

非线性控制理论 A

课程编号：03113101

课程中文名称：非线性控制理论 A

课程英文名称：Nonlinear Control Theory A

课程性质：专业核心课程

开课对象：学术型硕士研究生

适用学科：控制科学与工程

开课学期：春季（1-16）

学分/学时：3/48

先修课程：线性系统、常微分方程

建议后续课程：自适应控制、智能控制

执笔人：马保离 课程负责人：马保离 核准院长：王磊

一、课程性质、目的和任务

非线性控制理论在控制类专业课程中占有重要学科地位，其内容是控制理论与控制工程专业研究生应具备的知识结构的必要组成部分。本课程的授课目的是学习非线性控制系统的基本知识、基础理论以及部分前沿领域内容，注重培养学生分析和解决非线性控制问题的能力。课程内容主要包括非线性系统的分析和控制综合两大部分。通过学习本课程，促使学生理解并掌握非线性系统的基本概念性质和分析综合方法，培养学生严密的逻辑思维能力和基于第一原理的开放创新能力，培养学生解决实际工程中遇到的非线性控制问题的能力。

二、课程内容、基本要求及学时分配

非线性控制理论是控制理论与控制工程专业的一门重要课程，该课程的主要内容为非线性系统的分析与控制器综合。

第一章 非线性模型和现象（2 学时）

基本内容概述：非线性系统的一般模型，典型非线性现象，非线性系统实例，移动机器人非线性状态方程的列写及其简单分析。

教学基本要求：深刻理解非线性系统的基本概念和定义，认识典型的非线性特性。熟悉轮式移动机器人、水面船舶和飞行器等移动机器人系统状态方程的列写方法，并能对其进行初步的稳定性和能控、能观性分析。

第二章 二阶非线性系统（2 学时）

基本内容：讨论二阶非线性系统的特性以及研究这些特性的基本数学工具。内容包括：线性系统特性、多重平衡点、极限环、周期轨道存在性，非线性系统不变集等。

基本要求：熟悉二阶非线性系统的特性，掌握平衡点的求解方法和极限环存在性和稳定性的分析判别方法和技巧，理解非线性系统不变集的概念，并会利用不变集对二阶系统的解进行定性分析。

第三章 基本性质（4 学时）

基本内容：讨论非线性系统解的存在唯一性、解对初始条件和参数的连续依赖性和灵敏度，上右导数以及分析解的界大小的比较原理。

基本要求：深刻理解局部 Lipschitz、Lipschitz 和全局 Lipschitz 条件和解的存在唯一性之间的关系，掌握解对参数的灵敏度方程的列写和求解方法，会判断解是否有限时间逃逸，深刻理解上右导数的概念，牢固掌握并灵活应用比较原理分析估计非线性系统解的上下界。

第四章 Lyapunov 稳定性（12 学时）

基本内容：本章是非线性系统分析的基础内容，主要讨论非线性系统稳定性分析的 Lyapunov 直接法。内容包括：自治系统的稳定性基本定理、不变原理以及线性化理论和方法；非自治系统的稳定性基本定理以及线性化理论和方法；稳定性逆定理；状态一致有界性和毕竟一致有界性的概念和分析方法；输入状态稳定性和阶联系统稳定性；非线性系统 Lyapunov 函数的构造方法和技巧。

基本要求：深刻理解 Lyapunov 直接法的物理意义；熟练掌握利用 Lyapunov 函数对非线性系统进行稳定性分析的基本方法、步骤和技巧；掌握非线性系统的线性化及其相应结论；了解稳定性逆定理；掌握状态一致有界毕竟一致有界的定义和判定方法；掌握输入—状态稳定性的定义、判定方法以及其在阶联系统稳定性分析中的应用，深刻理解输入状态稳定性和 Lyapunov 稳定性之间的关系；对于给定的低阶非线性系统，能够构造出所需要的 Lyapunov 函数，并由此分析系统的稳定性、有界性和输入状态稳定性等。

第五章 现代稳定性分析（8 学时）

基本内容：介绍 Lyapunov 基本稳定性定理的若干推广和改进，内容包括：中心流形定理，吸引区估计，类不变定理。

基本要求：掌握中心流形定理的基本结论和适用范围，会利用中心流形定理分析系统的稳定性；理解吸引区的概念和定义、掌握吸引区的估计方法；掌握类不变定理的基本结论，会利用类不变定理证明非自治系统状态的收敛性。

第六章 反馈控制（4 学时）

基本内容：介绍非线性系统综合设计的基本概念，以及近似线性化方法在非线系统综合中的若干应用。内容包括：非线性控制概述、非线性系统的线性化镇定、积分控制和增益分配等。

基本要求：掌握近似线性化综合方法的基本理论、方法和步骤；深刻理解线性化积分控制的意义和作用；熟练掌握线性化方法积分控制器的设计方法；掌握增益分配控制器的设计技巧。

第七章 反馈线性化（6 学时）

基本内容：介绍本世纪 80 年代以来发展起来的精确反馈线性化方法，内容包括：输入—输出反馈线性化、零动态、正则形、全状态反馈线性化、基于反馈线性化的控制器设计等。

基本要求：牢固掌握输入—输出反馈线性化的条件、方法和步骤，深入理解零动态的物理意义和计算方法，掌握将一个可输入—输出线性化的系统化为正则形的方法和步骤；掌握系统可全状态反馈线性化的条件，以及求解相应坐标和输入变换的方法。

第八章 非线性设计工具（10 学时）

基本内容：介绍各种非线性系统的全局和半全局综合方法，内容包括：滑模变结构控制、Lyapunov 再设计、反步设计、基于 Lyapunov 函数的控制器设计方法。

基本要求：深入理解滑动面的物理意义，牢固掌握滑动面的设计方法和滑模控制器的求取方法；深入理解 Lyapunov 再设计的基本思想，掌握其应用条件和控制器求取方法；牢固掌握反步设计方法，理解其在处理非匹配不确定性方面的特殊意义；充分了解基于 Lyapunov 函数的控制器设计方法的基本思路，理解其同时具有一般性和灵活性的特点，掌握根据系统特性构造适当 Lyapunov 函数和相应控制律的方法和技巧，并能够对所得到的闭环系统的稳定性进行系统深入的分析。

三、教学方法

课堂讲授为主、结合一定课时的专题讨论，课下利用 Matlab 等应用软件进行仿真试验，课外阅读非线性系统控制相关参考资料。

四、课内外教学环节及基本要求

为了强化本课程理论结合实际的特点，引导学生将所学知识应用于解决实际系统的非线性控制问题，要求学生以移动机器人为控制对象，提交非线性控制理论应用报告一篇。

五、考核方式及成绩评定

本课程成绩由平时成绩和期末考试组合而成，采用百分计分制。各部分所占比例如下：

平时成绩占 30%，分为平时作业和应用报告两部分。

期末成绩占 70%，采用闭卷考试的考核方式。

六、教材和参考资料

教材：

[1] H.K.Khalil, 非线性系统（第三版），电子工业出版社，2005。

参考资料：

[1] J.J.E.Slotine, Weiping Li, 应用非线性控制（英文重印版），机械工业出版社，2004。

[2] Shankar Sastry, Nonlinear Systems: Analysis, Stability and Control, Springer-Verlag New York, Inc., 1999.

[3] A.Isidori, 非线性控制系统（第三版），电子工业出版社，2005。

[4] 高为炳, 非线性控制系统导论，科学出版社，1991。