

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：57102
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2016～2019
課題番号：16K18127
研究課題名（和文）雑音情報推定に基づく動的ネットワークのモデリング：変数誤差モデルの閉ループ同定

研究課題名（英文）Modeling of dynamic network based on noise information estimation:
Identification of errors-in-variables models in closed-loop

研究代表者
池之上 正人（Ikenoue, Masato）
有明工業高等専門学校・創造工学科・准教授

研究者番号：10353343
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）：本研究では、大規模・複雑なネットワークシステムである「動的ネットワーク」のシステム同定問題について検討を行っている。動的ネットワークの同定問題を変数誤差モデルの閉ループ同定問題として取り扱い、雑音情報を推定して利用するモデリング法構築について考察し、主にバイアス補償法の立場から種々のアルゴリズムを提案した。提案したアルゴリズムは繰り返しアルゴリズムであり、手法の有効性は数値シミュレーションにより確認している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電力システム、交通システム、経済システム、生体システムなど、大規模・複雑なネットワークシステムの安全性や安定性を確保しつつ、常に最適な運用・制御を行うためには、システムの数理モデルを構築することが必要不可欠となる。しかし、大規模・複雑なネットワークシステムの数理モデルを観測データから構築することは難しい。本研究では、観測データに含まれる雑音の情報を利用することに着目し、雑音情報推定法と推定した雑音情報を利用するモデリング法を提案したものである。提案するアルゴリズムは繰り返しアルゴリズムであり、プログラムの実装が容易である。

研究成果の概要（英文）：This study considers the problem of identifying dynamic network, which is large scale and complex system. The identification problem of dynamic network is treated as the identification problem of errors-in-variables models in closed-loop, and some bias-compensation based algorithms are proposed by using noise information estimation. The proposed algorithms are recursive algorithms and the effectiveness of the proposed algorithms are confirmed by numerical simulation examples.

研究分野：制御工学

キーワード：システム同定 変数誤差モデル同定 閉ループ同定 繰り返しアルゴリズム 動的ネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、我々の身の回りのシステムはますます大規模化・複雑化しており、複数の異なる伝達要素の相互結合により構成されるネットワークシステムとなっている。このような、複数のサブシステムが結合したネットワークシステムは、その内部変数が互いに動的に関係し合っており、「動的ネットワーク」と呼ばれている。例えば、電力システム、交通システム、経済システム、生体システムなどが、その例としてあげられる。動的ネットワークシステムの多くは、現代社会や我々の生活にとって大変重要なシステムとなっており、安全性や安定性を確保しつつ、常に最適な運用・制御を行うことが求められている。その指針を与えるためには、システム全体や個々の要素の動特性を正確に把握する必要があり、動特性を表す「数理モデル」を構築することが重要不可欠の課題となっている。このような社会的ニーズに後押しされて、国内外で動的ネットワークのモデリングが注目を浴びており、そのソリューションとして、観測データに基づく統計的モデリング法である「システム同定」に対する期待が高まっている。

しかし、動的ネットワークの同定問題は従来の同定問題と異なり、同定に利用する内部変数を全てセンサによって計測しなければならないため、得られる全ての観測データに雑音が含まれている場合の同定問題を考える必要がある(変数誤差モデル同定問題と呼ばれる)。さらに、ネットワークには相互結合によりフィードバックが含まれているため、入力データと出力雑音が相関をもつ場合の同定問題もあわせて考える必要がある(閉ループ同定問題と呼ばれる)。動的ネットワークは、このような雑音の影響により、正確なモデリングが難しいシステムとなっている。

ところが、逆の発想として、雑音もモデリングに有益な情報であると捉えて、雑音情報をシステム同定に適切に利用できれば、雑音環境下でも正確なシステム同定を実現できる。例えば、申請者がこれまで研究を行い、その有効性を明らかにしてきた「バイアス補償法」では、雑音情報として「雑音分散」を推定し、推定した雑音分散を利用することにより正確なシステム同定を実現している。このような雑音情報推定法を開発できれば、動的ネットワークに対しても、雑音情報を積極的に利用した、より質の良いモデリングを達成できると考え、本研究を着想した。

