

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04453

研究課題名（和文）厳密フィードバック系を利用した非線形システムのサンプル値オブザーバ設計法の開発

研究課題名（英文）Design of Observers for Nonlinear Sampled-data Systems based on Strict-feedback Systems

研究代表者

片山 仁志 (Katayama, Hitoshi)

滋賀県立大学・工学部・教授

研究者番号：20268296

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：状態変数の変換と状態の拡張を利用した非線形サンプル値制御系のオブザーバ設計に取り組んだ。システムの相対次数等より厳密フィードバック系に変換可能な非線形システムのクラスを見つけることに難航した。本研究終了後もこの観点からのオブザーバ設計法の開発を目指す。一方、サンプリング周期が時変となる非線形サンプル値厳密フィードバック系に対するオブザーバの設計法と安定化出力フィードバック制御器の設計法を開発した。また、サンプル値制御系の結果をネットワーク制御系へ拡張することにより、非線形ネットワーク厳密フィードバック系に対するオブザーバ設計法と安定化出力フィードバック制御器の設計法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

厳密フィードバック系は非線形システムの重要なクラスである。このクラスの時変なサンプリング周期を持つサンプル値系とネットワーク制御系に対し、オブザーバ設計法と安定化出力フィードバック制御器設計法を提案できるため、船舶、車両等の移動体に対し現実的な制御系設計法を提案できる。

研究成果の概要（英文）： In this research project, we have tried to design observers for nonlinear sampled-data systems by using both a change of the state variable and an extension of the state variable. Unfortunately, we have not found a good way to derive a class of systems that can be converted to strict-feedback systems for the purpose of the observer design. We still try to find a way to derive such a class.

We also consider the design of observers and output feedback stabilizing controllers for sampled-data strict-feedback systems with time-varying sampling periods and networked strict-feedback systems. We have developed two design methods of observers and output feedback controllers for such systems.

研究分野：工学

キーワード：オブザーバ 非線形サンプル値制御 非線形ネットワーク制御 状態変換

1. 研究開始当初の背景

(1) 非線形制御システムのオブザーバ問題では、オブザーバ推定誤差変数のみでの誤差ダイナミクスの記述が困難なため、システムの相対次数を用いた状態変数変換による線形化に基づくオブザーバ設計法が提案された。しかし、この方法ではシステムの非線形性を利用したロバストなオブザーバ設計は困難である。

(2) 申請者はオイラー近似モデルに基づく非線形サンプル値制御理論を利用して、移動体の運動制御モデルの一般化である厳密フィードバック制御系に対し、従来の状態変数変換を使用せずにシステムの非線形性と離散時間オブザーバの性質を利用してコンピュータ制御用のサンプル値低次元オブザーバの設計法を開発し、船舶制御の実機試験でその有効性を示した。また、一定値及び安定な線形ダイナミクスを持つ状態を付加(状態拡張)した厳密フィードバック系の状態拡張に対するサンプル値低次元オブザーバの設計法も開発した。

2. 研究の目的

- 1) オブザーバ設計に適した厳密フィードバック系の状態拡張
- 2) 「厳密フィードバック系 + 状態拡張」に変換可能な非線形システムのクラスの導出
- 3) 相対次数に代わるオブザーバ設計用の新しい概念または「厳密フィードバック系 + 状態拡張」に状態変換するための変数変換の導出

から、申請者が開発したシステムの非線形性を利用する厳密フィードバック系のサンプル値オブザーバ設計法を拡張して、非線形システムのより広いクラスに対するロバストなサンプル値オブザーバ設計法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 制御理論面の研究方法は、

- 1) 従来結果の相対次数と状態変数変換からの検討
 - 2) 状態拡張と状態変数変換の組み合わせによるオブザーバ設計法の構築
- の組み合わせにより、非線形システムのサンプル値オブザーバ設計に適した状態変数変換と状態拡張を解明し、非線形システムのサンプル値オブザーバの設計法を開発する。

