

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18700232

研究課題名 (和文) 区分的非線形モデルによる汎用解析・設計ツールの開発

研究課題名 (英文) Nonlinear Systems Analysis and Controller Design via Piecewise Nonlinear Models

研究代表者

谷口 唯成 (TANIGUCHI TADANARI)

東海大学・情報教育センター・講師

研究者番号：70392032

研究成果の概要：非線形システムに対する設計手法は非線形システムの解析が困難なため、一般的な設計手法が存在しない。本研究では、非線形システムに対する汎用的な解析・設計が行えるツールの開発を目指し、解析・設計の理論的研究を行った。具体的には、制御対象、解析対象の非線形システムの状態空間を矩形領域に分割し、分割領域の端点による凸結合とした区分的非線形システムを構築する。そしてそのモデルに対して安定解析、設計手法の開発を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,400,000	0	1,400,000
2007 年度	1,000,000	0	1,000,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	300,000	3,700,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：知的制御, 非線形システム, 制御工学, ソフトコンピューティング, ファジィ制御

1. 研究開始当初の背景

非線形システム解析・設計の様々な手法が提案されている。多くは非干渉制御や Backstepping 法など適用対象が限定された手法が多い。

研究代表者は非線形システム全般に対する解析・設計手法の研究として、モデルに基づくファジィ制御による非線形システムの解析・設計を行ってきた。

この手法は非線形システムをファジィモデルに置き換え、リアプノフの安定性を考慮するものである。特徴として

- ・適用対象の数学的モデルなどの動特性が既知であればモデル化・解析・設計が可能である
 - ・If-then ルールでは、後件部を線形システムで表すため従来の線形制御手法を適用できる
 - ・設計パラメータが線形の行列不等式 (線形行列不等式) で表現でき、最適な数値解を求めることが容易であり、最適性、ロバスト性など種々の制御性能を同時に考慮することが可能である。
- 一方、問題点として、

- ・対象システムの動特性を考慮してモデル化を行うため、動特性が未知の場合は適用できない
- ・モデル化にある程度数学的な知識が必要になる
- ・安定性を大域的なリアプノフ関数を構成して行う。解析・設計条件で非線形性を表現するメンバーシップ関数を考慮しないため十分条件になり保守的である。なお細部は異なるが同様の手法としてゲインスケジューリング法がある。

2. 研究の目的

このような問題点に対し、申請者は区分的非線形モデルによる解析・設計手法の研究を行っている。この手法は対象システムの状態空間を矩形の領域に分割し、領域ごとに区分的非線形モデル、局所的リアプノフ関数を構成していくものである。この手法のモデル化における特徴として、

- ・ **If-then** ルールの後件部がシングルトンで構成する。
- ・ 矩形に分割した端点のみからモデルを構成するために対象システムの物理モデルなどの動特性は必要なくモデル化が容易で、モデル化に特別な知識は必要ない。
- ・ 従来提案されている区分的線形モデルに比べて本研究課題はモデルの表現能力に優れる。従来の区分的線形システムのようにシンプレックス型（3角形）領域分割ではなく、矩形に分割するため領域分割のイメージに違和感がない

また解析・設計における特徴として、

- ・ 区分的非線形モデルに対する安定条件が必要十分である（2次元システム）。
- ・ 分割領域ごとにリアプノフ関数を構成するため、領域ごとに解析・設計が可能である。

などが挙げられる。ただし問題点として、

- ・ 解析・設計とも区分的非線形モデルが2次元システムに限定している。
- ・ 設計パラメータが多い上に、設計条件が非線形計画問題（双線形行列不等式）となり最適解を導出することが困難である。

申請者はこれらの問題に対して、提案されている双線形行列不等式に対する解法を適用し（16CPUのコンピュータクラスタで数値解の導出）、変数パラメータを減少させるため、あらかじめリアプノフ関数を構成し修正していく手法、領域ごとに構成したリアプノフ関数と、制御器の不連続性をアルゴリズム的に修正していく手法などを開発したが、現

