

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23220141153323

UDC

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

输入受限不确定线性时滞系统混合镇定及 H_∞ 控制

Mixed Stabilization and H_∞ Control of Uncertain Linear Systems with Input Constraint and Time Delay

指导教师姓名: 孙洪飞 教授

专 业 名 称: 控制理论与控制工程

论文提交日期: 2017 年 月

论文答辩时间: 2017 年 月

学位授予日期: 2017 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2017 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

时滞、不确定性和输入饱和在各类系统中是广泛存在的，它们会影响系统的性能，特别是系统的稳定性。因此在设计系统控制器时要综合考虑这些因素对系统的影响。另一方面，通常要求系统不仅具有良好的稳态性能，还要具有一定的暂态性能，同时还要对外部扰动具有一定的抑制能力。因此针对输入受限不确定线性时滞系统，同时考虑其暂态性能、稳态性能以及鲁棒性能研究系统的控制策略具有重要理论意义以及应用价值。

本文主要研究内容包含如下两个方面：

首先针对输入受限不确定线性时滞系统，给出了系统混合稳定的充分条件。将混合稳定控制问题转化为带有线性矩阵不等式(LMIs)约束具有可行解问题，并通过无人机的数值仿真来验证控制策略的有效性。

其次考虑带有外部扰动的输入受限不确定线性时滞系统，给出了基于混合稳定性的 H_{∞} 控制器的设计方法，使得闭环系统满足内部混合稳定且从外扰到被控输出的 L_2 增益小于给定正数 γ 。同时将 H_{∞} 控制问题转化为LMIs约束具有可行解的问题。

关键词：时滞；混合稳定； H_{∞} 控制；不确定性

Abstract

Time-delay, uncertainty and input constraint are widespread in various systems. They can influence the performance especially the stability of a system, thus need paying close attention when designing a controller. On the other hand, it is often required that a control system have a logical transient process, a high-precision steady-state response and the property of strong robustness against the external disturbance. Therefore, aiming at a class of linear uncertain time-delay systems with input constraint, the study on the control synthesis under the compounded consideration of a better transient and steady performance and stronger robustness has a great significance in both theory and application.

The main contents of this thesis include the following two aspects:

First, sufficient conditions to guarantee the mixed stabilization of the linear uncertain time-delay system are given. The mixed stabilization problem is converted into the feasibility problem of some linear matrix inequalities (LMIs). The effectiveness of the proposed control strategy is demonstrated through the numerical simulation of an unmanned aerial vehicle.

Second, considering a linear uncertain time-delay system with an input constraint and an external disturbance, an H_∞ controller based on mixed stability is presented so that the closed-loop system is internally mixed-stable and the L_2 -gain from the external disturbance to the controlled output is no greater than a given constant γ . Also the H_∞ control problem based on mixed stability is solved through the feasibility problem of some LMIs.

Key words: time-delay; mixed stability; H_∞ control; uncertainty.

符号说明

R^n	n 维实向量空间
$\begin{bmatrix} A & B \\ * & C \end{bmatrix}$	* 部分代表由矩阵对称性确定的矩阵块
$\text{diag}(a_1, \dots, a_n)$	由元素 a_1, \dots, a_n 构成的对角阵
$x \in R^n$	n 维实向量空间的向量
$x \in A$	元素 x 属于集合 A
$R^{m \times n}$	$m \times n$ 实矩阵空间
$A \in R^{n \times m}$	A 为 $n \times m$ 维的实矩阵
x_i	向量 x 的第 i 个元素
A_i	矩阵 A 的第 i 行
x^T, A^T	向量 x 或矩阵 A 的转置
X^{-1}	矩阵 X 的逆
I	适合维数的单位矩阵
$A > 0$ ($A < 0$)	正定矩阵 (负定矩阵)
$\ A\ _p$	矩阵 A 的 p 范数
$\text{tr}(A)$	矩阵 A 的迹
$\lambda(A)$	矩阵 A 的特征值
$\lambda_{\max}(A)$	矩阵 A 的最大特征值
$\lambda_{\min}(A)$	矩阵 A 的最小特征值
$S_1 \cap S_2$	集合 S_1 和集合 S_2 的交集
$S_1 \subseteq S_2$	集合 S_1 是集合 S_2 的子集
$\left(\int_0^\infty \ z(t)\ ^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}$	向量信号 z 的 L_2 范数

