

令和元年5月29日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06412

研究課題名(和文)非線形サンプル値制御理論による加速度センサーを用いた高度な制御系設計法の開発

研究課題名(英文) Development of High-level Control System Design based on Acceleration Measurement by Nonlinear Sampled-data Control Theory

研究代表者

片山 仁志 (Katayama, Hitoshi)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：20268296

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)：加速度から速度を推定する非線形サンプル値系のオブザーバの設計に取り組んだが、加速度情報の有効な活用法を見出せずに難航した。本研究計画終了後も高ゲインオブザーバ理論の観点からオブザーバの設計法の開発を目指す。

本研究課題の双対に当たる位置計測から速度を推定するオブザーバの設計も同時に進め、一定値外乱や制御入力の更新遅れを持つサンプル値厳密フィードバック系のオブザーバと出力フィードバック制御器設計法の開発とモデル不確かさを持つサンプル値厳密フィードバック系に対するロバストな高ゲインオブザーバと高ゲインオブザーバ型安定化出力フィードバック制御器の設計法の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

オブザーバ設計が可能となる非線形サンプル値系のクラスを拡大できると共に、小型の加速度センサーによる移動体の横方向の速度推定が可能になり、安価な移動体の高性能制御系設計が可能になる。また、GPSやレーダーセンサーなどの従来センサーとの融合から、より安全かつ高性能な移動体の自動操縦システムを実現できる。

研究成果の概要(英文)： In this research project, we have tried to design observers that estimate position and velocity for sampled-data strict-feedback systems with acceleration measurement. Unfortunately, we have not found good ways to use the sampled acceleration measurement for the purpose of the observer design. We still try to design observers by applying the high-gain observer design method.

We also consider the design of reduced-order observers for sampled-data strict-feedback systems with position measurement, constant disturbances, and stable actuator dynamics. Furthermore, we have designed robust observers, high gain observers, and performance recovery of high-gain observer-based output feedback controllers for sampled-data strict-feedback systems with position measurement and model uncertainties.

研究分野：工学

キーワード：オブザーバ 加速度センサー 非線形サンプル値制御 状態変換

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

1. 研究開始当初の背景

- (1) 加速度センサーは主に、加速度計測による対象に働く力の計測（力センサー）として利用されているが、そのもう一つの役割である "加速度 速度 距離" の計測にはほとんど利用されていない。
- (2) 加速度センサーは、観測ノイズの影響を受けやすい場所（車両などの移動体）で利用されるため、力センサーとしての利用は有効であるが、観測データの積分による速度と距離計測は非常に困難である。
- (3) 機械系の制御では、直接観測可能な位置情報から速度を推定し制御系を構成する。しかし、線形制御系も含めても、加速度情報から機械系の状態変数である位置と速度の推定を利用した制御系の理論的な解析と設計はほとんど議論されていない。
- (4) オイラー近似モデルを利用して、サンプリング時刻の観測情報から不可観測状態を推定する非線形サンプル値系のオブザーバ設計の理論的な枠組みは与えられている。
- (5) 提案されたオブザーバ設計枠組みを機械系の一般形である厳密フィードバック系に適用し、サンプリング時刻の位置情報から速度を推定するオブザーバと出力フィードバック制御器の設計法を与えた。連続時間系の設計結果と比較して、提案設計法によるオブザーバと制御器は非常にシンプルかつ実用化しやすいものである。また、設計したオブザーバと制御器の観測ノイズに対するロバスト性も示した。船舶制御へ応用し、実機試験から提案設計法の有効性を理論面のみならず実用面からも示した。

2. 研究の目的

- (1) オイラー近似モデルに基づく非線形サンプル値系のオブザーバ設計法を利用して、サンプリング時刻での加速度センサーの観測ノイズを含む計測値（加速度）から、実用的な精度で速度と位置推定を行うオブザーバの設計の枠組みを与える。
- (2) 加速度情報のサンプル点観測のみを持つサンプル値厳密フィードバック系に提案するオブザーバ設計枠組みを適用し、厳密フィードバック系のオイラー近似モデルの構造的特徴を利用して、実用的な精度で速度と距離を推定するオブザーバと出力フィードバック制御器の具体的な設計法を与える。
- (3) 簡単な実験装置を用いて、提案するオブザーバと制御器の設計法の有効性を実証実験で確認する。

