

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：24506
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2013～2015
課題番号：25820186
研究課題名(和文)モデルフリー2自由度サンプル値系の構成法

研究課題名(英文)Design of Model-free 2DOF Sampled-data system

研究代表者
佐藤 孝雄(Sato, Takao)

兵庫県立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00347527
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：従来の高度な制御系設計においては、制御対象のモデルが既知もしくはあらかじめ想定される系に対する設計法であった。それに対して、本研究では事前にモデルなどがわからない場合でも制御系を設計するために、入出力データに基づいた設計方法について検討を行った。特に二自由度系として設計することにより、二つの制御指標が互いに影響することなく独立に設計する方法について検討した。これにより、既存のある制御性能を低下させることなく、他の制御性能を向上させることが可能となる。

研究成果の概要(英文)：We investigated methods for designing high-performance control systems, even when no known or assumed process model or system is available, in contrast to the existing procedure of designing the system to control such systems or models. We focused on the design of control systems from input-output data and in particular on the independent design of two mutually non-interfering control indicators as a system with two degrees of freedom, and found that this method yields control systems with higher levels of performance than prior control systems.

研究分野：制御理論

キーワード：データ駆動 2自由度系 モデルフリー

1. 研究開始当初の背景

産業分野では現在も PID 制御が中心的な役割を果たしているが、技術の高度化の課程において H を代表とするロバスト制御やサンプル値制御に関する研究が精力的に進められてきた。申請者はこれまで、サンプル値制御系において精密制御の精度を高めるために低周波数領域と高周波数領域の応答を独立に設計する 2 自由度系設計に関する研究を進めてきたが、制御対象のモデルが正確に分かることを前提としている。

2. 研究の目的

本研究では、すでに動作している制御系の入出力データおよび目標値応答から低周波数領域と高周波数領域の応答を独立に設計する 2 自由度サンプル値系設計を構成する手法を開発する。本手法の実現によって、既存の制御系の低周波数領域の応答を保存したままで、高周波数領域の応答が設計可能な 2 自由度サンプル値系へ直接拡張することが可能になる。また、ゲイン余裕・位相余裕といった安定余裕を事前に指定した範囲を実現しかつ最適な制御性能を発揮する制御系設計を行う。

3. 研究の方法

まずモデルフリーな 2 自由度サンプル値制御系を構成する手法を開発し、制御性能を数値実験によって検証する。次に、制御手法の有効性を確認するために精密位置決め制御系を模擬したシステムの設計を行う。さらにモデルフリー 2 自由度サンプル値制御系の構成法を、低周波数領域と高周波数領域を独立に設計できる手法に拡張する。制御系の構造を特に制約しない場合、高度な制御性能が実現できるが、産業界で最も多く利用される PID 制御器に限定した場合でも高度な制御性能を実現させる。

4. 研究成果

制御系の入出力データや目標値に基づき低周波数領域と高周波数領域の応答を独立に設計できるモデルフリーな 2 自由度サンプル値制御系を設計できるようになった。ユーザが安定余裕を指定できるようになるため、制御対象の特性が精密に分かる場合には、安定余裕を低く見積ることで高い制御性能を実現できるようになる。また特性に未知な部分が多くあると考えられる場合には、安全性を重視した制御系を設計ができるようになる。今後は、より精密な周波数帯域の独立を補償する設計方法について研究を進める必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 20 件)

1. Ryosuke Fujiwara, Natsuki Kawaguchi, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Fault Diagnosis for an Actuator Fault in Discrete Linear System Model Using Log-likelihood, ICIC Express Letters, Vol.6, No.12(B), pp.3237-3242 (2015) (査読あり)
2. Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Design of Two-Degree-of-Freedom Generalized Minimum Variance Control-based PID Control Laws, ICIC Express Letters, Vol.6, No.12(B), pp.3333-3340 (2015) (査読あり)
3. 中谷真太郎, 荒木 望, 佐藤孝雄, 小西康夫, 筋電位による動作識別のための半教師付き学習を用いた識別器更新手法, 計測自動制御学会論文集, Vol.51, No.8, pp.535-541 (2015) (査読あり) doi:10.9746/sicetr.51.535
4. Natsuki Kawaguchi, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Fault-tolerant Control Design for Actuator Failure Based on Discrete Linear System Model, ICIC Express Letters, Vol.8, No.2, pp.575-582 (2014) (査読あり)
5. Toshifumi Nakamura, Shuhei Kimura, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Multirate control for a Twin-Rotor Type Model Helicopter, ICIC Express Letters, Vol.8, No.2, pp.583-590 (2014) (査読あり)
6. 木村周平, 佐藤孝雄, 荒木 望, 小西康夫, 状態空間表現を用いた多入出力デュアルレート系の一設計, システム制御情報学会論文誌, 第 27 巻, 第 3 号, pp.80-86 (2014) (査読あり) DOI:10.5687/iscie.27.80
7. Yosuke Sakuragi, Takao Sato, Toru Yamamoto, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Performance-Adaptive PI Control for a Boiler Control System, ICIC Express Letters, Vol.8, No.3, pp.675-682 (2014) (査読あり)
8. Nozomu Araki, Tatsuya Azechi, Takao Sato and Yasuo Konishi, Estimation of Human Indoor Locomotion Using Microwave Doppler Sensor Array, ICIC Express Letters, Vol.8, No.3, pp.739-744 (2014) (査読あり)
9. Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Design of Self-tuning Multirate PD Control, ICIC Express Letters, Vol.8, No.4, pp.943-949 (2014) (査読あり)
10. 能間弘季, 田邊 峻, 佐藤孝雄, 荒木望, 小西康夫, 一次近似線形化に基づくツインロータ型モデルヘリコプタの飛行制御, 電気学会論文誌 C(電子・情

