

考试信息

闭卷

中文试题与回答

问答题、计算题、推导题、设计题

页码对应中文书

第一章 引言

2 机器人系统

执行系统：伺服电机，驱动，传动装置

传感器：本体传感器，外部传感器

控制器

3 概念

机械臂：臂（可移动性），腕（灵活性），末端执行器

机械臂结构：开式运动链，闭式运动链

关节：移动关节（一个关节提供一个自由度），转动关节（自由度少于关节）

例子：笛卡尔，龙门架，圆柱形，球形，SCARA，拟人型

11 自动化种类：刚性自动化、可编程自动化、柔性自动化

12 工业机器人

一种通过不同程式化运动来完成各种不同任务的可重复编程多功能机械手

搬运：码垛，仓库装载，机床，零件排架，包装

制造：焊，喷，密封，切割，研磨，铸造

测量：对象检测，轮廓线，瑕疵检测

第二章 运动学

35 欧拉角：12 种，章动角旋进角自转角，ZYZ 角，RPY 角

50 DH 法建立正运动学方程

n 个关节， $n+1$ 个坐标系， n 行 DH 参数， n 个转移矩阵

简化关节：将机械臂简化为移动/转动关节 $z_0 \sim z_{n-1}$ ，以及末端执行器 z_n

为每个关节建系： z 轴为平动/转动方向（向上/向外）， x_i 方向啊（右手系）要让 z_{i-1} 可绕其旋转至 z_i

确定关节常量/变量： a_i 为平行转轴 $z_{i-1} \rightarrow z_i$ 距离， α_i 为 z_{i-1} 绕 x_i 逆时针旋转角度（ x_i 正向看入）。 θ_i 为转动关节 $i-1$ 的转角， d_i 为平动关节 $i-1 \rightarrow i$ 在 z_{i-1} 的长度（转动关节为常量）

$$\text{计算 } A_i^{i-1} = \begin{pmatrix} c_i & -s_i c_\alpha & s_i s_\alpha & a_i c_i \\ s_i & c_i c_\alpha & -c_i s_\alpha & a_i s_i \\ 0 & s_\alpha & c_\alpha & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_i & -s_i & 0 & a_i c_i \\ s_i & c_i & 0 & a_i s_i \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_\alpha & -s_\alpha & 0 \\ 0 & s_\alpha & c_\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{计算 } A_n^0 = \sum_{i=1}^n A_i^{i-1}$$

$$\text{逆运动学} \begin{cases} p_x = A_n^0(1, 4) \\ p_y = A_n^0(2, 4) \\ p_z = A_n^0(3, 4) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \theta_i = \dots \\ d_i = \dots \end{cases} \quad \text{方程数} > \text{未知数} \rightarrow \text{运动学冗余}$$

63 关节空间与操作空间

工作空间：末端执行器能够到达的区域

操作空间：末端执行器对基坐标系的欧拉角

关节空间：每个关节的位姿，是操作空间的逆运动学解

第三章 微分运动学与静力学

82 雅可比矩阵

6*n 的形状，描述关节速度与相应末端执行器线速度和角速度之间关系的映射矩阵

$$Concat_{i=0}^{n-1} J_i, \quad J_i = \begin{cases} \begin{pmatrix} z_i \\ 0 \end{pmatrix}, & \text{Joint } i \text{ is prismatic} \\ \begin{pmatrix} z_i \times (p_n - p_i) \\ z_i \end{pmatrix}, & \text{Joint } i \text{ is revolute} \end{cases} \quad \vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

z_i 为 A_i^0 (1~3, 3), p_i 为 A_i^0 (1~3, 4)

86 运动学奇点 (例 3.2, 行列式为 $a_1 a_2 s_2$)

