

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330285

研究課題名(和文) 区分的双線形モデルによるエキスパートシステムの解析と設計

研究課題名(英文) Analysis and synthesis of expert systems using piecewise bilinear models

研究代表者

谷口 唯成 (TANIGUCHI, Tadanari)

東海大学・情報教育センター・准教授

研究者番号：70392032

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：区分的双線形モデルによるエキスパートシステムの解析と設計の基礎として、区分的双線形モデルを用いて、フィードバック誤差学習の開発を行い、ルックアップテーブル制御器の設計手法を提案した。オンラインで同定、制御器設計、逆モデル学習を同時に実現した。動特性を考慮することで、よりモデル化誤差の少ない逆モデルを実現した。

非ホロノミックシステムに区分的双線形モデルを構築し、動的フィードバック線形化手法による区分的制御器設計手法を提案した。特異点を有する非線形システムの安定化手法として、スイッチング区分的双線形モデルを用い安定化を実現した。楕円軌道を組み合わせることで、任意の2次元の軌道制御を実現した。

研究成果の概要(英文)：This research deals with the expert system analysis and synthesis via piecewise bilinear models. We propose a feedback error learning method and a look-up-table type controller using piecewise bilinear models. We realize the system identification, the controller design and the inverse model learning at the same time. We propose an inverse model less than the conventional one using the system dynamics. We construct the piecewise models of some non-holonomic system and design the piecewise controller using dynamic feedback linearization. We realize the stabilizations of nonlinear system with singularities via switching piecewise bilinear models and realize the tracking controls of arbitrary path with elliptical orbits.

研究分野：非線形制御

キーワード：区分的モデル フィードバック誤差学習

1. 研究開始当初の背景

大域的にモデリング、安定解析を行う従来の非線形制御手法に対して、局所的、区分的にモデル化、設計する手法が研究されている。以前は理論的な安定解析等で劣っている点が存在したが、最近では、安定解析の理論的研究が進み、制御系設計の保守性を回避する手法とされている。中でも区分的線形制御手法[1]、ゲインスケジューリング手法[2]、高木-菅野のモデルによるファジィ制御手法[3]等の研究が行われており、優れたモデリング性能、制御性能を実現している。しかし実際の産業分野では、モデリングや制御性能に劣るPID制御やエキスパートシステム等が使われており、制御性能よりもエンジニアの感覚による調整の容易さが重要視していることがわかる。現在、研究されている非線形制御では、現場のエンジニアの使い勝手、設計過程の容易性についてはほとんど考慮されていない。

申請者はこれまで非線形制御対象に対する区分的制御手法として、モデルの動特性を双線形関数で表現した区分的双線形モデルを用いた制御手法の提案を行っている[4,5]。本手法は、制御対象の状態空間を矩形領域に分割し、区分領域に対して理論的に安定性を保証する区分的双線形制御器を設計するものである。区分的双線形モデルと区分的双線形制御器がシングルTONの後件部を用いたファジィルールで表現できる。さらにルックアップテーブルとして表現できる点が特徴である。エンジニアによるパラメータの調整が容易であるエキスパートの知識を利用したファジィ制御は現場のオペレータが持つ知識戦略をファジィルールで表現することで、困難な制御対象である非線形システムを中心に広く産業応用が行われた。しかし制御手法として理論的解析手法の欠如が問題であり、信頼性を重視する制御対象への適用は難しい場合が存在する。本研究は現場のエンジニアにとって使い勝手が良いエキスパートシステムと理論的安定性を実現する区分的双線形制御手法を統合したハイブリッドタイプの非線形制御手法を提案することが目的である。本研究で行う制御手法の特徴として、自然言語で表現されるエキスパートシステムによる制御規則、制御対象の区分的モデル、安定性を保証する区分的制御器全てがルックアップテーブルとして表現できる。そのため申請者が提案した手法[4,5]を適用し、エキスパートシステムを含めた制御系に対し理論的な安定解析の実現を目指す。

<引用文献>

[1] M. Johansson and A. Rantzer, Computation of piecewise quadratic lyapunov functions of hybrid systems, IEEE Transaction on Automatic Control, 43, 4, 555-559, (1998).

[2] P. Apkarian and R.J. Adams, Advanced gain-scheduling techniques for uncertain systems, IEEE Transaction on Control Systems Technology, 6, 21-32, (1998).

[3] K.Tanaka and H.O.Wang, Fuzzy control systems design and analysis: A linear matrix inequality approach, John Wiley & Sons, (2001).

[4] T. Taniguchi, L. Eciolaza and M. Sugeno, 1. LUT Controller Design with Piecewise Bilinear Systems Using Estimation of Bounds for Approximation Errors, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 17, No.6, 2013 to appear, (2013).

[5] T. Taniguchi, L. Eciolaza and M. Sugeno, Look-Up-Table Controller Design for Nonlinear Servo Systems with Piecewise Bilinear Models, Proceedings 2013 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, (2013).

2. 研究の目的

理論的安定性を重視する非線形制御では数学的な問題を重視し、現場のエンジニアの使い勝手、設計過程の容易性についてはほとんど考慮されていない。対して知的制御では人間の思考過程や自然言語で表現される知識を制御モデルや制御器に有効に反映させることで幅広く産業応用を実現したが、理論的安定性を考慮することが困難であるため、信頼性を重視する制御対象への適用は難しい場合が存在する。

本研究は知的制御手法の一つであるエキスパートシステムと理論的安定性を保証する区分的双線形システムの統合化を行い、現場のエンジニアの使い勝手や設計の容易性を保ちつつ、理論的安定性が保証された制御系を設計することを目的とする。

本研究では以下の内容について開発を行う。

- (1) 制御器設計：エキスパートシステムと区分的双線形モデルから設計した制御器をハイブリッドシステムとして統合化を行う。さらに統合化領域の最適化を行う。
- (2) システムの解析・制御性能：区分的双線形モデルと統合化した区分的双線形制御器から構成される制御系の安定解析と制御性能の考慮を行う
- (3) モデル化：エキスパートシステムとして設計された制御器から制御対象の区分的双線形モデルを逆問題として設計する。制御対象の入出力データからシステム同

定の手法により、区分的双線形モデルを構築する。

3. 研究の方法

区分的双線形モデルによるエキスパートシステムの解析と設計の基礎として以下の研究を行った。

区分的双線形モデルを用いて、小脳皮質の内部モデルとして提案されているフィードバック誤差学習手法の開発を行い、自動車のエンジン制御に適用した。

区分的双線形モデルを用いた制御系設計の理論的研究として、非線形制御対象に区分的双線形モデルを構築し、区分的安定化制御器設計手法を設計し、車両による非線形追従制御や特異点を有する制御対象に対して、安定化制御を実現した。またコンピュータシミュレーションにて提案手法の有効性を検討した。

4. 研究成果

区分的双線形モデルを用いて、小脳皮質の内部モデルとして提案されているフィードバック誤差学習手法の開発を行った。

- (1) アクチュエーターの限界として知られたシステムの飽和问题に対する手法であるアンチwindアップ手法に対し、区分的双線形モデルを用いてフィードバック誤差学習手法を提案した。
- (2) 自動車制御ソフトウェアに多用されるルックアップテーブル型の制御器を区分的双線形モデルで構築した。本稿では、望ましいアクセルペダルの開度、エンジン回転数、ブレーキトルクと実際のふるまいを適合させるためのルックアップテーブル型フィードフォワード制御器のフィードバック誤差学習を提案した。
- (3) ロバスト制御システムである脳型制御手法を実現する試みとして、オンラインでフォワードモデルの同定、制御器設計、逆モデル学習を同時に実現することを示し、端点配置原理とフィードバック誤差学習を同時に実現した。
- (4) これまで動特性を有さない静的な区分的双線形モデルで、逆運動モデルを構成していたが、動特性を考慮した区分的双線形モデルによる逆動力学モデルを構成することで、よりモデル化誤差の少ない逆モデルを実現した。

区分的双線形モデルを用いた制御系設計の理論的研究として、非線形制御対象に区分的双線形モデルを構築し、区分的安定化制御器設計手法を提案した。以下の研究を行った。

- (1) 動的フィードバック線形化手法による区分的双線形モデルを用い、非ホロノミックシステムである一輪車の軌道制御手法の開発を行った。区分的双線形モデルを用いることで、従来手法に比べて、制御器の構造をシンプルに構成することを実現した。
- (2) 動的フィードバック線形化手法による区分的双線形モデルを用い、非ホロノミックシステムである車両型ロボットの軌道制御手法の開発を行った。区分的双線形モデルを用いることで、従来手法に比べて、制御器の構造をシンプルに構成することを実現した。
- (3) 動的フィードバック線形化手法による区分的双線形モデルを用い、4ロータヘリコプターの目標軌道追従制御手法の開発を行った。
- (4) 制御システムに特異点を有する非線形システムの安定化は非常に困難である。特異点を有する非線形システムの安定化手法として、スイッチング区分的双線形モデルを用いたハイブリッド制御手法を用いて安定化を実現した。
- (5) 申請者らは区分的双線形モデルを用いた非線形モデル追従制御手法を開発してきた。これまで開発した手法では、追従モデルが単純な円軌道などであり、車両ロボットに使用されるような複雑な軌道制御には適用できなかった。そこで楕円軌道を組み合わせることで、任意の2次元の軌道制御を実現した。そのため、より一般的な車両ロボットに必要なとされる追従軌道を考慮することで、実対象への適用が可能になった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Tadanari Taniguchi, Nonlinear control systems using piecewise models, Journal of Global Tourism Research, 査読なし, Vol. 1, 2016, 93-96

[学会発表](計10件)

Tadanari Taniguchi, Luka Eciolaza and Michio Sugeno, Tracking Control for a Non-Holonomic Car-Like Robot Using Dynamic Feedback Linearization Based on Piecewise Bilinear Models, 2014 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 2014年07月11日, 北京(中国)

Luka Eciolaza, Tadanari Taniguchi and Michio Sugeno, Brain Style Control Scheme: Simultaneous Forward and Inverse Model Identification and Controller, 2014 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 2014年07月11日, 北京(中国)

Tadanari Taniguchi, Luka Eciolaza and Michio Sugeno, Model Following Control of A Unicycle Mobile Robot via Dynamic Feedback Linearization Based on Piecewise Bilinear Models, 15th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, 2014年07月18日, モンペリエ(フランス)

Luka Eciolaza, Tadanari Taniguchi and Michio Sugeno, An anti-windup scheme for PB based FEL, 15th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, 2014年07月18日, モンペリエ(フランス)

Tadanari Taniguchi, Luka Eciolaza and Michio Sugeno, Switching Piecewise Bilinear Control of Nonlinear Systems with Singularities, 19th World Congress of the International Federation of Automatic, 2014年08月26日, ケープタウン(南アフリカ共和国)

Luka Eciolaza, Tadanari Taniguchi, Michio Sugeno, Dimitar Filev, Yan Wang and John Michelini, PB Model-Based FEL and Its Application to Driving Pattern Learning, 19th World Congress of the International Federation of Automatic, 2014年08月27日, ケープタウン(南アフリカ共和国)

谷口唯成, 菅野道夫, 区分的双線形モデルによる自動車型ロボットの追従制御, 第30回ファジィシステムシンポジウム, 2014年09月02日, 高知城ホール(高知)

Tadanari Taniguchi, Luka Eciolaza and Michio Sugeno, Quadrotor Control Using Dynamic Feedback Linearization Based on Piecewise Bilinear Models, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence 2014, 2014年12月11日, オランダ(アメリカ)

Tadanari Taniguchi and Michio Sugeno, Trajectory Tracking Controller Design

for A Tricycle Robot Using Piecewise Multi-Linear Models, The International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists 2017, 2017年03月16日, 香港(中国)

谷口唯成, 菅野道夫, 区分的多重線形モデルを用いたフィードバック誤差学習による追従制御, 第32回ファジィシステムシンポジウム, 2016年8月31日, 佐賀大学(佐賀県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 唯成 (TANIGUCHI, Tadanari)
東海大学・情報教育センター・准教授
研究者番号: 70392032

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

菅野 道夫 (SUGENO, Michio)