- 報・システム部門誌), Vol.134, No.9, pp.1269-1270 (2014) (査読あり) DOI:10.1541/ieejieiss.134.1269
11. 木村周平, 佐藤孝雄, 荒木 望, 小西康夫, マルチレート系におけるノイズ応答特性の改善法, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.134, No.9, pp.1271-1272 (2014) (査読あり) DOI:10.1541/ieejieiss.134.1271
 12. 多鹿 裕志, 佐藤孝雄, 大西義浩, 山本透, 荒木 望, 小西康夫, 性能評価に基づいた定量フィードの制御, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.134, No.9, pp.1200-1205 (2014) (査読あり) DOI:10.1541/ieejieiss.134.1200
 13. Takao Sato, Toru Yamamoto, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Performance-Adaptive Generalized Predictive Control-Based Proportional-Integral-Derivative Control System and Its Application, American Society of Mechanical Engineering (ASME), Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 136, No. 6, Paper No: DS-12-1419 (2014) (査読あり) doi:10.1115/1.4027923
 14. 佐藤孝雄, 性能評価に基づく定量フィードの適応制御, システム/制御/情報, 特集号解説記事, Vol.58, No.3, pp.117-122 (2014) (査読あり)
 15. 佐藤孝雄, 編集後記「性能を診断し, 達成する制御 総合特集号」特集号を企画して, システム/制御/情報, Vol.58, No.3, pp.123 (2014) (査読あり)
 16. 佐藤孝雄, Orlando Arrieta and Ramon Vilanova, 安定余裕の指定に基づく PID 制御の設計, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), 特集解説, Vol.133, No.3, pp.616-619 (2013) (査読あり)
 17. 佐藤孝雄, わかりやすい現代制御論, 森 泰親 著, 森北出版, システム/制御/情報, Vol.57, No.10, pp.434 (2013) (査読あり)
 18. 佐藤孝雄, 木村周平, 矢納 陽, 増田士朗, 荒木 望, 小西康夫, マルチレート系における積分補償要素の二自由度設計, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.133, No.6, pp.1114-1119 (2013) (査読あり) DOI: 10.1541/ieejieiss.133.1114
 19. 中塚裕考, 佐藤孝雄, 山本透, 荒木望, 小西康夫, 制御性能評価を用いたオンライン型 FRIT に基づくフィードフォワードコントローラの調整法, システム制御情報学会論文誌, 第 26 巻, 第 6 号, pp.221-223 (2013) (査読あり) DOI:10.5687/iscie.26.221
 20. Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Design of a Multirate PD Control System for Improvement in the Steady-state Intersample Response, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, Vol.5, No.1, pp.12-19 (2013) (査読あり) DOI: 10.1504/IJAMECHS.2013.055256
- 〔学会発表〕(計 20 件)
1. Takao Sato, Yoshihiro Ohnishi, Toru Yamamoto and Yasuo Konishi, Performance-assessment of Weigh Feeder Using Steady-state Predictive Output, 2015 IEEE Multi-Conference on Systems and Control (MSC2015, CCA), pp.77-81, MoA03.2, Sydney, Australia (2015,9,22) (Sydney, Australia)
 2. Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Two-Degree-of-Freedom Generalized Minimum Variance Control-based PID Control Laws Using Feed-forward and Pre-Compensators, Tenth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2015), ICICIC2015-SS18-04, pp. 240, Dalian, China (2015,8,21) (Dalian, China)
 3. Ryosuke Fujiwara, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Fault Diagnosis for an Actuator Fault Using Log-likelihood Based on Discrete Linear System Model, Tenth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2015), ICICIC2015-SS18-01, pp. 239, Dalian, China (2015,8,21) (Dalian, China)
 4. Nozomi Ishii, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Study About Influence and Restraint of The Output Disturbance in a Multi-rate Control System, Tenth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2015), ICICIC2015-SS18-02, pp. 239, Dalian, China (2015,8,21) (Dalian, China)
 5. Hiroshi Tajika, Takao Sato, Ramon Vilanova and Yasuo Konishi, Optimal PID Control in Discrete Time Using Sensitivity Function, 23rd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED 2015), pp.268-273, Torremolinos, SPAIN (2015,6,16) (Torremolinos,Spain)
 6. Natsuki Kawaguchi, Nozomu Araki, Takao Sato, Yasuo Konishi, Experimental Study for Control Allocation Method Based on Strong Input Redundancy, First IEEEJ