目录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景和目的	1
1.2 时滞系统稳定性的研究历史和现状	2
1.3 有限时间稳定研究历史和现状	4
1.4 鲁棒控制研究历史和现状	6
1.5 H_∞ 控制理论的历史和现状	9
1.6 输入饱和和系统研究历史和现状	10
1.7 论文的主要内容和结构	11
第二章 预备知识与理论基础	13
2.1 线性矩阵不等式基本理论	13
2.2 时滞系统有限时间稳定性	14
2.3 Lyapunov 渐近稳定性	15
2.4 饱和控制系统	16
2.4.1 吸引域估计	16
2.5 L_2 增益基本概念	17
2.5.1 L_2 空间	17
2.5.2 L_2 增益	18
2.5 关键性引理	19
2.6 无人机数学模型	20
2.7 本章小结	20
第三章 输入受限不确定线性时滞系统混合镇定	21
3.1 引言	21
3.2 系统模型与问题描述	22
3.3 控制器设计	22
3.4 无人机仿真验证	28

3.5 本章小结	33
第四章 基于混合稳定性的 H_∞ 控制	34
4.1 引言	34
4.2 系统模型和问题描述	34
4.3 控制器设计	35
4.4 无人机仿真验证	39
4.5 本章小结	45
第五章 总结与展望	46
5.1 总结	46
5.2 展望	46
参考文献	48
作者攻读硕士学位期间发表的论文	55
致谢	48

Contents	
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Purpose and background	1
1.2 Stability overview of a time-delay system	2
1.3 Overview of the finite-time stability	4
1.4 Overview of robust control	6
1.5 Overview of H_∞ control	9
1.6 Overview of systems with input saturation	10
1.7 Outline and structure of this thesis	11
Chapter 2 Preliminaries and theoretical fundamental	13
2.1 Linear matrix inequality	13
2.2 Finite-time stability of a time-delay system	14
2.3 Lyapunov stability	15
2.4 Saturation control system	16
2.4.1 Estimation of attraction domain	16
2.5 Basic concept of L_2 gain	17
2.5.1 L_2 space	17
2.5.2 L_2 gain	18
2.5 Key lemmas	19
2.6 Mathematical model of an UAV	20
2.7 Chapter summary	20
Chapter 3 Mixed stabilization of uncertain linear time-delay systems with input constraints	21
3.1 Motivation	21
3.2 System model and problem description	22
3.3 Controller design	22
3.4 UAV simulation	28

3.5 Chapter summary	33
Chapter 4 H_∞ control based on Mixed stability	34
4.1 Motivation	34
4.2 System model and problem description	34
4.3 Controller design	35
4.4 UAV simulation	39
4.5 Chapter summary	45
Chapter 5 Conclusions and Future Works	46
5.1 Conclusions	46
5.2 Future plans	46
References	48
Publication list	55
Acknowledgements	48