在のところ十分な結果は得られていない。この問題に対し、設計に関する問題は冗長なモデル化精度が原因であると考え、本研究課題では解析では従来通りモデル化誤差少ない区分的非線形モデル、設計ではモデル化誤差が比較的多い区分的非線形モデルを用い、制御器でモデル化誤差の補償を行う。

これまでの解析・設計条件は2次元システムに特化していたためそのままでは多次元システムへ適用ができない。

そこで多次元の対象システムへの適用を図るため、解析・設計条件の導出を行う。解析ではカオス的な挙動を示す対象にシミュレーション実験、設計では領域ごとに最適性や速応性などを考慮した条件の導出を行う。シミュレーション実験・ロボット等の対象に適用し、非線形システム全般の解析・設計ツールの理論的な有効性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 区分的非線形モデルが多次元化

区分的非線形モデルの多次元化システムに置き換えるとともに、現在の安定条件は2次元システムに特化しているため、多次元システムに対応した安定条件の導出を行う。

(2) 比較的低次元システムで複数特異点を持つシステムやカオス的な挙動を示すシステムの解析

大域的リアプノフ関数による安定解析では捕らえられないシステムに対して、本研究課題による局所的リアプノフ関数を構成することで従来不可能であった複雑非線形システムに対して解析を試みる。

(3) 領域分割と安定解析結果の考察

領域分割の方法によって安定解析の結果が異なることが予想されるため、領域分割数、安定解析結果の関係について考察する。

4. 研究成果

区分的リアプノフ関数による離散時間システムの制御系設計アルゴリズムを提案し、非線形システムの制御系設計の一考察を与えた。

線形時変離散時間システムに対する安定化として、追従制御を満足する区分的リアプノフ関数による安定化手法を提案した。

さらにこの設計手法を非線形離散時間システムに適用した。

図1は提案した追従制御を実現するアルゴリズムのイメージを表している。

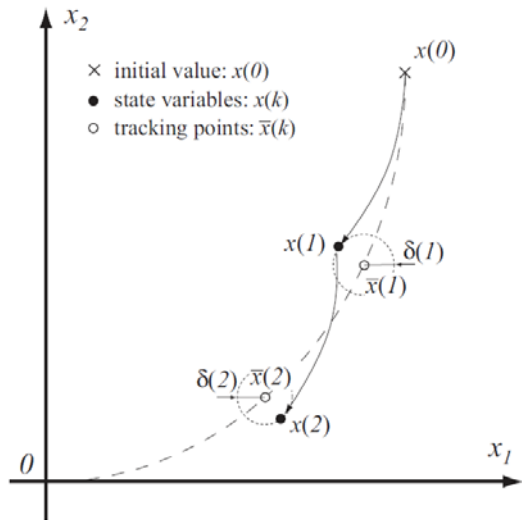


図 1: 提案した追従制御手法

区分的リアプノフ関数による線形時変離散時間システムのアスタ定化させるアルゴリズムを提案した。

1. 対象システムの初期位置 $x(0)$, $k = 0$ を設定する。
2. 追従軌道の日標点 $\bar{x}(0), \bar{x}(1), \dots$ を設定する。ただし $x(0) = \bar{x}(0)$ とする。
3. 区分的な安定条件と追従条件である $|\bar{x}(1) - x(1)| < \delta(0)$, $\delta(0) \ll 1$ を同時に満足する区分的リアプノフ関数 V_0 を構成する。
4. $k = k + 1$ とする。区分的な安定条件と追従条件 $|\bar{x}(k + 1) - x(k + 1)| < \delta(k)$, $\delta(k) \ll 1$, 区分的リアプノフ関数 V_k と V_{k-1} の接続条件 $x(k)^T P_{k-1} x(k) - x(k)^T P_k x(k) > 0$, $x(k)^T P_{k-1} x(k) - x(k)^T P_k x(k) - \varepsilon(k) < 0$, $\varepsilon(k) \ll 1$ を同時に満足する区分的リアプノフ関数 V_k を構成する。
5. $x(k + 1)$ が原点に十分近づくまで、ステップ 4 を繰り返す。

