

现代控制理论

Modern Control Theory

<http://course.zju.edu.cn> 学在浙大



第八章 Chapter 8

线性定常系统的状态空间分析法



主要内容

- 简介
- 能控性和能观性
- 线性变换和标准型
- 系统的状态反馈
- 系统的状态观测

简介

- 系统**微分方程**是**输入输出模型**，它仅仅描述了系统输入变量与输出变量之间的关系。

——经典控制理论模型

- 系统**状态空间模型**能够刻画系统内部变量的运动过程，能够描述多变量系统。状态空间模型也便于计算机实现。

——现代控制理论模型

简介

➤ 经典控制理论：

描述系统的 I/O 特性

SISO(Single Input Single Output)线性时不变系统的分析、设计

计算调试方便

物理意义明显直观

- **SISO设计方法不能满足 MIMO(Multiple Input Multiple Output)系统**
- **人们越来越多关注系统的内部特性**
- **非线性系统**
- **时变系统**

简介

➤ 现代控制理论：

以状态空间表达式描述系统，揭示系统的内部特性与规律

MIMO非线性时变系统的分析、设计

计算调试复杂

抽象变量不直观

➤ 1960年：在第一届 IFAC 大会（莫斯科）

奠定了现代控制理论的基础

(1) Kalman “论控制系统的一般理论”

(2) Pontryagin “最优过程控制理论中的极大值原理”

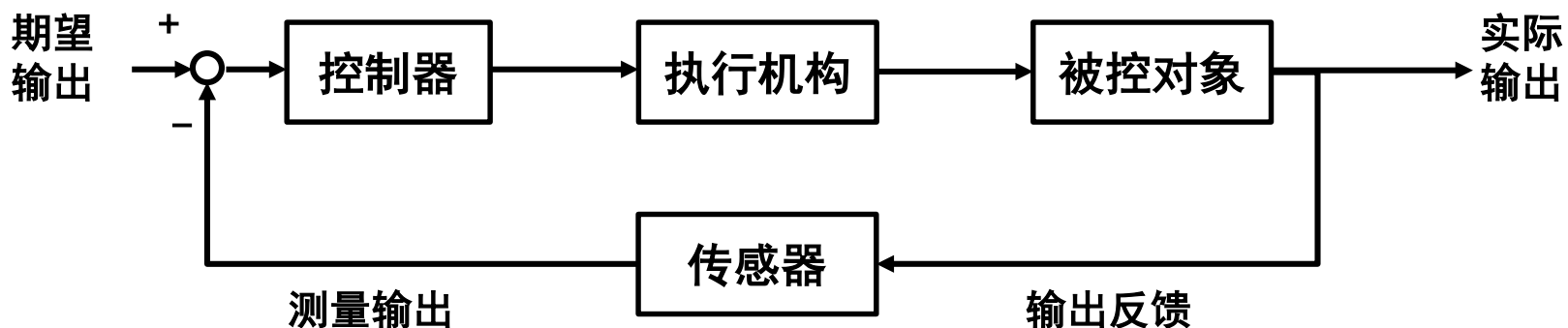
(3) Bellman “动态规划和反馈控制”

简介

常规设计方法和本章设计方法的区别：

➤ 常规设计方法：

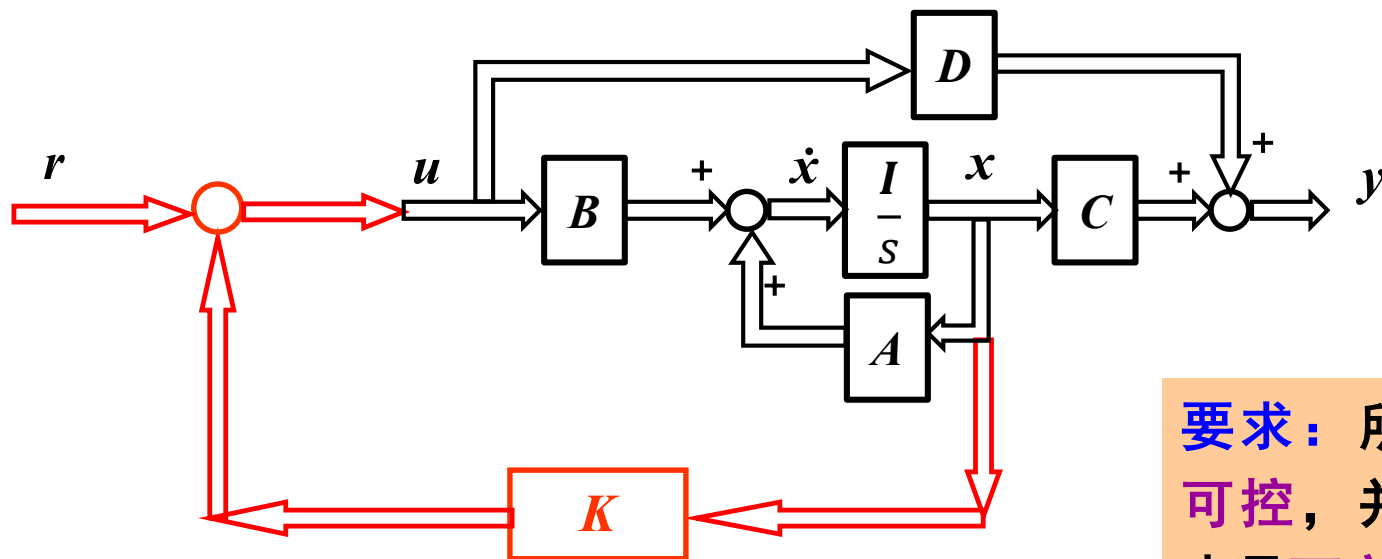
基于开环传递函数的分析，通过串级/反馈等手段得到一个好的闭环响应特性
(根轨迹，频域特性， etc..)



