメータ決定法の開発

研究課題名(英文) Development of the optimal parameter tuning method based on Grobner basis for the model predictive controller

研究代表者

逸見 知弘 (Henmi, Tomohiro)

香川高等専門学校・創造工学専攻・准教授

研究者番号：00413849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、モデル予測制御、非線形モデル予測制御の制御性能の向上を目的に、制御パラメータの設計に関して以下の研究を行った。
 モデル予測制御の強安定系の設計においては、従来法で問題となっていた定常偏差に対して、それを改善するための設計条件を導出することが出来、さらに故障診断システムへの拡張が行えた。
 また、非線形モデル予測制御系においては内部モデルに新たな制御パラメータを導入し、FRITと機械学習での一つであるCMACを用いてそのパラメータを調整することで、パラメータが不確かなシステムや非線形システムの一つであるHammersteinモデルへの適用を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モデル予測制御系の設計では、制御対象に対して最適な設計パラメータを設計する手法は確立されておらず、制御性能をシミュレーションで確認し、望ましい性能が得られるまで試行錯誤繰り返してパラメータを決定するのが現状であり、実システムへの応用が遅れているのが現状である。それらに問題に対して、本研究では、様々なアプローチで制御性能とパラメータの関係性を明らかにすることができた。さらに、故障診断システムや非線形性を持つシステム、パラメータが不確かなシステムへの拡張を行えたことで、モデル予測制御の産業界の実システムへの実装の可能性をさらに広げることが可能になったと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study addressed control parameter tuning method to improve a control performance of the model predictive controller(MPC) and the nonlinear model predictive controller(NMPC).

In designing for strong stability system of MPC, new control parameter tuning method to improve a steady state error which is one problem in previous method can be proposed. Moreover, this method can be expended to the fault detection system of actuator.

In designing of NMPC, new method, which is defined a one of the coefficient in transfer function model of linear internal model as a new control parameter and varying it, are proposed. Using FRIT and CMAC for parameter tuning method, this controller applied to control method of Hammerstein model and model which has unknown parameters.

研究分野：制御工学

キーワード：モデル予測制御 非線形制御 制御パラメータの調整

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

モデル予測制御法は、制御対象が持つモデルの不確かさ、特性変動、非線形性、外乱に対して、強いロバスト性を有した制御手法で、化学プラント等、時定数の大きいプロセス制御を中心に多く適用されてきた。このモデル予測制御法の設計では、一般に最初に適当な設計パラメータを与えた上で、複数の Diophantine 方程式、行列方程式等を解いて、制御則を求め、その制御性能をシミュレーションで確認し、望ましい性能が得られるまで、同様のプロセスを繰り返して、試行錯誤的に設計パラメータを決定しているのが現状である。したがって、得られたパラメータが必ずしも最適とは限らず、また、それらを定量的に評価・確認する手法も存在しない。さらに、パラメータの決定に時間がかかり、オンラインでの決定に不適である。

2. 研究の目的

本研究では、新しい代数概念であるグレブナー基底および数式処理ソフトウェアを利用して、モデル予測制御系の制御性能を代数的、解析的に表わし、直接最適パラメータを求める、設計方法を提案する。さらに、提案した設計方法をロボット制御に適用してその有効性を検証する。

3. 研究の方法

これまで研究者らが行ってきたモデル予測制御系の数式処理ソフトウェア、グレブナー基底を用いる設計法を拡張し、1. モデル予測制御の評価関数の最適化、閉ループ系の極指定の設計法の確立 2. モデル予測制御の時定数変化型参照軌道を用いた高速化制御の設計法の確立を行い、それぞれの設計法に対応して制御性能を表す数式を求める数式処理ソフトウェアのプログラム化、および、数式を解くグレブナー基底を求めるプログラム化を行う。

4. 研究成果

これまでの研究成果として以下のモデル予測制御に関する研究を発表した。

(1) モデル予測制御系において、フィードバックループが切れた時、(A) 閉ループ系の極、(B) コントローラの極、(C) フィードバックが切れた時の定常値の 3 つの制御仕様決定に対し、制御対象の特性を多項式で表現する多項式法から同一次元オブザーバを用いた状態方程式表現による既約分解表現によりモデル予測制御を拡張し、さらに数式処理ソフトウェアを用いたグレブナー基底を利用した設計方法を提案した。

(2) 一般化予測制御に対する強安定制御系の設計手法において、フィードバックループ切断後に定常偏差が残るという問題に対し、フィードバックループ切断状態における制御量の定常値を算出し、定常状態において目標値と制御量が一致する条件式を導出し、この条件式を用いて制御則の極を設定することで、定常偏差の生じない強安定制御則を開発した。さらに、それらを拡張し、フィードバックセンサの故障とアクチュエータの故障を検出する手法を開発し、非線形システムの拡張例として、2 リンクスカラロボットの角度制御においてその有効性を数値シミュレーションにより確認できた。

(3) 非線形システムへの拡張に対応するため、制御則の内部モデルに新たな制御パラメータを導入し、FRIT に基づいた機械学習である CMAC を用いてその制御パラメータを学習させることにより、システムに非線形や不確かさが残る場合も適応的に、パラメータ調整を行う手法を提案した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9 件)

- [1] Tomohiro Henmi : Control Parameters Tuning Method of Nonlinear Model Predictive Controller based on Quantitatively Analyzing, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.28 No.5, pp695-701, 2016
- [2] 井上 昭, 逸見 知弘, 吉永 慎一, 鄧明聡 : 入力項に無駄時間のある系の出力追従誤差の最小化, 電気学会論文誌 C 電子情報システム部門, Vol.137, No.1, pp.54-59, 2017
- [3] 谷川 豊章, 逸見 知弘, 井上 昭, 矢納 陽, 吉永 慎一 : 定常偏差の改善を目的とした強安定一般化予測制御, 電気学会論文誌 C, Vol.138, No.5, pp.498-505, 2018
- [4] 逸見 知弘, 秋山 将貴, 山本 透 : 鉄棒選手の技能に基づいた劣駆動リンクロボットの運動制御, 電気学会論文誌 C, Vol.138, No.5, pp.520-527, 2018
- [5] 逸見 知弘, 村上 智史, 水本 郁朗 : 内部モデルに制御パラメータをもつ適応型モデル予測制御における定常特性に基づいた制御パラメータの調整則, 電気学会論文誌 C, Vol.138, No.5, pp.537-542, 2018
- [6] 井上 昭, 逸見 知弘, 吉永 慎一, 矢納 陽 : FRIT の評価関数の 2 次形式表現, 電気学会論文誌 C, Vol.138, No.5, pp.589-590, 2018
- [7] 吉永 慎一, 逸見 知弘, 井上 昭, 矢納 陽, Mingcong Deng : 一般化最小分散制御系の制御則極と故障時定常ゲインの数式表現, 電気学会論文誌 C, Vol.138, No.7, pp.846-852, 2018
- [8] Tomohiro Henmi, Masaki Akiyama and Toru Yamamoto : Motion control of underactuated linkage robot based on gymnastic skill, Electrical Engineering in Japan, Vol206,

- [9] Toyoaki Tanikawa and Tomohiro Henmi : Sticking Fault Detecting Method for CARIMA Model ,
Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, Vol. 5(3), pp. 149-152, DOI :
10.2991/jrnal.2018.5.3.1; ISSN 2405-9021 print; 2352-6386 online, 2018

〔学会発表〕(計 17 件)

- [1] 井上 昭, 逸見 知弘, 鄧 明聡 : 定常ゲインと閉ループ極を考慮した強安定モデル予測制御, 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会「安全制御・故障診断および制御一般」, CT-15-077, 2015.6.27
- [2] 村上 智史, 逸見 知弘 : 適応型モデル予測制御における定常特性に基づいた制御パラメータの調整則, 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会「人間の技能データの計測・解析・評価および制御技術一般」, CT-15-120, 2015.9.11
- [3] 井上 昭, 鄧 明聡, 逸見 知弘 : 入力項にむだ時間のある系の出力追従誤差の最小化, 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会, テーマ「安全制御・故障診断」, CT-15-155, 2015.12.19
- [4] 井上 昭, 逸見 知弘, 吉永 慎一, 鄧 明聡 : 数式処理システムを用いたモデル予測制御系評価関数の数式表現と最適化, 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会, テーマ「制御理論・制御技術一般」, CT-16-025, 2016.3.4
- [5] Akira Inoue, Mingcong Deng and Tomohiro Henmi : A Mathemaical Expression of an Index Function in FRIT, Proc. of 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), pp.1171-1175, Yinchuan, 2016.5.28-30
- [6] 井上 昭, 鄧 明聡, 逸見 知弘, 吉永 慎一 : 機械学習によるプラント故障の早期検出, 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会, テーマ「安全制御・故障診断」, CT-16-063, 2016.7.9
- [7] 村上 智史, 逸見 知弘 : FRIT と CMAC を用いた適応型モデル予測制御のパラメータ調整, 平成 28 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp.317-321, 2016.8.31-9.3
- [8] T. Henmi, Akira Inoue, Mingcong Deng and Sin-ichi Yoshinaga : Early Detection of Plant Faults by Using Machine Learning, Proc. of 2016 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, ThuP04-03, Melbourne, 2016.11.30-12.3
- [9] 村上 智史, 逸見 知弘 : 内部モデルに制御パラメータを持つ適応型モデル予測制御のパラメータ調整法, 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会「制御理論・制御技術一般」, CT-16-101, 2016.12.23
- [10] M. Akiyama, T. henmi, T. Yamamoto : Verification of the Relationship between Desired Angle Ratio and Control Performance in the Links of a Gymnastic Based Controller for an Underactuated Robot, Proc. of 6th International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes, pp. 172-177, Taipei. 2017, 2017.5.28-31
- [11] 谷川 豊章, 逸見 知弘, 井上 昭, 矢納 陽, 吉永 慎一 : 強安定一般化予測制御系における定常偏差の改善, 平成 29 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, TC18-10, 2017.9.6-9, サポートホール高松(香川)
- [12] 高橋 宗一郎, 逸見 知弘 : FRIT と CMAC を用いた適応型モデル予測制御のオンライン学習, 第 60 回自動制御連合講演会, SaF2-4, 2017.11.10-12, 電気通信大学(東京)
- [13] 谷川 豊章, 逸見 知弘 : 操作量およびフィードバック信号の固着型故障の検出, 平成 29 年度 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会「スマートシステムと制御技術シンポジウム 2018」, CT-18-010, 2018.1.6-7, 東広島芸術文化ホール くらら(広島)
- [14] 井上 昭, 逸見 知弘, 吉永 慎一, 矢納 陽, 鄧 明聡 : 数式処理ソフトウェアの限定子除去法を用いた制御系の設計, 平成 29 年度 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会「スマートシステムと制御技術シンポジウム 2018」, CT-18-014, 2018.1.6-7, 東広島芸術文化ホール くらら(広島)
- [15] 高橋 宗一郎, 逸見 知弘 : 内部モデルに制御パラメータをもつ適応型モデル予測制御のむだ時間要素をもつ系への適用, 平成 29 年度 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会「スマートシステムと制御技術シンポジウム 2018」, CT-18-039, 2018.1.6-7, 東広島芸術文化ホール くらら(広島)
- [16] T Tanikawa, T. Henmi : Sticking Fault Detecting Method for CARIMA Model , Proceedings of The 2018 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB 2018), pp.330-333, Beppu. 2018, 2018.2.1-4
- [17] 谷川 豊章, 逸見 知弘 : 2 軸スカラロボットにおけるパラメータ推定法の改善, 平成 30 年度 電気学会 電子・情報・システム部門 制御研究会「制御理論・制御技術一般(スマートシステムと制御技術シンポジウム 2019)」, CT-19-014, 2019.1.5-6, 広島市まちづくり市民交流プラザ(広島)

〔図書〕なし

〔産業財産権〕なし

〔その他〕なし

6．研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：井上 昭

ローマ字氏名：Akira Inoue

研究協力者氏名：鄧 明聡

ローマ字氏名：Mingcong Deng

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。