结构退化，末端执行器不可任意动，逆运动学无穷多解，操作空间低速致关节空间高速
边界奇点：机械臂到达工作空间边界

内部奇点：多个运动轴共线，或末端执行器特殊位形

雅可比矩阵左上角方阵行列式为 0，对应解为运动学奇点

108 运用虚功原理推导静力学方程

τ 为 $n \times 1$ 关节力矩向量， γ 为 $r \times 1$ 末端执行器力向量， q 为关节变量

$$dW_\tau = \tau^T dq \quad dW_\gamma = f_e^T J_P(q) dq + \eta_e^T J_O(q) dq$$

$$\delta W_\tau = \tau^T \delta q \quad \delta W_\gamma = \gamma_e^T J(q) \delta q \quad \gamma_e^T = [f_e^T \quad \eta_e^T]$$

$$\delta W_\tau = \delta W_\gamma \quad \tau = J^T(q) \gamma_e$$

末端执行器力和关节力矩之间的关系通过机械手集合雅可比矩阵确定

113 可操纵性 (例 3.6)

可操纵性度量：雅可比矩阵的行列式绝对值

速度可操纵性椭球体：机械手对任意改变末端执行器位置和方向的能力

力可操纵性椭球体：机械手处于给定位姿时，能够由给定的关节力矩集合生成的末端力

第四章 轨迹规划

118 基本概念

路径：末端执行器跟随点的轨迹，纯几何描述

轨迹：指定了时间律的路径，例如每一点的速度/加速度

点对点运动：在关节空间，从规定时间内从初始位形移动到终点位形，不关心路径

系列点的运动：在起点和终点之间指派中间点（序列）。不可能指定起始和终点速度，

阶数增加振动增加精度降低，约束方程求解难，改变一点所有点均需重算

120 多项式轨迹

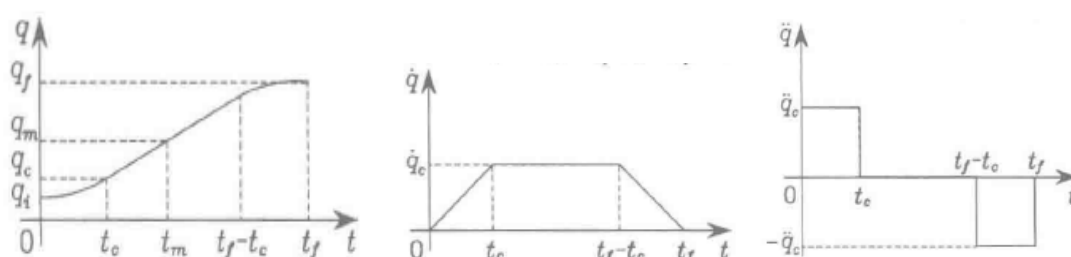
对于 n 个条件（起始速度，终止速度...），假设 $q(t)$ 函数至少为 $n-1$ 阶的多项式，有 n 个未知数。

