

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 21 日現在

機関番号：15401
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560446
 研究課題名(和文) 事前情報と部分空間同定法を用いた非線形システムの同定に関する研究

研究課題名(英文) Research on identification of nonlinear systems using prior knowledge and subspace identification methods

研究代表者
 田中 秀幸 (TANAKA HIDEYUKI)
 広島大学・大学院教育学研究科・准教授
 研究者番号：90303883

研究成果の概要(和文)：本研究は、線形系のシステム同定である部分空間同定法に事前情報を用いることで、非線形システムを同定する方法について考察を行ったものである。グレーボックスモデルの観点から、システムの状態に着目して LPV システム (Linear Parameter Varying: 線形パラメータ変化システム) を同定するアルゴリズムを求めた。また、ホワイトボックスモデルに依存して精度の異なるグレーボックスモデルが得られることも実験から示した。

研究成果の概要(英文)：In this research, nonlinear systems identification is investigated by using subspace identification methods with prior knowledge on the first principles. Identification algorithms for LPV (Linear Parameter Varying) systems are developed by means of grey-box modeling, where parameters are computed from the estimated states. It is also shown by experiments that obtained grey-box models are dependent on white-box models.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2010 年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 2011 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2012 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,800,000 | 840,000 | 3,640,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御理論，システム同定

1. 研究開始当初の背景

部分空間同定法は、与えられたシステムの入出力データからデータ行列を構築し、QR 分解や特異値分解等に基づいて数値的にシステムを同定する方法である。システムの正準形を必要としないため、線形の多入力多出力システムに対しては効率よく精度の良い同定結果を与えることが報告されている。一方、実システムには非線形システムも多く、

効率的で有効な非線形系のモデリングが望まれている。

非線形システムのモデリングにおいて、物理法則等の事前情報の利用が重要であることが産学連携による研究・開発でもいわれている。2009 年度に発足した計測自動制御学会のプラントモデリング部会は、物理モデルと統計モデルの統合を担当分野の一つとして挙げている。

物理法則等の第一原理によるモデリング

(ホワイトボックスモデリング)と実験データに基づくモデリング(ブラックボックスモデリング)の両方を適切に用いるような同定法をグレーボックスモデリングという。システム同定においても事前情報を適切に用いることの重要性は古くからいわれてきた。近年、非線形システムの同定法が非常に多岐にわたることから、既知情報をどれだけ用いるかという観点から直観的に非線形システム同定を分類することも提案されている(Ljung, IFAC World Congress 2008)。非線形システムの同定に対して、どのように事前情報を利用するということが重要な問題であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、線形システムの同定法である部分空間同定法を基礎に、運動方程式等に基づいた非線形性に関する事前情報を用いることで、新たな非線形システムに対するモデリング法を提案することである。これまで研究してきた実現理論による部分空間同定法に関する知識をもとに、事前情報を用いることでグレーボックスモデリングによるシステム同定理論の構築を目指す。

3. 研究の方法

以下の方法により、研究を進めた。

- (1) 部分空間同定法を非線形システムの同定法へと拡張するため、LPV システム (Linear Parameter Varying system: 線形パラメータ変化システム) に注目する。LPV システムに対して、事前情報を用いることでグレーボックスモデリングの立場から同定を中心に研究を行う。

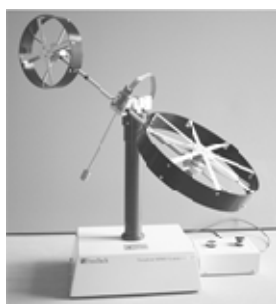


図1 ツインロータ MIMO システム

- (2) 研究室レベルではあるが、実システムを用いて研究を進める。具体的には、ツインロータ MIMO システム(図1)等を対象に研究を行い、問題を洗い出し

ていく。運動方程式からホワイトボックスモデルを求め、システム同定からブラックボックス同定を行う。

- (3) 実システムに対するブラックボックスモデリングを行う際に、これまで研究してきた部分空間同定法を用いる。その意味で、ブラックボックス的なモデリングも役立つ可能性がある。したがって、これまでの部分空間同定法等に関する研究も同時に進めていく。また、実システムをモデリングする際には不確かさが存在するので、不確かさのモデリングに関する考察も進めていく。

