

令和元年6月3日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06189

研究課題名(和文) 不確かさ観測器付き適応型多項式ファジィシステムと3次元車両自動操舵システムの構築

研究課題名(英文) Adaptive polynomial fuzzy system with uncertainty observer and its application to three dimensional automatic steering control system

研究代表者

韓 虎剛 (Han, Hugang)

県立広島大学・経営情報学部・教授

研究者番号：20295835

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本申請は大きく2つ分けて、基礎理論研究である多項式ファジィシステムと、その応用である自動操舵システム(ASCS)の構築で構成される。基礎理論研究では、T-Sファジィモデル/多項式ファジィモデルをベースに、主に状態観測器の設計、不確かさ観測器及びそれらを用いたファジィシステムの構築を行った。提案手法の応用においては、まずは、車両の横運動、旋回運動に加え、車両速度を考慮に入れた3次元車両の振る舞いをアフィンT-Sファジィモデルの形で同定することができた。最後に、アフィンT-Sファジィモデルをベースに、ASCSの制御器の設計を行い、コンピュータシミュレーションによってそ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

制御品質とシステムのロバスト性を向上させるために、従来の研究では、適応理論やH無限大理論などといった制御理論を中心に制御器の設計が行われているが、本研究は、それに加えてT-Sファジィモデルと多項式ファジィモデルをベースに不確かさ観測器を導入し、その観測情報を最大限に制御器の構成に援用する設計アプローチを提案した。本研究の成果は、学術的見地から制御理論やファジィ理論などの発展に寄与が大きい。また、提案アプローチが自動操舵システムへ応用した。その有効性はコンピュータシミュレーションのみで確認したとはいえ、今後、本研究から得た結果は他の対象にも適用することが考えられ、社会的に産業への貢献に繋がる。

研究成果の概要(英文)：This project consisted mainly of two aspects: polynomial fuzzy system design and its application to the automatic steering control system (ASCS).

As theoretical foundation to support the project, based on the widely used T-S fuzzy model and polynomial fuzzy model, we focused our attention on observers design of state and uncertainty. In particular, based on the uncertainty observer proposed, adaptive fuzzy control systems were developed in an effort to counteract uncertainty occurred in the concerned system to improve the robustness of the designed control systems. As an application, we applied our design approaches to the ASCS. In addition to the lateral velocity and the yaw rate, a longitude velocity-based affine T-S fuzzy model was first developed. Taking the fact that the affine part is known (available), via a unique coordinate transformation trying to employ the affine part as much as possible, a controller for the ASCS with uncertainty considered was designed.

研究分野：ファジィシステム

キーワード：多項式ファジィモデル アフィンT-Sファジィモデル 不確かさ観測器 状態観測器 座標変換 車両自動操舵システム

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

1. 研究開始当初の背景

一般にシステム設計のステップは、対象システムモデルの同定、モデルから制御器の設計、シミュレーションによる検証と実装から構成される。ファジィ制御分野において、今まで対象システムのモデルとして、T-S ファジィモデル、またその拡張版である多項式ファジィモデルをベースに、様々な設計アプローチが提案されている。また、制御品質を高めるために、外乱やパラメータ変動などといった対象システムの不確かさをモデルの中に考慮する必要がある。既存の研究では、H 無限大制御理論や適応制御理論などを中心にこの不確かさを対処してきた。しかし、申請者の今までの研究では、従来手法によるその不確かさの抑制効果は必ずしも期待通りになることではないことが分かった。従って、様々な観点からこの不確かさを有効に対処できるロバスト性のあるシステムを構築する必要がある。

一方、近年高度道路交通システム (ITS) に関する関心が高まり、高度運転支援システムの構築が求められている。ITS 構築の一環として、車両の知能化が研究・開発されている。現状では、先行車両の検知、速度調整、車線保持及び操舵支援を含む半自動的な追従走行を実現する運転支援システム搭載車両があるものの、いわゆる車両の知能化には程遠い。その理由の一つは、運転者と車両をつなぐステアリングの制御、つまり自動操舵システム (ASCS) は、まだまだ機能していないことが挙げられる。

2. 研究の目的

本研究は大きく 2 つ分けて、基礎理論研究である多項式ファジィシステムと、その応用である ASCS の構築で構成される。

基礎理論研究では、T-S ファジィモデル/多項式ファジィモデルをベースに、外乱やパラメータ変動などといった対象システムの不確かさをモデルの中に考慮し、制御品質向上のアプローチを構築し、その有効性を検証したうえで、確立する。また、ASCS の構築においては、まず、本来非線形の強い車両の動特性を T-S ファジィモデル/多項式ファジィモデルで同定する有効なアプローチを確立する。次に、本研究の理論展開をそれに応用し、その有効性を検証する。

3. 研究の方法

制御品質の向上を図るために、システムの不確かさを考慮する必要がある。従来の研究では、適応理論や H 無限大理論などといった制御理論を中心に制御器の設計が行われているが、本研究は、それに加えて T-S ファジィモデルと多項式ファジィモデルをベースに不確かさ観測器を導入し、その観測情報を最大限に制御器の構成に援用する設計アプローチを提案する。また、ASCS の構築においては、車両の横運動、旋回運動に加え、車両速度を考慮に入れた 3 次元車両の振る舞いをまず同定する。また、そのモデルの中に各ファジィルールの後件部に制御対象の振る舞いを記述する微分方程式に異なる定数項、いわゆるアフィン項の扱いについて、事前既知であることから、ファジィモデルの座標変換を施してからその既知情報を制御器の設計に最大限に活かせる手法を提案する。

4. 研究成果

(1) ファジィモデリング手法の確立。従来のファジィモデリングの同定手法では、ヒューリスティック手法に加えて、sector nonlinearity というアプローチがよく使われている。しかし、対象システムの複雑さにつれ、これらの手法での対応は難しくなる。本研究では、実際の対象システムを操作する際によく使われている operating points をベースに、複雑なシステムにも対応できる、operating points 近傍でテイラー展開を用いるモデル手法を検討し、その有効性を確認した。ただ、この手法によって得られるモデルには、各ファジィルールの後件部にシステムの振る舞いを記述する微分方程式に異なる定数項が付いている、いわゆるアフィン項が存在する。アフィンファジィモデルを用いる制御について、下記(4)で述べる。

(2) 不確かさを考慮した状態観測器及び不確かさ観測器の提案。従来の状態観測器の設計手法は、殆どシステム不確かさを考慮されていない。本研究では、従来のシステム状態観測器の構成と異なり、ファジィモデルに対し座標変換を施してからシステム状態及び不確かさを同時に観測する手法を提案した。また、システム状態が既知の場合、前記の座標変換を必要とせず、不確かさ観測器の設計手法も提案した。

(3) 不確かさ観測器を用いたファジィシステムの構築。従来の制御手法においては、適応理論や H 無限大理論などといった制御理論を中心にシステムの不確かさを対応してきた。本研究では、それをシステム状態と同様に観測する、つまり不確かさ観測器を構成し、それを制御器の設計に活かし、不確かさ観測器付きファジィ制御システムを提案した。そのなか、不確かさ観測器で対応しきれない残りの不確かさについて、従来の制御理論も用いてそれをカーブするロバスト性のある制御器の設計手法を提案した。

(4) アフィンファジィモデルをベースにしたファジィ制御器の設計。アフィンファジィモデルとは、各ファジィルールの後件部にシステムの振る舞いを記述する微分方程式に異なる定数項が付いている、いわゆるアフィン項が存在するようなファジィモデルを指す。アフィンファ

ジィモデルを用いる従来のシステム設計手法には、いずれもよく使われている線形行列不等式 (LMI) で制御器の設計を直接に行うことができない問題が存在する。本研究では、このアフィン項が事前既知であることに注目し、制御器の設計にそれを活かせるよう、ファジィモデルの座標変換を施してから制御器の設計手法を提案した。

(5) 3次元車両モデルの同定及び ASCS の構築。まずは、車両の横運動、旋回運動に加え、車両速度を考慮に入れた 3次元車両の振る舞いを T-S ファジィモデルの同定を行った。その結果、いくつかの車両速度を operating points にし、アフィン T-S ファジィモデルの方が有効であることが分かった。その制御手法について、(4) で述べた手法を適応した。また、ファジィモデル座標変換の手法についても、従来研究のようにファジィモデル全体ではなく、ルールごとに行い、変換前後システムの一貫性の検証を行った。最後に、ASCS のアフィン T-S ファジィモデルをベースに、制御器の設計を行い、制御システムの安定性を解析した後、コンピュータシミュレーションによってその有効性を確認した。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

H. Han, "An observer-based controller for a class of polynomial fuzzy systems with disturbance," *IEEJ TEEE C*, vol. 11, no. 2, pp. 236-242, 2016.

② H. Han, J. Chen, H. R. Karimi, "State and disturbance observers-based polynomial fuzzy controller," *Information Sciences*, vol. 382-383, pp. 38-59, 2017.

H. Han, "Fuzzy-approximator-based adaptive controller design using Nussbaum-type function," *IEEJ TEEE C*, vol. 13, no. 7, pp. 1020-1026, 2018.

H. Han, Y. Sueyama, C. Chen, "A design of observers of control state and uncertainty via transformation of T-S fuzzy models," *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, vol.22, no.2, pp. 194-202, 2018.

H. Han, "A design of fuzzy controller based on state and disturbance observers," *IEEJ Trans. on Electronics, Information and Systems (C)*, vol.138, no.6, pp. 703-711, 2018

H. Han, D. Hamasaki, "A controller design based on Takagi-Sugeno fuzzy model employing trajectory of partial uncertainty," *Designs*, vol. 2, no. 7, pp.1-17, 2018.

[学会発表] (計 8 件)

H. Han, X. Zhang, D. Wu, "Observers for a class of T-S fuzzy models with disturbance," The Proceedings of the 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2016), 2016.

H. Han, J. Chen, "Polynomial fuzzy controller using state and disturbance observers," The Proceedings of the 42nd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2016), 2016.

H. Han, Y. Sueyama, J. Chen, "Observers of control state and uncertainty for a Class of T-S fuzzy models," The Proceedings of 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD 2017), Guilin, China, 2017.

H. Han, D. Hamasaki, "A design of uncertainty trajectory observer for a class of T-S fuzzy models," The Proceedings of Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS 2017), 2017.

H. Han, "A controller for a class of T-S fuzzy models with uncertainty using Nussbaum-type function," The Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Naples, 2017.

H. Han, D. Hamasaki, J. Fu, "State- and uncertainty-observers-based controller for a class of T-S fuzzy models," The Proceedings of 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Porto, 2018.

J. Fu, H. Han, "Uncertainty observer-based sliding-mode controller for a class of T-S fuzzy models," The Proceedings of International Conference on Innovative Computing, Information and Control, Lianyungang, 2018.

H. Han, D. Hamasaki, "Uncertainty observer and controller based on the Takagi-Sugeno fuzzy model," Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Miyazaki, 2018.

[図書] (計 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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。