

自动控制实践

第一讲 绪论

哈尔滨工业大学

伊国兴



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

课程要求

- ❖ 控制专业非常重要的专业核心课。
- ❖ 培养学生理解自动控制元件的原理及特性，增强控制系统分析、设计及综合能力等方面占有重要的地位。
 - 执行元件
 - 功率放大元件
 - 测量元件
- ❖ 了解控制元件的基本工作原理、特性、应用，并着重培养学生们的控制系统元件选型能力、控制系统设计与实现能力。

课程考核

1

- ❖ 平时和作业
 - 出勤及课堂表现
 - 作业
 - 10分

2

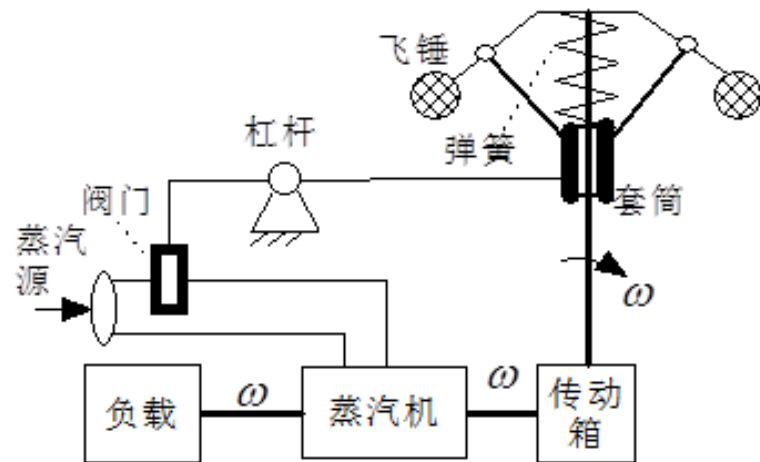
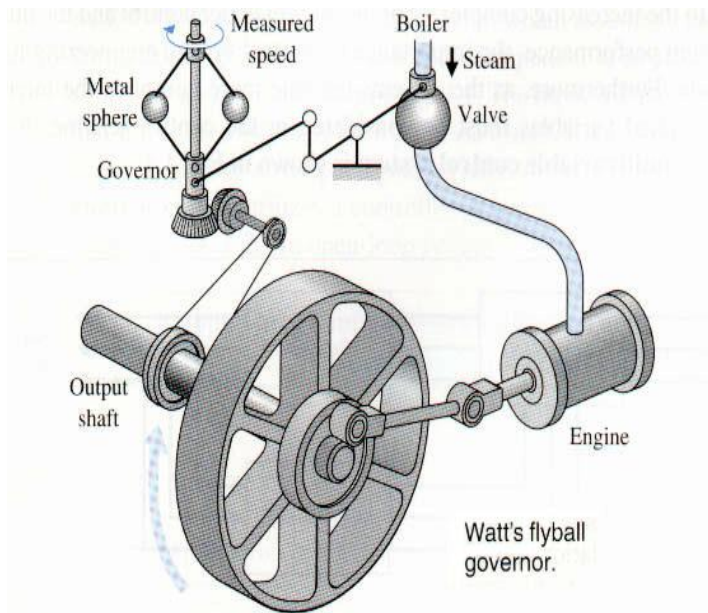
- ❖ 试验
 - 4个实验
 - 实验过程
 - 实验结果及报告
 - 40分

3

- ❖ 期末考试
 - 填空、选择、简答、辨析、计算、综合
 - 逐年不同
 - 50分

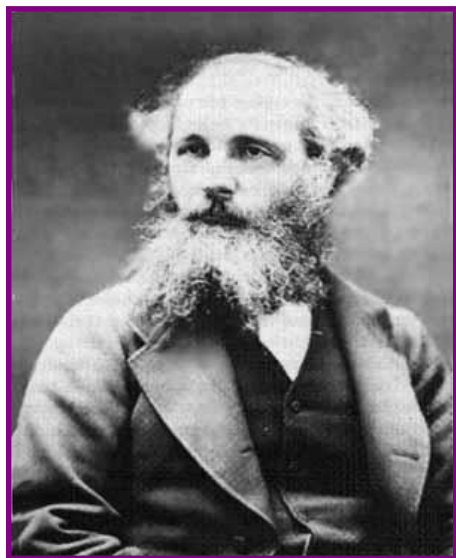
100

- ❖ 英国J. Watt用离心式调速器控制蒸汽机的速度(1788年)



控制系统

- ❖ 法国科学家J.C. Maxwell 1868年 成功解决了二阶及三阶系统的稳定性。随后，剑桥大学的E.J.Routh与瑞典的Hurwitz解决了多阶系统的稳定性判断。



