

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14186

研究課題名（和文）高効率なデータ収集法に基づくデータベース駆動型システムの構築

研究課題名（英文）Construction of a database-driven system based on a highly efficient data collection method

研究代表者

木下 拓矢（Kinoshita, Takuya）

広島大学・先進理工系科学研究科（工）・助教

研究者番号：80825323

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：オフラインでデータを生成する際に課題となる、未知外乱の推定方法について、独立成分分析を用いた手法を提案した。また、制御性能の劣化検出方法として CNNを用いた制御性能劣化の早期検出方法を提案した。最後に、システム変動下における閉ループ応答データの予測方法を提案した。具体的には、線形時変系の特徴を FIR型フィルタで表現し、生成されたデータをデータベースへ格納することで、制御性能の向上を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

内閣府はAI技術のさらなる革新のため、ムーンショット型研究開発制度を提唱し、「自ら学習・行動し人と共生するロボットの実現」を掲げている。その中で制御工学の分野では、未知環境下では良好な制御性能を得ることが難しい。しかし、良好な制御結果を得るための初期データ取得のためには、様々な条件でのシステム運用が望ましいが、一方で、それに関わる人的コストが生じる。したがって、いかに初期データを「大量に」かつ「容易に」取得するかが、今後のAI技術発展の鍵となる。これが実現できれば、「データ収集・制御性能向上」という観点で大きなブレークスルーを起こすことが期待できる。

研究成果の概要（英文）：A method using independent component analysis was proposed for estimating unknown disturbances, addressing an issue in offline data generation. Additionally, a method for early detection of control performance degradation using convolutional neural network (CNN) was proposed. Finally, a technique for predicting closed-loop response data under system variations was developed. Specifically, the characteristics of a linear time-varying system are represented by a FIR-type filter, and the generated data are stored in a database to validate the improvement in control performance.

研究分野：制御工学

キーワード：データ駆動型制御 オフラインデータ生成 制御性能劣化早期検出

1. 研究開始当初の背景

内閣府はAI技術のさらなる革新のため、ムーンショット型研究開発制度を提唱し、「自ら学習・行動し人と共生するロボットの実現」を掲げている。しかし、既存の技術では、教師データが存在しない未知領域では、AI技術の精度は保証されないため、未知領域におけるAI技術の限界を打破することが急務な状況にある。一方、制御工学の分野においても、同様の課題が指摘されている。図1に示すように、(ii)制御系設計法については、これまで多数研究されているが、(i)の入出力データ以外の未知環境下では、良好な制御性能を得ることが難しい。しかし、(i)のデータ取得のためには、様々な条件でのシステム運用が必要となり、さらにそれに関わる人的コストが生じる。したがって、いかに(i)のデータを「大量に」かつ「容易に」取得するかが、今後のAI技術発展の鍵となる。これが実現できれば、「データ収集・制御性能向上」という観点で大きなブレークスルーを起こすことが期待できる。

