

氏 名	なか だ はや と 仲 田 勇 人
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 141 号
学位授与の日付	平 成 17 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 数 理 工 学 専 攻
学位論文題目	Analysis and Identification of Piecewise Affine Systems with Application to Saturating Systems (区分的アフィンシステムの解析と同定および飽和システムへの応用)
論文調査委員	(主 査) 教 授 片 山 徹 教 授 福 嶋 雅 夫 教 授 杉 江 俊 治

論 文 内 容 の 要 旨

物理法則に支配される連続ダイナミクスと、制御ロジック・ルールにより駆動される離散事象ダイナミクスが混在するシステムはハイブリッドシステムと呼ばれている。その一種である区分的アフィン (PWA) システムは、状態空間の多面体分割と各多面体に対応するアフィンダイナミクスをもつサブシステムから構成されており、種々のシステムが PWA システムとして取り扱うことができることから、近年非常に注目されている。

本論文は、PWA システムの解析および同定に関する新たな手法を提案し、代表的な PWA システムである入力飽和を有するシステムへの応用について考察している。本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章では序論として、PWA システムの解析および同定、飽和システムに関する最近の研究動向を概観し、研究目的と本論文の構成を述べている。

第 2 章では、PWA システムの一般的枠組み、具体例および解の概念についてまとめている。さらに、PWA システムの解軌道の存在と一意性、および PWA システムに固有の特異解軌道の例を説明している。

第 3 章では、行列不等式を用いて PWA システムの局所安定条件を導出し、区分的な 2 次 Lyapunov 関数のレベルセットによる安定領域の内部近似を与えている。また入力飽和を有するシステムに対して、既存の局所安定条件である円板条件と提案手法の保守性を比較し、さらに局所安定条件の 2 次制御性能条件への拡張も試みている。

第 4 章では、外乱と不確かさを有する PWA システムの状態可到達集合解析について考察し、状態可到達集合の外部近似を陽に与える行列不等式条件を導出している。また、不確かさを有する PWA システムの典型である Takagi-Sugeno ファジィシステムに提案手法を適用している。

第 5 章では、各サブシステムが外部入力をもつ自己回帰 (ARX) モデルで表される区分的アフィン ARX (PWARX) システムの同定について考察し、混合密度分布に基づく観測データのクラスタリング、サポートベクトルマシンによる多面体分割の推定および各サブモデルのパラメータの最小二乗推定からなる PWARX モデルの統計的同定法を提案している。さらに、数値例として、ARX モデルと飽和関数からなる非線形システムに対して提案手法を適用している。

第 6 章では、代表的な PWA システムである制御入力の振幅および変化率それぞれに飽和を有する線形システムの局所安定化について考察し、飽和関数の構造を陽に取り入れた線形パラメータ変動 (Linear Parameter Varying; LPV) システム表現に基づいて、保守性の小さい局所安定化コントローラ的设计法を提案している。さらに、提案した局所安定化手法と既存の円板条件に基づく手法との比較を行っている。

第 7 章では、本論文のまとめを行ない、今後の研究課題について言及している。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、ハイブリッドシステムの代表的なモデルである区分的アフィン (PWA) システムの解析と同定、およびその

入力飽和を有するシステムへの応用に関する研究をまとめたものであり、得られた成果は以下の通りである。

- 1) PWA システムの局所安定条件を行列不等式を用いて導出し、これに基づいて安定領域を内部から近似するための数値計算アルゴリズムを提案している。この安定条件では、局所性に関する情報を積極的に取り込むことにより、安定領域の保守性の低減化が図られている。
- 2) 外乱と不確かさを有する PWA システムに対して、状態可到達集合の解析を行ない、状態可到達集合の良好な外部近似を求めるための行列表不等式条件とそれに基づく数値計算アルゴリズムを提案している。また、不確かさを有する PWA システムの典型である Takagi-Sugeno ファジィシステムに提案手法を適用し、その有効性を示している。
- 3) 外部入力をもつ区分的アフィン自己回帰 (PWARX) モデルの同定に関して、混合密度分布を用いた統計的クラスタリングに基づく手法を提案している。観測データのクラスタリングで用いた対数尤度関数を利用することにより、サブモデル数が精度良く推定できることを示している。また、ARX モデルと飽和関数からなる非線形システムに対して提案手法を適用し、その有効性を示している。
- 4) 制御入力の振幅および変化率に飽和を有する PWA システムの局所安定化について考察し、保守性の低減化を意図して、飽和の構造を積極的に取り入れた線形パラメータ変動 (LPV) システム表現に基づく局所安定化コントローラ的设计法を提案している。
- 5) また上記 1) と 4) で提案した解析・設計手法は、一般の PWA システムに対して適用可能であるが、これらを入力飽和システムに対して適用した場合、従来の円板条件に基づく手法よりも保守性の小さい結果が得られることを証明している。このことは、提案手法により安定領域の広範囲な近似や良好な制御性能を達成することが可能であることを示している。

以上要するに、本論文は区分的アフィン (PWA) システムの解析と同定に関するいくつかの新しい手法を提案したものであり、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17年1月26日に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。