第一个对反馈控制系统的稳定性进行系统分析的人，1868年发表的“论调节器”被公认为第一篇控制理论论文



$$\frac{d^3x}{dt^3} + a_1 \frac{d^2x}{dt^2} + a_2 \frac{dx}{dt} + a_3x = 0$$

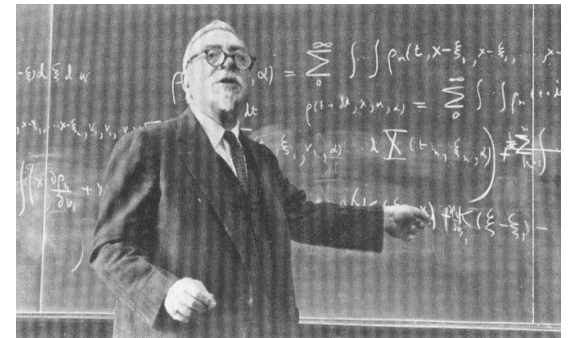
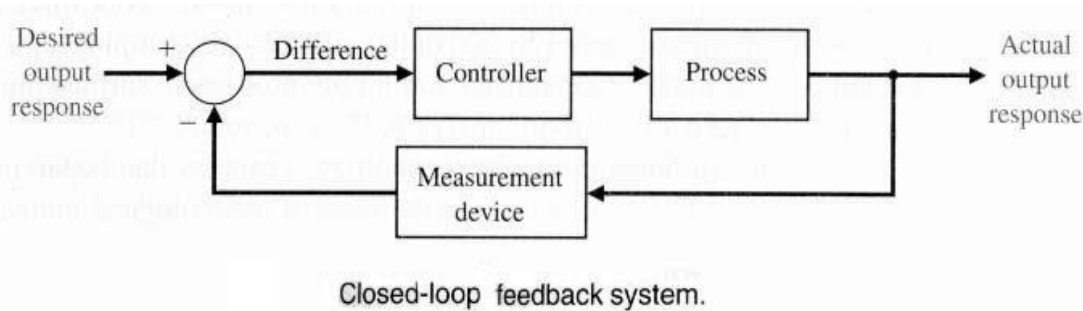


$$s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3 = 0$$

控制系统

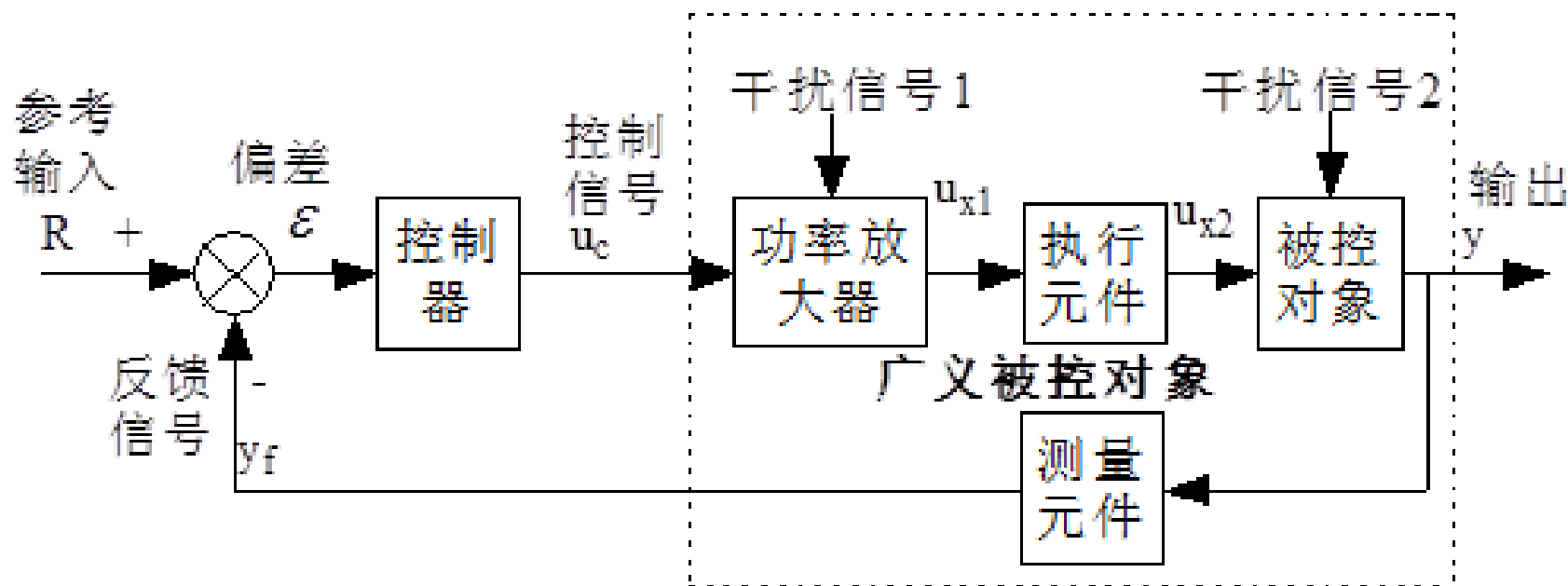
❖ 控制论的奠基人N.Wiener 给出的定义为：

“Feedback is a method of controlling a system by inserting into it the result of its past performance”



控制系统

❖ 例：温度控制系统



控制系统



❖ 开环控制

- 优点：结构简单、价廉、安装、调试简便。
- 缺点：精度低、易受各种干扰影响。

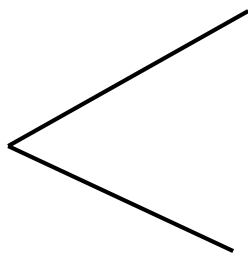
❖ 闭环控制

- ❖ 优点：精度高、准确、快速、灵敏。
- ❖ 缺点：机构复杂、调试复杂、成本高。

控制系统与其中的控制元件

- ❖ 从被控制的变量看，有机械转速，机械位移，温度，压力，流量，液位，重量等等。
- ❖ 在现代机械制造业中和武器装备中，一般以机构的位移、速度或加速度为被控制量，实现期望的运动，即：伺服控制。

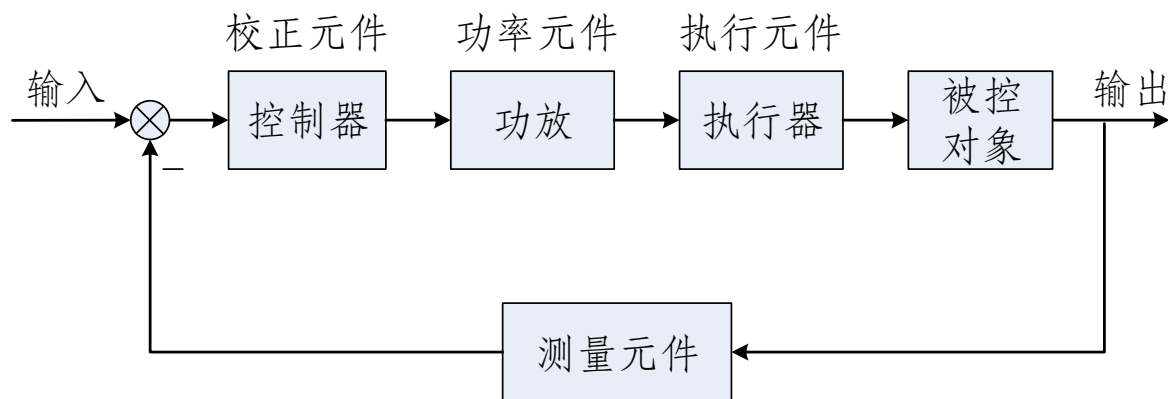
**自动控制
技术**



**控制
原理
控制
元件**

- ❖ 自动控制技术： 自动控制原理 + 自动控制元件及线路

控制系统的组成



- ❖ **执行元件：**功能是驱动被控对象，控制或改变被控量。
- ❖ **放大元件：**提供能量，将微弱控制信号放大驱动执行元件。
- ❖ **校正元件：**作用是改善系统的性能，使系统能正常可靠地工作并达到规定的性能指标。
- ❖ **测量元件：**将一种量按照某种规律转换成容易处理的另一种量的元件。
(将外界输入信号变换为电信号的元件。)

控制系统要求

❖ 需求

- 跟踪输入指令
- 抑制干扰

❖ 要求

- 快速性(带宽、最大速度、最大加速度);
- 稳态误差 (精度) ;
- 其它要求 (温度范围、尺寸……) ;
- 稳定性 (工程上是默认, 工程上的稳定性指随温度、参数变化是否能保证一定性能, 实际上指的是控制的鲁棒性) 。

控制系统指标

❖ 时域指标

- 响应时间、超调量、过渡过程时间、振荡次数

❖ 频域指标

- 剪切频率、相位裕度、幅值裕度、谐振峰值、频带

❖ 静态指标

- 精度、稳态误差

❖ 动态指标

- 跟踪精度、带宽、双十指标

计算机仿真与实际系统的区别

- 工程实际：
- 高阶、非线性、干扰、变参数……



- 计算机仿真或理论：
- 降阶、线性、时不变……

要想建立与工程实际相同的模型，

- 既不可能、也无必要



导弹研制过程:数字仿真，然后将实际导引头、舵机等部件与仿真转台等附件构成的半实物仿真系统进行仿真，最后是实弹打靶。前一步完成是启动后一步的条件，最后一步成功才能产品化的条件。

