

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400149

研究課題名(和文) 確率システムのロバストな最適フィルタおよび smoother

研究課題名(英文) Robust optimal filters and smoothers of linear stochastic systems

研究代表者

谷川 明夫 (Tanikawa, Akio)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：00163618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：確率系の最適フィルタとしてカルマンフィルタが広く用いられてきたが、それはロバストではなく、モデリングにミスマッチがある場合には良い結果が得られないという重大な欠陥があった。そこで、ChenとPattonは状態空間モデルにミスマッチがある場合にも適用可能でロバストなアルゴリズムODDOを提案した。しかし、彼らの理論には誤りがあることを我々は数年前に指摘していたが、本研究においてその誤りを訂正することができ、ロバストで最適なフィルタリングの理論を正しく構築することができた。さらに、広く適応可能な汎用アルゴリズムの開発を完了することができた。また、ロバストな最適 smoother を導出することもできた。

研究成果の概要(英文)：The Kalman filter has been the most popular and widely used optimal filter for stochastic systems in practice. However, it is not a robust filter and so we cannot have good results often in simulations for the systems with mismatches between the actual systems and their mathematical models (i.e., the systems with modeling errors). Later, Chen and Patton succeeded in proposing a new simple filtering algorithm ODDO which is robust and optimal and can be applicable even to the systems with modeling errors. But, we indicated that the ODDO was derived from their incorrect basic formula recently. In this project, we have succeeded in establishing a correct theory of robust optimal filters for stochastic systems with unknown disturbances and developing widely applicable algorithms (iterative methods) for practical systems. Moreover, we have succeeded in establishing the optimal robust smoothers for stochastic systems with unknown disturbances.

研究分野：数物系科学

キーワード：確率論

1. 研究開始当初の背景

ランダムなノイズを含むシステム(確率系)の最適フィルタの理論および実践の歴史は古く、19世紀初めの Gauss による最小 2 乗法にまで遡ることができる。その後 1930 年代まで大きな進歩はなかったが、1940 年代に、定常な時系列に対するフィルタリング理論が独立に Kolmogorov と Wiener により発表された。そして、一般の非定常時系列に対する真に実用的なフィルタリング理論は 1960 年代になって初めて、Kalman によって提案された。それは、状態変数の最適推定値を逐次的に(オンラインに)求める画期的なアルゴリズムとして提案された。しかし、状態空間モデルリングにミスマッチがある問題に対しては良い結果が得られないという実用上重大な欠点があった。1996 年に Chen-Patton はミスマッチ部分を外部入力項とし、この外部入力項を射影行列によりうまく分離し相殺する簡明なアルゴリズム ODDO(optimal disturbance decoupling observer) を提案し、飛行制御問題に適用して ODDO の Kalman フィルタに対する優越性を示した。しかし研究代表者は、彼らが誤った基本公式に基づいて最適フィルタを導出していることを数年前に明らかにした。

2. 研究の目的

Chen-Patton は、状態空間(動的システム)モデルが未知の外部入力項を有するときに、その外部入力項を射影行列によりうまく分離し相殺することにより、ロバスト性を有するアルゴリズム ODDO(optimal disturbance decoupling observer)を導出することに成功した。つまり、非ロバスト性という Kalman フィルタの重大な弱点の克服を成し遂げた輝かしい研究により、彼らは学会賞を受賞した。しかしその後、数値実験において、彼らのアルゴリズムでも問題によりあまり良い結果が得られないことがしばしば報告されていた。本研究では、彼らが用いた誤りを含んだ公式を正しい公式で置き換えることが第一の目的である。すなわち、状態空間モデルを未知の外部入力項を含む動的システムとして捉え、それに対するロバストで最適フィルタリングの理論を正しく構築することである。そして、実際問題に適用できる汎用逐次解法(アルゴリズム)を開発することが第二の目的である。さらに数値実験を繰り返すことによりその正しさを確かめ、他の方法との比較を行うことが第三の目的である。最後に、この最適フィルタをスムージング問題に適用し、外部入力項を含む動的シ

テムに対する最適なスムーザーを導出することが第四の目的である。

3. 研究の方法

本研究の目的は、未知の外部入力項を含む確率システムに対する最適フィルタリングの理論を構築し、さらに実際問題に広く適用可能な使いやすい汎用アルゴリズム(逐次解法)を開発することである。また、この最適フィルタをスムージング問題に応用し、外部入力項を含む動的システムに対する最適なスムーザーを導出することである。その研究方法は以下の通りであった。

