

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560453

研究課題名（和文） 不確かなパラメータを含む切り替えシステムの安定性に関する研究

研究課題名（英文） A Study on Stabilization for uncertain switched linear systems

研究代表者

大塚 尚久 (OTSUKA NAOHISA)

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号：30185318

研究成果の概要（和文）：本研究では、ポリトープの意味で不確かなパラメータを含むサブシステムから構成される線形切り替えシステムが二次安定化可能であるための条件が与えられた。また、ある条件において、同システムが漸近安定であるための必要十分条件が与えられた。さらに、同システムに対して、状態フィードバックによる外乱除去問題および安定性と外乱除去の併合問題が定式化され、これらの問題に対する可解条件が与えられた。その他、ある種の非線形システムが、原点で線形化可能であるとは限らない場合について、出力トラッキング問題の可解条件が与えられた。

研究成果の概要（英文）：In this study, quadratic stabilization problems for polytopic uncertain switched linear systems were investigated and their solvability conditions were presented. Next, under certain assumptions, necessary and sufficient conditions for the same switched linear systems to be asymptotically stable were presented. Further, two disturbance decoupling problems without stability and with stability via state feedback for polytopic uncertain switched linear systems were formulated and their solvability conditions were presented. Moreover, a practical output tracking control problem for some nonlinear system whose linearization at the origin may fail was investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

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：制御理論・システム理論

1. 研究開始当初の背景

動的システムにおいて、システムモデル内のパラメータ誤差や、環境の変動や経年変化などにより、そのパラメータが変動する場合、そのシステムは、不確かな系となる。このような不確かな系におけるパラメータ変動に

頑強なシステムを実現する問題は、いわゆるロバスト制御問題として、これまで多くの研究が行われてきた。一方、実際の多くの動的システムは、以下の理由等により本来は、マルチモデルとして記述される。

(1) システムの振る舞いが様々な環境要素

に依存してモデルが変わる。

- (2) 制御設計の手法として目的に応じて制御則を切り替えることによりモデルが変わる。

このようないくつかの動的システムの族を考え、それらが制御目的を達成するように切り替わる、いわゆる切り替えシステムの基礎的研究がこれまで盛んに行われてきた。しかしながら、上記に述べたような不確かなパラメータを含む切り替えシステムに関しては、あまり研究がなされていない状況である。従って、不確かなパラメータを有する切り替えシステムの基礎的研究は、今後益々重要な研究課題として考えられている。

2. 研究の目的

動的システムの状態あるいは動作時間に応じて動特性が切り替わる、いわゆる切り替えシステムに関する研究は、システム制御分野において重要な研究課題として位置づけられている。本研究では、構造的不確かさをもつ切り替えシステムの安定条件と不変部分空間の概念を用いた制御問題の可解条件について研究することが目的である。具体的には、ポリトープの意味で不確かさを有する切り替えシステムが、二次安定化可能であるための条件とサブシステム行列の固有値と動作時間に基づいた漸近安定性について調べる。さらに、サブシステムのクラスに対する不変部分空間の概念を調べ、外乱除去問題などの制御問題を定式化し、その可解条件について調べる。研究目的を達成するための課題を以下に示す。

[研究課題1] 切り替えシステムにおける各サブシステムが、連続時不変線形システムの場合について、そのシステム行列が不確かなパラメータを有する場合、特に端点行列のポリトープ結合で表わされる場合について、切り替えシステムが状態フィードバックを用いて二次安定化可能であるための条件について調べる。

[研究課題2] 切り替えシステムにおける各サブシステムが、ポリトープの意味で不確かさをもつ離散時不変線形システムの場合について、状態フィードバックを用いた二次安定化可能性について調べる。

[研究課題3] 課題1, 2において、観測出力フィードバック(動的補償器)を用いた切り替え則によって、切り替え線形システムが二次安定化可能であるための条件について調べる。

[研究課題4] 各サブシステム行列がポリ

トープの意味で不確かさをもつ連続時間および離散時間線形切り替えシステムにおいて、動作する時間、いわゆるDwell Timeの概念を用いて、上記切り替えシステムが漸近安定であるための条件を調べる。

[研究課題5] 線形切り替えシステムの安定性問題についての結果を踏まえ、ある種の非線形切り替えシステムが安定化可能であるための条件を調べる。

[研究課題6] サブシステムの族に対する不変部分空間の概念について調べる。次に、サブシステムがポリトープの意味で不確かさと外乱をもつ場合について、それらで構成された切り替えシステムに対する外乱除去問題と安定性との併合問題を定式化し、これらの問題の可解条件を調べる。

3. 研究の方法

3年間での研究期間において、研究代表者(大塚尚久)、研究協力者(カイランアリムカン)、大学院生および海外の共同研究者で構成されたメンバーで本研究課題を推進した。そのために、定期的なセミナーを行い、議論を通して課題を遂行する。また、海外の共同研究者と議論することにより、問題解決に当たる。各研究課題に対する研究の方法を以下に示す。

[研究課題1] 不確かな連続時間切り替え線形システムの二次安定化可能性

本課題における不確かなシステムに関する基礎的な研究は、研究代表者がこれまで多くの研究成果を得ている。これらの結果との関連性を考慮し、本課題を遂行する。また、具体的な数値例に対し、研究員および大学院生らとともに、MATLABを用いて結果の検証を行う。理論的な解析として、行列理論が重要な道具となることが予想されることから、共同研究者とも議論することにより問題解決に当たる。

[研究課題2] 不確かな離散時間切り替え線形システムの二次安定化可能性

本課題では、離散時間系の安定性を調べる上で重要な鍵となっている非線形Lyapunov代数方程式について調べる必要がある。従って、行列理論(行列不等式LMIを含む)の専門家である共同研究者らと議論することにより研究を進める。また、数値的シミュレーションを行い、結果の見通しをつける。

[研究課題3] 観測出力フィードバックによる切り替え線形システムの研究

研究課題1, 2の結果を踏まえ、観測出力に基づいたオブザーバまたは動的補償器を

用いた切り替え則によって、切り替え線形システムが二次安定化可能であるための条件を大塚（研究代表者）が研究を進める。本課題においては、研究代表者が最近、動的補償器を用いた不確かなシステムに対する基礎的研究成果を得ており、継続的に研究を行うことによって切り替えシステムの制御問題に応用する。また、本研究課題は、大学院生（博士課程）の研究テーマと深くかかわりがあることから、学位取得に向けて研究成果を国内外で発表する。

〔研究課題 4〕 Dwell Timeによる切り替えシステムの漸近安定化可能性

ポリトープの意味で不確かさを有する連続時間切り替えシステムについて、理論的な条件を調べた後、得られた結果を離散時間切り替えシステムの不確かさが有る場合に見直しをつける。さらに、コンピュータシミュレーションを通して、結果の有効性を検証する。

〔研究課題 5〕 非線形切り替えシステムの安定化可能性

本課題は、研究協力者（カイランアリムカン）がこれまで研究してきた非線形システムの安定性に関する成果を踏まえ、切り替えシステムの安定性問題へ発展させることを考える。具体的には、部分的線形化可能な非線形切り替えシステムやInherentlyな非線形切り替えシステムの安定性問題についても研究する。

〔研究課題 6〕 切り替えシステムの幾何学的問題

研究代表者がこれまでに線形システムの族について、不変部分空間の概念とその性質について調べ、その結果を不確かなパラメータをもつ線形システムの外乱除去問題に応用してきた。これらの結果を、ポリトープの意味で不確かさをもちサブシステムの族から構成される線形切り替えシステムに対して、外乱除去問題を定式化し、その可解条件について調べる。

4. 研究成果

〔研究課題 1〕 ポリトープの意味で不確かなパラメータを含む一般個のサブシステムからなる連続時間線形切り替えシステムが状態フィードバックにより二次安定化可能であるための十分条件を調べた。

〔研究課題 2〕 不確かな離散時間切り替え線形システムの二次安定化問題については、非線形Lyapunov代数方程式の難しさがあり、今後の検討課題となった。

〔研究課題 3〕 ポリトープの意味で不確かなパラメータを含む一般個のサブシステムからなる連続時間線形切り替えシステムが切り替えオブザーバにより二次安定化可能であるための十分条件を調べた。さらに、不確かさをもち定数入力連続時間線形切り替えシステムに対して、切り替え則が、システム状態の非線形関数の場合と線形関数の場合の二通りについて調べられ、平衡点が漸近安定であるための条件がそれぞれ与えられた。さらに、同問題について、切り替えオブザーバの状態により定義される切り替え則に対しても同様の結果が与えられた。

〔研究課題 4〕 ポリトープの意味で不確かなパラメータを含む一般個のサブシステムからなる連続時間および離散時間線形切り替えシステムが、すべてのサブシステム行列が同次対角化可能であるという条件において、漸近安定であるための必要十分条件を与えた。

〔研究課題 5〕 ある種の非線形システムが、原点で線形化可能であるとは限らない場合について、安定化問題と関係のある出力トラッキング問題の可解条件を与えた。

〔研究課題 6〕 まず、連続時間線形切り替えシステムに対して、不変部分空間の概念について調べられ、動的補償器を用いた外乱除去問題を定式化し、この問題が解けるための十分条件について調べた。また、ポリトープの意味で不確かなパラメータを含む連続時間線形切り替えシステムに対して、外乱除去問題を定式化し、この問題が解けるための条件を与えた。さらに、外乱除去と安定性との併合問題が解けるための条件も調べた。

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 4 件）

[1] T.Soga and N. Otsuka: “Quadratic Stabilizability for Polytopic Uncertain Switched Linear Systems via Switched Observer”, *Asian Journal of Control*, Wiley, to appear. (査読有)

[2] K. Alimhan and N. Otsuka: “A Further Study of Practical Output Tracking of Nonlinear Systems”, *Far East Journal of Mathematical Sciences*, to appear. (査読有)

[3] T.Soga and N. Otsuka: “Stabilizability Conditions for Switched Linear Systems with Constant Input via Switched Observer”, *Studies in Informatics and Control*, Vol.22, No.1, pp.7-14, 2013. (査読有)

[4] N. Otsuka, K. Nakashima and T.Atajan: “Stability Conditions of Polytopic Uncertain Switched Linear Systems with Simultaneously

Diagonalizable Vertex Matrices”, *Far East Journal of Dynamical Systems*, Vol.15, Issue.1, pp.1-20, 2011. (査読有)

[学会発表] (計 17 件)

- [1] T. Soga, N. Otsuka, G. Nakayama and A Tojo: “Stabilization for Polytopic Uncertain Switched Linear Systems with Constant Input”, *Proc. of the 9-th Asian Control Conference*, to appear, Istanbul, Turkey, June, 2013. (査読有)
- [2] 曾我拓哉, 東條晃大, 大塚尚久: “不確かさをもつ定数入力連続時間線形切り替えシステムの状態フィードバックによる安定化”, 第 45 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.6-7, 2013 年 3 月, 北海道大学. (査読無)
- [3] 中山玄輝, 曾我拓哉, 大塚尚久: “不確かさをもつ定数入力連続時間線形切り替えシステムの切り替えオブザーバによる安定化”, 第 45 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.8-9, 2013 年 3 月, 北海道大学. (査読無)
- [4] 齋藤広毅, 大塚尚久: “不確かさをもつ線形切り替えシステムの安定性を伴う外乱除去”, 第 45 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.16-19, 2013 年 3 月, 北海道大学. (査読無)
- [5] 川久保理, 大塚尚久: “不確かな離散時間 Positive 線形システムに対する区間 Positive オブザーバの設計”, 第 45 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.20-21, 2013 年 3 月, 北海道大学. (査読無)
- [6] T. Soga and N. Otsuka: “Stabilization for Switched Linear Systems with Constant Input via Switched Observer”, *Proc. of 2012 International Conference on Control and Automation: ASTL Proceedings*, Jeju, Korea, pp.91-96, 2012. (査読有)
- [7] K. Alimhan and N. Otsuka: “A New Result on Practically Output Tracking Control of Nonlinear Systems That May Not Be Linearizable at the Origin”, *Proc. of the 8th IEEE International Symposium on Instrumentation and Control Technology*, pp.235-239, London, UK, July 11-13, 2012. (査読有)
- [8] N. Otsuka and H. Saito: “Disturbance Decoupling with Quadratic Stability for Polytopic Uncertain Switched Linear Systems”, *Proc. of the 7th IFAC Symposium on Robust Control Design*, pp.570-575, Aalborg, Denmark, June 20-22, 2012. (査読有)
- [9] 酒井 翔, 大塚尚久: “不確かなパラメータを含む Positive 線形切り替えシステムの安定化について”, 第 44 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.22-25, 2012 年 3

月, 北海道大学. (査読無)

- [10] 大塚尚久, 齋藤広毅: “ポリトープ的不確かさをもつ線形切り替えシステムの外乱除去”, 第 44 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.16-19, 2012 年 3 月, 北海道大学. (査読無)
- [11] 曾我拓哉, 大塚尚久: “定数入力のある連続時間線形切り替えシステムの切り替えオブザーバによる安定化について”, 第 44 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.2-3, 2012 年 3 月, 北海道大学. (査読無)
- [12] K. Alimhan and N. Otsuka: “A Note on Practically Output Tracking Control of Nonlinear Systems that May Not be Linearizable at the Origin”, *Communications in Computer and Information Science* 256, Control and Automation, and Energy System Engineering, Springer-Verlag, pp.17-25, 2011. (査読有)
- [13] N. Otsuka: “Disturbance Decoupling via Dynamic Output Feedback for Switched Linear Systems”, *Proc. of the 18th IFAC World Congress*, pp.4076-4081, Milano, Italy, August 28-September 2, 2011. (査読有)
- [14] T. Soga and N. Otsuka: “Quadratic Stabilizability for Polytopic Uncertain Continuous-Time Switched Linear Systems via Switched Observer”, *Proc. of the IEEE 19th Mediterranean Conference on Control and Automation*, pp.724-729, Corfu, Greece, June, 2011. (査読有)
- [15] K. Alimhan and N. Otsuka, “Practical output tracking control for nonlinear systems that may not be linearizable at the origin”, 第 11 回計測自動制御学会制御部門大会, 176-11 (CD-ROM:4 Pages), 2011 年 3 月, 琉球大学. (査読無)
- [16] 酒井 翔, 大塚尚久, 曾我拓哉: “連続時間 Positive 線形切り替えシステムの安定化について”, 第 43 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.13-14, 2011 年 3 月, 北海道大学. (査読無)
- [17] 曾我拓哉, 大塚尚久: “連続時間線形切り替えシステムの切り替えオブザーバによる 2 次安定化について”, 第 43 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp.3-4, 2011 年 3 月, 北海道大学. (査読無)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚 尚久 (OTSUKA NAOHISA)
東京電機大学・理工学部・教授
研究者番号: 30185318

(2) 研究協力者

カイラン アリムカン (KEYLAN ALIMHAN)
東京電機大学・理工学部・研究員