

## Stabilization of Fuzzy Systems

メタデータ	言語: en 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 西川, 昌宏 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1522">http://hdl.handle.net/10297/1522</a>

氏名・(本籍)	西川昌宏(滋賀県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第 179 号
学位授与の日付	平成 10 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子応用工学
学位論文題目	<b>Stabilization of Fuzzy Systems</b> (ファジィシステムの安定化)

論文審査委員	(委員長)	明山浩	教授	新妻清三郎
		染谷太郎	教授	
		市川朗	教授	

## 論文内容の要旨

Takagi-Sugeno fuzzy models are nonlinear systems described by a set of IF-THEN rules which gives a local linear representation of an underlying system. Such models can approximate a wide class of nonlinear systems. They can even describe exactly certain nonlinear systems. Hence it is important to study their stability or the synthesis of stabilizing controllers.

The stability of homogeneous fuzzy systems has been considered by Tanaka and Sugeno in the discrete-time case and by Tanaka in the continuous-time case. Two sets of sufficient conditions for stability using positive definite matrices which satisfy linear Lyapunov equations are known. A natural approach to the design of stabilizing state feedback controllers is to use the linear subsystems in the IF-THEN rules and is considered by Tanaka and Sugeno Tanaka et al.. However, the stability of the closed-loop fuzzy system is not guaranteed by its construction and only some sufficient conditions for stability are given using the stability results of homogeneous systems.

Observers for fuzzy systems are also important when we wish to control systems using the output available. A certain form of observers is proposed and sufficient conditions for the asymptotic convergence have been given by Tanaka et al.. As is well known, if the system is linear one can combine a stabilizing state feedback and an observer to obtain a stabilizing output feedback controller. In this case the poles of the closed-loop system consist of poles of the state feedback closed-loop system and those of the observer. Hence we can design the

state feedback and the observer independently. This fact is known as the separation principle. However fuzzy systems are in general nonlinear and it is not known that any form of the separation principle holds. In fact, Tanaka and Sano gave an example where two positive definite matrices guaranteeing the stability and the asymptotic convergence of a state feedback closed-loop system and an observer respectively do not directly assure the stability of the output feedback closed-loop system.

We introduce a natural form of observers, and obtain sufficient conditions for the asymptotic convergence which are dual to the conditions for the stability of state feedback closed-loop systems. Thus our observer can be regarded dual to the state feedback controller. We then consider the stabilization problem by the output feedback based on the observer. We assume that a state feedback control and an observer and two positive definite matrices assuring the stabilizing property and the asymptotic convergence respectively are given. Then constructing a positive definite matrix with a positive parameter from the given matrices, we shall show that the output feedback controller based on the given state feedback and the observer always stabilizes our fuzzy system exponentially. In this sense it is shown that the separation principle in the design of output feedback controller still holds for the fuzzy models.

We take a continuous-time fuzzy model but consider a more practical situation where outputs are taken through analog-to-digital converters (samplers) and control inputs are realized through digital-to-analog converters (zero-order holds). Our objective is to design stabilizing controllers. This is called a sampled-data control problem. A classical way to treat this problem in the linear case is to convert sampled-data systems to usual discrete-time systems and then apply the discrete-time control theory to obtain desired controllers. Now the so-called  $H_2$  and  $H^\infty$  theories are well-known for sampled-data systems and we can apply them to design discrete-time stabilizing controllers. However, the fuzzy model is a nonlinear system, we cannot discretize it to obtain a discrete-time fuzzy model. To obtain stabilizing controllers we follow the approach based on systems with jumps.

The  $H^\infty$  control problem is to find a stabilizing controller which guarantees the ratio of the norm of the system output and the input disturbance being less than a given number. We introduce  $H^\infty$  performances (norms) for stable fuzzy systems and derive sufficient conditions for the norm being less than number. We consider  $H^\infty$  problem with state feedback controller and find sufficient conditions for a given controller being  $H^\infty$  controller, i.e., a stabilizing controller with required  $H^\infty$  performance. We also consider  $H^\infty$  problem with output feedback controller for the continuous-time fuzzy systems.

The outline of this thesis is as follow : The background and the aim of our study are summarized in Chapter 1 . In Chapter 2, we recall some preliminary result concerning stability of linear systems and introduce sampled-data systems. In Chapter 3, we discuss the output stabilization of continuous-time and discrete-time fuzzy systems. Chapter 4 deals with the output stabilization of sampled-data fuzzy systems. In Chapter 5, we study  $H^\infty$  control for continuous-time and discrete-time fuzzy systems. In Chapter 6, we treat  $H^\infty$  control for sampled-data fuzzy systems. In Chapter 7, as an application, we show computer simulation results of the stabilization of

mass-spring system and mass-spring-damper system. We conclude our results in Chapter 8. In Appendix A, we recall the Regulator problem for sampled-data systems. In Appendix B, we quote the solution of the  $H^\infty$  problem for sampled-data systems.

## 論文審査結果の要旨

線形システム論では、基本的概念、設計理論は、必要十分条件の形で確立されておりほぼ完成されたものとなっている。非線形システム理論は、線形システム論の進展と並行して微分幾何などの手法により研究されており、可制御性、可観測性、実現理論、正準形、外乱非干渉化、追従制御、出力レギュレーション、 $H$ -無限大制御などの概念、理論の拡張がなされている。しかしながら、特殊な場合を除き実用的な設計理論は、殆ど確立されていない。

高木一菅野によって提案されたファジィモデルは、非線形モデルを局所的な線形モデルとファジィ推論により近似する方法で、制御の分野でも非線形動的システムの記述に用いられている。このファジィシステムに対して安定性、状態フィードバックの設計など一部の研究はあるが、まだシステム論は確立されていない。この論文では、ファジィシステムを対象とし、実用上重要な出力フィードバックの設計、サンプル値系の安定化制御設計、 $H$ -無限大制御設計の確立を目指している。

第1章は、序論であり、研究の背景、目的を述べている。第2章では、連続時間系、離散時間系、サンプル値系を紹介し、第3章では連続時間系、離散時間系の出力フィードバック設計法を提案している。これは、ファジィシステムの局所的線形モデルを用いた設計法で、線形理論と同様、状態フィードバックと状態推定器(オブザーバ)の組み合わせにより安定化出力フィードバックが得られることを示している。第4章では、この設計法をサンプル値系に拡張している。この拡張は、離散時間系に変換する通常のサンプル値系制御の手法では困難であるが、サンプル値系を状態に跳び(ジャンプ)のある拡大系を用いて表現することにより第3章の手法の適用を可能にしている。第5章、第6章では、連続時間系、離散時間系、サンプル値系の $H$ -無限大状態フィードバック制御の設計法を提案している。特に、連続時間系に関しては、 $H$ -無限大出力フィードバック制御の設計法が得られている。これは、局所線形モデルから得られる線形 $H$ -無限大制御にファジィ推論の重み付けを行い、リアプノフ関数により十分条件を保証する方法である。第7章は、質量・バネ系・質量・バネ・ダンパー系に第3章から第6章の設計法を適用し、安定化出力フィードバック、 $H$ -無限大制御器を設計し、計算機シミュレーションにより理論結果を確認している。第8章は、結論であり、本論文の研究内容をまとめ、今後の課題を述べている。

以上のように本論文は、ファジィシステムで記述または近似できる非線形システムに対し、実用上有用な出力フィードバックの設計法とそのサンプル値系への拡張および $H$ -無限大制御設計法を提案しており、博士(工学)の学位を授与するに十分な内容を有するものと認定する。