

機関番号：13101
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560208
 研究課題名(和文) LMIに基づくシステム同定手法とその応用に関する研究

研究課題名(英文) LMI-based system identification method and its application

研究代表者
 平元 和彦 (HIRAMOTO KAZUHIKO)
 新潟大学・自然科学研系・准教授
 研究者番号：00261652

研究成果の概要(和文)：LMI (Linear Matrix Inequality: 線形行列不等式) に基づく動的システムのシステム同定法に関連した問題について検討を行い、以下の成果を得た。

- 同定 / 制御の繰り返し設計について、LMI に基づくシステム同定を用いた新しい同定 / 制御の繰り返し設計法を検討した。
- 構造物の振動制御を行うデバイスの動特性モデルの導出に関連して、得られたモデルによるセミアクティブ制御手法を提案した。シミュレーションによって有効性を検証した。その結果、従来提案されているセミアクティブ制御系設計手法で達成される性能を上回る制御性能が実現可能であることが示された。
- LMI によって分散型コントローラと適切な制御対象のモデルを同時に求めるための手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：A methodology for system identification based on LMI (Linear matrix inequality) has been studied in the present research project. Achievements of the study are summarized as follows:

- An iterative system identification and controller design method based on LMIs is developed.
- With a dynamic model of a device for vibration suppression several methods for semi-active control of civil structures are proposed.
- A method to simultaneously obtain an appropriate model of the control object and a decentralized controller with an LMI approach is proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究代表者の専門分野：制御工学

科研費の分科・細目：機械力学・制御

キーワード：LMI（線形行列不等式），システム同定，Windsurfer approach, 振動制御デバイス，セミアクティブ振動制御，分散制御

1. 研究開始当初の背景

制御系設計やシミュレーションにおいて、対象の数学モデルは不可欠であり、現在までに、妥当な数学モデルを得るための種々のモデリング手法が提案されている。動的システムの入出力データから、その数学モデルを推定するシステム同定に関する研究は、長い歴史を持ち、現在も盛んに研究されている。最小二乗法や部分空間同定法などの枠組みが確立しており、特に離散時間系に対して、種々の同定手法をモデル化のためのツールとして用いることができる。

しかし、グレイボックスモデリングや、同定・制御の繰り返し設計問題のように、現在のシステム同定手法では解決できていない問題もいくつか残されていた。

2. 研究の目的

本研究の主要な目的は、LMI（Linear Matrix Inequality: 線形行列不等式）に基づく動的システムのシステム同定法のための新しい手法を提案し、その手法を前述のようなシステム同定に関わる未解決問題に適用し、解決することである。

さらに、本手法の関連・応用として、構造物の振動制御デバイスの動的モデルを用いたセミアクティブ制御系の設計や、制御性能を最適化するモデルとコントローラ的设计問題についても検討を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

システム同定問題を同定対象のシステムパラメータに関するLMI最適化問題に帰着す

ることによって、グレイボックスモデリング問題や、同定・制御の繰り返し制御問題に対して、新しい解法を示した。

さらに、受動・準能動の双方に適応可能な電磁抵抗型制振装置を開発し、そのモデルを用いた構造物のセミアクティブ制御系の新しい設計手法について提案するとともに、制御性能を最適化する時変または時不変モデルとコントローラを同時に求める手法についても研究を行った。得られた成果を次節でまとめて示す。

4. 研究成果

4.1 グレイボックスモデリング（学会発表1）

台湾 NCREC（国家地震工学研究センター）ベンチマーク構造物の地震応答データから、地震波を受ける3層実構造物のシステム同定を行った。システムのモデルを、運動方程式の係数行列の構造を維持した形でパラメータ表現し、通常、式誤差の二乗和を最小化するシステム同定問題に、数値積分の手法を利用することによって、実システムとモデルの出力データの L_2 ノルム誤差指標を最小化する同定問題を、質量、減衰、剛性パラメータに関するLMI最適化問題として定式化し、同定を行なった。

その結果、実験データとよく整合した構造系の質量、減衰、剛性パラメータ値を求めることができた。

4.2 同定・制御の繰り返し設計問題（学会発表2, 3, 10, 11）

同定・制御の繰り返し設計問題は、制御

対象のモデル化とコントローラ設計が互いに不可分な関係にあるという事実に基づき、1990年代から研究が続けられているが、現在まで理論的な意味で決定的な解法は得られていない。

この問題に対し、本課題で研究されているLMIに基づく同定法と、LMIに基づくコントローラ設計手法を組み合わせ、システム同定問題とコントローラ設計問題を同一の計算プラットフォーム上で表現することにより、閉ループ性能を改善しながら閉ループ同定とコントローラ設計を繰り返すような新しい制御系設計アルゴリズムが構築できることを見出した。

さらに、従来最小二乗法によって開ループ動特性の近似を最良とするように求められてきた制御対象のモデルが、コントローラを接続して制御を行う場合、最良の制御性能を導かないことがあることを数値的に明らかにするとともに、最終的に制御性能を向上させるような制御対象のモデルを繰り返し計算によって導出するためのアルゴリズムを提案した。

これらの結果は、離散時間系に対するシミュレーションによって確認した。

4.3 新しい制振装置のモデルを用いたセミアクティブ制御系の設計 (雑誌論文 1, 2, 3, 4. 学会発表 1, 4, 9)

