

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19760297

研究課題名（和文） 様々な雑音環境下での変数誤差モデル同定とその応用に関する研究

研究課題名（英文） A study on identification of errors-in-variables model under various noisy environments and its application

研究代表者

池之上 正人（IKENOUE MASATO）

有明工業高等専門学校・電気工学科・准教授

研究者番号：10353343

研究成果の概要（和文）：

本研究では、様々な雑音環境下での変数誤差モデルの同定問題について考え、(1)白色雑音下・有色雑音下でのバイアス補償最小2乗法、およびその連続時間系への拡張、(2)白色雑音下・有色雑音下・量子化雑音下・複数の雑音下でのバイアス補償補助変数タイプ法、(3)プレフィルタを用いた最小相関法、拡大ベクトルを用いた最小相関法、などの同定法を提案し、これらの逐次計算アルゴリズムを導出した。また、提案した手法の有効性を数値シミュレーションにより検証し、その有効性を確認した。同時に、(4)Matlab/Simulink xPC Target によるシステム同定実験環境の構築・アルゴリズム実装、を行い提案手法の応用検討を行い、実対象に対するアルゴリズムの有用性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, some consistent estimation methods for errors-in-variables (EIV) models identification have been proposed under various noisy environments. Firstly, the bias-compensated least-squares (BCLS) method, which can be applied to the case where the input-output measurements are corrupted by white noises and colored noises, has been proposed, and it has been extended to continuous-time models identification problem. The bias-compensated instrumental variable type (BCIV-type) method has been proposed to deal with the case where the input-output measurements are corrupted by white noises, colored noises, quantization errors and the multiple noises. Moreover, the least-correlation (LC) based method has been proposed by introducing the prefilter and the extended vectors. Some recursive algorithms have been proposed and it is shown that the proposed algorithms provide good estimates via some numerical examples. Finally, the real-world applications using “Matlab/Simulink xPC Target” are considered, and we construct the environments the identification experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	630,000	3,830,000

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，変数誤差モデル，最小2乗法，バイアス補償法，最小相関法，補助変数法，逐次計算アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

近年の計算機の急速な発展に伴い、様々な分野においてモデリングに対する関心が高まっている。制御工学の分野においても、モデルの不確かさを考慮したロバスト制御理論の発展と共に、理論と応用の両面においてモデリングの重要性が叫ばれている。制御系を設計するためには制御対象の動特性の情報が必要であり、この情報の質が高ければ高いほどよりよい制御を行うことができるため、産業界では理論的裏付けに基づく高精度かつ系統的な制御系設計のためのモデリング手法の開発が強く望まれている。そこで、制御対象の動特性を表す数学的モデルを入力出力データから決定するいわゆる「システム同定」の研究がこれまで精力的に行われてきた。

従来のシステム同定理論では、通常、開ループ同定実験を想定し、入力信号は同定を行うユーザが印加するものなので、入力信号は完全に既知であり、出力観測値のみに雑音が存在すると仮定されることが多かった。しかし、コントローラの特徴が既知でないときの閉ループ同定実験の場合や、入力信号が他のシステムの出力として与えられる場合においては、出力における観測雑音だけではなく、入力における観測雑音も考慮する必要がある。

また、一般に、同定に用いられる入出力データは、アナログであるプラントの入出力信号をA/D変換器でデジタル化したデータを用いるため、量子化誤差が生じ、入出力観測値ともにこの量子化誤差の影響を受けることになり、量子化単位より小さなレベルのモデルの同定精度に悪影響を及ぼすことになる。

このように入出力観測値共に雑音（または誤差）が存在する場合、入出力観測値の関係を表すモデルは、「変数誤差（Errors-In-Variables: EIV）モデル」と呼ばれている。この変数誤差モデルの同定は対象とするシステムの内部表現を決定する際に重要となる。また、変数誤差モデルは、制御工学の分野だけにとどまらず、時系列モデリング、到来方向推定、ブラインド等価、画像処理、データ解析など非常に幅広い分野において対象を表す数学的モデルとして利用す

ることができるため、今後、ますます重要な役割を担うと考えられる。しかしながら、変数誤差モデルの同定は、その同定問題の複雑さもあり、これまで十分な研究がなされておらず、今後、早急な展開が望まれているところである。また、従来提案されている変数誤差モデル同定アルゴリズムの多くはオフラインアルゴリズムであり、さらに雑音に対する制限もある（入出力観測雑音を白色雑音として扱うことが多く、また複数の観測雑音が混入する場合には考えられていない）ため、実時間処理が求められる実問題、および様々な雑音環境下（有色雑音下、非線形誤差の影響、量子化誤差の影響、複数の観測雑音下など）での適用は難しいと考えられる。このような背景の下、変数誤差モデルの同定を考える。

2. 研究の目的

従来、変数誤差モデルの同定問題においては、入出力観測雑音を白色雑音として扱うことが多かった。しかし、制御の現場においては、常に高価なセンサを利用できるとは限らず、安価なセンサを利用しなければならない状況もしばしば存在し、この場合、入出力観測値は有色雑音や非線形誤差などを含むことが予想される。また、精度の高い制御を実現する方法として、量子化誤差の影響を考慮することは重要であると考えられる。さらに、複数の観測雑音が混入する場合（例えば、センサによる非設計誤差と量子化誤差の両方が入出力観測値に存在する場合など）もあると考えられる。このような雑音環境下において、従来の（入出力観測雑音を白色雑音として扱い、また複数の観測雑音が混入する場合には考えていない）変数誤差同定アルゴリズムを適用しても精度のよいモデルが得られるとは言い難い。また、提案されているアルゴリズムの多くはオフラインアルゴリズムであるため、実時間処理での適用は難しいと考えられる。

そこで本研究では、様々な雑音環境下で適用できるような変数誤差モデル同定アルゴリズムを開発し、特に実時間処理での適用を考え、逐次計算アルゴリズムを用いた変数誤差モデルの同定法を開発し、応用面での検討を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) バイアス補償最小2乗法の検討

変数誤差モデルの同定法として有効な方法であると考えられる、バイアス補償最小2乗法について検討を行った。様々なタイプのバイアス補償最小2乗法が提案されているので、それらの推定精度、要求される計算量などアルゴリズムの性能の調査、問題点の洗い出しとその理論的な解決を行った。また、入出力観測雑音が有色雑音に乱されている場合での適用を考え、バイアス補償最小2乗法の拡張を行った。同時にバイアス補償最小2乗法の連続時間系への拡張を行った。

(2) バイアス補償補助変数タイプ法の提案

バイアス補償法と補助変数法の関連について検討を行い、補助変数タイプ推定値の漸近バイアスを補償することにより一致推定値を得る、バイアス補償補助変数タイプ法を提案した。また、有色雑音下・量子化雑音下・複数の雑音下での適用を考え、提案手法の拡張を行った。

(3) 最小相関法の提案

相関関数を最小化するという評価基準により導出される最小相関法について検討を行い、プレフィルタを用いた最小相関法、拡大ベクトルを用いた最小相関法を提案した。

(4) 同定実験環境の構築・アルゴリズム実装

Matlab/SimulinkのxPC Targetを用いて、同定実験環境の構築を行い、開発したアルゴリズムの実装を行った。

4. 研究成果

(1) バイアス補償最小2乗法の検討

白色雑音下でのバイアス補償最小2乗法
最小2乗推定値の漸近バイアスを補償するためには入出力観測雑音の分散の推定値が必要である。したがって、バイアス補償最小2乗法において、精度の良いパラメータ推定値を得るためには、精度良く雑音分散の推定を行うことが重要となる。これまで、白色雑音下で適用可能なバイアス補償最小2乗法として W. X. Zheng により提案されている BELS 法や K. Wada らにより提案されている BCLS 法などがあるが、入出力観測雑音分散の推定精度は十分ではなく、結果として得られる推定値に影響を与えていた。そこで、本研究では、雑音分散の推定手法として、一般化最小2乗タイプの統計量を導入し、残差平方和により導出される方程式を連立方程式として解くことにより分散を推定する手法を提案した。また、逐次計算アルゴリズムを開発しその有効性を確認した。

連続時間系への拡張

これまで、バイアス補償最小2乗法の連続時間系への拡張は、K. Wada らによりなされているが、雑音分散の推定精度、および前処理フィルタが IIR フィルタである場合、構造が複雑になるなどの問題点があった。そこで、本研究では、前処理フィルタの状態方程式を用いて導出される離散リアプノフ方程式を導入し、簡潔な形で最小2乗推定値の漸近バイアスが導出されることを示した。また、分散の推定手法としては、一般化最小2乗タイプ統計量を用いた手法を連続時間系へ拡張し、これらの逐次計算アルゴリズムを導出しその有効性を確認した。

有色雑音下への拡張

観測雑音が有色雑音である場合への拡張を行うために、最小2乗推定値の漸近バイアスを陽に示し、一致推定値を得るためには観測雑音の共分散（自己相関関数）が必要であることを示した。また、共分散の推定は、補助変数タイプ統計量を導入し、共分散推定値を求める方法を提案し、これらの逐次計算アルゴリズムを導出し、その有効性を確認した。

(2) バイアス補償補助変数タイプ法の提案

バイアス補償法と補助変数法の関連

補助変数法は合成雑音と無相関な補助変数を用いることにより一致推定値を得る手法であり、有力な一致推定手法の一つであるが、雑音と無相関な補助変数を用いると、逆行列が悪条件となりやすく、推定値が大きく変動し推定値が不安定となる場合がある。このため、良条件となるようにするためには補助変数を雑音と相関を持つように選ぶ必要があると考えられる。このとき、雑音と相関を持たせたために結果として推定値には漸近バイアスを生じる。そこで、本研究では、このバイアスを補償して一致推定値を得るバイアス補償補助変数タイプ法を提案した。提案手法は、白色雑音下・有色雑音下での検証を行い、バイアス補償最小2乗法との比較を行い、推定精度の面で有力であることを確認した。