简介

➤ 本章方法 —— 闭环零极点设计（状态反馈）

基于状态空间描述和零极点配置方法，获得期望的模型或者闭环特性。即采用系统状态反馈的方法获得期望的系统特性。



要求：所有的状态必须可控，并且在物理系统中是可实现的。

简介

本章所讲的状态变量法**主要介绍** SISO 系统闭环极点配置。

对于高阶系统，可通过将状态方程转换为能控标准型来**简化设计过程**

$$\dot{x} = A_c x + b_c u$$

从而直接得到需要的**状态反馈矩阵** K 。

- 采用状态空间方法设计控制系统**主要优点**是不仅能保证与系统稳定性有关性能指标，还能使系统具有最优的其他性能（基于某个性能指标的优化）。
- 采用状态空间方法设计控制系统的**必要条件**是系统能控能观。

简介

经典控制理论：

- 常用传递函数描述系统的 I/O 特性。输出即被控变量。只要系统稳定，系统输出量便可以受控，输出也总是认为可测的。
- 闭环控制系统多用 SISO 的分析、设计，不需要提出和分析能控性与能观的问题——包括连续时间系统与离散时间系统。
- 系统的性能受闭环传递函数的零极点影响，其中闭环极点在 S 平面上的分布又起决定作用。
 - (1) 随着系统的复杂化与多样化，系统设计不仅要解决其稳定性问题，还希望能达到最佳的动态响应——在 S 平面上任意配置闭环极点使系统获得理想的响应。
 - (2) SISO 系统的设计方法不能满足越来越多的 MIMO 系统要求。
 - (3) 传递函数关注的是系统的外部特性，而人们越来越多关注系统的内部特性。

简介

现代控制理论：

➤以状态空间表达式描述系统，揭示系统的内部特性与规律。状态是被控量，输出量仅是状态的线性组合。

➤问题：（1）能否找到“使任意初始状态转移到任意终值”的控制量

——能控性问题（包括连续时间系统与离散时间系统）

（2）能否“由输出量和控制作用来确定各状态分量”