以上の (1)-(3) の目的の達成を通して、加速度センサーを用いた高度な制御系設計法の開発に挑戦する。

3. 研究の方法

- (1) 加速度のサンプル点観測を考慮した非線形サンプル値系の厳密モデルと制御系設計用のオイラー近似モデル間の 1 ステップ一貫性を確認する。
- (2) オイラー近似モデルにより設計可能なオブザーバと出力フィードバック制御器のクラス、あるいは形式を明確化する。
- (3) オイラー近似モデルに対し (2) で特徴付けしたオブザーバと出力フィードバック制御器の存在を仮定し、厳密モデルと元のサンプル値系のオブザーバと制御器となるための十分条件を与える。
- (4) 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を開発する。

- (5) サンプル値厳密フィードバック系に対し要求性能を持つ状態フィードバック制御器の存在を仮定し(4)で設計したオブザーバとの組み合わせによる出力フィードバック制御器を構成する。
- (6) オブザーバと制御器設計において、達成可能な制御性能とサンプリング周期の長さの関連性も同時に議論する。
- (7) 加速度センサーを実機試験機に取り付け必要な制御プログラム作成し、設計オブザーバと制御器の性能評価を実用面からも検証する。

4. 研究成果

- (1) 加速度のサンプル点観測から速度情報を推定する非線形サンプル値系のオブザーバの設計に取り組んだ。観測情報の利用とダイナミクスの状態変換法の拡張からオイラー近似モデルの具体的なオブザーバ設計に取り組んだが、加速度情報の有効な活用法を見出せずに難航した。本研究計画終了後も高ゲインオブザーバのアイデアの利用に加えて、加速度観測の特徴に基づく状態変換法の開発から具体的なオブザーバの設計法の開発を目指す。
- (2) 本研究課題の双対に当たる位置計測から速度情報を推定するオブザーバの設計法の拡張も同時に進めて、
安定なアクチュエータダイナミクスと一定値外乱を持つ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の開発。
マルチレート非線形サンプル値系の設計法を組み合わせによる制御入力の1サンプリング区間とマルチサンプリング区間の更新遅れを持つサンプル値厳密フィードバック系のオブザーバと出力フィードバック制御器の設計法の開発。
オブザーバゲインの高ゲイン化によるモデルの不確かさを持つサンプル値厳密フィードバック系のロバスト性解析とロバストなオブザーバ設計法の開発。
入力アファインなサンプル値厳密フィードバック系に対する高ゲインオブザーバ型安定化出力フィードバック制御器の設計法の開発
オブザーバゲインの高ゲイン化による状態フィードバック制御器により達成される制御性能の高ゲインオブザーバ型出力フィードバック制御器による漸近的な回復を示した。
- (3) 非線形サンプル値確定システムの制御設計の枠組みの非線形サンプル値確率システムへの拡張。
(2), (3) から、高ゲインオブザーバの適用や確率システムへの拡張により、より現実的な厳密フィードバック非線形サンプル値系の出力フィードバック安定化制御器設計が可能になることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- (1) 片山仁志, Design of reduced-order observers for nonlinear sampled-data strict-feedback systems with actuator dynamics and disturbances, International Journal of Control, 査読有、掲載決定
DOI: 10.1080/00207179.2018.1428363

〔学会発表〕(計9件)

- (1) 片山仁志, Asymptotic performance recovery under output feedback stabilization of sampled-data input-affine strict-feedback systems, Proceedings of the SICE Annual Conference, 2018年
- (2) 片山仁志, Output feedback stabilization and asymptotic performance recovery for

input-affine sampled-data strict-feedback systems、26th Mediterranean Conference on Control and Automation、2018 年

- (3) 片山仁志、Design of high-gain observers for nonlinear sampled-data strict-feedback systems with model uncertainty、Proceedings of 2018 European Control Conference、2018 年
- (4) 片山仁志、モデル不確かさと一定値外乱入力を持つサンプル値厳密フィードバック系の高ゲイン低次元オブザーバの設計、第 60 回自動制御連合講演会、2018 年
- (5) 片山仁志、サンプル値厳密フィードバック系の高ゲイン低次元オブザーバの設計と一考察、第 5 回 制御部門マルチシンポジウム、2018 年
- (6) 片山仁志、Design of multi-sampling period delay stabilizing controllers for nonlinear sampled-data strict-feedback systems、Proceedings of the SICE Annual Conference 2017、2017 年
- (7) 片山仁志、Design of one sampling period delay stabilizing controllers for nonlinear sampled-data strict-feedback systems、Proceedings of the 20th IFAC World Congress、2017 年
- (8) 片山仁志、制御入力の更新に遅れを持つサンプル値系に対する安定化制御器の設計、第 59 回自動制御連合講演会、2017 年
- (9) 佐藤訓志、片山仁志、近似モデルの安定性に基づく厳密離散時間確率システムの実用確率漸近安定性、第 59 回自動制御連合講演会、2017 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者
なし

(2) 研究協力者
なし

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。