

平成22年6月15日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560440

研究課題名（和文） アクティブ制御系の高度信頼性構築手法

研究課題名（英文） Research on high reliability construction for active control systems

研究代表者

千田 有一（CHIDA YUICHI）

信州大学・工学部・教授

研究者番号：00345753

研究成果の概要（和文）：

アクティブ制御系は、センサやアクチュエータ、および制御対象が正常に動作することを前提としている。一方、センサやアクチュエータ、制御対象が故障した場合には、その故障をいち早く検出し、対応策をリアルタイムで選定する必要がある。そのため、オンラインでの効果的な異常検知手法の確立、および異常発生にも頑健な制御系を構築する手法を提供することにより、信頼性の高いアクティブ制御系を構築する手法の研究開発を行った。

研究成果の概要（英文）：

In the active control systems, it is assumed that system components such as sensors, actuators, etc. work regularly. On the other hand, if faults occur in the system components, the faults should be detected and some appropriate countermeasures are adopted as soon as possible. In this research, high reliability construction methods for active control systems are proposed such as on-line fault detection filter design methods and less conservative robust control design method, etc.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：制御システム，異常検知，ロバスト制御

1. 研究開始当初の背景

アクティブフィードバック制御系は、パッシブ系に比較して性能向上が期待されることから、種々のシステムで利用されている。

しかしながら、不安定化のリスクが伴うため、実用の際にはシステムを不安定化することの無い様、細心の注意を払い、事前の対策が施される。特に、自律性の高い宇宙システムや、人間環境で用いられる自動車制御、ロボ

ット制御等では、アクティブ制御系に対して非常に高い信頼性が要求される。アクティブ制御系に対する従来の設計思想では、異常が発生した場合、システムをオフすることで十分な対応が取れる場合が多かった。しかしながら、自動車における自律自動制御のように単純に制御オフする対応では危険度が増す場合が生まれてきている。そのため、システム要素に異常が発生した場合、その異常を速やかに検知して次善の対応策を施すことが求められる。したがって、システム異常に対して、より積極的な対策を施すことが求められてきている。

2. 研究の目的

本研究では、アクティブ制御系に対して、高度な信頼性を持たせる方法の構築を目的とする。具体的な研究課題として、次の2項目について検討する。

(1)保守性を低減化したロバスト制御系設計／解析手法の構築

(2)外乱の影響を受けない異常検知フィルタの設計方法の確立

上記項目を達成できれば、アクティブ制御系に対する信頼性を向上させることができる。さらに、従来アクティブ制御が適用できなかった対象への適用可能性が広がると考えられる。

3. 研究の方法

(1)保守性を低減化したロバスト制御系設計／解析手法の構築

これについては、次の2項目について検討を行った。

①申請者が開発したロバスト安定性解析の方法を発展／応用させ、ロバスト制御設計方法の構築を行う。

②保守性を低減化した手法を実システムに適用し、その効果を検証する

(2)外乱の影響を受けない異常検知フィルタの設計方法の確立

これについては、以下の4項目について検討を行った。

①センサノイズやシステム外乱に不感となる異常検知フィルタの設計手法の提案

②従来手法の設計制約条件を緩和した設計法の開発

③提案したFDIフィルタの性能を、実験装置や実システムモデルに適用して性能を検証する

④異常検知フィルタ設計手法を発展的に応用し、性能の良い未知外乱推定器の設計法を提案する。

4. 研究成果

(1)保守性を低減化したロバスト制御系設計／解析手法の構築

①申請者が開発したロバスト安定性解析の方法を発展／応用させ、ロバスト制御設計方法の構築を行う。

申請者が本研究開始以前に開発していた保守性低減化ロバスト安定性解析手法を発展的に応用し、制御系設計に適用した。その際、対象は機械振動系とした。その結果、従来のロバスト制御系設計手法に比較して、制御性能を向上させることが可能であることを示すことができた。その結果は〔学会発表〕⑧⑫で公表した。

