

基准设计问题的补充说明: 实验条件

申铁龙, 梅生伟, 王 宏, 陈增强

为了使不具备实验条件的作者也能够对论文提出的控制算法进行试验验证, 深圳固高科技有限公司可提供实验结果^[1] (如果作者本身具有固高科技有限公司所产的固高直线一级倒立摆实验设备, 请在应征论文中给出实验结果). 鉴于固高直线倒立摆的模型参数以及执行机构与《鲁棒控制基准设计问题: 倒立摆控制》(以下简称《问题》)一文有异, 现将实验条件描述如下, 以做《问题》的补充. 希望固高公司提供实验的作者, 以本文的数学模型以及参数为依据, 在论文中给出控制器相应的修正方法.

1 执行机构

《问题》中的系统的执行机构是直流伺服电机. 现在, 本文用交流伺服电机和通用控制卡构成的执行机构来替代直流电机. 假设交流伺服电机工作在力矩控制状态, 那么其动态特性可以描述如下

$$\begin{cases} \dot{\eta} = \psi(\eta) + \phi(\eta)v, \\ \tau = h(\eta). \end{cases} \quad (1)$$

其中 η 是由定子和转子的磁链以及电流组成的4维状态向量, v 为力矩指令, τ 是电机转子输出的力矩 (关于交流电机的动态特性以及控制感兴趣的读者, 请参阅文献[2]). 因此, 由电机提供的小台车沿 x 方向的驱动力 f 则可以表示为

$$f(t) = K_1 \tau(t). \quad (2)$$

假设交流电机(1)的由 v 到 τ 的静态增益为 $1/K_1$, 并且忽略其动特性, 那么就有如下近似关系:

$$f = v. \quad (3)$$

2 摩擦系数

忽略摆的节点的摩擦, 即 $C = 0$. 小台车只考虑线性滑动摩擦, 不考虑静态摩擦. 即, 《问题》中的 δ 函数取为

$$\delta(\dot{x}) = b\dot{x}. \quad (4)$$

其中 b 为摩擦系数.

考虑上述2点变化以后, 小台车的运动方程为

$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = f(t) - f_F(t) - b\dot{x} = \quad (5)$$

$$v - b\dot{x} - f_F. \quad (6)$$

故, 与式(13)的推倒类似, 得小台车的运动方程如下:

$$\begin{aligned} (M + m) \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + (mL \cos \varphi(t)) \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} = \\ v - b \frac{dx}{dt} + mL \sin \varphi(t) \left\{ \frac{d\varphi(t)}{dt} \right\}^2. \end{aligned} \quad (7)$$

3 被控对象的运动方程

根据上述推倒可知, 忽视交流电机的动特性和台车的静态摩擦、摆的节点的摩擦时, 倒立摆系统的动态可以用如下微分方程组来描述:

$$\begin{aligned} (J + mL^2) \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} + (mL \cos \varphi(t)) \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = \\ mLg \sin \varphi(t), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} (M + m) \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt} + (mL \cos \varphi(t)) \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} = \\ v(t) + mL \sin \varphi(t) \left\{ \frac{d\varphi(t)}{dt} \right\}^2. \end{aligned} \quad (9)$$

4 物理参数

- 台车的质量 (M): 1.320 (kg);
- 摆的质量 (m): 0.109 (kg);
- 小车摩擦系数 (b): 0.1 (N/m · s⁻¹);
- 重力加速度 (g): 9.8 (m/s²);
- 质心距节点的距离 (L): 0.25 (m).

本次现代控制系统设计方法在倒立摆基准设计问题中的应用专辑的征文活动得到了中国自动化学会控制理论专业委员会以及深圳固高科技有限公司的大力支持.

特此鸣谢!

参考文献:

- [1] <http://www.googoltech.com.cn/edu-gipl.php> (固高科技公司网页).
- [2] KHORRAMI F, KRISHNAMURATHY P, MELKOTE H. *Modeling and Adaptive Nonlinear Control of Electric Motors* [M]. New York: Springer-Verlag, 2003