控制系统实例分析

伺服控制器(硬件)---人的大脑、小脑的生理组织

控制结构与策略(软件)--- 人的控制意识、策略

结构与材料子系统---骨骼系统/皮肤系统

功放与执行器子系统--- 肌肉系统

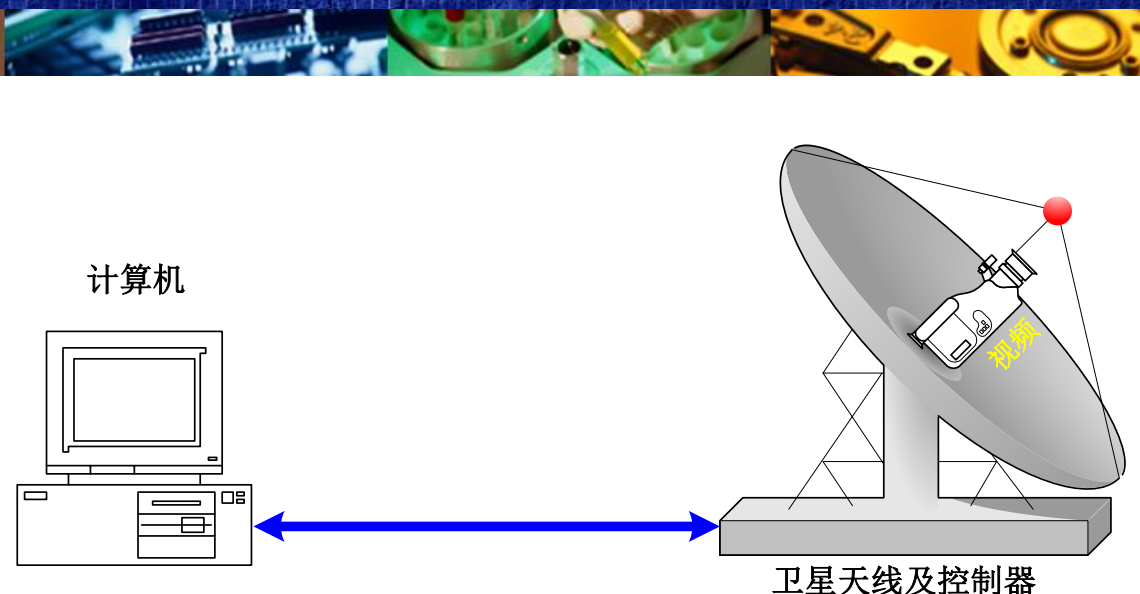
传感子系统---五官等神经感知系统

能源子系统---消化、呼吸系统

电气/液连接子系统---循环系统

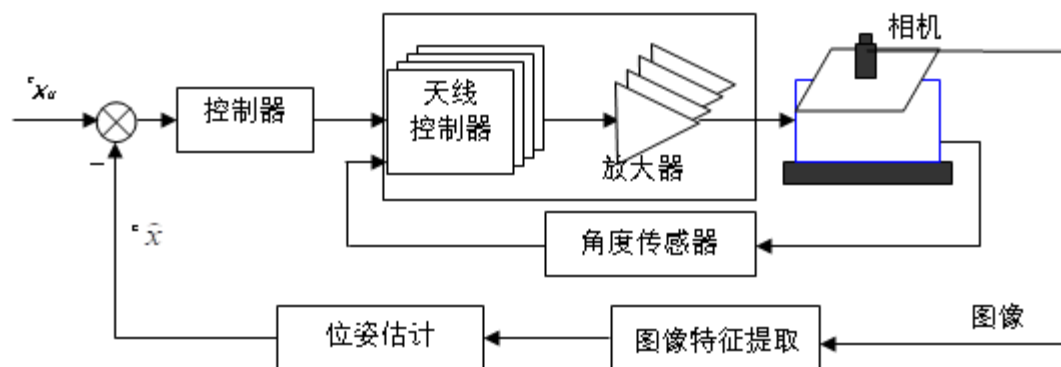
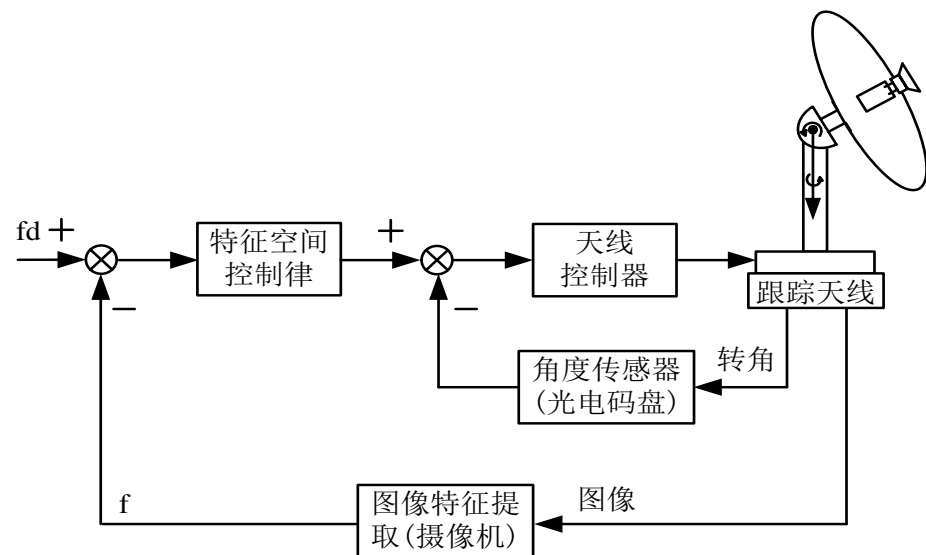