- international workshop on Sensing, Actuation, and Motion CONTROL (SAMCON2015), IS2-1, Nagoya, Japan (2015,3,9) (Nagoya, Japan)
7. Takao Sato, Daiki Kurahashi, Toru Yamamoto, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Performance-Adaptive Control System for a Nonlinear Model Using GPGPU, 19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'2014), PF-009091, Barcelona, Spain (2014,9,18) (Barcelona, Spain)
 8. Hiroshi Tajika, Kensuke Hachino, Takao Sato, Yoshihiro Ohnishi, Toru Yamamoto, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Performance-assessment Control System for a Weigh Feeder, SICE Annual Conference 2014, WeCT1.2, pp.553-555, Hokkaido, Japan (2014,9,10) (Hokkaido, Japan)
 9. Hiroshi Tajika, Takao Sato, Yoshihiro Ohnishi, Toru Yamamoto, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, A Design Method of a Performance-adaptive Control System for a Weigh Feeder, 2014 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS), pp.442-447, Kumamoto, Japan (2014,8,10) (Kumamoto, Japan)
 10. Hiroshi Tajika, Takao Sato, Yoshihiro Ohnishi, Toru Yamamoto, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Performance Assessment of a Weigh Feeder, ISFIE/ASME 2014 International Symposium on Flexible Automation (ISFA2014), ISFA2014-10S, 2014,7,14 (Hyogo, Japan)
 11. Tomonori Kamiya, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Ripple Rejection for a Multi-rate Control System Including an Integrator, 5th International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes (ADCONIP2014), 170-173, 2D-11, 2014,5,29 (Hiroshima, Japan)
 12. Takao Sato, Hirotaka Nakatsuka, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Design of Performance Monitoring System Using Real-time FRIT, 2013 2nd International Conference on Control and Fault Tolerant Systems, pp.407-42, Nice, France (2013,10,9) (Nice, France)
 13. Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Comparison of 2DOF GMVC-based PID Control Laws, 2013 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, pp.551-554, FriM03-02 (2013,9,25) (Luoyang, China)
 14. Yosuke Sakuragi, Takao Sato, Toru Yamamoto, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Performance-Adaptive PI Control for a Boiler Control System, Eighth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC2013-457 (2013,9,16) (Kumamoto, Japan)
 15. Nozomu Araki, Tatsuya Azechi, Takao Sato and Yasuo Konishi, Estimation of Human Indoor Locomotion Using Microwave Doppler Sensor Array, Eighth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC2013-403 (2013,9,16) (Kumamoto, Japan)
 16. Natsuki Kawaguchi, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Fault-tolerant Control Design for Actuator Failure Based on Discrete Linear System Model, Eighth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC2013-285 (2013,9,16) (Kumamoto, Japan)
 17. Toshifumi Nakamura, Shuhei Kimura, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Multirate control for a Twin-Rotor Type Model Helicopter, Eighth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC2013-288(2013,9,16) (Kumamoto, Japan)
 18. Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Design of Self-tuning Multirate PD Control, Eighth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC2013-291(2013,9,16) (Kumamoto, Japan)
 19. Yosuke Sakuragi, Takao Sato, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Self-Tuning PI Control for a Boiler Control System, 18th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (2013,9,10) (Cagliari, Italy)
 20. Takao Sato, Toru Yamamoto, Nozomu Araki and Yasuo Konishi, Design of Performance-adaptive PID Control System Using Model Predictive Approach, European Control Conference 2013, pp.902-907, (2013,7,18) (Zurich, Switzerland)
- 〔図書〕(計2件)
1. 線形システム制御(山本, 水本(編著)), 朝倉書店, 2015年12/16 およ

び 58/68

2. 電気学会技術報告書, 『データを診て予測する / 制御する』 --Data, Data and Data--, データ指向型制御系設計調査専門委員会編 電気学会, 電子・情報・システム部門, 制御技術委員会, 第 1294 号, (2013) 62/66

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

1. ICICIC Contribution Award, The Tenth International Conference on Innovative Computing Information and Control (ICICIC2015), August, 20-22, 2015, Dalian, China
2. 電気学会 第 18 回優秀技術活動賞 技術報告賞, データを診て予測する / 制御する --Data, Data and Data-- (技術報告第 1294 号), データ指向型制御システム調査専門委員会
3. 電気学会 第 17 回優秀技術活動賞 技術報告賞, ナノスケールサーボのための制御応用技術(技術報告第 1275 号), ナノスケールサーボのための制御応用技術協同研究委員会
4. Best Paper Award, The Eighth International Conference on Innovative Computing Information and Control (ICICIC2013), September, 14-17, 2013, Kumamoto, Japan

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 孝雄 (Sato Takao)

兵庫県立大学大学院 工学研究科・准教授
研究者番号: 00347527