

# 基于多参数反馈控制的 港口桥式吊车实验教学系统设计与分析

张智华,李胜永,徐 勇,张传涛

(南通航运职业技术学院 交通工程系,江苏 南通 226010)

**摘 要:**文章设计了一种适合教学中使用的桥式吊车实验平台,在此基础上通过建立模型,进行速度反馈、位置反馈、角度反馈以及多参数反馈形式的仿真分析,实现对桥式吊车多方位控制,从而验证了多参数反馈对于稳定控制的有效性。

**关键词:**港口桥式吊车;反馈控制;实验教学

中图分类号:U653.929

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2016)01-0053-04

## 0 引言

桥式吊车作为港口企业重要的物料搬运设备,其作用越来越重要。随着电力电子、自动控制、电机控制的发展,起重机的智能控制要求越来越高。桥式起重机由于自身结构的原因,在货物吊运过程中吊重难免产生摇摆,这不仅容易引发安全事故,而且降低了物料搬运的工作效率。<sup>[1-2]</sup>因此,为提高起重机工作效率、降低安全风险,实现起重机吊重电机系统在运行过程中稳定控制具有重要意义。而对于港口电气等相关专业的实验教学而言,为了使得学生有直观的了解和印象,同时使单片机控制技术、电机与拖动、自动控制技术、港口机电仿真技术等课程更好的融合和对接,设计适合于教学中使用的桥式吊车实验平台,让学生通过控制的手段实现对桥式吊车的运行控制,可以激发学生的学习兴趣,提高教学质量。

## 1 港口桥式吊车实验平台整体设计方案

实验平台设计考虑到为了让学生能够更好进行综合的课程设计与思考,系统由单片机采集反馈比较控制器单元、测速电机速度采集反馈单元、负载摆动角度反馈单元、小车运行距离反馈单元、小车运行电机驱动单元以及配套设施构成。<sup>[3-4]</sup>整体设计如图 1 所示,该平台可以满足有关吊车稳定控制的多课程知识融合需求,同时结合在港口机电仿真技术课程中学到的 MATLAB 软件对该平台的进行仿真分析,验证自动控制技术中学到的开环控制、闭环控制以及多参数反馈控制的吊车稳定效果。该平台可以较好地应用于教学与科技创新活动,为学生的控制理论学习与系统仿真实现提供了基础。

单片机控制器完成数据采集和控制驱动电机电压输入。驱动电机、测速机是系统的执行元件和速度反馈元件,电位计 1 和 2 分别是摆角度反馈元件和小车位置反馈元件。桥式吊车实验系统由驱动电机、测速电机、皮带轮、传动设备等通过机械及电气连接成一个整体。其中电气连接通过控制盒实现,吊车(下装吊摆)在电机的拖动下沿固定的直线导轨进行运动,运动中产生了吊车的直线位移和吊摆角度。速度信号、位置信号由与皮带轮同轴安装的多圈电位计测得,角度信号由安装在吊摆轴上的单圈电位计测得,这三个参数通过数据采集单元传送入控制器中。经过控制器的实时控制程序运算产生控制指令,该指令经数模转换后来控制驱动电机,产生相应的控制作用,从而实现对吊车线位移和吊摆角位移的控制。

收稿日期:2015-11-12

基金项目:全国交通运输职业教育教学指导委员会 2015 年交通运输职业教育科研项目“港口电气专业核心课程内容优化与 4GP 信息融合研究”(项目编号:交教研 2015B67);2015 年江苏省大学生实践创新项目“基于模糊控制和 PLC 的港口起重机吊重系统姿态稳定性研究”(项目编号:201512703017X)。

作者简介:张智华(1983—),男,江苏如东人,南通航运职业技术学院交通工程系讲师,博士生。

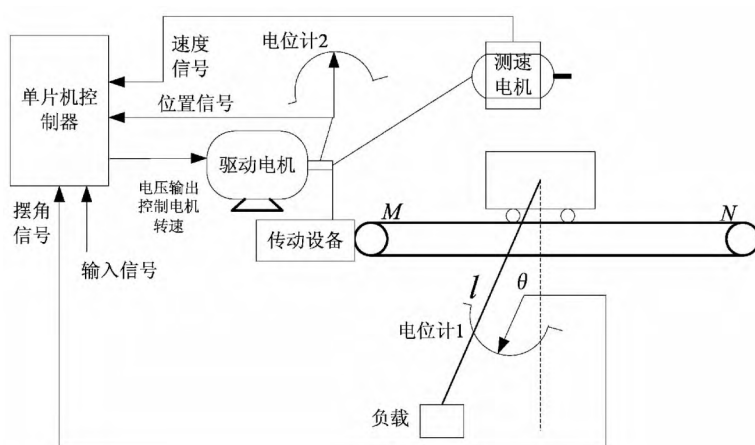


图1 港口桥式吊车负载摆动控制实验教学系统示意图

## 2 港口桥式吊车实验系统的模型分析与仿真

该实验平台需要完成的功能是使小车把重物从  $M$  点快速而稳定地运送到目标位置  $N$  点试验。这就要求在重物的运送过程中尽量控制重物的摆动角度,同时又不能使速度降得太小。通过对桥式吊车实验系统进行受力分析可以得到重物摆角的大小受小车加速的影响,而小车的加速度是通过对电机的输入电压进行调节来控制的,则只要选定合适的反馈控制电路来控制电机的输入电压就能使小车把重物从  $M$  点又快又稳地运送到  $N$  点。

### 2.1 吊车系统数学模型的建立与简化

在模型简化分解过程中,假设绳索对负载的拉力为  $f_2$ ,负载摆角为  $\theta$ 。在求解过程中绳子的质量、小车行走时所受的摩擦力和负载摆动时的空气阻力均忽略不计,则实验系统理想化的简化模型如图2所示。

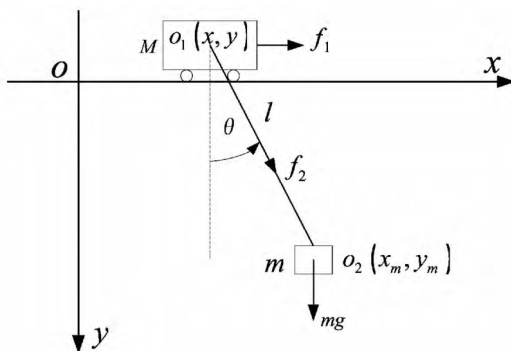


图2 港口桥式吊车实验系统简化模型

如图2所示负载重心位置为  $o_2(x_m, y_m)$ , 通过力学分析则有:

$$\begin{cases} x_m = x - l \sin \theta \\ y_m = -l \cos \theta \end{cases} \quad (1)$$

在忽略摩擦力的情况下重物沿着小车行走方向的运动方程为:

$$m \frac{d^2 x_m}{dt^2} = f_2 \sin \theta \quad (2)$$

负载沿与小车垂直方向的运动方程为:

$$m \frac{d^2 y_m}{dt^2} = f_2 \cos \theta - mg \quad (3)$$

则由式(1)、(2)、(3)可以推出:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} - ml \frac{d^2 \sin \theta}{dt^2} = f_2 \sin \theta \\ -ml \frac{d^2 \cos \theta}{dt^2} = f_2 \sin \theta - mg \end{cases} \quad (4)$$

在理想实验条件下,考虑假设  $\theta$  角很小,则可以做如下近似处理,有  $\sin\theta \approx \theta$ ,  $\cos\theta \approx 1$  则有:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} - ml \frac{d^2 \theta}{dt^2} = f_2 \theta \\ 0 = f_2 - mg \end{cases} \quad (5)$$

对式(5)进行化简可以得到:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = g\theta + l \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (6)$$