121 梯形轨迹

已知位移大小与总时间，求加速时间与加速度

优点：可以直接验证速度与加速度在物理上是否合理

缺点：性能指标比较糟糕



第五章 执行器与传感器

140 基本概念

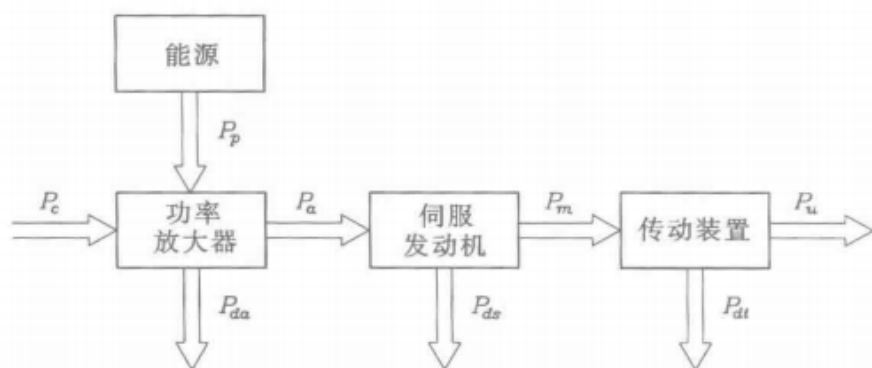


图 5.1 关节执行系统的组成

传动装置：圆柱齿轮，丝杠，同步带和正时链

传动装置的问题：弹性和间隙会导致缺点

伺服电机：气动发电机，液压发动机，电动机

功率放大器是基于 PWM 的

144 驱动 图 5.9-5.11

152 本体传感器（位置、速度、力矩）

绝对编码器：测量范围小，分辨率受限

