

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14759

研究課題名（和文）デスクリプタシステムによる非プロパーな系の離散時間化と制御系設計への応用

研究課題名（英文）Discretization of an Improper System with a Descriptor System and its Application to Control System Design

研究代表者

河合 新 (Kawai, Shin)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：40803549

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000 円

研究成果の概要（和文）：非プロパーな逆システムをデジタル制御系で適切に実装するための基盤確立に向けて、非プロパーなシステムの離散時間化を適切に扱うための定義の提案やその性質の解明を行った。また、非プロパーな系を含む制御系と制御対象や制御器の次数変化に関する安定性やモード変化の解析を行った。さらに、逆システムの離散時間化手法・離散時間モデルとして、これまでの研究によって候補として取り上げた代入モデルについて、その精度や制御系への影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非プロパーな逆システムをデジタル制御系で適切に扱うための定義を定めたことで、非プロパーなシステムを離散時間化の枠組みで議論可能とした。また、非プロパーな系を含む制御系の次数変化による性質の変化について検討することで、非プロパーな系を制御系に含むシステムを適切に扱うために考慮が必要となる性質に対して理解を深めた。これにより、非プロパーなシステムを用いたモデルベースでの制御系設計手法開発の基盤確立に貢献した。

研究成果の概要（英文）：Toward establishing a foundation for the appropriate implementation of improper inverse systems in digital control systems, a definition for appropriately handling the discrete-time of improper systems was proposed, and its properties were clarified. Control systems' stability and mode changes were analyzed, including improper systems and order changes of control objects and controllers. Furthermore, as a discretization method and discrete-time model for the inverse system, the accuracy and effects on the control system of the assignment model that has been taken up as a candidate in previous studies were clarified.

研究分野：デジタル制御理論

キーワード：非プロパーシステム 逆システム 離散時間化 次数変化 デスクリプタシステム

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

非プロパーなシステムは仮想的に扱うことで解析や制御系設計をより柔軟に可能とするため、確固とした理論に基づいて対応できる枠組みの構築が望まれる。しかし、研究開始時点では下記の点からその扱いが困難であった。

- 1) 制御理論において従来よく用いられてきた状態空間表現などのようなシステムの内部表現では非プロパーなシステムは適切に表現できない。したがって、非プロパーなシステム自身やそれらを用いた解析や制御系設計などといった、非プロパーなシステム活用のためには、それらを適切に表現できる数理モデルの使用とそれに基づく解析や制御系設計の検討が必要である。
- 2) システムの扱いにおいて使用が前提となっているデジタル機器で非プロパーなシステムを扱うにはその離散時間化が必要であるが、これまでにその検討はなされていない。これには 1) 状態空間表現など従来よく用いられてきた数理モデルでは連続時間の非プロパーなシステム、すなわち、離散時間化する対象、が表現できなかったこと、2) 非プロパーなシステムを離散時間化するための定義などが十分に構築されていなかったこと、などが原因として考えられる。したがって、非プロパーなシステムをデジタル機器で適切に扱うためには、これらの課題を解決した上で、その離散時間化手法の開発が必要である。

そこで、本研究ではデスクリプタシステムに注目した。デスクリプタシステムは状態空間表現などでは表現できない要素を持つ複雑・多様なシステムに対しても、それらのモデルベースでの解析や制御系設計が可能である。そして、デスクリプタシステムでは非プロパーなシステムも表現可能であり、かつ、その離散時間化を議論できる理論的な枠組みが構築されてきている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、デスクリプタシステムによって非プロパーな逆システムを適切に扱い、連続時間と離散時間の違いを意識したシステムの離散時間化の成果によって、逆システムを実装可能とすることである。それによって、プロパーなシステムに限定しないシステムに対するデジタル制御系設計の基盤的手法の構築を目指す。

3. 研究の方法

研究期間中に下記 3 つの研究を実施した。

- 1) 非プロパーなシステムの離散時間化を適切に扱うための理論的枠組みの構築
非プロパーなシステムをデジタル機器で適切に扱うことを可能とするために、その離散時間化に関する理論的枠組みの構築に取り組む。従来の信号やシステムの離散時間化の定義を非プロパーなシステムにも適用可能な形式へ拡張し、また、その定義に基づく性質などを導出する。
- 2) 非プロパーなシステムを含む制御系と次数変化に関する解析
システムのプロパー性に関連してその扱いに注目しているシステムの次数について、制御器や制御対象が次数変化する際のシステムのモード変化や安定性への影響を明らかにする。その結果得られた知見を非プロパーなシステムをデジタル機器で扱う際に注意すべき点として整理する。
- 3) 非プロパーなシステムの離散時間モデル候補に対する精度や次数変化の影響に関する解析
これまでの研究によって非プロパーなシステムの離散時間化として候補に挙げられた離散時間モデルに対して、制御対象の次数が変化することによる安定性や精度への影響を明らかにする。

これらによって、非プロパーなシステムを活用したデジタル制御系設計手法開発のための理論的な枠組みの構築を図る。

4. 研究成果

上記の研究方法に対して、以下に得られた成果とインパクトなどをまとめる。

- 1) 非プロパーなシステムの離散時間化を適切に扱うための理論的枠組みの構築
逆システムなどの非プロパーなシステムについて、その離散時間化を適切に扱うための理論的な研究を行った。具体的には、非プロパーなシステムに現れる超関数について、その離散時間化の定義を提案し、またその定義に基づく種々の性質を明らかにした。また、制御理論においてテスト信号の1つであるインパルス信号として知られているデルタ関数を例に取り、種々の定義や定理の合致からその妥当性を検証した。これら従来の離散時間化の定義拡張によって、非プロパーなシステムの離散時間化を議論可能とし、デスクリプタシステムで逆システムなどの非プロパーなシステムを離散時間化するための理論的な枠組みの構築を行った。
- 2) 非プロパーなシステムを含む制御系と次数変化に関する解析
非プロパーなシステムを含む制御系において、その制御系の制御対象や制御器の次数変化による性質の変化について明らかにした。制御系が含む非プロパーなシステムとして具体的には部分的モデルマッチング制御を行う微分器を含む制御系を対象に解析を行った。その結果として、制御対象や制御器の次数変化に伴うシステムの安定性やモードの変化を明らかにした。これにより、非プロパーなシステムを制御系に含むシステムを適切に扱うために考慮が必要となる性質に対して理解を深めた。
- 3) 非プロパーなシステムの離散時間モデル候補に対する精度や次数変化の影響に関する解析
デスクリプタシステムを用いて表現した逆システムの離散時間化手法・離散時間モデルとして、これまでの研究によって候補として挙がり検討している代入モデルを取り上げ、その精度や制御系への影響について研究した。特に開ループ系だけに留まらず、閉ループ系に関してもその影響を調査し、その結果として、サンプリング周期といった離散時間化の影響やシステムのバンド幅などといった応答の速さだけでなく、逆システムが非プロパーである事に関連してこれまでも注目していたシステムの次数も、代入モデルによって離散時間化したシステムの応答精度に影響を及ぼすことを明らかにした。これにより、逆システムなどの非プロパーなシステムの離散時間化の候補となる代入モデルによる離散時間に対する理解を深めた。また、閉ループ系に関する調査も行ったことに伴い、代入モデルを用いた制御系の離散時間化・設計に対する理解を深め、逆システムの離散時間化とその制御系設計に関する理論的な枠組みの構築を進めた。

これらの成果によって非プロパーなシステムをデジタル制御系で扱うための基礎的な手法や結果を蓄積し、その理論的枠組みの構築に貢献した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 1件）

1. 著者名 Kawai Shin, Hori Noriyuki	4. 巻 2020
2. 論文標題 Generalised discretisation of continuous time distributions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Engineering	6. 最初と最後の頁 259 ~ 267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/joe.2019.1124	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 T. Kubota, N. Hori, T. Nguyen-Van, and S. Kawai
2. 発表標題 Discretization Accuracy of Mapping Models in Closed-Loop
3. 学会等名 2021 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kubota, N. Hori, T. Nguyen-Van, and S. Kawai
2. 発表標題 Design of a Controller for Plants Undergoing Order Changes
3. 学会等名 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Kawai and N. Hori
2. 発表標題 Interpretation of Kitamori 's Partial-Model-Matching Method in a Descriptor-Form Expression
3. 学会等名 2020 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA 2020) (国際学会)
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
---------	---------