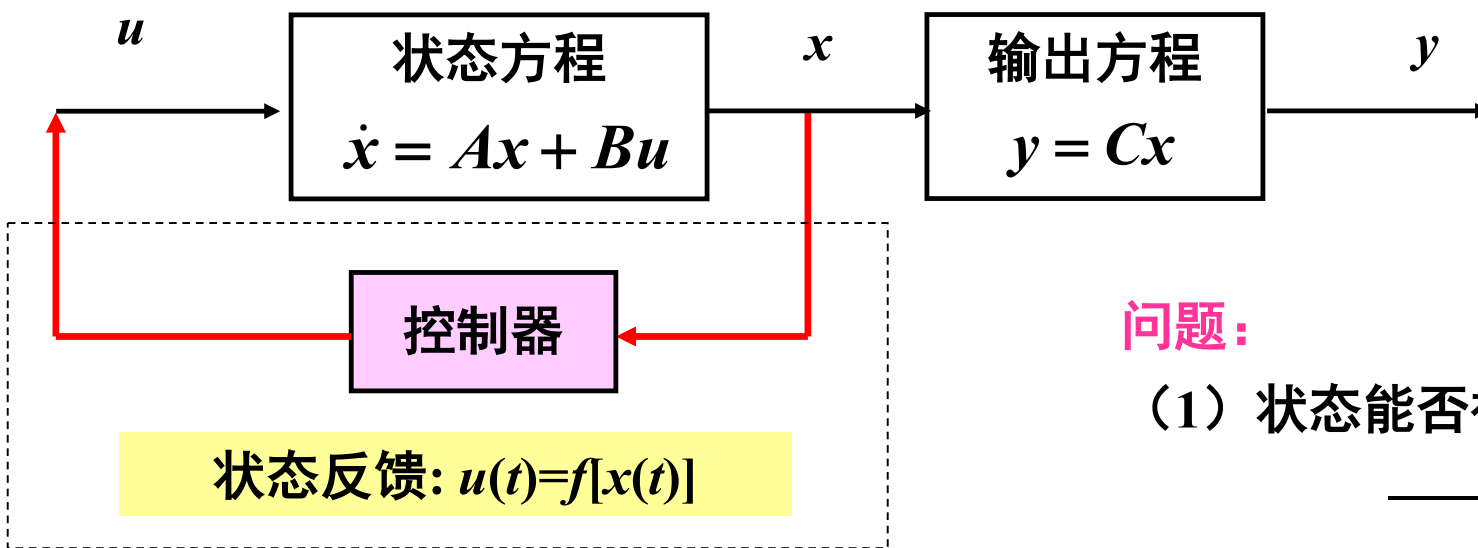
——能观性问题（包括连续时间系统与离散时间系统）

（1）并非所有的状态都受输入的控制；有时只存在这样的控制，它使任意初态转移到某些确定的终态，而不是任意的终态。

（2）并非所有的状态分量都可被测量，也并非所有的状态分量都可由输出量的测量值来确定。

简介

➤ 系统的能控性和能观性与系统的稳定性一样是控制系统的重要性质，是实现各种控制和状态估计的基础，在现代控制理论中起着核心的作用。



问题:

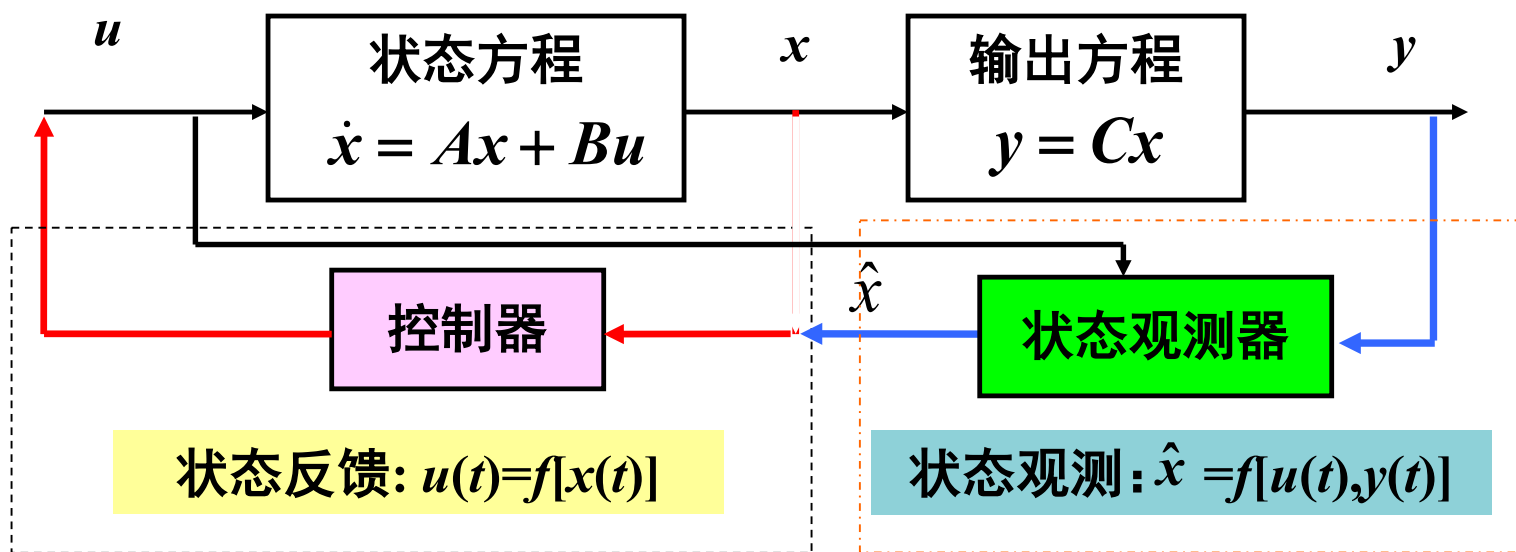
(1) 状态能否被控制?

——能控性问题

(2) 为了实现状态反馈，状态应能全部能测量。

简介

问题：（1）状态能否被控制？——能，才可以进行控制器设计
 （2）状态全部能测量？——能，才能实现控制器
 不能，能否由输出估计出状态
 ——能观性问题



The End