

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06419

研究課題名(和文)既存の制御系の性能を保持しつつロバスト性を付加する特化型補償器の発展研究

研究課題名(英文)Extend research of model error compensator for satisfying robust control systems

研究代表者

岡島 寛(Okajima, Hiroshi)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授

研究者番号：40452883

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：制御系設計を行う場合には、対象の数式モデルに基づいて制御器の設計を行うことが一般的である。このとき、数式モデルと制御対象の動特性との間にギャップがあれば、それに起因して所望の制御性能を得られない。本研究では、制御対象の出力とモデルの出力の差をフィードバックすることで見かけ上の両者間のギャップを小さくする新しいロバスト制御手法について研究を行った。誤差抑制のみに特化するような補償器を付加するため、既存の制御系設計法と併用することができ、良好な制御性能を簡単な設計手順で実現できる。先行研究で基本的な設計論についてノイズを含む系、非線形系、離散時間系に展開し、深化させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案しているモデル誤差抑制補償器は、制御対象とモデルとのギャップが小さくなるような補償に特化するため制御構成が簡単な点が本研究の独創的な点である。また、本研究はモデル化誤差の抑制のみに特化しているため、既存のロバスト制御と異なり他の制御手法と併用しやすい利点を持つ。具体的には、本研究の補償器を含むシステムを制御対象とみなして制御することで、他の制御手法と本補償器の良いところ取りができる。このとき、性能は維持したままモデルの不確かさや外乱に強い制御系を構築できること、「制御性能」、「ロバスト性」が分離されて設計の見通しが良く、考え方が難しくないことから実応用、産業応用にも向いている。

研究成果の概要(英文)：We research "model error compensator" to minimize the effect of the modeling error and the disturbance for the plant.

研究分野：制御工学

キーワード：ロバスト制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

制御系設計において、正確な制御対象の運動特性を数式モデルとして表現できれば、最適レギュレータなどの様々な既存の制御系設計手法により所望の動作を実現できる。しかし、動特性を数式モデルとして完全に表すことは難しく、対象パラメータの個体バラツキ、経年劣化など、対象の挙動を完全に把握しモデル化することは不可能に近い。また、例えばロボットが様々な重さの物体を運ぶような状況では、重さによらず同じ制御器で動作させることになるためバラツキに強い制御系の構築が必要不可欠である。

そのような背景から、ロバスト制御の研究が展開されているが、通常、ロバスト制御においては、モデル集合のうちどの対象が与えられても所定の制御性能を満たすことを目的として制御器が設計される。これは、モデル集合のうちの最悪ケースに対しての性能保証を目指した制御器設計を意味し、結果として遅い応答となる場合が多い。また、評価関数が周波数域での評価指標である H 指標に限られるため扱いにくく、直接的に実際の設計仕様を扱えないことなどの理由により産業界などでは積極的に利用されていない。

これに対し先行研究では、従来のロバスト制御とは別の視点からモデルと制御対象とのギャップの補償の方法を研究してきた。具体的には、制御対象 P で起こり得る全てのダイナミクスに対し、そのモデル P_n からのバラツキを小さくする補償器(図1)を設計する。補償器 H を適切に設計することで、 P がばらついて P' が P_n と近くなるように補償する。このとき、図1の3の制御対象 P の代わりに P' を用いて制御を行えば良好な制御応答が期待できる。

既存手法で得た制御器を用いて P' を制御する

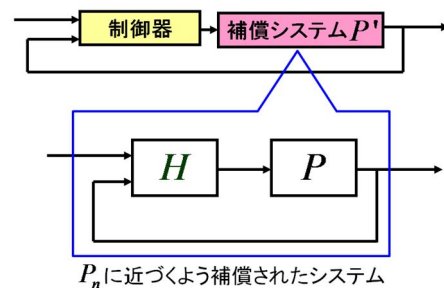


図1 モデル誤差抑制補償器

2. 研究の目的

制御系設計を行う場合には、対象の数式モデルに基づいて制御器の設計を行うことが一般的である。このとき、数式モデルと制御対象の動特性との間にギャップがあれば、それに起因して所望の制御性能を得られない。本研究では、制御対象の出力とモデルの出力の差をフィードバックすることで見かけ上の両者間のギャップを小さくする新しいロバスト制御手法について研究を行なう。誤差抑制のみに特化するような補償器を付加するため、既存の制御系設計法と併用することができ、良好な制御性能を簡単な設計手順で実現できる。先行研究で基本的な設計論について展開を行ってきたものを展開し、深化させることで汎用性の高いロバスト制御手法を構築する。

3. 研究の方法

まず、28年度でセンサノイズ環境下でのモデル誤差抑制補償器の設計論について研究を進める。これによってより実践的な制御対象へと扱う対象を拡大することができる。先行研究で進めている結果と併せて線形制御系における設計法を統一的に構築し、広いクラスの問題への適用を図る。29年度以降は、離散時間制御系に対する設計法を構築する。離散時間系に対する理論展開を進めることによってより制御法の汎用性が高まると期待される。ここで、連続時間系と離散時間系間の既存の制御系設計理論のアナロジーを考えた場合、離散時間系への適用は比較的容易であると考えられる。また、先行研究の基礎的な研究成果に基づいて非線形システムに対する誤差補償の設計法を展開する。本研究では特に、非線形の場合にどのようにフィードバック制御器を設計するかに着目し研究を進める。設定した課題は以下の3点であった。

課題1：センサノイズ環境下での設計法の構築

課題2：離散時間制御系に対する設計

課題3：非線形システムに対する設計

4. 研究成果

課題1の結果

センサノイズ環境下での設計問題について、まず、混合感度問題としての問題の定式化を行い、既存の設計問題の枠組みに帰着させた。先行研究の設計法自体が既存のロバスト制御系設計法との親和性が高いことから、ノイズ環境下でのモデル誤差抑制補償器の設計についても混合感度問題の枠組みで定式化できると想定していたが、その想定通りの結論を得た。ノイズが出力に与える影響を H 指標として評価することによって、既存の設計論の枠組みに帰着させることができ、既存の設計論の枠組みとして扱うことができた。

課題2の結果

離散時間系に対してモデル誤差抑制補償器の枠組みを研究することは課題1と比較して容易で

あると考えていたが、離散時間系とすることで連続時間系では扱いが容易でない枠組みの研究を進めることができ、想定以上に良い取り組みになった。具体的には、周期時変システムや、データロスがあるような系などを扱うための土台作りを離散時間制御の枠組みの中で扱うことができた。このような研究の成果は学术论文として発表し、2019年12月に掲載されている。離散時間系に対する研究の発展は今後も進めていけるものと考えており、科研費の研究として進めたことで有意義な研究成果を得た。

課題3の結果

上述の課題2の研究が想定以上に進んだため、そちらに資源を集中したため、非線形系に対する適用および理論の展開はあまり進んでいない。そのため非線形H_∞制御を適用していく最終目的は実現できていない。しかしながら、当初最初のアプローチとして考えていた車輪型倒立振子への適用と制御は実行しており、一定の成果は得た。この成果は2019年2月に学术论文誌に掲載されている。

その他の研究結果

当初、応用対象として電動車いす制御系などのビークル制御のみを考えていたが、熊本城の復旧作業時に必要となる石材の3次元測定のためのロバストな制御手法実現のために本研究が応用されており、静止動作や旋回動作を安定化する上で重要な役割を果たした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 OKAJIMA Hiroshi、NAKABAYASHI Yuta、MATSUNAGA Nobutomo	4. 巻 54
2. 論文標題 Signal Limitation Filter to Satisfy Velocity and Acceleration Limits	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 146 ~ 152
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.9746/sicetr.54.146	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Okajima Hiroshi、Okumura Kosuke、Matsunaga Nobutomo	4. 巻 139
2. 論文標題 Robust Velocity Compensation of Inverted Pendulum Robot with Model Error Compensator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 219 ~ 226
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1541/ieejeiss.139.219	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Okajima Hiroshi、Kawawaki Osamu	4. 巻 31
2. 論文標題 Formulation of Control Systems Design Problem for Low Cost Individual Customization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers	6. 最初と最後の頁 392 ~ 399
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.5687/iscie.31.392	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 岡島寛、中林佑多、松永信智	4. 巻 Vol.54, No.1
2. 論文標題 任意信号に対して速度・加速度を制約する信号制限フィルタの設計	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 146-152
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 奥村洸佑, 岡島寛, 松永信智	4. 巻 Vol.30, No.4
2. 論文標題 センサノイズ環境下でのモデル誤差抑制補償器の設計	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 153-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 奥村洸佑, 岡島寛, 松永信智	4. 巻 30
2. 論文標題 センサノイズ環境下でのモデル誤差抑制補償器の設計	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Yuta Nakabayashi, Hiroshi Okajima, Nobutomo Matsunaga
2. 発表標題 Inter-Vehicle Distance Stabilization in Adaptive Cruise Control Using Signal Limitation Filter
3. 学会等名 Proceeding of 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1985-1990 (2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Nakabayashi, H. Okajima and N. Matsunaga
2. 発表標題 Signal limitation filter to satisfy velocity and acceleration constraints for arbitrary input signals
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中林佑多, 岡島寛, 松永信智
2. 発表標題 信号制限フィルタを用いた隊列走行制御系における車間距離安定化
3. 学会等名 第5回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村洸祐
2. 発表標題 モデル誤差抑制補償器を用いた車輪型倒立振子のロバスト走行
3. 学会等名 第35回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山下智理
2. 発表標題 モデル誤差抑制補償器を用いた空気圧アクチュエータの制御
3. 学会等名 第35回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究紹介 http://ictrl.cs.kumamoto-u.ac.jp/wordpress.html</p>