(2) 実機試験面の研究方法は、

- 1) 移動体ロボットのカメラ画像計測に基づくネットワーク制御系の構築
 - 2) 移動体ロボットのモデリング、非線形モデルの「厳密フィードバック系+動的拡張」への変換可能性の確認
 - 3) ネットワーク制御系での様々な現実的な制約の考慮
- から開発するオブザーバ設計法の有効性のサンプル値及びネットワーク制御の観点からの現実的な性能評価を行う。また、実機試験からの見地に基づく高性能なサンプル値オブザーバ設計法の理論的發展を進める。

4. 研究成果

(1) 時変なサンプリング周期を持つ非線形厳密フィードバック系の低次元オブザーバ設計と出力フィードバック安定化制御器の設計
時変なサンプリング周期に対し公称サンプリング周期を導入することにより、サンプリング

リング周期が一定の場合の結果をサンプリング周期が有界かつ時変となる場合へ拡張できることを示した。

(2) アクチュエータダイナミクスも考慮した非線形サンプル値厳密フィードバック系の出力フィードバック安定化と船舶制御への応用
現実の制御系設計では使用する安定なアクチュエータのダイナミクスも考慮する必要があるため、これも考慮した非線形サンプル値厳密フィードバック系の制御問題を考えた。また、船舶制御への適用による提案設計法の有効性も議論した。

(3) 非線形ネットワーク厳密フィードバック系の制御問題
近似離散時間モデルに基づく非線形ネットワーク制御系の制御問題を考えた。厳密フィードバック系に対し、ネットワーク系の通信制約を考慮したオブザーバと安定化出力フィードバック制御器を設計した。

(4) 非線形確率サンプル値制御系の設計問題
確定系に対して提案された非線形サンプル値制御系設計の枠組みの確率系への拡張を試みた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 H. Katayama	4. 巻 14
2. 論文標題 Digital implementation of continuous-time observers for nonlinear networked control systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 213-222
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/18824889.2021.1956405	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 片山仁志	4. 巻 61
2. 論文標題 非線形サンプル値制御の船舶制御への応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 103-108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11499/sicejl.61.103	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 片山仁志
2. 発表標題 ネットワーク厳密フィードバック系の出力フィードバック安定化
3. 学会等名 第10回 制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 片山仁志
2. 発表標題 Discretization of Continuous-time Controllers for Nonlinear Networked Control Systems
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片山仁志
2. 発表標題 通信ネットワークを考慮した3 DOF洋上船舶のオブザーバ設計
3. 学会等名 日本機械学会 第17回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Katayama
2. 発表標題 Design of Reduced-order Observers and Output Feedback Controllers for Sampled-data Strict-feedback Systems with Time-varying Sampling Intervals
3. 学会等名 IFAC World Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片山仁志
2. 発表標題 離散時間モデルに基づく非線形ネットワーク制御系のオブザーバ設計
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤訓志, 片山仁志
2. 発表標題 離散時間確率システムに基づく非線形確率サンプル値システムも確率漸近安定性の十分条件
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片山仁志
2. 発表標題 Design of a state and disturbance reduced-order observer for sampled-data underactuated ships with constant disturbance
3. 学会等名 The 12th Asian Control Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片山仁志
2. 発表標題 Design of stabilizing output feedback controllers for sampled-data strict-feedback systems with stable actuator dynamics
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片山仁志
2. 発表標題 時変なサンプリング区間を持つサンプル値厳密フィードバック系の低次元オブザーバの設計
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤訓志, 片山仁志
2. 発表標題 近似モデルに基づく離散時間確率システムの準大域的実用確率漸近安定性の十分条件
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤訓志, 福永修一, 片山仁志
2. 発表標題 確率解析に基づくガウス過程回帰により表されたシステムの安定性解析
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI ' 19)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片山仁志
2. 発表標題 線形ダイナミクスが付加されたサンプル値厳密フィードバック系の低次元オブザーバの設計と追従制御問題への応用
3. 学会等名 第6回 制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤訓志, 福永修一, 片山仁志
2. 発表標題 確率制御アプローチによるガウス過程回帰により表されたシステムの安定性解析
3. 学会等名 第6回 制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------