星星跟踪指向天线系统

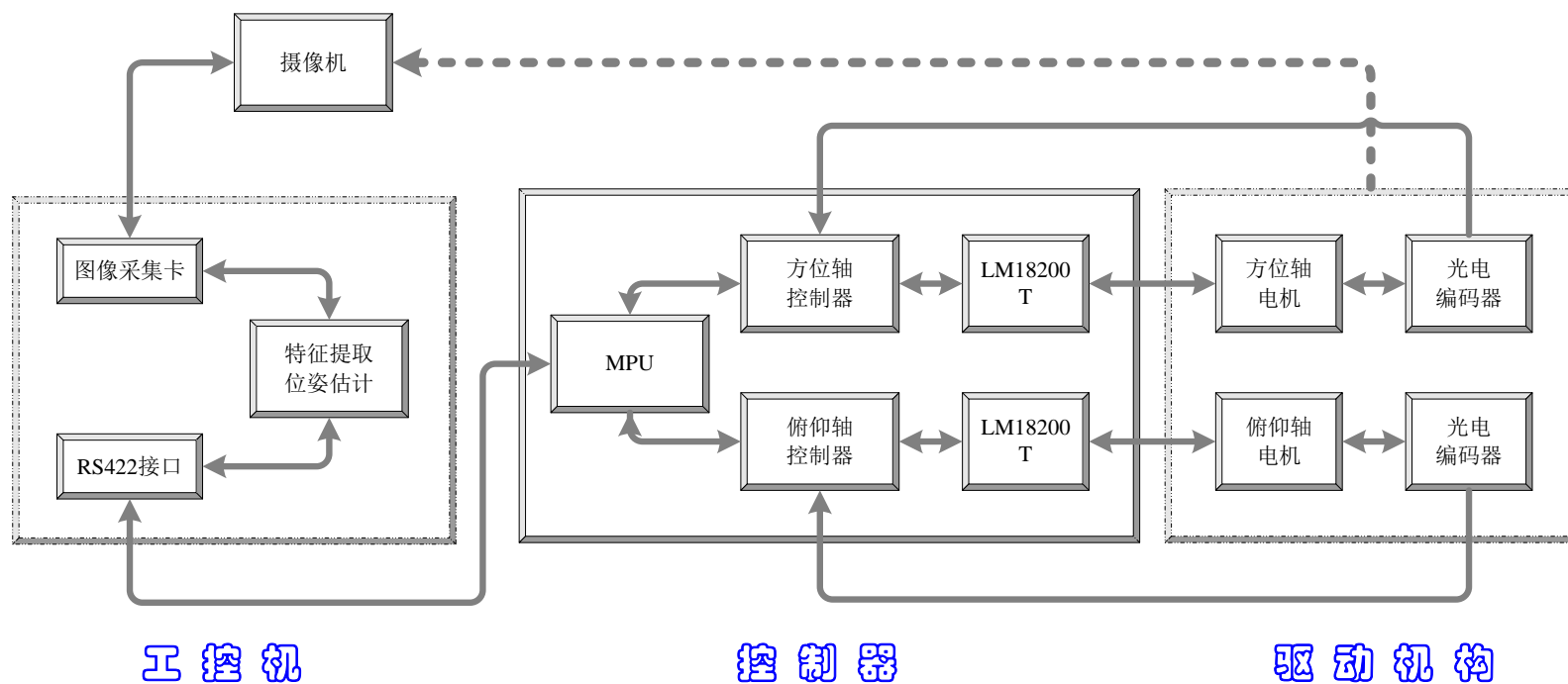


- ❖ 开环指向精度 优于 0.2°
- ❖ 闭环跟踪指向精度 优于 $0.03^{\circ}(3\sigma)$
- ❖ 最大跟踪角速率 $\pm 2^{\circ}/s$
- ❖ 最大转向速率 $\pm 4^{\circ}/s$
- ❖ 稳态功耗 $\leq 40W$
- ❖ 驱动机构具有位置保持能力，单轴在任意时刻不加外力时可以保持位置不变，同时系统有足够静刚度抵御外来干扰的能力。

星星跟踪指向天线系统



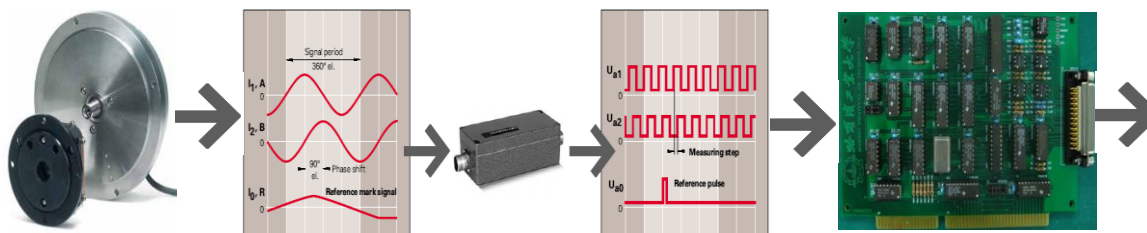
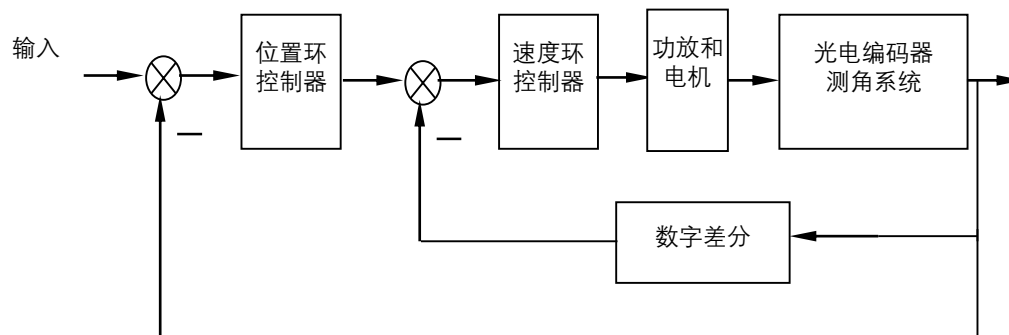
星星跟踪指向天线系统