②保守性を低減化した手法を実システムに適用し、その効果を検証する

さらに、保守性低減化ロバスト制御設計の性能を検証するため、発電用風車のピッチ角制御系設計問題への適用検討を行った。その結果、標準的な H_∞ 制御系設計手法に比較して、保守性低減化 H_∞ 制御系設計手法を適用すれば、制御性能を格段に向上させることができることを確認した。さらに、発電用風車の設計用シミュレータによってその性能を検証した。その結果、実システムで用いられている可変ゲイン型のPI制御系と比較しても、その性能は遜色がないことから、実システムに適用できるレベルであることも確認した。可変ゲインPI制御は制御パラメータをオンラインで変更するのに対し、保守性低減化 H_∞ 制御器は一つの決められたパラメータで制御するため、その信頼性は後者の方が高いと考えられる。以上の結果は、〔雑誌論文〕②および〔学会発表〕⑤⑩等により公表した。

以上より、ロバスト安定性の確保の観点から開発手法の有効性が検証でき、アクティブ制御系の信頼性確保に貢献できる技術開発を行うことができた。

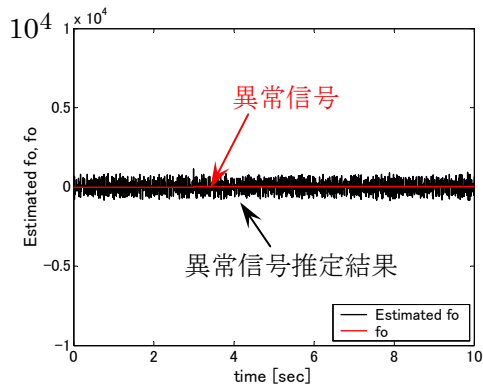
(2)外乱の影響を受けない異常検知フィルタの設計方法の確立

①センサノイズやシステム外乱に不感となる異常検知フィルタの設計手法の提案
異常検知フィルタの設計方法として、SMO (Sliding Mode Observer)による手法が有効

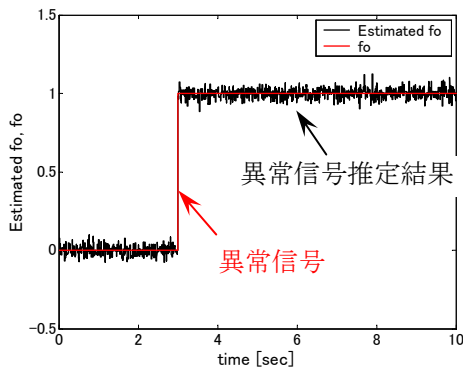
であることが知られている。しかしながら、従来の手法ではセンサノイズやシステム外乱に対する感度が高いため、それらノイズや外乱が存在すると異常推定信号が汚されるために正確な推定ができなかった。そこで、この問題を解決するため、従来手法をベースに推定式の改良を行った。その結果、従来手法に比較して、ノイズや外乱に不感な異常検知フィルタを設計することができるようになった。その結果の一例を図1に示す。図1では、階段状の異常信号の推定例を示しているが、図1(a)に示す従来手法の応答では異常推定信号がノイズで汚されているのに対し、提案手法を用いた図1(b)ではノイズの影響に不感とし、精度良く推定できていることが確認できる。以上の結果は、[雑誌論文]③⑥および[学会発表]⑩等により公表した。

②提案手法の制約条件を緩和した設計法の開発

従来のSMOによる異常検知フィルタの設計では、原点極を含んだ対象には適用できない、伝達関数の分母分子の次数差が1未満である必要があるなど、適用できるシステムに制約



(a) 従来手法による異常信号の推定結果。ノイズの影響により異常検知できていない



(b) 開発手法による異常信号の推定結果。ノイズの影響を低減化し、異常検知できている

図1 異常検知フィルタによる階段状の異常信号の推定結果

があった。そこで、これらの制約を緩和した設計方法を提案した。その結果、人工衛星の姿勢制御系などのように原点極を含んだ対象にも適用可能とすることができるようになった。さらに、伝達関数の次数差の制約の解消、あるいは対象システムの零点位置による推定性能の制約を解決するために、新たな方法を提案した。その結果、従来手法では適用できなかったHDD制御系などの対象にも適用可能とすることができ、さらに推定性能も向上可能であることを確認した。これらの結果は、[雑誌論文]①および[学会発表]④⑥等により公表した。

③提案したFDIフィルタの性能を、実験装置や実システムモデルに適用して性能を検証する

新規開発した異常検知フィルタ設計方法を用いて、図2に示す機械系実験装置の異常推定を行った。想定した異常はセンサにおける階段状の異常信号の推定である。図3に示すように、発生異常が精度良く推定できることを実験装置により確認できた。この結果は、[雑誌論文]③により公表した。

④異常検知フィルタ設計手法を発展的に応



図2 実験対象とした機械振動系実験装置

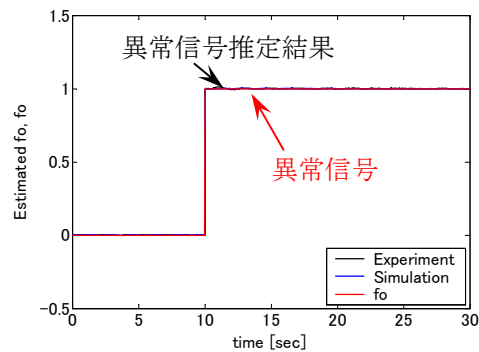


図3 異常検知フィルタによる階段状の異常信号の推定結果(実験データ)

用し、性能の良い未知外乱推定器の設計法を提案する。

当初の研究計画では、アクティブシステムの信頼性構築のために異常検知手法について研究を行った。その途中段階において、異常検知フィルタの設計手法を発展的に応用すれば、未知外乱推定が可能であることに気づいた。そこで、開発手法を未知外乱推定問題に適用することにより、外乱の高精度推定が可能であるかについて検証を行った。その際、HDDの制御系を例として、計算機シミュレーションによってその効果を検証した。その結果、極めて良好な外乱推定が可能であることを確認した。さらに、その推定結果を制御入力とすることにより、外乱補償制御が可能であることを指摘し、その効果を検証した。これらの結果は、[学会発表]①③等により公表した。図4に未知外乱の推定結果の一例を示す。

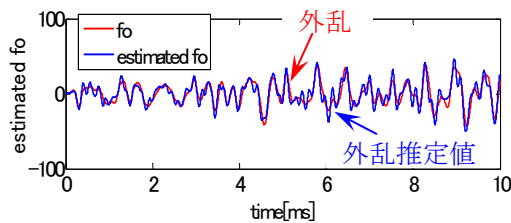


図4 開発した未知外乱推定器を用いた外乱推定結果の一例

以上より、システム構成要素における異常発生に対応可能な異常検知フィルタの設計問題について、制約条件を緩和した適用範囲の広い方法やノイズ/外乱に不感な実用的な方法を開発できた。これにより、アクティブ制御系の信頼性確保に貢献できる技術開発を行うことができたと考えている。

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9件)

- ① 千田有一, 植田啓太, 中澤晃, 原点極を含む系に対するSMO型FDIフィルタの設計と衛星姿勢制御系への応用, 日本機械学会論文集(C編), 76巻, 193-200, 2010, 査読有
- ② H. Takaai, Y. Chida, K. Sakurai, and T. Isobe, Pitch Angle Control of Wind Turbine Generator using Less Conservative Robust Control, Proc. of the 18th IEEE International Conference

on Control Applications, 542-547, 2009, 査読有

- ③ A. Nakazawa, Y. Chida and K. Ueda, FDI Filter Design for Decoupling of Actuator and Sensor Faults under Disturbance/Noise Conditions, Proc. of the European Control Conference 2009, 1895-1900, 2009, 査読有
- ④ Y. Chida, Y. Ishihara, T. Okina, T. Nishimura, K. Ohtomi and R. Furukawa, Identification and frequency shaping control of a vibration isolation system, Control Engineering Practice, 15, 711-723, 2008, 査読有
- ⑤ Y. Chida and T. Nishimura, Discretization Method of Continuous-Time Controllers Based on Frequency Response Fitting, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 1-4, 299-306, 2008, 査読有
- ⑥ A. Nakazawa, Y. Chida and K. Ueda, Sensor Fault Detection Filter Design Method - Rejection Method of Disturbances -, Proc. of the SICE Annual Conference 2008, 2065-2770, アブストラクト査読有
- ⑦ 千田有一, 木村剛生, 古川亮, 仮想的なパラメータ変動を用いたロバスト安定性解析方法~保守性を低減化した解析方法の提案, システム制御情報学会論文誌, 20-4, 144-151, 2007, 査読有
- ⑧ Y. Chida and T. Nishimura, Discretization Method of Continuous-time Controllers Based on Frequency Response Fitting, Proc. of the European Control Conference 2007, 5254-5261, 2007, 査読有
- ⑨ A. Nakazawa and Y. Chida, FDI filter design using sliding mode observer and its application to an active control system, Proc. of the SICE Annual Conference 2007, 1217-1223, 2007, アブストラクト査読有

[学会発表] (計13件)

- ① 木下喜仁, 千田有一, 池田裕一, HDD制御系におけるsliding mode observerを利用した外乱の補償制御について, 計測自動制御学会第10回制御部門大会, 2010, 熊本
- ② Y. Kinoshita, Y. Chida, and Y. Ishihara, Feedforward control design for seek control using NME profiler and input shaping, Proc. of the 2009 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (IIP/ISPS Joint MIPE2009), 76-68, 2009, つくば

- ③木下喜仁, 千田有一, 朝倉誠, HDD 制御系における sliding mode observer を利用した外乱推定, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2009, 83-84, 2009, 長野
- ④千田有一, 植田啓太, 原点極を含む系に対する SMO 型 FDI フィルタの設計, 日本機械学会第 11 回「運動と振動の制御」シンポジウム講演論文集, 387-392, 2009, 福岡
- ⑤鷹合仁司, 千田有一, 櫻井希美, 磯辺剛司, 発電用ピッチ角の保守性低減化 H_∞ 制御, 平成 21 年電気学会全国大会講演論文集, 第 6 分冊, 443-444, 2008, 札幌
- ⑥植田啓太, 千田有一, 仮想的センサ出力を用いた FDI フィルタの設計～宇宙機における原点極問題の回避～, 計測自動制御学会・第 9 回制御部門大会, 2009, 広島
- ⑦植田啓太, 千田有一, 中澤晃, アクチュエータ異常とセンサ異常を非干渉化させた FDI フィルタの一設計法, 第 51 回自動制御連合講演会, 82-85, 2008, 米沢
- ⑧西村晃幸, 千田有一, 仮想的パラメータ変動を用いたモデル変動表現によるロバスト制御系設計, 第 50 回自動制御連合講演会, 134-139, 2007, 横浜
- ⑨植田啓太, 千田有一, 周波数応答フィッティングによる PID パラメータの決定, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2007, 94-95, 2007, 上田
- ⑩鷹合仁司, 千田有一, 櫻井希美, 発電用風車ピッチ角のロバスト制御, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2007, 92-93, 2007, 上田
- ⑪中澤晃, 千田有一, 外乱に不感な異常検知フィルタの設計～スライディングモードオブザーバと外乱オブザーバを併用した方法の提案, 計測自動制御学会第 24 回誘導制御シンポジウム, 35-42, 2007, 長野
- ⑫西村晃幸, 千田有一, 仮想的パラメータ変動によるモデル表現を用いた振動系のロバスト制御系設計～保守性を低減化した設計法～, 計測自動制御学会第 24 回誘導制御シンポジウム, 69-74, 2007, 長野
- ⑬中澤晃, 千田有一, Sliding mode observer によるシステムの異常検知フィルタの設計, 第 10 回「運動と振動の制御」シンポジウム, 262-267, 2007, 東京

[図書] (計 1 件)

- ①早川義一, 辰野恭一, 水野直樹, 千田有一, 阪本登, オーム社, システムと制御, 2008, 全 181 頁, 担当 47 頁

[その他]

ホームページ URL :

<http://chida-lab.shinshu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千田 有一 (CHIDA YUICHI)

信州大学・工学部・教授

研究者番号 : 00345753