增量式编码器：需要确定零位，容易受干扰

旋转变压器：电磁变换，结构紧凑，具有鲁棒性

155 外部传感器（力、触觉、接近、距离、视觉）

第六章 控制体系

167 功能体系

操作，感知，智能，数据处理

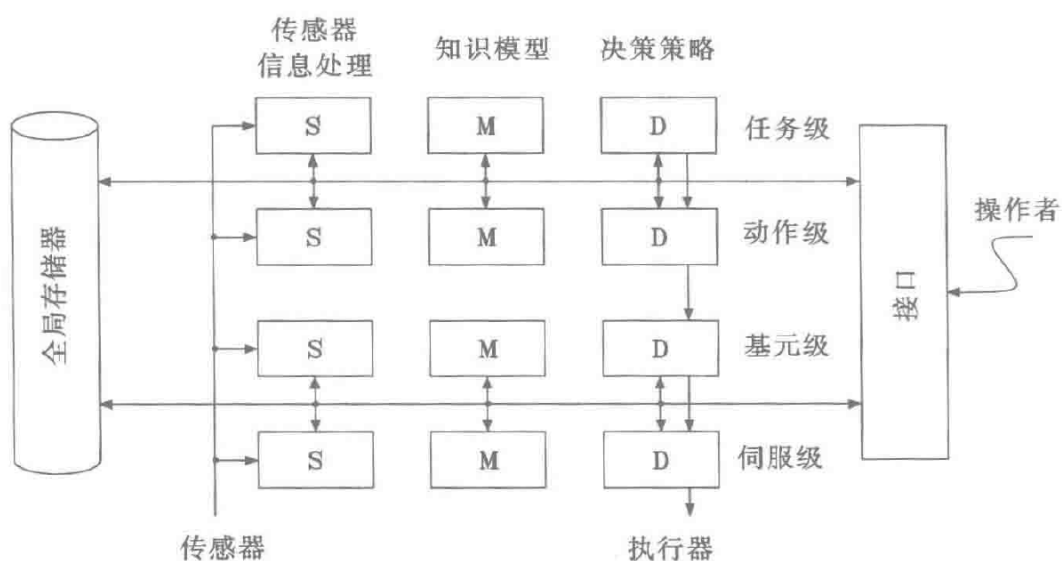


图 6.1 控制系统功能体系的参考模型

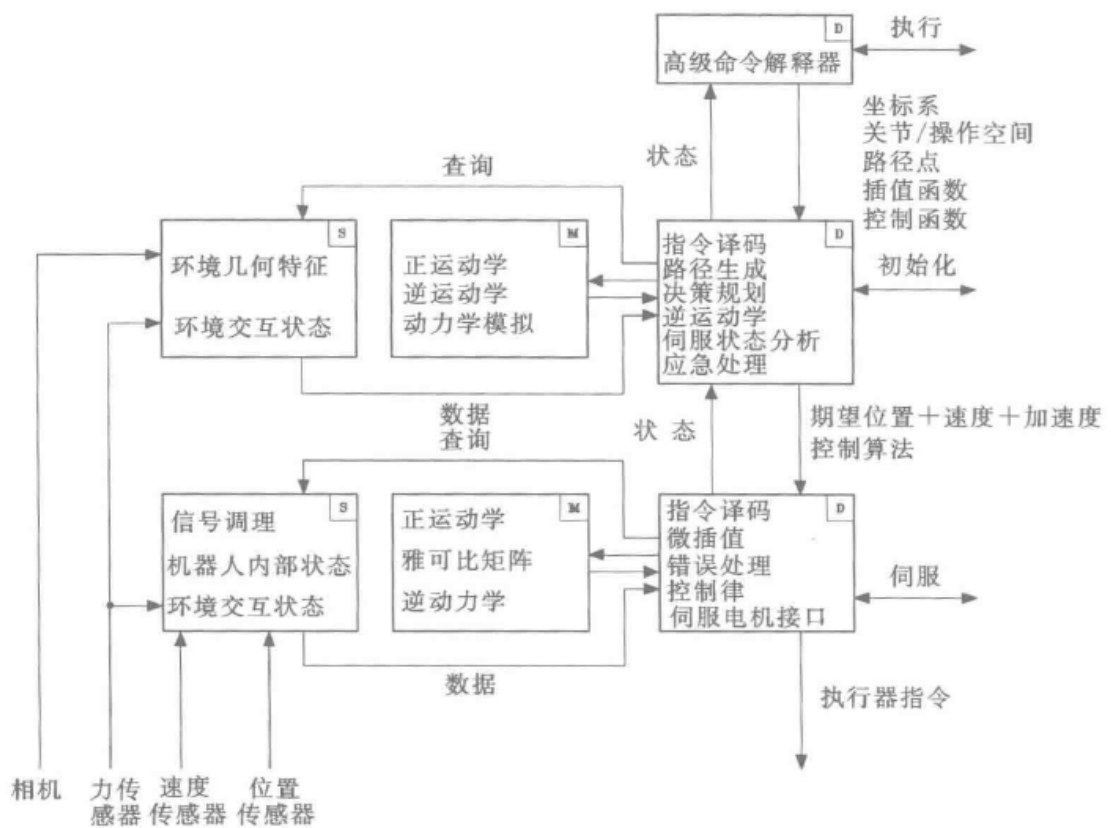


图 6.2 工业机器人功能结构的分层

174 硬件架构

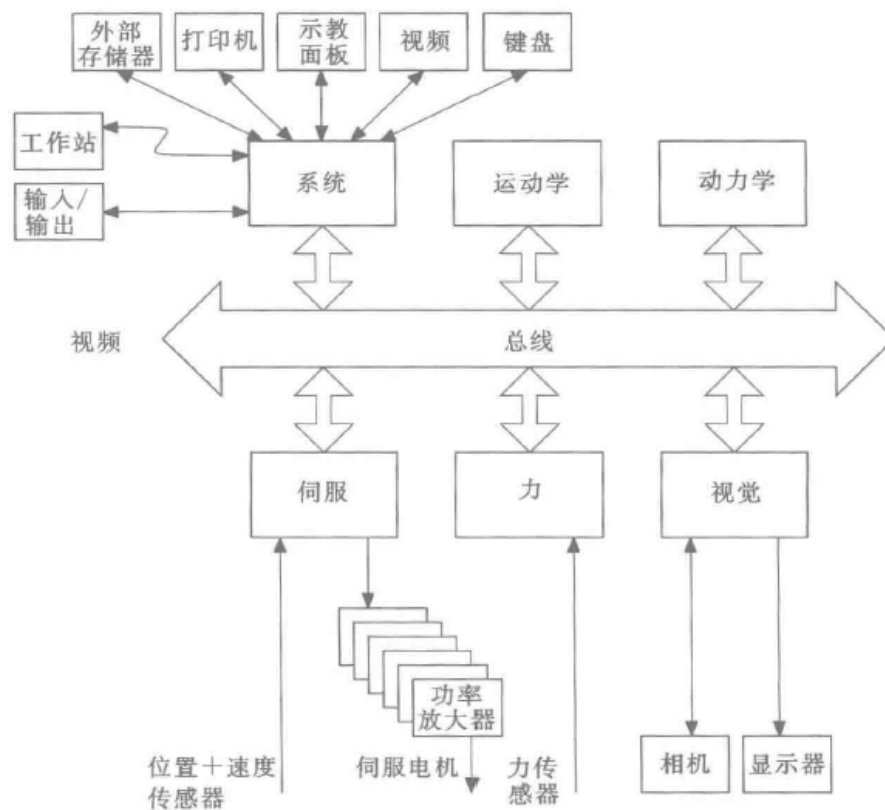