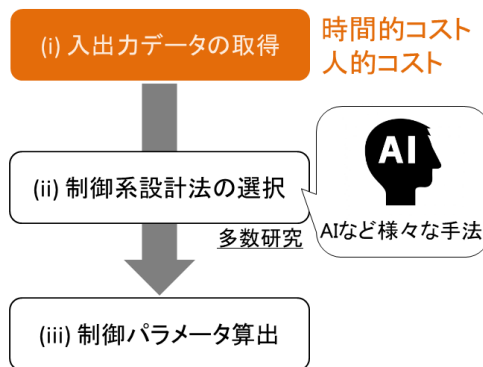


図 1. 制御パラメータ算出手順

2. 研究の目的

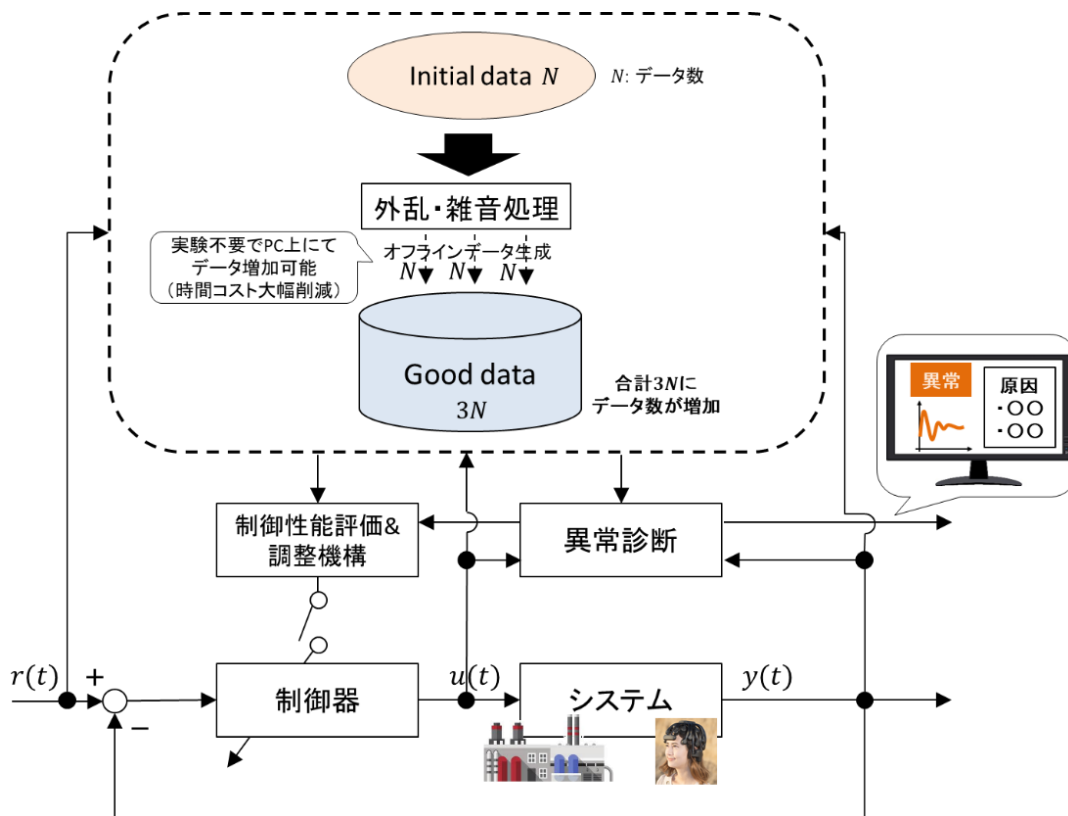


図 2. オフラインデータ生成に基づくデータベース駆動型制御系の概要図

本研究の概要図を図2に示す。本研究の目的は、下記の3つである。

- (1) 初期データから未知外乱を推定する手法の確立
- (2) 人にとって理解しやすい異常データの特徴量可視化 (異常診断)
- (3) 将来的なシステム変動を考慮したオフラインデータ生成法の確立

図2に示されるように、本研究では、オフラインでデータを生成することが基本技術となる。このとき、外乱や雑音初期データに含まれる場合、精度が高くデータを生成することができない。したがって、上記(1)により未知外乱の推定方法を確立する。また、データからの異常診断においては、(2)人にとって理解しやすい異常データの可視化法の確立を目指す。これにより、人の解釈が含まれたデータベースが構築できる。最後に、従来技術では、システム変動しない条

件下において、目標値や制御器が変更された場合のみ、オフラインデータ生成していた。しかしながら、実際には、システムが変動することは往々にして存在するため、(3) 事前に仮定したシステム変動におけるデータ生成法の確立を目指す。

3. 研究の方法

【未知外乱推定方法】

オフラインでデータを生成する際に課題となる、未知外乱の推定方法について、独立成分分析を用いて理論構築を行い、数値シミュレーションからその有効性を検証する。本手法の特徴としては、システム同定が不要で、得られた閉ループデータから直接未知外乱を推定できる点である。最終的な理論検証として、磁気浮上装置を対象とし、提案法の有効性を実機実験により検証する。

【異常データの可視化】

産業界においても重要な制御性能の迅速な劣化検出について研究を進める。このとき、人の視覚情報に基づいた異常検知を想定し、視覚情報の特徴量が得られる CNN (Convolutional neural network) を用いる。提案法の有効性は、数値シミュレーションにおいて検証する。

【システム変動を考慮したオフラインデータ生成法】

事前に想定したシステム変動下における閉ループ応答データの予測方法を提案する。具体的には、線形時変系の特徴を FIR 型フィルタで表現し、システムパラメータが不要な閉ループ応答データ予測方法を提案し、そのデータをデータベースへ格納することで、従来のデータベース駆動型制御法よりも制御性能が向上することを確認する。

4. 研究成果

研究成果として、上記(3)のシステム変動を考慮したオフラインデータ生成について以下にまとめる。本手法においては、システムの変動として線形時変系を想定し、それを FIR 型フィルタで表現することにより、提案法における線形性を担保している。したがって、FIR 型フィルタにより線形性が崩れることがないため、従来のオフラインデータ生成法を適用可能である。しかしながら、実際のシステム変動は FIR 型ではなく、時変系であるため、事前に予測したデータと実際の制御結果が異なることとなる。これに対応すべく、事前に予測した入出力データをデータベースに格納し、オンライン学習を実施することで推定誤差にも対応することを検討した。

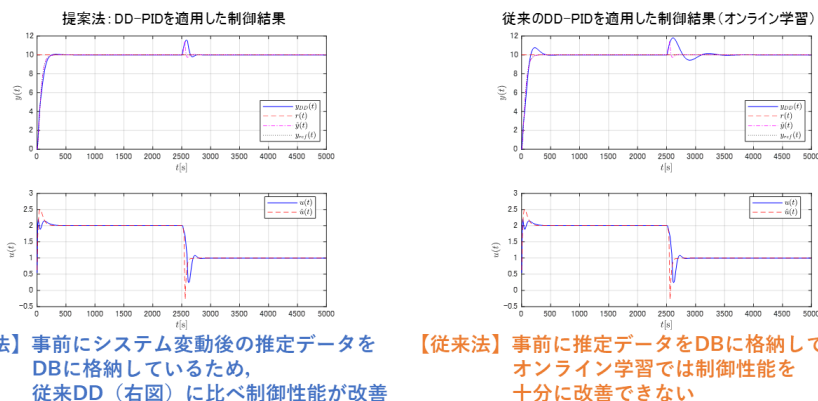


図 3. システム変動を考慮したオフラインデータ生成法の制御結果

提案法を適用した結果を図 3 に示す。本数値例では、時刻が 2000[step]のときにシステム変動が生じている。左図は提案法であり、事前に推定したデータをデータベースに格納しているため、良好な制御結果(青線)が得られている。一方、従来法として、オンライン学習法を搭載したデータベース駆動型制御法の適用結果を右図に示す。右図の結果において、システム変動に対して、オンライン学習を実施し、ある程度は良好な結果が得られているものの、事前に予測データを格納した左図と比較すると、制御性能が劣化していることが確認できる。

以上の結果から、システム変動を事前に予測し、そのデータをデータベースに格納することの有用性について検証した。

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 Yasuteru Nishiya, Takuya Kinoshita, Toru Yamamoto	4. 巻 2
2. 論文標題 Design of a Data-Driven Controller based on Estimated I/O Data using Open-Loop Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advances in Artificial Life Robotics	6. 最初と最後の頁 48, 52
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 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Atsushi Kawamoto, Takuya Kinoshita, Tomohiro Hayashida and Toru Yamamoto
2. 発表標題 Study on a Control Performance Degradation Detection using CNN
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川本敦史, 木下拓矢, 林田智弘, 山本 透
2. 発表標題 CNNを用いたシステム変動検出法に関する一考察
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木下拓矢, 山本透
2. 発表標題 線形時変系を模擬したシステムに対する閉ループデータの予測法
3. 学会等名 電気学会 制御研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大前泰寛, 木下拓矢, 山本透
2. 発表標題 閉ループデータを用いた未知外乱推定およびデータ駆動型制御の一設計
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大前泰寛, 木下拓矢, 山本透
2. 発表標題 独立性に基づく閉ループデータを用いた未知外乱推定に関する一考察
3. 学会等名 電気学会 制御研究会 スマートシステムと制御技術シンポジウム 2023
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大前泰寛, 木下拓矢
2. 発表標題 未知外乱信号に対するデータ駆動型制御系の一設計
3. 学会等名 電気学会 制御研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西谷恵輝, 木下拓矢
2. 発表標題 信号射影を用いた予測データに基づくデータ駆動型制御系の一設計
3. 学会等名 第64回自動制御連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Omae, Takuya Kinoshita
2. 発表標題 Design of a Data-Driven Control System Using Input and Output Data Including Unknown Disturbances
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021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