セミアクティブ振動制御に用いる振動制御デバイスのモデル化・セミアクティブ制御系の設計、また、構造設計変数とコントローラの同時決定問題への利用を検討した。

受動・準能動の双方に適応可能な電磁抵抗型制振装置を開発し、その効果をシミュレーションおよび実験によって検証した。

セミアクティブ制御デバイスの動特性モデルを考慮した予測型セミアクティブ制御則および逆リヤプノフ法に基づくセミアクティブ制御則を開発し、シミュレーション

によってその有効性を示した。

さらに、関連する課題として、振動制御デバイスの動特性モデルを考慮したセミアクティブ制御系と、建築構造の構造剛性の分布同時設計問題を定式化し、遺伝的アルゴリズムを用いて最適設計を行った。

4.4 制御性能を最適化する時変または時不変モデルとコントローラの同時設計 (学会発表 5, 6, 7. 図書 1)

制御対象が調整可能な時変パラメータを持つ場合に、その時変パラメータとコントローラの両者をLMI最適化手法を用いて求める方法を提案した。

また、制御対象のモデルのセンサ・アクチュエータ配置や減衰効果を有するダンパの係数の配分を設計パラメータに持つ制御対象のモデルと、制御を行う分散型コントローラを同時に求めるための手法を提案した。

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 4 件)

1. K. Hiramoto, T. Matsuoka and K. Sunakoda, Inverse Lyapunov approach for semi-active control of civil structures, *Structural Control and Health Monitoring*, 査読有, 印刷中.
2. 平元和彦, 松岡太二, 砂子田勝昭, 福喜多輝, 山崎一生, 建築構造物に対する構造系とセミアクティブ制御系の統合化設計, 日本機械学会論文集C編, 査読有, 76巻, pp. 1193-1200 (2010).
3. K. Hiramoto, T. Matsuoka, K. Sunakoda, A. Fukukita and I. Yamazaki, Bang-bang type semi-active control of civil structures: a prediction-based approach, *Journal of System Design and Dynamics*, 査読有, Vol. 4, pp. 103-114 (2010).
4. 砂子田勝昭, 松岡太二, 平元和彦, 福喜多輝, 受動・準能動の双方に適応可能な電磁抵抗型制振装置, 日本機械学会論文集C編, 査読有, 75巻, pp. 2659-2664 (2009).

[学会発表] (計 11件)

1. 平元 和彦, モデルとコントローラの繰り返し設計問題に関する一考察, 計測自動制御学会制御部門大会 (2011).
2. K. Hiramoto, New windsurfer-like approach for the enhancement of the closed-loop performance, : an LMI framework, *Proc. 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control* (2010).
3. K. Hiramoto, T. Matsuoka, A. Fukukita and K. Sunakoda, Integrated design of structural and semi-active control systems: Inverse Lyapunov approach, *Proc. 10th International Conference on MOVIC* (2010).
4. K. Hiramoto, T. Matsuoka, A. Fukukita, and K. Sunakoda, Simultaneous optimal design of the Lyapunov-based semi-active control and the semi-active vibration control device: Inverse Lyapunov approach, *Proc. 2010 ASME Pressure Vessels and Piping Conference* (2010).
5. J. Mohammadpour, K. Hiramoto and K.M. Grigoriadis, Decentralized control of structural systems using a norm upper bound formulation, *Proc. 5th World Congress on Structural Control and Monitoring* (2010).
6. K. Hiramoto, J. Mohammadpour V. and K.M. Grigoriadis, Integrated design of damping parameters, static output feedback control and sensor/actuator placement for symmetric mechanical systems, *Proc. 2009 Joint Conference on Decision & Control* (2009).
7. K. Hiramoto, LPV-based-method aiming at a win-win situation for analytical control theories and intelligent optimization methodologies, *Proc. ASME 2nd Annual Dynamic Systems and Control Conference* (2009).
8. 平元和彦, 松岡太一, 砂子田勝昭, 福喜多輝, 山崎一生, 建築構造物を対象とした構造系とセミアクティブ制御系の統合化設計, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2009 予稿 (2009).
9. 平元和彦, LMIの枠組みでの同定と制御の繰り返し設計, 計測自動制御学会第 9

回制御部門大会予稿 (2009).

10. 平元和彦, 同定と制御の繰り返し設計について: LMIに基づくアプローチ, 第51回自動制御連合講演会予稿 (2008).
11. 平元和彦, 松岡太一, 砂子田勝昭, 福喜多輝, LMIに基づくシステム同定法: 台湾 NCREEベンチマーク構造物の同定, 日本機械学会第四回最適化シンポジウム予稿 (2008).

[図書] (計 1件)

1. M. Meisami-Azad, J. Mohammadpour, K. Hiramoto and K.M. Grigoriadis, Integrated Design of Large-Scale Collocated Structural System and Control Parameters Using a Norm Upper Bound Approach (in Efficient Modeling and Control of Large-Scale Systems, J. Mohammadpour and K. Grigoriadis eds.), pp. 305-328, Springer-Verlag (2010).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平元 和彦 (HIRAMOTO KAZUHIKO)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号: 00261652

(2) 研究分担者

巖見 武裕 (IWAMI TAKEHIRO)

秋田大学・工学資源学部・准教授

研究者番号: 10259806

松岡 太一 (MATSUOKA TAICHI)

明治大学・理工学部・講師

研究者番号: 80360189