下記にコンピュータシミュレーション結果を示す。

制御対象として次の非線形カオス的な挙動を示す非線形離散時間システムを考える。

$$x_1(k + 1) = 1.9x_1(k) - x_1(k)^3 + x_2(k)$$

$$x_2(k + 1) = 0.5x_1(k)$$

この非線形離散システムに対して、次のモデルを構成して追従制御を実現する。

$$x(k + 1) = f(x(k)) + u(k),$$

$$u(k) = -F_k x(k)$$

図 2 は初期値 $x(0) = (0.7, -0.6)$ におけるシステムのカオスアトラクタを示す。

図 3 は状態空間上に追従制御のための日標軌道点をプロットしたものである。

提案したアルゴリズムを用いて、区分的リア

プノフ関数による制御系を設計した。

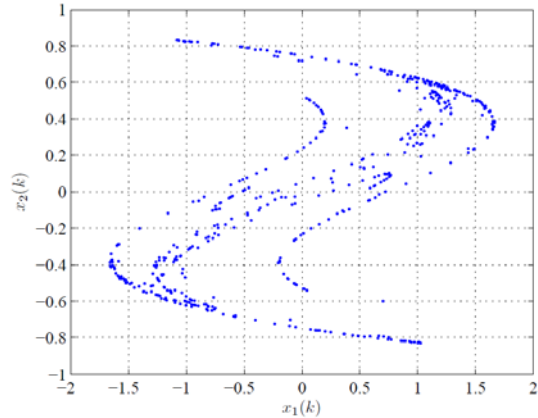


図 2: カオスアトラクタ

図 4 は追従制御結果であり、数値シミュレーションでは追従制御誤差値 $\varepsilon(k)$, $\delta(k)$ が限りなく 0 に近づくため、このシミュレーションでは誤差値の下限値を 1.00×10^{-4} と設定している。各誤差値 $\varepsilon(k)$, $\delta(k)$ の結果を表 1 に示す。