假设实验系统初始状态为 0,则可以对式(6)进行拉普拉斯变换得到式(7),从而得到小车行走位移与负载摆角之间的频域关系,为仿真建模打下基础。

$$\theta(s) = \frac{s^2}{ls^2 + g} X(s) \quad (7)$$

## 2.2 多参数反馈控制仿真对比及分析

实验仿真系统中已知小车质量  $M=1$  kg,负载质量  $m=2$  kg,绳索的长度  $l=1$  m,  $g \approx 10$  m/s<sup>2</sup>。则式(7)化简为:

$$\theta(s) = \frac{s^2}{s^2 + 10} X(s) \quad (8)$$

通过对实验任务分析可以建立基于 Simulink 的实验仿真系统,具体仿真模型根据如图 3 所示框图建立。通过依次采用速度反馈、位置反馈、角度反馈以及多参数反馈形式,分别观察添加不同反馈后系统的性能,并对其进行比较分析。<sup>[5]</sup>通过仿真图可知:

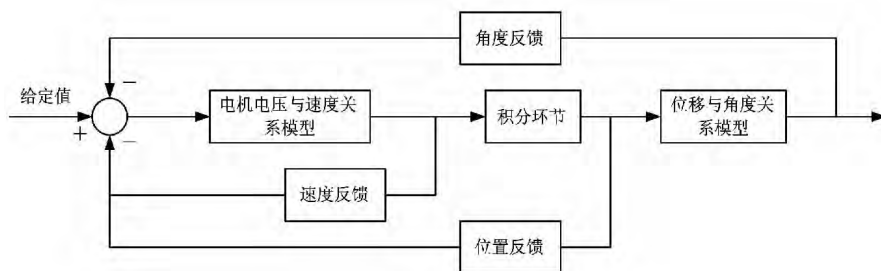


图3 桥式吊车多参数反馈控制逻辑框图

(1)在只有速度反馈条件下负载的摆角、小车的位移随时间变化如图4所示,可以看到小车到达2米的时间较短且整个系统是稳定的,但负载摆角随时间变化的幅度较大,而小车在运行到2米后没有停止,说明仅有速度反馈并不能达到稳定控制要求;

(2)在只有位置反馈条件下负载摆角、小车的位移随时间变化图5中可以看到虽然小车到达2米的时间能停下来且整个系统是稳定的,但负载摆角随时间的幅度比较大,表明仅位置反馈并不能达到任务要求;

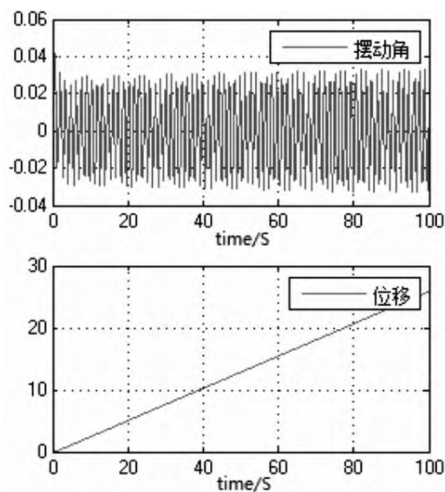


图4 速度反馈下角度和小车位移随时间变化图

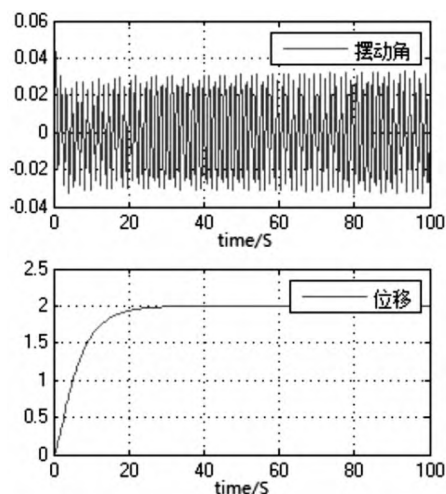


图5 位置反馈下角度和小车位移随时间变化图

(3)在仅有角度反馈条件下的负载摆角、小车的位移随时间变化图 6 中,可以看到虽然负载摆角随时间变动的幅度较小,但小车在运行到 2 米后并未停下,表明仅角度反馈也不能较理想地满足要求;