4. 研究成果

(1) ツインロータ MIMO システムに対する LPV モデリング

ツインロータ MIMO システムに対し、グレーボックスモデリングにより LPV システムのモデリングを行った[雑誌論文 3, 学会発表 5]。具体的には、電気系の方程式と機械系の運動方程式からホワイトボックスモデルを求め、ピッチ角をパラメータとして LPV モデルを求めた。これに対してピッチ角を図2のように一定にし、その近傍で動かすことにより同定を行い、ブラックボックスモデルを求めた。ブラックボックスモデルを求める際には、閉ループ同定を行った。

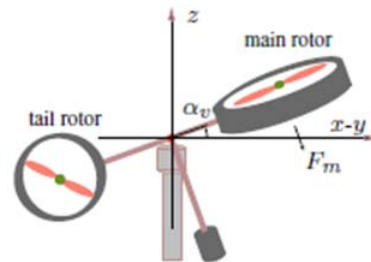


図2 ツインロータ (概略図)

以上により、事前情報としてホワイトボックスモデルを求め、いくつかの局所点でブラックボックスモデルを求めてから補完する問題として定式化した。これを模式的にかくと、図3のように表される。図3における×は局所点によるブラックボックスモデル(線形システム)であり、ホワイトボックスで表された LPV システムを用いて、どのように補完するかという問題になる。



図3 実験データとパラメータ依存システムの概念図

ブラックボックスモデルによる局所モデルを部分空間同定法で求めると、得られた状態空間表現の状態は物理モデルとは全く関係のないものとなる。そこで、ホワイトボックスモデルを用いて状態変換し、局所モデルの状態を物理的に整合性のあるものに整える方法を開発した。さらに、整合性のある局所モデルを線形的に補完してLPVモデルの係数を求めた[雑誌論文 3]。

(2) 回転型振子システムに対するパラメータ依存システムのモデリング

ツインロータ MIMO システムに対して、ある程度満足の結果が得られたが、ホワイトボックスモデルの不確かな部分についてももう少し丁寧に考察するために、回転型振子システムを用いてパラメータ依存システムのモデリングを行った[学会発表 7, 2, 1]。Quanser 社製の倒立振子の振子を下に垂らした状態で制振制御することを考え、そのためのモデルを求めることを考えた。その際、パラメータを変化させるために、振子に重みを付けて慣性モーメントを変更させることとした。図4に振子システムの概要を示す。

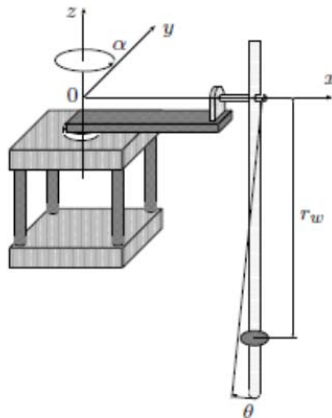


図4 振子システム(振子の重りの位置をパラメータとして変更し、振子の慣性モーメントを変更する)

まず、ツインロータ MIMO システムに対して提案したグレーボックスモデリング法を回転型振子システムに対して適用した。ブラックボックスモデルと比較すると、振子システムのアームにホワイトボックスモデルでは現れない零点が出ていた[学会発表 7]。このことに基づいて物理モデリングについてよく見直したところ、回転型振子システムの台のわずかな傾きが、アームの零点に影響を与えることがわかった[学会発表 2]。この結果に基づいて、二つのホワイトボックスモデルを用いて比較を行い、得られるグレーボックスモデルにどのような差が出るか考察した。さらに、ツインロータシステムでは線形的にパラメータを補完して求めていたが、振子システムでは物理モデルに基づいた数値最適化により補完を行うことができることを示した[学会発表 1]。

(3) その他

以上、事前情報と部分空間同定法を用いて、非線形システムをLPVシステムとグレーボックスモデリングの観点から同定する方法について考察した。これら以外にも、以下のような成果を得ている。

台車と振子系からなる倒立振子系を用いて、システム同定に関する解説記事を執筆した。その際に振子のモデリングについてはホワイトボックスモデリングから行き、台車のモデリングについてはブラックボックスモデリングを行う方法を示しており、グレーボックスモデリングとなっている[雑誌論文 2]。

ツインロータ MIMO システムのブラックボックスモデリングを行う際に閉ループ同定を用いたように、ブラックボックスモデリングはグレーボックスモデリングの基礎となる。従来のブラックボックスモデリング的な研究も進めた。閉ループ同定法の一つとして結合入出力法に関して確率実現の観点から研究を行った[雑誌論文 4]。また、不確かさを含むシステムのモデリングについて、複数のシステムから不確かなモデルを一つ求める方法を提案した[雑誌論文 1]。さらに、異常値が含まれる際のシステム同定に関する考察も行った[学会発表 8]。

得られた成果について、国内外の講演会等においてその考え方について触れた[学会発表 4, 6, 9, 3]。なお、行っ

た一連の研究について、LPV システムの同定におけるローカルアプローチの一つと見ることもできる。ローカルアプローチについては、セミナー[学会発表 10]や蔵書[図書 1]に簡単ではあるが触れている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

[1] H. Tanaka: System identification in H_∞ for multiple sets of data, 電気学会論文誌 C, (電子・情報・システム部門誌), Vol. 132, No. 6, pp. 926-931 (2012) (査読有)

[2] 田中, 奥: システム同定に基づくモデリング, 「初学者のための図解でわかる制御工学 I」特集号 (基礎編), システム/制御/情報, Vol. 56, No. 4, pp. 170-175 (2012) (解説記事・査読無)

[3] 田中, 太田, 沖村: 第一原理モデルと同定モデルの状態に基づくツインロータ MIMO システムのモデリング, 計測自動制御学会, 47 巻, 6 号, pp. 253-261 (2011) (査読有)

[4] 田中, 大村: 結合入出力法と確率実現を用いた閉ループ同定の解析, 計測自動制御学会論文集, 第 47 巻 第 1 号, pp. 61-69 (2011) (査読有) (査読有)

[学会発表] (計 10 件)
(講演・セミナー等 5 件を含む)

[1] X. Tan, H. Tanaka, and Y. Ohta: Grey-box modeling of rotary type pendulum system with position-variable load, The IFAC Symposium on System Identification (SYSID 2012), Brussels (Belgium), July 12th, 2012, pp. 1263-1268, (査読有)

[2] X. Tan, H. Tanaka, and Y. Ohta: Grey-box modeling of Parameter-Dependent LTI systems, 第 12 回計測自動制御学会 制御部門大会, 奈良文化会館, 2012 年 3 月 15 日 (査読無)

[3] 田中, 太田: 回転型振子系に対するグレーボックスモデル, 第 55 回自動制御連合講演会, 京都大学, 2012 年 11 月 17 日, pp. 62-67 (査読無)

[4] H. Tanaka, X. Tan, and Y. Ohta: Grey-box Modeling of Rotary Type Pendulum

System with variable load, Seminar invited by Prof. Sueo Sugimoto at Ritsumeikan University, June 26th, 2012 (招待講演, 査読無)

[5] H. Tanaka, Y. Ohta, and Y. Okimura: A local approach to LPV-identification of Twin Rotor MIMO system, Preprints of the IFAC World Congress, Milano (Italy), August 31th, 2011, pp. 7749-7754, (査読有)

[6] H. Tanaka, Y. Ohta, and Y. Okimura: LPV identification of a Twin Rotor MIMO system via grey-box modeling, Private seminar invited by Prof. Giorgio Picci at Padova University (Italy), August 26th, 2011 (招待講演, 査読無)

[7] X. Tan, H. Tanaka, and Y. Ohta: Grey-box modeling of rotary type pendulum system with variable load, 計測自動制御学会 制御部門主催 第 11 回 制御部門大会, 2011 年 3 月 16 日, 琉球大学 千原キャンパス, (査読無)

[8] H. Tanaka, J. AlMutawa and Y. Ohta: Spectral density function under observation outliers, Procs. of the 19th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems (MTNS 2010), Budapest (Hungary), July 8th, 2010, pp. 1360-1370 (査読有)

[9] 田中: 局所アプローチによるツインロータシステムの LPV モデリング 日本鉄鋼協会, 計測・制御・システム工学部会 制御フォーラム「高品質・安定生産・環境調和を達成する先端的プロセス制御」第 1 回公開フォーラム「実データに基づくシステム同定の最先端」(神戸製鋼所 大阪支社), 2010 年 11 月 29 日, (招待講演, 査読無)

[10] 足立, 田中: システム同定の基礎 SICE セミナー「制御のためのシステム同定」主催・企画: 計測自動制御学会(制御部門常翔学園 大阪センター) 2010 年 5 月 26 日, (セミナー, 査読無)

[図書] (計 1 件)

[1] 数理工学事典([監修] 茨木・片山・藤重, [編集] 太田・酒井・高橋・永持・福島) III-9 システム同定とモデル低次元化 (田中 秀幸), pp. 283-293, 朝倉書店 (2011)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 秀幸 (TANAKA HIDEYUKI)
広島大学・大学院教育学研究科・准教授
研究者番号： 90303883

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：