

实际倒立摆系统的建模与控制

2024 机器人系统设计与应用 大作业

本作业将探索一个实际倒立摆系统，包括其动力学模型的建立、模型参数辨识、以及基于模型的倒立摆摇起及稳定控制。

本作业所考虑的倒立摆系统的简化图如图 1 所示，包含：质量为 M 的小车；小车上接有一质量 m 、长度 $2l$ 、近似均匀的连杆，可绕小车自由转动，连杆与竖直方向的夹角 θ 可由编码器读出。

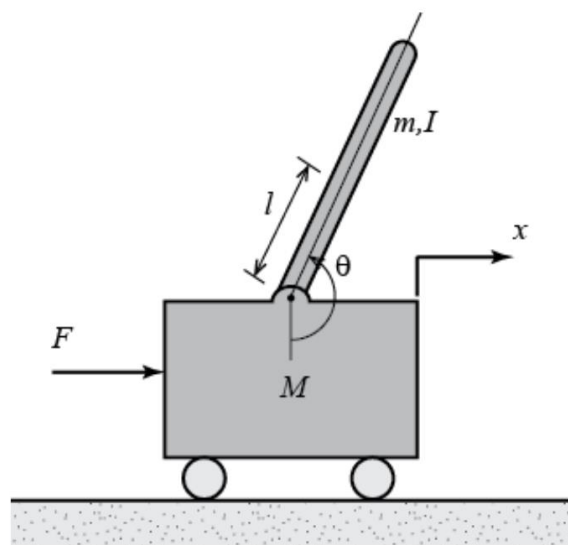


图 1 小车倒立摆系统示意图

实验中，小车被置于一组水平导轨上，与电机相连，其水平位置 x 可由导轨上的编码器读出。电机通过 Q4 DAQ I/O 模块与电脑连接。在实验过程中，可以控制电脑发出的电信号 V ，给与小车一个大小为 F 的推进力。推进力 F 的大小可表示为：

$$F = \frac{\eta_g K_g K_t}{R_m r_{mp}} \left(-\frac{K_g K_m \dot{x}}{r_{mp}} + \eta_m V \right)$$

上式所涉及参数的含义和部分参数大小由表格给出。

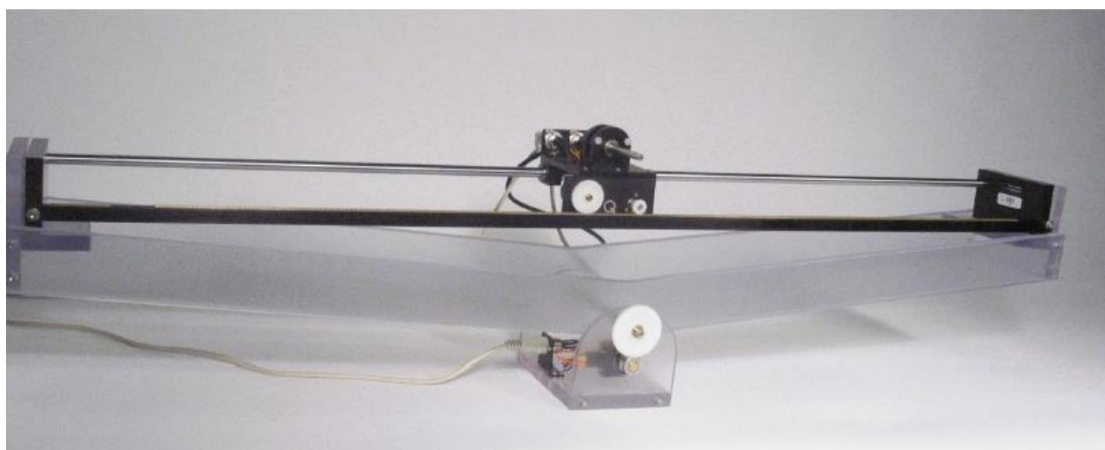


图 2 实际小车-滑轨系统

表 1 倒立摆试验系统参数表

物理量	名称	数值	单位
η_g	Planetary Gearbox Efficiency	100	%
η_m	Motor Efficiency	100	%
K_g	Planetary Gearbox Gear Ratio	3.71	
K_t	Motor Torque Constant	0.00767	N · m/A
K_m	Back-ElectroMotive-Force Constant	0.00767	V · s/rad
R_m	Motor Armature Resistance	2.6	Ω
r_{mp}	Motor Pinion Radius	6.35×10^{-3}	m
M	Cart Mass	0.57	kg

1. 请推导出此倒立摆系统的动力学方程，以 x 和 θ 进行描述。

提示：对于实际系统而言，不论是车的移动还是倒立摆的摆动都会存在摩擦损耗，可以先从理想情况推导，再将摩擦损耗项加进去。

2. 为了获得小车的模型参数，进行了两组实验：

实验一：为了获得倒立摆的具体参数，将小车固定，让摆做从某一初始角度 $\theta = q_0$ 开始的自由摆动，并记录了摆角 θ 随时间 t 的变化关系，测量数据由文件 `freeswing.mat` 给出。

实验二：为了获得小车的相关参数，让小车运动：让系统输出如下电压信号：

$$V = 4.0 \sin 4.2t \text{ V}$$

则倒立摆系统会在上述输入下产生受迫摆动，对应的 x 和 θ 随时间的变化数据由 `4.2-4 converted.mat` 给出。

基于上述实验数据，请确定 1 中动力学方程的模型参数。

提示：对于均匀连杆而言，其转动惯量可以通过计算由其质量和长度表示。

3. 基于 1 和 2 中所获得系统，请设计控制器，实现倒立摆系统的摇起控制。即：让 θ 从 0rad 开始运动到 180rad，并稳定在该位置。通过 MATLAB 建模或者 SIMULINK 建模来验证你的控制效果。

报告要求：

作业报告应包含以下几个部分：

1. 实验系统概述
2. 动力学方程的建立
3. 模型参数辨识
4. 控制器设计方案
5. 实验仿真结果和分析
6. 结论

实验所使用的 MATLAB 或 SIMULINK 程序代码应与实验报告一同提交。

提交期限：

2024 年 6 月 16 日 23: 59

请将实验报告和程序一同发给 jdwu@cug.edu.cn

邮件标题：学号+姓名+2024 机器人系统设计与应用 大作业