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景和目的

系统稳定性问题是控制理论中的热点问题^[1]。Lyapunov 渐近稳定在控制界已广为人知，其实质是考察当系统受到小扰动时状态轨迹能否趋近或返回到原平衡状态，且已经得到广泛的应用。但是，Lyapunov 渐近稳定性关注的是系统在无穷时间区间内的稳态性能，并不能反映系统的暂态性能。如果一个系统满足渐近稳定，但是在给定时间区域内暂态性能较差(例如超调量过大，过渡时间过长)，就会引起系统(导弹系统，卫星系统)响应滞后，甚至无法在实际中应用，因此有限时间稳定由于注重在有限时间段的性能而引起控制界的广泛关注。Dorato^[2]最先提出了短时间稳定(short-time stability)的概念，其本质上和有限时间稳定(FTS)的概念是一样的。在实际中，很多控制系统不仅要求在无穷时间区域内是渐近稳定的而且同时要求系统在给定时间区间内满足一定的暂态性能指标。然而李雅普诺夫渐近稳定(LAS)和有限时间稳定是相互独立的概念，LAS 刻画的是一个系统在无穷时间区间上的稳态、渐近性，而 FTS 关注的是在固定时间区间里系统的性能指标和状态轨迹，强调系统的暂态行为。一个 FTS 系统不一定是 LAS 的，反之，一个 LAS 系统可能不是 FTS，因为其状态可能在某个时刻超出给定范围。为保证系统同时满足暂态和稳态性能指标，需要将有限时间稳定和渐近稳定结合。目前，同时考虑暂态和稳态性能的研究还鲜有报道。有学者^[3]针对输入受限不确定线性系统，提出了混合稳定的概念和控制策略，将有限时间稳定控制器和渐近稳定控制器通过切换器结合起来设计混合稳定控制器。但是该控制器设计方法会使系统存在潜在抖振且控制器计算过程复杂。

时滞现象广泛的存在于各类控制系统(网络系统，电力系统，机器人系统，化学系统)当中，系统部件的磨损、信号传输时延与信号采集的时间滞后等都会导致闭环系统内出现时滞现象，从而引起系统稳定性及性能指标发生变化。因此在过去的很长时间里，时滞系统的分析与综合一直是控制领域研究的热点问题之一，分析时滞现象对系统性能的影响以及研究时滞系统的稳定性具有重要的理论意义和实际应用价值。

在实际控制系统中,系统饱和非线性无处不在。控制输入饱和对系统影响非常大,大量学者对此进行了研究。控制输入饱和一般是由执行器的物理限制引起的,比如飞机的升降舵偏转角、阀的开度、电机的扭矩等都有一定的限度。如果在设计控制系统时没有将输入饱和对系统的影响考虑进去,则输入饱和可能会给实际系统带来破坏性的影响,有可能不满足系统的性能指标,甚至会影响系统的稳定性。

在研究控制系统时,首先要对系统的对被控对象的各个环节进行分析研究并建立被控对象的数学模型,由于对被控对象了解的不够全面导致系统模型的不精确。另外,随着现在的系统变得非常庞大导致系统模型非常的复杂,即使我们获得了被控对象的所有信息,并据此建立了非常精确的模型,但是根据这种精确模型所设计的控制器由于非常的复杂,对这种被控对象进行简化处理。这些原因都会导致我们所建立的数学模型存在不确定性。不确定性会对系统产生比较大的影响,因此在设计控制系统时,需要考虑不确定性对系统的影响,提高对不确定性的鲁棒性。

关于 H_{∞} 控制问题的研究已经取得了非常多的成果。1981年,Zames^[4]首次提出了 H_{∞} 控制器的设计方法,在考虑稳定性的同时给出了 H_{∞} 性能优化指标来抑制外扰对系统的影响,将抑制外部干扰问题转化为求解使得闭环系统内部稳定且相应 H_{∞} 性能指标最小化的控制问题。线性矩阵不等式^[5]理论加快了 H_{∞} 控制研究的发展。把线性矩阵不等式理论与 H_{∞} 控制结合成为了一个热门研究方向。因此在研究系统混合稳定控制问题的同时有必要结合 H_{∞} 控制理论进一步研究如何抑制外部扰动的问题。

由于本文研究的系统中含有时滞、不确定性和输入饱和等影响系统稳定的因素,设计的控制器要使系统同时满足给定的暂态性能和稳态性能指标且对外部扰动具有强鲁棒性。所以下面仅从时滞系统稳定性、有限时间稳定性、鲁棒控制、 H_{∞} 控制和输入饱和等几方面做综述。

1.2 时滞系统稳定性的研究历史和现状

时滞现象存在于网络传输系统、化工系统,飞行器控制系统等各类控制系统当中。时滞往往是系统震荡以及不稳定的主要原因并且会损害系统的性能指标。因此在过去的很长时间内,时滞系统的分析与控制一直是控制领域内研究的热点问题。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库