量子化雑音下・複数雑音下への拡張

量子化誤差が存在する場合を考え、量子化誤差を白色雑音として取り扱うことが出来ることに注目し、変数誤差モデルの拡張を行った。バイアス補償補助変数タイプ法を適用することにより、精度良く雑音分散および量子化誤差の分散の推定を行うことが出来ることを示した。また、この結果を用いて、複数雑音下への拡張も可能であることを示した。

(3) 最小相関法の提案

バイアス補償法は変数誤差モデルのパラメータを精度良く推定を行うことが出来る

が、あわせて分散の推定アルゴリズムを必要とするため計算量の面では、最小2乗法や補助変数法などと比べると増大しているため問題があると考えられる。そこで、相関関数を最小化するという評価基準により導出される最小相関法について検討を行った。提案されている手法は、安定性および推定精度が悪いため、安定性・推定精度向上のためにプレフィルタを用いた最小相関法、拡大ベクトルを用いた最小相関法を提案した。これらの逐次計算アルゴリズムを導出し、白色雑音下でのアルゴリズムの有効性を確認した。また、補助変数との関連について検討を行い、プレフィルタの選び方、拡大ベクトルの次数の選び方により、提案手法が補助変数法と等価となることを示した。

(4)同定実験環境の構築・アルゴリズム実装
開発したアルゴリズムの実対象に対する応用について検討を行うために実験環境の構築を行った。まず、Matlab/SimulinkのxPC Target および各種A/D・D/Aボード、DIOボードを用いて、リアルタイム計測・制御環境を構築した。また、同定対象として簡単なCR回路、DCモータ、水温系などを用い、開発したアルゴリズムの実装を行った。CR回路を用いた検証結果では、連続時間バイアス補償最小2乗法を用いることにより精度良くパラメータの推定が行えることが確認できた。他の手法についても、実装を進めていく必要があるが、変数誤差モデル同定の応用面での今後の発展が期待できる研究成果であると考えられる。

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2件)

Masato Ikenoue, Shunshoku Kanae, Zi-Jiang Yang and Kiyoshi Wada: Identification of Errors-In-Variables Models From Quantized Input-Output Measurements via Bias-Compensated Instrumental Variable Type Method, International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), 査読有, Vol.6, No.1, pp. 183-198 (2010.1)

Masato Ikenoue, Shunshoku Kanae, Zi-Jiang Yang and Kiyoshi Wada: Identification of Errors-In-Variables Model via Bias-Compensated Instrumental Variables Type Method, International Journal of Innovative Computing, Information and Control

(IJICIC), 査読有, Vol.5, No.1, pp. 29-40 (2009.1)

〔学会発表〕(計6件)

Masato Ikenoue and Kiyoshi Wada, Extended Generalized Least-Correlation Method for EIV Models Identification, The 41th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS 09), 査読有 (2009.11.13)

藤岡将広, 池之上正人, 入出力雑音環境下でのBCRLS法による連続時間システム同定, 平成21年度電気関係学会九州支部連合大会(第62回連合大会), 九州工業大学情報工学部飯塚キャンパス(飯塚), 査読無, 06-2A-01 (2009.9.29)

池之上正人, 和田清, プレフィルタを用いた一般化最小相関法による変数誤差モデルの同定, 計測自動制御学会第38回制御理論シンポジウム, ホテルコスモスクエア国際交流センター(大阪), 査読無, pp. 27-30 (2009.9.14)

Masato Ikenoue, Shunshoku Kanae, Zi-Jiang Yang and Kiyoshi Wada, Identification of Errors-In-Variables Models from Quantized Input-Output Measurements via Bias-Compensation Based Method, Proceedings of the 40th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS 08), Kyodai Kaikan, Kyoto, Japan, 査読有, pp. 109-116 (2008.11.15)

Masato Ikenoue, Shunshoku Kanae, Zi-Jiang Yang and Kiyoshi Wada, Bias-Compensation Method for Errors-In-Variables Model Identification, Preprints of the 17th IFAC World Congress, COEX Convention Center, Seoul, Korea, 査読有, pp. 1360-1365 (2008.7.7)

Masato Ikenoue, Shunshoku Kanae, Zi-Jiang Yang and Kiyoshi Wada, Identification of Errors-In-Variables Model via Bias-Compensation Method, Proceedings of the 39th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS 07), Saga University, Saga, Japan, 査読有, pp. 14-19 (2007.11.8)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池之上 正人（IKENOUE MASATO）
有明工業高等専門学校・電気工学科・准教授
研究者番号：10353343

(2) 研究分担者

（ ）

研究者番号：

(3) 連携研究者

（ ）

研究者番号：