図 5 は設計した制御器、図 6 は構成された区分的リアプノフ関数を示す。

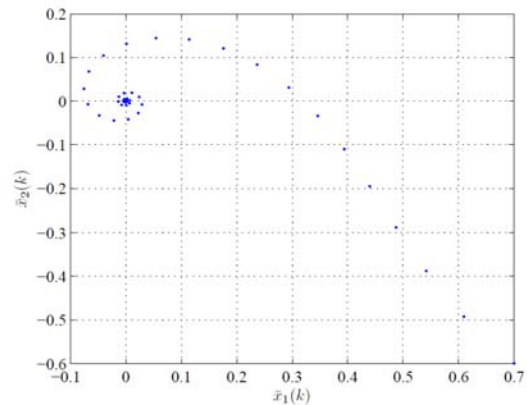


図 3: トラッキングポイント

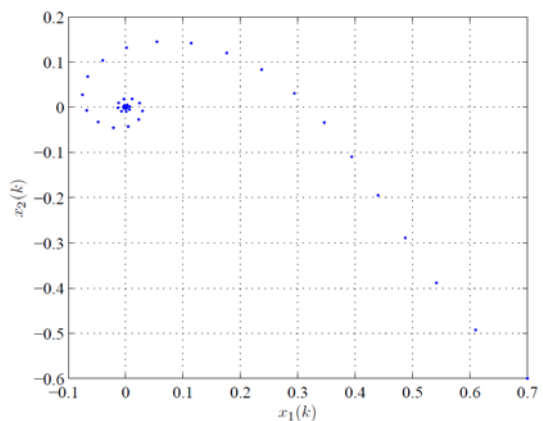


図 4: 追従制御結果

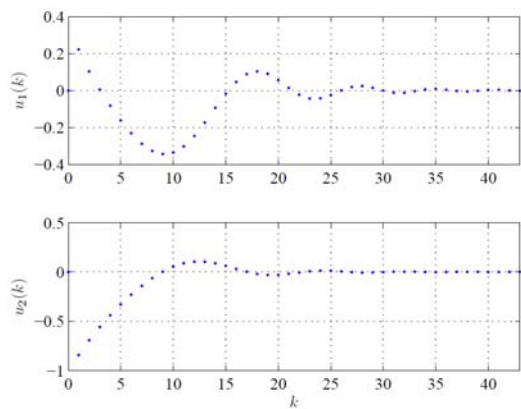


図 5 : 追従制御器

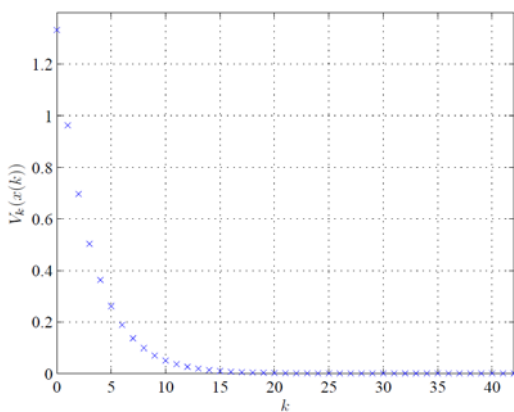


図 6 : 区分的リアプノフ関数

表 1 : 誤差値 $\varepsilon(k)$, $\delta(k)$

k	$\varepsilon(k)$	$\delta(k)$	k	$\varepsilon(k)$	$\delta(k)$
0	0.00010001	-	22	0.00010012	0.00010021
1	0.00010005	0.00010014	23	0.00010009	0.00010015
2	0.00010003	0.00010009	24	0.00010005	0.00010007
3	0.00010004	0.00010004	25	0.00010007	0.00010007
4	0.00010006	0.00010017	26	0.00010017	0.00010017
5	0.00010012	0.00010050	27	0.00010012	0.00010036
6	0.00010004	0.00010003	28	0.00010009	0.00010009
7	0.00010010	0.00010010	29	0.00010017	0.00010017
8	0.00010016	0.00010034	30	0.00010020	0.00010020
9	0.00010025	0.00010025	31	0.00010002	0.00010004
10	0.00010011	0.00010041	32	0.00010001	0.00010013
11	0.00010004	0.00010004	33	0.00010014	0.00010014
12	0.00010022	0.00010022	34	0.00010014	0.00010014
13	0.00010002	0.00010002	35	0.00010015	0.00010015
14	0.00010011	0.00010011	36	0.00010010	0.00010010
15	0.00010005	0.00010021	37	0.00010001	0.00010011
16	0.00010003	0.00010044	38	0.00010018	0.00010017
17	0.00010011	0.00010011	39	0.00010007	0.00010007
18	0.00010012	0.00010012	40	0.00010013	0.00010013
19	0.00010002	0.00010002	41	0.00010034	0.00010034
20	0.00010029	0.00010029	42	0.00010011	0.00010049
21	0.00010018	0.00010018			

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)

[学会発表] (計 3 件)

① 谷口唯成, 区分的非線形モデルの安定化, 第 33 回ファジィワークショップ, 2009/3/15, 東海大学

② Tadanari Taniguchi, Michio Sugeno and Kazuo Tanaka, A Piecewise Approach to Control for Nonlinear Systems, SCIS 2006, 2006/9/23, 東京工業大学

③ 谷口唯成, 菅野道夫, 田中一男, FSS 2006, 区分的リアプノフ関数による非線形追従制御, 2006/9/8, 北海学園大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 唯成 (TANIGUCHI TADANARI)
東海大学・情報教育センター・講師
研究者番号: 70392032

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし