

令和元年6月15日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26330283

研究課題名(和文) 一般化ファジィシステムに対する制御系設計と実システムへの応用

研究課題名(英文) Control Design of Generalized Fuzzy Systems with Application to Practical Systems

研究代表者

米山 淳 (Yoneyama, Jun)

青山学院大学・理工学部・教授

研究者番号：30283344

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：一般化ファジィシステムに対する制御系設計法を提案した。また、新たな制御則であるNon-PDC制御則と新たなリアブノフ関数を導入することで、制御系設計条件の保守性の低減がなされた。同様な手法により、新規的で保守性の低い設計条件に基づいたオブザーバの設計手法を提案した。さらに、システムに未知の信号が混入した場合でもその信号の影響を取り除くオブザーバの設計に成功した。また、未知の外乱やむだ時間信号、システムパラメータの変動に対してロバスト制御系設計手法も提案した。数値シミュレーションと実システムへの適用により、提案した制御系設計法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般化ファジィシステムは、制御入力においても高次の非線形性を有する非線形システムをも表現できるだけでなく、制御系設計を容易にする形式に表現できる。制御系設計において、本研究では、局所的に非線形の制御則を提案した。このアプローチは全く新規な非線形制御則を用いるという点でも非常に独創的なものである。制御系設計の方法も線形行列不等式に基づいて与えられるため設計も行いやすい。また、外乱やむだ時間の混入に対応するためにロバスト性を有する制御則の設計も行った。つまり、本研究の結果は非常に広いクラスの実システムにも直接適用可能であるという点で理論的・工学的な観点のみならず、実社会に対しても大きな意義がある。

研究成果の概要(英文)：New control and observer design methods for generalized fuzzy systems have been proposed. Introduction of new non-PDC controller, non-PDO, and corresponding Lyapunov functions make it possible to reduce the conservatism in their design conditions. A design of unknown input observer has also been considered. Furthermore, robust control design methods have also been proposed such that they can take care of uncertain systems with disturbances and time-varying delays. Numerical simulation and application to practical systems make sure that the proposed methods are useful.

研究分野：情報学

キーワード：ファジィシステム 非線形システム 制御系設計

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

1. 研究開始当初の背景

高木・菅野ファジィシステムは、広いクラスの非線形システムを表現でき、局所的には線形システムで表現されるため、制御系設計が容易に行えることが最大の特徴である。しかしながら、ある非線形システムにおいては、従来の高木・菅野ファジィシステムで厳密に表現できても、制御系の設計が非常に困難となることが示された。そこで、局所的なサブシステムが非線形システムである一般化ファジィシステムにおいては、上記に示した設計条件を満足する表現となる。また、少ないファジィ規則数でシステムの表現も可能となる。また、ファジィシステムのメンバーシップ関数に強い非線形性のある項を取り込むことで、サブシステムの非線形性を弱めることもできる。もしくは、後述するフィードバック線形化が可能な非線形サブシステムとすることも可能である。当然、サブシステムが線形システムの場合は、従来の高木・菅野ファジィシステムとなるため、一般化したシステム表現にもなっている。ただし、サブシステムが非線形システムの場合は新たな制御系設計を構築する必要がある。

その頃までに、ファジィ双線形システムや一般化ファジィシステムに関する研究が発表されていたが世界的にはこの分野の研究結果は少なかった。また、状態フィードバックによる制御系設計しか行われていなかった。

2. 研究の目的

従来の高木・菅野ファジィシステムによるシステムの表現を拡張し、各サブシステムに一般的な非線形システムを持つファジィシステムに対する制御系設計を目的とする。また、これまでに得られている制御系設計条件よりも保守性の低い、つまり緩和された設計条件を求めるとも目的となる。これにより広いクラスの非線形システムに対する制御系設計が可能となるため、最終的には広いクラスのシステムに対する制御系設計が目的である。

具体的には、まず一般化ファジィシステムに対する状態フィードバック設計と状態推定のためのオブザーバ設計という制御系設計の基本となるべき手法を提案する。また、理論的な発展のみならず、実システムに適用して制御することも研究目的とする。そのため、実システムの構造や周辺環境を考慮し、実システムに対して実装可能な制御則である出力フィードバックによる制御系設計、システムのモデル化誤差、外乱、さらにむだ時間を考慮したロバスト制御系設計も研究目的とする。目的となる制御系設計手法が完成したのち、得られる制御系設計手法を実システムにも適用して、その制御系設計手法の有効性も検討する。