(1) Chen-Patton は未知の外部入力項を含む動的システムに対して、その外部入力項をうまく相殺する最適フィルタリング・アルゴリズム ODDO(optimal disturbance decoupling observer) を提案し、シミュレーションによりその有用性を 1996 年の論文で示した。研究代表者は京都工芸繊維大の澤田祐一氏との共著の論文で、システムの観測方程式が有色ノイズ(雑音)の場合に ODDO を拡張し、シミュレーションにより実用上の有効性も示した。その際に、澤田氏は京都工芸繊維大において、ODDO の数値計算プログラムを MATLAB(PC 版)用に作成し、その後申請者の研究室の PC 上に移植され使用可能になった。また、理論的な考察により、Chen-Patton が誤った基本公式に基づいて最適フィルタを導出していることを明らかにし、そして特別な場合に、修正された公式を澤田氏との共同研究において発見することが出来た。さらに本研究において、一般的な場合に対して、未知のパラメータを有する線形システムに対する(それらのパラメータに関して)ロバストな最適フィルタの理論を構築した。また、これに関して Chen-Patton の誤った基本公式と比較しながら、最適フィルタ・アルゴリズムおよび時系列の共分散行列の正しい構造を調べた。このような理論の構築のため、京都工芸繊維大学の澤田祐一氏との研究連絡を学会やシンポジウムでの発表を兼ねて行った。

(2) 研究代表者は、未知の外部入力項を含む動的システムの故障探知問題(fault detection)に対して、ロバストな最適フィルタ・アルゴリズム応用することにより、理論的に解決することができた。そして、大規模な最適フィルタ問題および故障探知問題のシミュレーションを行うために、高速 CPU および大容量メモリーをもつ PC(計算機)を購入した。また、京都工芸繊維大学の澤田祐一氏と共同で、大規模な最適フィルタ問

題および故障探知問題(fault detection)のシミュレーションを、前回の科研費プロジェクトで購入したPC用ソフトウェアMATLABを用いて行った。

(3) 研究代表者は、ロバストな最適フィルタの理論を種々のスムージング問題に応用し、未知の外部入力項を含む動的システムに対する種々の最適なスモューザを導出することができた。研究成果の発表のため、研究代表者はノート型PCを購入した。

4. 研究成果

(1) 確率系の最適フィルタとしてカルマンフィルタが広く用いられてきたが、残念ながらロバストではなく、状態空間モデルにミスマッチがある場合には良い結果が得られないという重大な欠点があった。そこで、Chen-Patton は状態空間モデルにミスマッチがある場合にも適用可能でロバストなアルゴリズムODDO を提案したが、彼らの理論には誤りがあることを我々は数年前に指摘した。本研究において、彼らが用いた誤りを含んだ基本公式を正しい公式で置き換えることに成功し、ロバストで最適なフィルタリングの理論を正しく構築することができた。すなわち、状態空間モデルを未知の外部入力項を含む動的システムとして捉え、それに対するロバストで最適なフィルタリングの理論を正しく構築することができた。そして、具体的なシミュレーション問題において、我々のアルゴリズム(逐次解法)の正しさを実際に確かめることができた。

(2) 実際問題に広く適用可能な使いやすい我々のアルゴリズムの汎用プログラムを澤田氏と共同で開発することができた。

(3) 研究代表者と澤田氏は、我々のアルゴリズム(逐次解法)をシステムの観測方程式が有色ノイズ(雑音)の場合へ理論的に拡張することに成功した。また、この場合に我々の方法を適用してシミュレーションを行ってみたところ、極めてよい結果が得られた。このことも我々のアルゴリズムの正しさを下支えしてくれるようで、大変心強い。

(4) 研究代表者と澤田氏は、未知の外部入力項を含む動的システムの故障探知問題(fault detection)に対して、ロバストな最適フィルタ・アルゴリズム応用することにより、理論的に解決することができた。また、シミュレーションにより、我々のアルゴリズムの有効性を確かめることができた。

(5) 研究代表者は、ロバストな最適フィルタの理論をスムージング問題に応用し、未知の外部入力項を含む動的システ

ムに対する最適なスモューザを導出することができた。

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 2件)

A. Tanikawa and Y. Sawada. Identification of unknown parameters of partially observed discrete-time stochastic systems by using pseudomeasurements. システム制御情報学会論文誌. Vol. 27, No. 12, pp. 461-468, 2014 (査読有).

A. Tanikawa and Y. Sawada. Identification of partially unknown System matrix of discrete-time stochastic systems via pseudomeasurement approach. システム制御情報学会論文誌. Vol. 26, No. 12, pp. 433-439, 2013 (査読有).

[学会発表](計 5件)

谷川明夫. A generalized class of pseudomeasurements for identifying unknown parameters of partially linear stochastic systems. 日本数学会年会、統計数学科会、筑波大学(茨城県・つくば市) 2016.

A. Tanikawa. A generalized class of pseudomeasurements for identifying unknown parameters of partially linear stochastic systems. Proceedings of the 47th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and its Applications: 201-206, Honolulu (USA), 2015.

谷川明夫, 澤田祐一. Identification of partially unknown system matrix of discrete-time stochastic systems via pseudomeasurement approach. 日本数学会年会、統計数学科会、学習院大学(東京都) 2014.

A. Tanikawa. Identification of unknown parameters of partially observed discrete-time stochastic systems by using a new class of

pseudomeasurements. Proceedings of the 46th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and its Applications: 201-206, Kyoto, Japan, 2014.

A. Tanikawa and Y. Sawada. Identification of unknown parameters of partially observed discrete-time stochastic systems via pseudomeasurement approach. Proceedings of the 45th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and its Applications: 143-148, Okinawa, Japan, 2013.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷川 明夫 (TANIKAWA AKIO)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：22540158

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし