

氏名	ふくしまひろあき 福島宏明
学位(専攻分野)	博士(情報学)
学位記番号	情博第27号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	情報学研究科システム科学専攻
学位論文題目	Model Set Identification for Robust Control (ロバスト制御のためのモデル集合同定)

論文調査委員 (主査) 教授 杉江俊治 教授 片山 徹 教授 酒井英昭

論文内容の要旨

モデルの不確かさを考慮し、単一の数式モデルだけでなく、複数のモデルの集合全体に対して制御仕様を満足する補償器を設計するロバスト制御が有効な制御手法として知られている。本論文は、システムの入出力データと事前情報からロバスト制御に必要なモデル集合を系統的に同定する手法について考察したものであり、9章からなっている。

第1章は序論であり、制御系設計のためのシステム同定理論やモデルの妥当性検証理論の研究の背景について述べ、従来の手法の問題点を指摘した後、本論文の目的について述べている。

第2章では、周波数領域で記述される制御仕様に対して有効なロバスト制御手法である H_∞ 制御に適合したモデル集合を同定する新たな方法を提案している。提案する H_∞ 同定法は、与えられた実験データや事前情報をそのまま同定に用いるのではなく、誤差の H_∞ ノルムを評価するために適した周波数応答推定値とその誤差の上界に変換することにより、 H_∞ ノルムの意味での最悪ケース誤差を小さくするような同定を行うことを目的としている。提案手法では入力と雑音の無相関性についての事前情報を考慮することにより、データの増加とともに従来法の問題点である保守性の改善を行うことが可能となっている。

第3章では、時間領域で記述される制御仕様に適したロバスト l_1 制御のためのモデル集合同定法を提案している。この方法では、まず相関法により、与えられた実験データと事前情報をインパルス応答推定値とその推定誤差の上界に変換し、これらを用いて公称モデルの同定と誤差の l_1 ノルムの上界を求める。これにより、 l_1 ノルムに適合した評価関数で同定を行うことが可能となっている。また、入力と雑音の無相関性を考慮した雑音の集合を考えることにより、データ数が大きい場合に保守性を改善させることが可能である。

第4章では、提案したモデル集合同定法を柔軟構造物に対する地震波のアクティブ制震制御に適用し、その有効性を実験によって検証している。モデル集合同定法を実際にロバスト制御系設計に適用して、ここでは公称モデルとして有理伝達関数を用いることにより、従来よりも次数を抑えたモデル集合の同定を行っている。実験検証を行った例は数少ないのが現状であることから、実用化への第1段階として重要である。

第5章では、提案したモデル集合同定法と補償器設計、および同定の評価関数の更新を繰り返すことにより、与えられた制御系仕様の観点から最適な同定を行う方法を提案している。このような方法は従来より「同定と制御の統合化設計」として注目されているが、単一の公称モデルの同定に基づいた従来法と異なり、提案法ではモデル集合同定に基づいているため、ロバスト安定性が保証された信頼性の高い設計法となっている。

第6章では、一般化 Hammerstein モデルで記述される非線形系に対するモデル集合の同定法を提案している。Hammerstein モデルのパラメトリックな誤差を評価する従来の方法と異なり、提案法ではノンパラメトリックな誤差の l_∞ ゲインを評価し、ロバスト制御に適合したモデル集合の同定を行うことを目的としている。非線形システムを対象とする場合、モデル化誤差の大きさは入力に依存するため、与えられた有限個のデータから評価することが一般に困難となっているが、 l_∞

ゲイン特有の性質を用いることにより、インパルス応答推定に基づいて誤差の上界を入力の大きさの関数として評価し、平衡点近傍での局所的なモデル集合を同定することが可能となっている。

第7章では、与えられたモデル集合の妥当性検証を行う周波数領域の方法を提案している。この方法は、雑音が確率過程としてモデリングされる場合を考慮しており、近年注目されているロバスト制御の確率的アプローチに適合している。提案法では、雑音の白色性を利用することにより、効率の良いモデル集合の検証を行うことができる。

第8章では、モデル検証の考え方の基づいたモデル集合同定法を提案している。この方法では、モデルとプラントの出力誤差における確率的な雑音の成分とアンモデルドダイナミクスによる確定的な成分を分離することにより、雑音の影響を低減したモデル集合同定を行うことが可能となっている。

第9章では上記の結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ロバスト制御のためのモデル集合同定に関する研究を行ったものであり、得られた成果は次のようである。

(1)代表的なロバスト制御法である H_{∞} 制御、 l_1 制御に適合したモデル集合を同定する新たな方法を提案している。提案法では、雑音の相関についての事前情報を考慮することにより、従来法の問題点であるモデル化誤差の上界の保守性を低減することが可能となっている。さらに、提案したモデル集合同定手法を柔軟構造物に対する地震波のアクティブ制震制御に適用し、実験検証を含めて、実用化に向けた考察を行っている。

(2)提案したモデル集合同定法と補償器設計、および同定の評価関数の更新を繰り返すことにより、与えられた制御仕様の観点から最適な同定を行う方法を提案している。この方法は「同定と制御の統合化設計」として注目されているが、従来の単一の公称モデルの同定に基づいた手法と異なり、モデル集合の同定に基づいた繰り返しであるため、ロバスト安定性が保証された信頼性の高い設計法となっている。

(3)対象システムのクラスを一般化 Hammerstein モデルで記述される非線形システムに拡張し、モデル化誤差を l_{∞} ゲインで評価することにより、ロバスト制御に適合したモデル集合を同定する方法を提案している。

(4)雑音が確率過程としてモデリングされる場合について考察し、モデル集合の妥当性検証および同定を行う方法を提案している。これらの方法は前述のモデル化誤差の上界を見積もる方法とは対照的に、誤差の下界を見積もる方法である。提案法では、白色性などの雑音の統計的性質を考慮することにより、下界の保守性の低減が可能となっている。

以上要するに、本論文はロバスト制御のためのシステム同定理論の確立に重要な役割を果たす、モデル集合の同定手法を新たに開発したものであり、学術上、實際上、寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。

また平成13年1月29日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。