3. 研究の方法

(1) 初めに、一般化ファジィシステムに対する状態フィードバック則の設計と状態推定のためのオブザーバ設計を行う。まず、一般化ファジィシステムの特別なケースであるファジィ双線形システムに対する制御系設計を拡張し、一般化ファジィシステムに対する制御系設計手法を提案する。その際に、従来の高木・菅野ファジィシステムに対する並列分散補償(PDC)を一般化した Non-PDC 制御則を用いることで、制御系設計条件を緩和する。また、現在のメンバーシップ関数の値のみならず過去のそれを含んだ新たなリアプノフ関数を導入することで制御系設計条件の緩和を行う。

(2) オブザーバ設計に関しても、ファジィ双線形システムに対するそれを拡張し、状態フィードバック則の設計と同様に新規的で保守性の低い設計条件に基づいたオブザーバの設計手法を提案する。つまり、オブザーバの設計においても並列分散オブザーバ(PDO)を一般化した Non-PDO を用いる。さらに、推定値と実値の誤差の安定性に関して、新たなリアプノフ関数を導入し、これまでのオブザーバの設計条件の保守性を低減する。さらに、オブザーバ設計に関しては、システムに不確かな信号が混入した場合でもその影響を取り除き、システムの状態量を推定する理論的な機構を構築する。

(3) 実システムに対する制御系設計を考慮した出力フィードバックの設計に関しては、状態フィードバック則とオブザーバを組み合わせることで設計する。また、システムに不確かさや変動するシステムパラメータがある場合を考慮したロバスト制御系設計に関しては、従来の高木・菅野ファジィシステムに対する制御系設計手法を用いて、一般化ファジィシステムに対するロバスト制御系設計手法に拡張する。また、システムに不確かな時変のむだ時間信号が混入する場合に対しては、新たなリアプノフ・クラソフスキー関数を導入して、従来の制御系設計手法よりも保守性の低減に努める。

(4) 最後に、得られた結果の有効性を確かめるために数値シミュレーションと実システムへの制御則の実装を行う。まず、数値シミュレーションにより、安定性の確認だけでなく、オーバーシュート、整定時間などの過渡応答を考慮した制御系の設計を行う。そのために、コスト保証制御の設計手法を提案する。また、実システムとしては、アーム型ロボット、倒立振り子、並びにヘリコプタの姿勢制御に対して、提案手法の有効性を検討する。

4. 研究成果

(1) 一般化ファジィシステムに対する状態フィードバック則の設計においては、従来得られていたファジィ双線形システムに対する制御系設計を適切に拡張することで、一般化ファジィシステムに対する制御系設計手法を提案した。制御系設計法はファジィ双線形システムのそれよりも複雑にはなったが、一般化ファジィシステムに対する制御系設計法を提案することができ

た。設計条件についても従来のそれよりも保守性が高まる可能性があったが、Non-PDC 制御則を用い、さらに、新たなリアプノフ関数を導入することで、制御系設計条件の保守性の低減がなされた。

(2) オブザーバ設計に関しても、状態フィードバック則の設計と同様に新規的で保守性の低い設計条件に基づいたオブザーバの設計手法を提案した。こちら、従来のオブザーバではなく、Non-PDO オブザーバを用い、さらに、新たなリアプノフ関数を導入することで、従来のオブザーバの設計条件の保守性を低減がなされた。また、システムに未知の信号が混入した場合でもその信号の影響を取り除くオブザーバの設計に成功した。

(3) 状態フィードバック則とオブザーバを組み合わせることで一般化ファジィシステムに対する出力フィードバック則の制御系設計を行った。また、システムに不確かなシステムパラメータがある場合、システムに確率的な外乱が混入する場合、さらには、アクチュエータの誤動作も考慮したロバスト制御系設計についても行い、ロバスト制御系設計手法を提案した。システムにむだ時間信号が含まれる場合も適切なリアプノフ・クラソフスキー関数を導入することで、制御系設計条件を緩和した。特に、多重積分を含むリアプノフ・クラソフスキー関数を用いることで、さらなる設計条件の緩和が行えることがわかった。

(4) 数値シミュレーションにより提案した制御系設計手法の有効性を確認した。特に、コスト保証制御によりオーバーシュート、整定時間などの制御性能を考慮した制御系設計が行えた。また、実システムにも得られた制御則を適用し、その有効性を確認した。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

Jun Yoneyama, A New Observer Design for Fuzzy Bilinear Systems with Unknown Inputs, Designs, Vol.1, No.2, 2017
Doi:10.3390/designs1020010

Jun Yoneyama, Stability Analysis of Nonlinear Networked Control Systems via Takagi-Sugeno Fuzzy Model, IFAC-Papers Online, Vol.50, No.1, pp.2989-2994, 2017
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.665>

Jun Yoneyama, and Kenta Hoshino, Non-Fragile Dynamic Output Feedback Control Design for Fuzzy Stochastic Systems, システム制御情報学会論文誌, 第 29 巻, 第 12 号, pp.552-558, 2016

Omura, Masaki, Kenta Hoshino, and Jun Yoneyama, H Non-Fragile Static Output Feedback Control Design, Applied Mathematical Sciences, Vol.10, No.55, pp.2727-2738, 2016
<http://dx.doi.org/10.12988/ams.2016.6117>

Jun Yoneyama, and Kenta Hoshino, Stability Analysis and Synthesis for Nonlinear Networked Control Systems, IFAC-Papers Online, Vol.49, No.22, pp.297-302, 2016
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.413>

飯田哲平, 内田ゆず, 米山淳, 不確かさを含む離散時間システムに対する Non-fragile 制御系設計, 電気学会誌, 第 134 巻, 第 9 号, pp.1287-1292, 2014
<https://doi.org/10.1541/ieejieiss.134.1287>

[学会発表] (計 1 5 件)

Jun Yoneyama, Yuto Takenaka, and Kenta Hoshino, New Observer Design Conditions for Takagi-Sugeno Fuzzy Systems, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, WeAM-R08, 2018

Jun Yoneyama, H Filter Design for Fuzzy Bilinear Systems with Unknown Inputs and Disturbances, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2018

Jun Yoneyama, New conditions for stability and stabilization of Takagi-Sugeno fuzzy systems, Asian Control Conference, 2017

Jun Yoneyama, Control Design of Nonlinear Networked Control Systems via Takagi-Sugeno Fuzzy Model, IEEE Series of Symposium on Computational Intelligence, 2017

Jun Yoneyama, and Kenta Hoshino, Stability Analysis of Nonlinear Time-Delay Systems Via Fuzzy System Approach, SICE Annual Conference, 2016

Jun Yoneyama, and Kenta Hoshino, A Novel Non-Fragile Output Feedback Controller Design for Uncertain Takagi-Sugeno Fuzzy Systems, World Congress on Computational Intelligence, 2016

Fumihiro Sano, Kenta Hoshino, and Jun Yoneyama, Output Feedback Stabilization of Discrete-Time Fuzzy Systems, World Congress on Computational Intelligence, 2016

Jun Yoneyama, and Kenta Hoshino, Non-Fragile Control for Fuzzy Stochastic Systems, The 47th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 2015

Masaki Omura, Kenta Hoshino, and Jun Yoneyama, Non-Fragile Static Output Feedback Control Design with Guaranteed Cost of Uncertain Systems with Application to Helicopter System, The 41st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society

Jun Yoneyama, and Kenta Hoshino, Static Output Feedback Control Design for Takagi-Sugeno Fuzzy Descriptor Systems, 4th International Conference on Informatics, Electronics and Vision, 2015

Jun Yoneyama, and Kenta Hoshino, Non-Fragile Static Output Feedback Control Design with Guaranteed Cost of Takagi-Sugeno Fuzzy Descriptor Systems, Asian Control Conference, 2015

Kenta Hoshino, and Jun Yoneyama, Design of Output Feedback Controllers for Discrete Takagi-Sugeno Fuzzy Systems, International Conference on Applied System Innovation, 2015

Jun Yoneyama, Non-Fragile Output Feedback Control Design of Uncertain Takagi-Sugeno Fuzzy Systems, The 53rd IEEE Conference on Decision and Control, 2014

Jun Yoneyama, and Kenta Hoshino, Static Output Feedback Control Design with Guaranteed Cost of Takagi-Sugeno Fuzzy Systems, 14th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2014

Jun Yoneyama, Output Feedback Control Design for Nonlinear Systems Based on a Generalized Takagi-Sugeno Fuzzy Systems, 2014 World Automation Congress, 2014

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ee.aoyama.ac.jp/Labs/yoneyama-www/yoneyama.htm>

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。