(4)在角度反馈与位置反馈等多反馈参数条件下的负载摆角、小车位移随时间变化如图 7 所示,可以看出整个系统是稳定的且负载摆角幅度随时间变化很快就达到稳定,负载在运送过程中运行稳定,而且小车在到达 2 米后停止。由此可以得到结论:用位置反馈、角度反馈、速度反馈等多反馈参数能较好地将负载从  $M$  点又快又稳的运送至  $N$  点,满足吊车控制的稳定性要求。

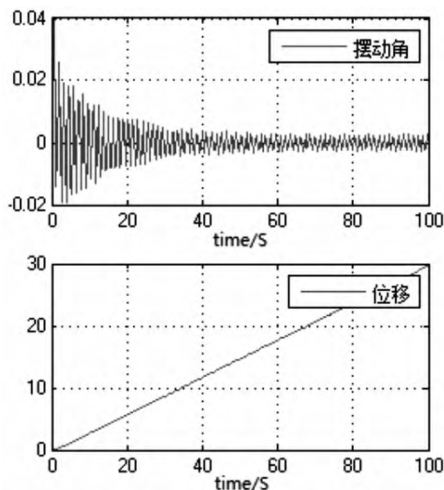


图 6 角度反馈控制下角度和小车位移随时间变化图

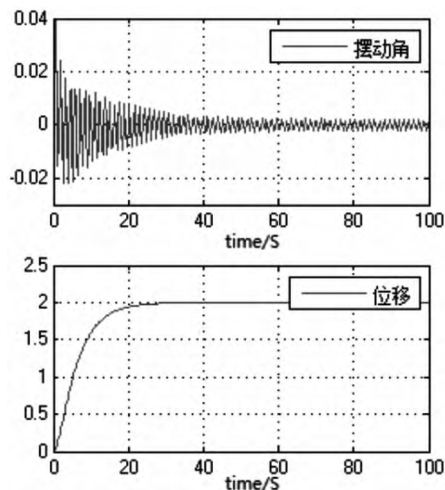


图 7 多反馈控制下角度和小车位移随时间变化图

### 3 结束语

通过对实验系统的设计与分析,并在此基础进行了速度反馈、位置反馈、角度反馈以及多参数反馈形式的全方位仿真分析对比,可以使学生学习更加直观。本文所设计的实验配套系统实现了抽象理论知识的形象化,可以有效地激发学生学习兴趣,增强学生学习动力,提高学生实际动手能力。

### 参考文献:

- [1]戴士杰,赵雷.桥式起重机防晃动控制综述[J].机械设计与制造,2008(11):234-235.
- [2]唐远洋,肖健梅,等.基于 MATLAB 集装箱起重机防摇系统仿真[J].机电设备,2008(3):52-55.
- [3]王克奇.桥式起重机的定位和防摆控制研究[J].系统仿真学报,2007(8):1799-1802.
- [4]傅德源.实用起重机电气技术手册[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [5]刘金琨.先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003.

## Design and Analysis of Harbor Overhead Crane Experimental Teaching System Based on Multi-parameter Feedback Control

ZHANG Zhi-hua, LI Sheng-yong, XU Yong, ZHANG Chuan-tao

(Dept. of Traffic Engineering, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

**Abstract:** This article attempts to design the experimental platform of overhead cranes for teaching. On this basis, it establishes the model to make a simulation analysis of speed feedback, position feedback, angle feedback and multi-parameter feedback so as to realize the multi-directional control of overhead cranes and test and verify the effectiveness of multi-parameter feedback in stability control.

**Key words:** Harbor overhead Crane; Feedback control; Experimental teaching