このような背景のもと、動的ネットワークに対して、正確かつ高精度な雑音情報推定法の開発と、推定した雑音情報を利用するシステム同定の実現を目指す。

2. 研究の目的

システム同定において、雑音の問題は不可避である。申請者はこの問題に対し、雑音を除去するのではなく、雑音情報として「雑音分散」を推定し利用することにより、正確なシステム同定を実現してきた。本研究では、雑音の影響により正確なモデリングが難しい「動的ネットワーク」の同定問題を考える。動的ネットワークのモデリングに影響を与える雑音情報を明らかにし、その推定法を開発することにより、推定した雑音情報を利用する動的ネットワークのシステム同定法を開発することを目的とする。さらに、具体的な産業界への応用について考察し、動的ネットワークのモデリングに関して基礎研究から応用研究まで一貫した研究基盤の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) 変数誤差モデルの閉ループ同定問題の定式化

動的ネットワークの同定問題は、雑音を含む入出力データからシステムを同定する「変数誤差モデル同定問題」と、閉ループシステムの入出力データからシステムを同定する「閉ループ同定問題」の2つの側面を持っている。そこで、双方の問題を「雑音情報を利用する」というアイデアのもと統合し、変数誤差モデルの閉ループ同定問題の定式化を図る。

具体的には、双方の問題に対して有力な同定法である「バイアス補償法」について考え、同定に利用可能な観測データに基づき、システムの可同定性を考察することにより、同定問題の定式化を図る。この結果をもとに、動的ネットワークの同定に影響を与える雑音情報を明確にし、また、簡単に適用しやすい形の雑音情報推定法を得るような検討もあわせて行う。

(2) 雑音情報推定法と動的ネットワーク同定法の検討

同定に影響を与える雑音情報(雑音の自己共分散・相互共分散、観測データと雑音の相互共分散など)が含まれる統計量を新たに定義する。このような統計量として、観測データの自己相関・相互相関に基づき導出される漸近バイアスを持つ補助統計量を用いる。「直交射影の定理」を用いて、雑音情報に関する方程式を必要数導き、連立方程式の解として、雑音情報の推定式を定義する。

また多変数系への拡張を視野に入れて、多変数系の同定と関係の深い、データ共分散行列の「一般化固有値分解」および「正準相関解析」を用いた雑音情報推定法(一般化固有値および正準相関係数から雑音情報を推定する方法)の開発を行う。開発した推定法の関係を調べることに より、より正確かつ高精度な雑音情報推定法を検討する。

これらの結果をもとに、「バイアス補償原理」に基づいて、雑音情報を利用する同定法の構築を行う。「バイアス補償原理」では、雑音の影響により生じる漸近バイアスを推定値から取り除くことにより一致推定値を得るという考えを基本としている。バイアスは未知の量であるが、推定した雑音情報を用いてこの漸近バイアスを推定し、漸近不偏推定値を得るような同定法の開発を行う。

(3) ネットワークの構造同定と実問題への応用検討

一般的に、ネットワークの構造が既知である場合は少なく、ネットワークがどのような構造になっているのか同定する必要がある。そこで、雑音情報推定法を利用して、「行列式比」などに基づきネットワークの構造を同定する方法論を構築する。

また、開発したアルゴリズムの産業システムへの具体的な応用について検討を行う。実問題への応用検討を通して、開発したアルゴリズムの拡張・改良を行う。

4. 研究成果

(1) 変数誤差モデルの閉ループ同定問題の定式化

- ・ 雑音を含む観測データから閉ループシステムを同定する「変数誤差モデルの閉ループ同定問題」を新たに考え、「バイアス補償法」について検討を行った。特に、コントローラの特徴が既知である場合のバイアス除去最小2乗法を提案し、数値シミュレーションによりその有効性を示した。
- ・ 一般化固有ベクトル法を出力観測雑音が有色雑音である場合へ拡張し、バイアス補償補助変数法によるシステム同定法および雑音情報推定法を提案した。また、数値シミュレーションによりその有効性を示した。

(2) 雑音情報推定法と動的ネットワーク同定法の検討

- ・ 「バイアス補償法」において必要となる補助統計量 (Isermann らの重み付き最小2乗推定量) の繰り返しアルゴリズムを、逆行列補題を基にして導出し、その有効性を示した。
- ・ 変数誤差モデルの閉ループ同定問題に対して、プロセス雑音の影響のみを取り除く補助変数を導入し、雑音情報 (入出力観測雑音分散) を用いて補助変数推定値の漸近バイアスを補償する「バイアス補償補助変数法」によるアプローチを提案した。また、数値シミュレーションによりその有効性を示した。
- ・ 変数誤差モデルに対する重み付き最小2乗推定値と一般化固有値・一般化固有ベクトルの関係を示し、バイアス補償形式の同定アルゴリズムを提案した。また、数値シミュレーションによりその有効性を示した。
- ・ 変数誤差モデル同定問題を一般化固有値問題とみなし、べき乗法を利用した繰り返しアルゴリズムを導出し、その有効性を示した。