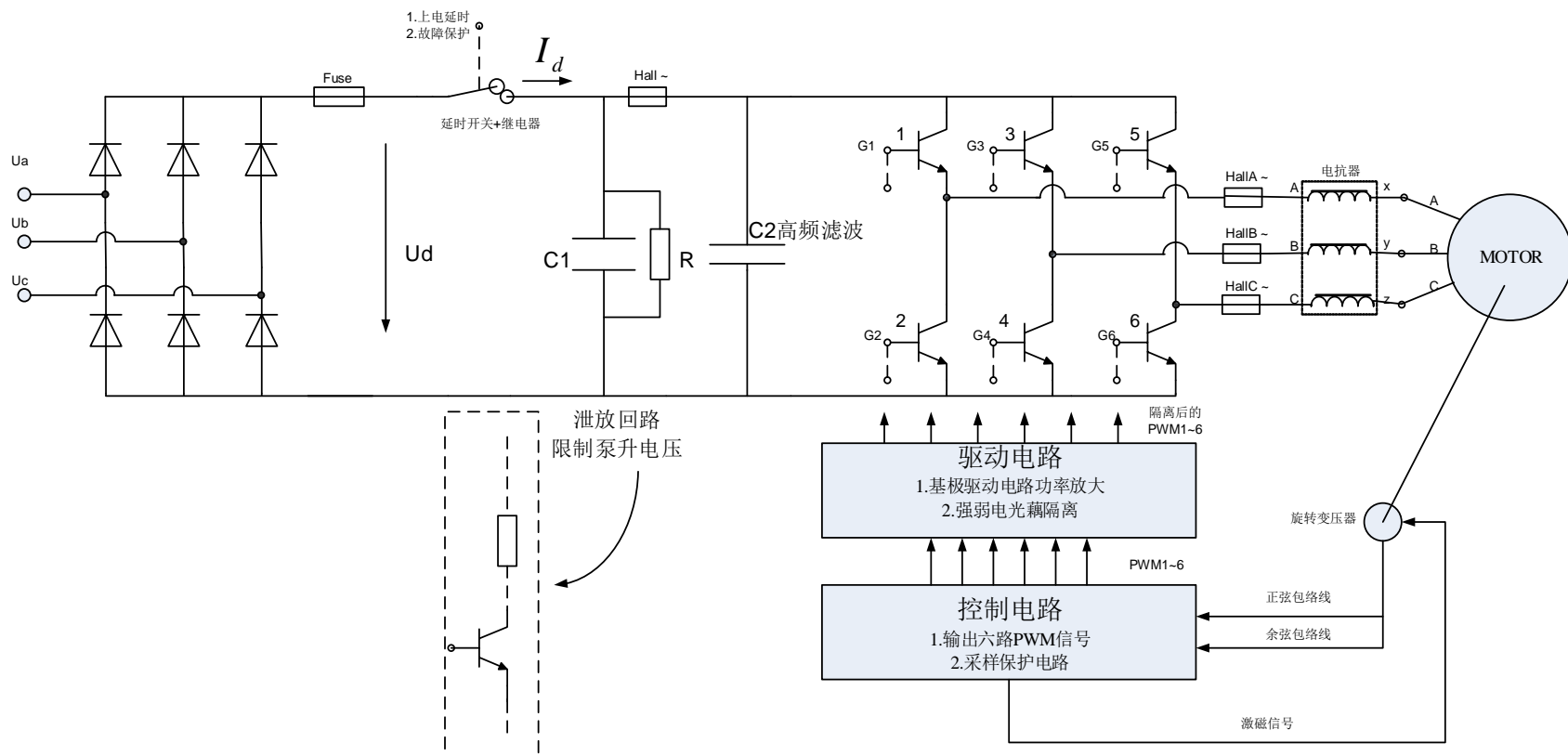
导弹仿真系统



导弹仿真系统



导弹仿真系统

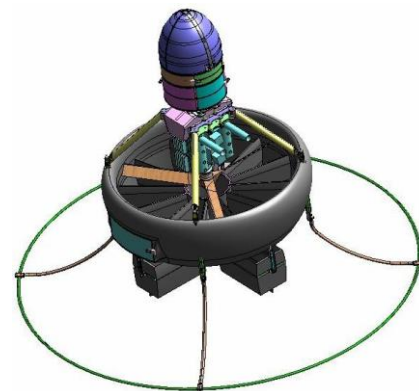


无人机控制系统

涵道式旋翼无人机功能与指标

❖ 无人机功能

- 快速部署的低成本无人通信中继平台
- 体积小、重量轻，便于多种形式的运输
- 操控简捷，利于快速部署
- 适应多种战场环境，抗风扰能力强
- 具备垂直起降功能，适合复杂地形部署
- 机动能力强，指控作用距离长
- 具备高精度巡航和定位悬停功能
- 多种控制模式，具备自主飞行能力

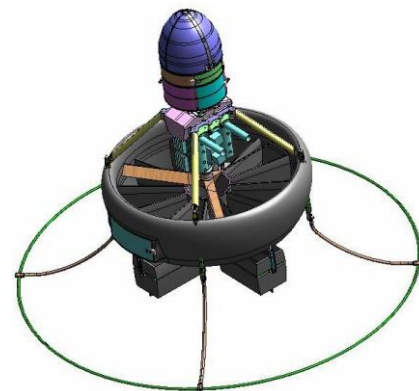


无人机控制系统结构

涵道式旋翼无人机功能与指标

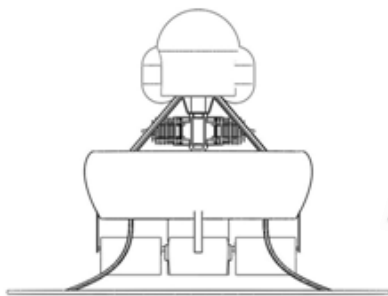
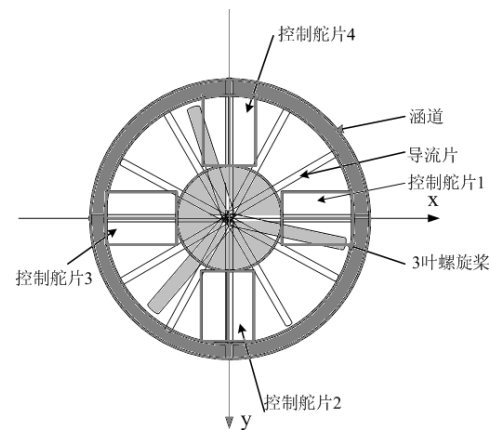
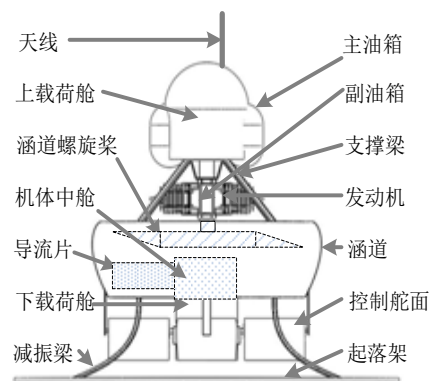
❖ 技术指标

- 航线精度：50m
- 着陆精度：5m
- 作战半径：10km
- 续航时间：60min
- 最大飞行速度：70km/h
- 最高飞行高度：1300m
- 任务载荷：20kg
- 指挥作用距离：10km
- 抗风能力：12m/s

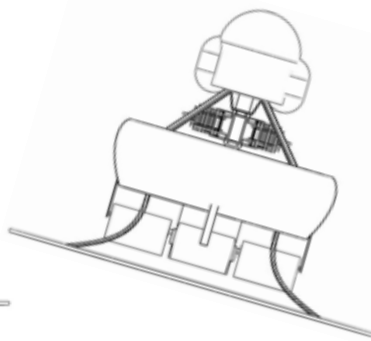


无人机控制系统结构

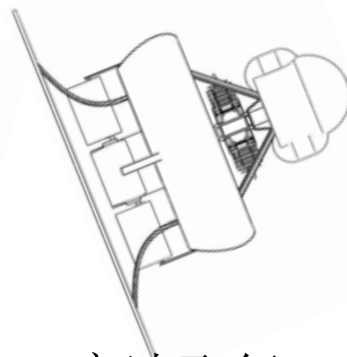
无人机结构



悬停

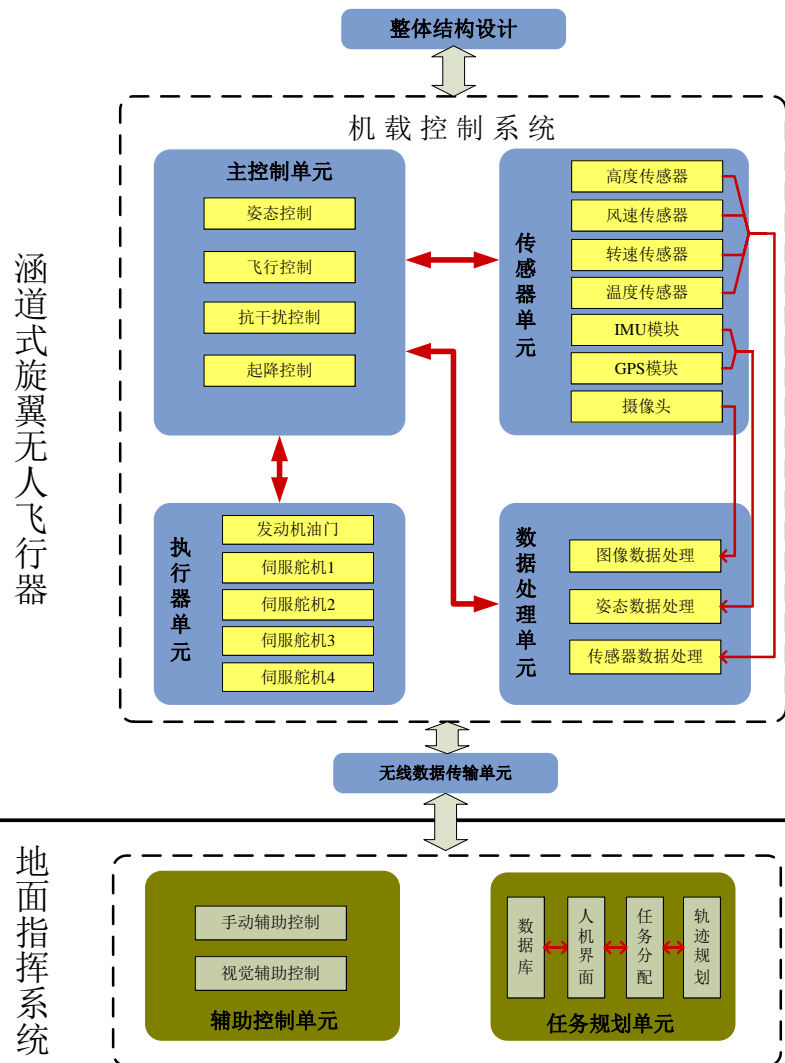


巡航飞行



高速飞行

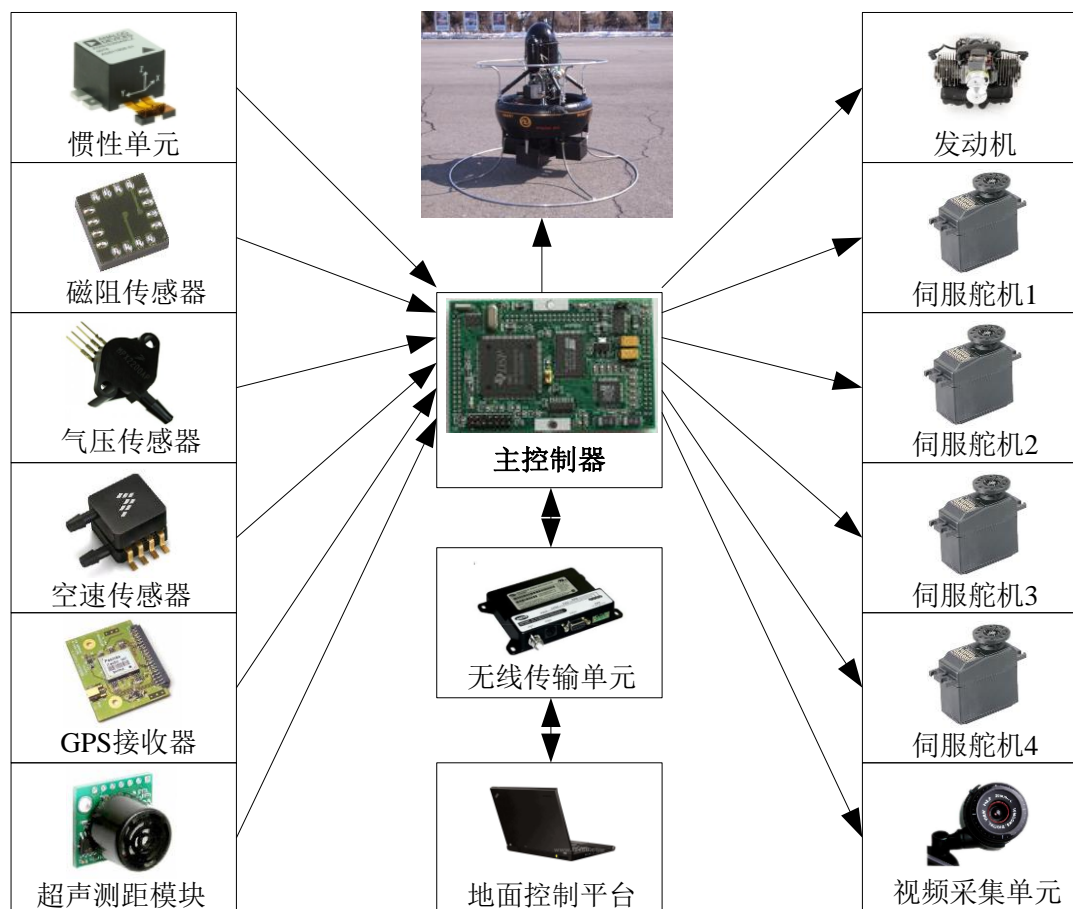
无人机控制系统结构



无人机控制系统结构

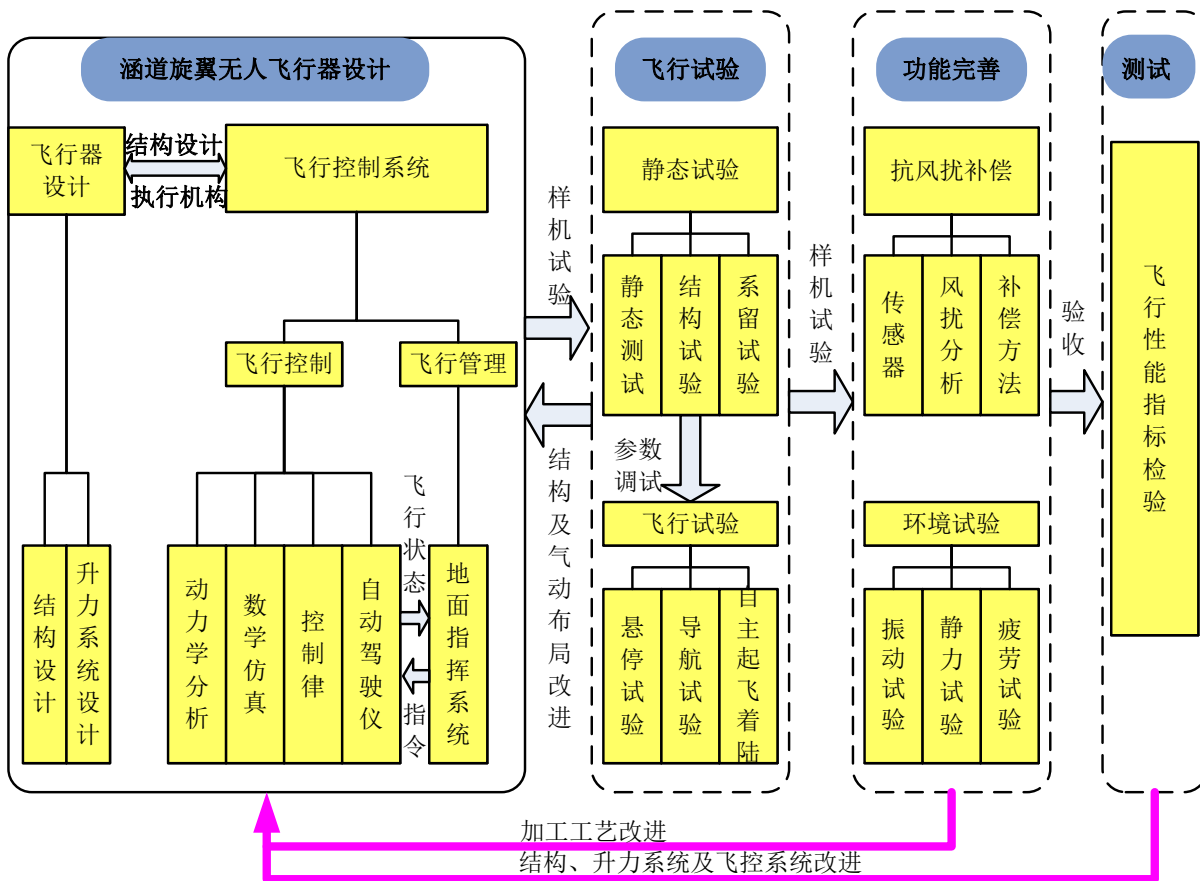
- ❖ 控制单元
- ❖ 传感器单元
- ❖ 执行器单元
- ❖ 数据处理单元
- ❖ 数据传输单元
- ❖ 任务规划单元
- ❖ 辅助控制单元

控制系统关键部件



飞控系统简介

系统实施步骤



飞控系统简介

系统中的不确定性

- ❖ 飞行器实际系统的设计普遍存在不确定性问题。
- ❖ 综合考虑各种不确定性对无人机的影响，以获得稳定的飞行性能。
- ❖ 为了保证涵道旋翼飞行器控制效果，设计反馈控制器使得在参数变化和阵风干扰时，姿态系统仍能保持稳定。

- 建模误差
- 工况变化
- 环境干扰



$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u + \Delta X_u & 0 & -g \\ M_u + \Delta M_u & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ q \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_\delta + \Delta X_\delta \\ M_\delta + \Delta M_\delta \\ 0 \end{bmatrix} \delta_q$$

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u & 0 & -g \\ M_u & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ q \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_\delta \\ M_\delta \\ 0 \end{bmatrix} \delta_q + \begin{bmatrix} X_w \\ M_w \\ 0 \end{bmatrix} w$$

下节课内容

- ❖ 控制系统所需基本电常识
- ❖ 控制系统所需基本磁常识
- ❖ 控制系统模拟、数字、总线等接口

Thank You !

本文档所引用的许多素材，来源于互联网上国内外的课件、科技论文、文章等。本文引用只是为了给学生提供更好的教学素材，非商业目的。对这些所引用素材的原创者，在此表示深深的谢意。