图 6.3 工业机器人控制系统硬件体系的通用模型

175 习题 6.1: 机械手从 A 捡取目标, 并放置到 B 上

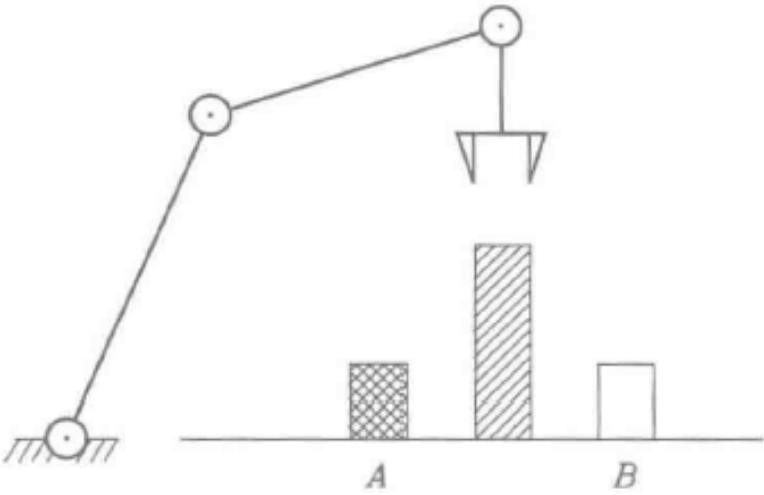


图 6.4 目标“拾-放”任务

175 习题 6.3: 靠纯腕力传感器来插孔

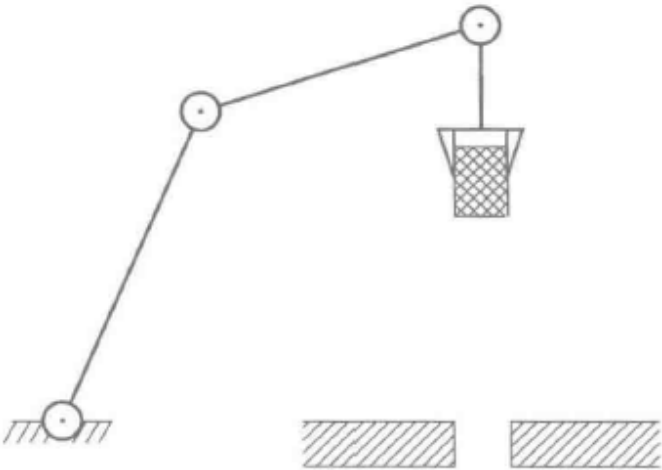


图 6.5 轴孔插入任务

175 习题 6.4: 从传送带上拾取物块码垛

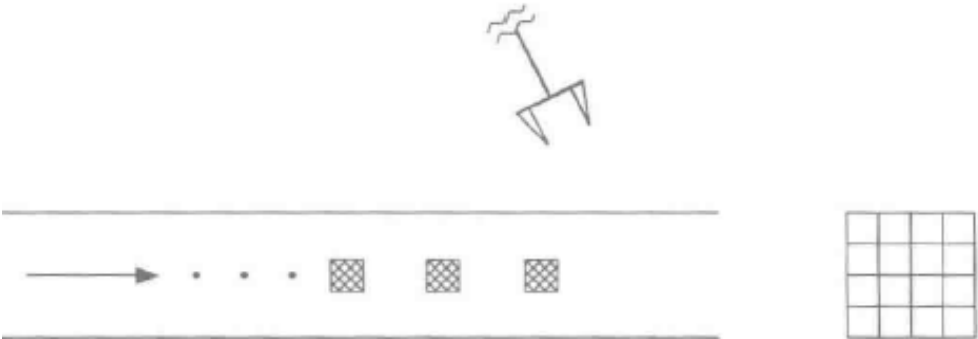


图 6.6 传送带上货物的码垛任务