(3) ネットワークの構造同定と実問題への応用検討

- ・ 実問題では入出力データに外れ値が生じる場合があり、その問題は変数誤差モデル同定問題とみなせる。そこで、外れ値がある場合に有効なロバスト推定法である「最小刈り込み2乗法」について考え、データ入れ替えに基づく新たな繰り返しアルゴリズムを導出し、その有効性を示した。
- ・ 動的ネットワークのモデリングに必要と考えられる「雑音分散」の推定値に注目し、変数誤差モデルの次数を、雑音分散推定値を用いて推定する方法を提案した。また、数値シミュレーションによりその有効性を示した。
- ・ Isermann らの重み付き最小2乗推定値を用いたバイアス補償法の繰り返しアルゴリズムを導出した。また、その有効性をシミュレーションにより示した。
- ・ 2段階最小2乗推定値を用いたバイアス補償法の繰り返しアルゴリズムを導出した。また、その有効性をシミュレーションにより示した。
- ・ 大規模ネットワークの部分システムを同定する問題を考え、閉ループシステムを「バイアス除去最小2乗法」に基づき同定し、閉ループシステム (部分システムとコントローラからなる複合システム) から部分システムを求めるアプローチを検討し、その有効性を検証した。
- ・ ネットワーク上の複数の部分システムを分散的に同定する問題について考え、部分システム間で雑音分散推定値とパラメータの情報交換を行うアプローチを検討し、その有効性をシミュレーションにより示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 池之上正人, 和田清
2. 発表標題 変数誤差モデルの閉ループ同定問題について
3. 学会等名 第59回自動制御連合講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masato Ikenoue and Kiyoshi Wada
2. 発表標題 On Generalized Eigenvector Method for Errors-In-Variables Models Identification
3. 学会等名 The 48th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 池之上正人, 金江春植, 和田清
2. 発表標題 重み付き最小2乗推定の繰り返しアルゴリズム
3. 学会等名 第61回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池之上正人, 金江春植, 和田清
2. 発表標題 バイアス補償IV法による変数誤差モデルの閉ループ同定
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masato Ikenoue, Shunshoku Kanae and Kiyoshi Wada
2. 発表標題 Identification of Errors-In-Variables Models Based on Bias Compensation of Weighted Least Squares Estimator
3. 学会等名 The 49th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永田峻, 池之上正人
2. 発表標題 ひずみ波信号推定のための逐次最小二乗法
3. 学会等名 平成29年度(第8回)電気学会九州支部高専研究講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大原由喜和, 池之上正人
2. 発表標題 最小刈り込み二乗法によるパラメータ推定に関する研究
3. 学会等名 平成29年度(第8回)電気学会九州支部高専研究講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池之上正人, 金江春植, 和田清
2. 発表標題 データ入れ替えに基づく最小刈り込み2乗アルゴリズム
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Ikenoue, Shunshoku Kanae and Kiyoshi Wada
2. 発表標題 Recursive Algorithm of Bias Compensated Weighted Least Squares Method
3. 学会等名 The 50th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池之上正人
2. 発表標題 雑音分散推定値を用いた変数誤差モデルの次数推定について
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 千口克也, 池之上正人
2. 発表標題 大規模ネットワークの部分システム同定
3. 学会等名 平成30年度(第9回)電気学会九州支部高専研究講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池之上正人, 金江春植, 和田清
2. 発表標題 変数誤差モデル同定における一般化固有値問題の繰り返しアルゴリズム
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Ikenoue, Shunshoku Kanae and Kiyoshi Wada
2. 発表標題 On the Recursive Algorithm of Bias Compensated Weighted Least Squares Method
3. 学会等名 The SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新野恵介, 池之上正人
2. 発表標題 マルチエージェントネットワーク上の分散的なシステム同定
3. 学会等名 令和元年度電気学会九州支部沖縄支所講演会
4. 発表年 2019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