

# 基于PID算法的红外目标模拟器运动控制系统设计与实现

姚菲<sup>1</sup>, 刘小明<sup>1</sup>, 张志君<sup>2</sup>

(1. 海军驻阎良地区航空军事代表室, 西安 710089; 2. 中航工业西安飞机分公司, 西安 710089)

**摘要:** 针对某型机载光电探测仿真测试系统中红外目标模拟的工程需求, 运用PID控制方法, 提出了采用单片机和无刷直流电机的硬件实现方案, 研究了PID参数整定方法, 成功实现了红外目标模拟器运动控制系统的设计。使用结果表明, 模拟器工作可靠, 满足对红外目标的仿真需求。

**关键词:** 红外目标; 运动控制; PID算法; 仿真

**中图分类号:** V241.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)07-0096-03

## Design and Realization of a Motion Control System for Infrared Target Simulator Based on PID Control Algorithm

YAO Fei<sup>1</sup>, LIU Xiaoming<sup>1</sup>, ZHANG Zhijun<sup>2</sup>

(1. Military Representatives Office of Navy in Yanliang Area, Xi'an 710089, China;

2. Xi'an Aircraft Company, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** Considering the engineering requirement to infrared target simulator of the airborne photoelectricity detection simulation system, we proposed an implementation scheme based on PID control method by using Single Chip Microcomputer (SCM) and brushless DC motor. The method of the PID parameters adjusting was also studied, and design of the motion control system of the infrared target simulator was realized. The application result showed that the simulator is reliable in operation, which can satisfy the simulation requirements of infrared target.

**Key words:** infrared target; motion control; PID control method; simulation

### 0 引言

随着红外成像、激光测距技术的发展和各类光制导武器的研发, 光电设备技术日趋成熟。近年来, 光电探测设备在航空领域应用广泛, 有必要通过建设仿真测试系统, 保障机载光电探测设备的装机质量。本文在简要介绍光电探测仿真测试系统的基础上, 重点分析了通过基于PID算法的电机控制系统控制热目标源运动, 实现对红外目标仿真模拟的过程, 详细阐述了红外目标模拟器控制系统的硬件实现。

### 1 光电探测仿真测试系统组成

光电探测系统仿真测试系统的一般组成见图1。其工作原理为: 通过仿真光电探测设备控制端, 模拟真实光电探测设备控制参数, 驱动红外目标模拟器按照

既定的轨迹运动, 形成光电探测设备所需测试环境, 构成闭环测试系统<sup>[1]</sup>。

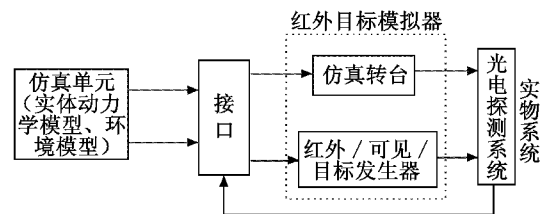


图1 光电探测仿真测试系统原理框图

Fig. 1 Functional block diagram of the EO detection simulation system

#### 1) 仿真单元。

仿真单元是闭环测试系统的核心, 它通过仿真光电探测设备工作环境, 设计不同的功能模块, 通过逻辑控制调度运行。

#### 2) 接口设备。

接口设备是闭环测试系统的桥梁, 完成红外目标模拟器驱动信号的转换, 并能够实现被测设备与仿真控制单元的信息馈入/馈出。

### 3) 红外目标模拟器。

红外目标模拟器的作用是提供光电探测设备可探测目标,模拟构建真实的战场环境。

## 2 红外目标模拟器运动控制系统设计要求

红外目标模拟器运动控制系统通过电机控制热目标源,以一定的速度和轨迹运动,为被测系统提供一个按照既定的速度和轨迹运动的红外目标,作为光电探测系统自动跟踪的目标,准确地测试光电转塔的自动跟踪功能。

从光电探测系统仿真测试系统的组成与工作原理可以看出,红外目标模拟器特性参数直接影响整个仿真测试系统的置信度和测试精度,需按照被测对象的探测性能设计目标模拟器的动、静态参数。因此,红外目标模拟器的设计在整个仿真测试系统设计中显得至关重要。设计主要包括两部分,即目标模拟器控制电路设计和目标模拟器运动轨道设计。

## 3 红外目标模拟器控制电路设计

红外目标模拟器控制电路采用单片机加无刷直流电机控制专用集成电路的方案,其控制电路见图2。

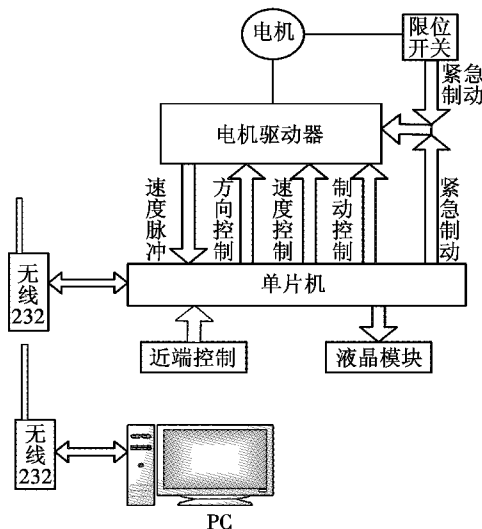


图2 控制电路简图

Fig. 2 Diagram of the control circuit

### 3.1 红外目标模拟器控制电路硬件设计方案

无刷直流电机测控系统如图3所示。为了达到无刷直流电机的精准控制,设计上采用以单片机为核心的闭环测控系统,通过测速电路、计数器计数,解算出真实的电机转速并和预制转速比较,算出差值,再通过单片机对差值进行PID运算,得到控制变量,从而改变电机工作电压,实现电机转速的精确控制<sup>[2]</sup>。

### 3.2 调速系统PID控制算法

对于连续时间控制系统,比例、微分、积分构成的

PID控制器应用广泛,具有参数整定简单、结构更改灵活的特点,以及设计技术成熟、易于实现,适用面广,控制参数相互独立和参数整定简单等优点,是连续系统动态品质校正的一种有效方法<sup>[3]</sup>。

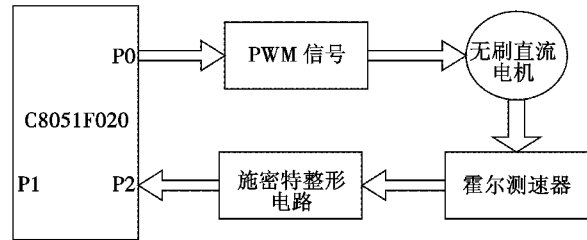


图3 无刷直流电机测控系统框图

Fig. 3 Measurement and control system of brushless direct current motor

#### 1) PID算法设计思想。

PID调速系统需要找到被控对象的控制变量,以建立数学模型。电机转速与外加电压的大小成比例关系,构成了电机PID控制器调节的数学模型,可以用下列微分方程来表示

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

式中: $u(t)$ 为 $t$ 时刻的调节器的输出; $K_p$ 为比例系数; $e(t)$ 为调节器的输入,一般为偏差量; $T_i$ 为积分时间常数; $T_d$ 为微分时间常数。

微分控制方程表达的是连续的控制过程,但电机控制系统只能识别数字量,需要对控制方程进行离散化处理。电机控制系统是一个较为标准的时间离散控制系统,通过连续采样周期差值建立差分方程可替代原连续系统的微分方程,则差分方程简化为

$$u(i) = u(i-1) + P(e_i - e_{i-1}) + Ie_i + D(e_i - 2e_{i-1} - e_{i-2}) \quad (2)$$

式中, $P$ 、 $I$ 、 $D$ 分别为比例增益、积分系数、微分系数。

对控制参数输出限制是指控制参数的输出应限定在执行机构的运动范围内。

$$u(i) = \begin{cases} u(i) - u_{\min}, & u(i) \leq u_{\min} \\ u(i), & u_{\min} < u(i) < u_{\max} \\ u(i) - u_{\max}, & u(i) > u_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

#### 2) PID算法实现。

按照差分方程可编出PID算法程序,PID算法模块的程序流程如图4所示。

系统运行过程中,每间隔一个采样周期,进行一次PID控制计算,对控制参数进行调整,通过脉宽调制控制系统改变脉冲占空比来改变输出平均电压的大小,实现电机运动过程的实时控制。连续周期内控制参数一般不会突变,较小范围的参数波动可达到系统的平滑控制。按照执行机构的运动范围控制输出的控制参数,可防止控制崩溃,实现安全保护。

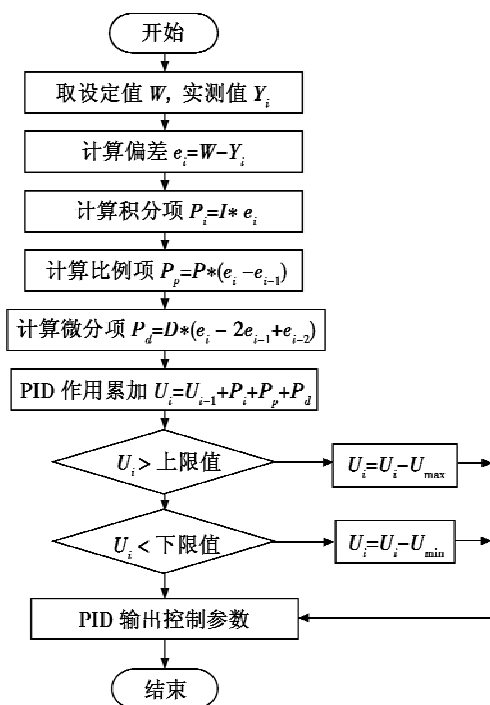


图4 PID算法模块的程序流程图

Fig. 4 Flow chart of PID algorithm

### 3) PID参数整定。

PID控制器参数整定是控制系统设计核心内容。其控制效果与PID控制器的比例系数、积分时间和微分时间的大小紧密相关。PID控制器参数整定方法很多,通过理论计算确定PID参数当然是比较理想的方法,但在实际应用中,往往不能达到理想的控制效果,参数的整定基本上通过凑试的方法来确定控制参数,即所谓的工程整定法。它主要依赖工程经验,不同的控制模型选取不同的控制参数,再通过试验不断地调节,最终达到理想控制。其方法简单、易于掌握,在工程实际中应用广泛,主要方法有临界比例法、反应曲线法和衰减法。

本方案采用的是扩充临界比例度法,整定步骤如下所述。

#### ① 确定系统大概采用周期。

采用周期的选取不仅要考虑系统控制精度和运动的平滑性,也要考虑整个控制系统的资源分配。对于运动速度慢、控制精度要求不高的系统设置,较高的采样频率对于整个系统控制效果没有太大的表现,实际意义不大。本方案初步确定采用周期为500ms。

#### ② 确定临界状态系数。

使PID处于纯比例作用( $T_i = \infty, T_d = 0$ ),让系统处于闭环状态;然后逐渐增大比例度系数 $K_p$ ,直至系统对阶跃输入的响应达到临界振荡状态(稳定边缘),记下此时的临界振荡周期 $T_c$ 和临界比例系数 $K_c$ 。

#### ③ 确定控制度。

控制度表征数字控制的效果相当于模拟控制效果

的程度。

$$\text{控制度} = \frac{\int_0^{\infty} e^2 dt \text{ 数字}}{\int_0^{\infty} e^2 dt \text{ 模拟}} \quad (4)$$

一般选择控制度等于1.05,认为数字控制与模拟控制相当,选取控制度等于1.05时,查表1可定各参数。

表1 各参数经验值参考表

Table 1 Empirical value of each parameter

控制度	类型	$T$	$K_p$	$T_i$	$T_d$
1.05	PI	$0.03T_c$	$0.53K_c$	$0.88T_c$	
1.05	PID	$0.014T_c$	$0.63K_c$	$0.49T_c$	$0.14T_c$
1.2	PI	$0.05T_c$	$0.49K_c$	$0.91T_c$	
1.2	PID	$0.043T_c$	$0.47K_c$	$0.47T_c$	$0.16T_c$
1.5	PI	$0.14T_c$	$0.42K_c$	$0.99T_c$	
1.5	PID	$0.09T_c$	$0.34K_c$	$0.43T_c$	$0.22T_c$

### 3.3 红外目标模拟器运动轨道设计

目标模拟器运动轨道设计要求目标能够按照既定的速度和运动方位在一个平面上做运动,完成任意一种曲线的运动轨迹。热目标由两个直流无刷电机拖动,在一个旋转电机的带动下做圆周运动,同时旋转电机及热目标在水平电机的带动下做水平运动(3m长),图5所示为导轨图。

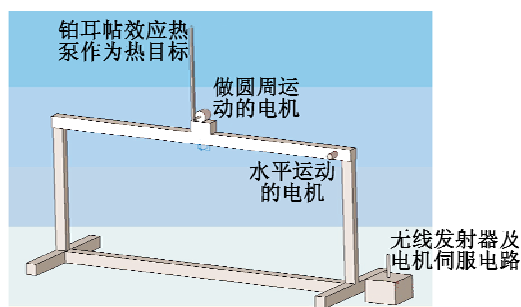


图5 目标运动导轨图

Fig. 5 Guide rail for target movement

## 4 结束语

红外目标模拟器运动测控系统运用了PID控制理论,通过相对简单、可靠的电路设计实现了工程需求,该红外模拟器在某型号飞机光电探测仿真测试系统使用中,工作稳定,提高了机载光电探测系统的研制、试验的工作效率,为仿真测试系统的研制探索了一条切实可行的途径。

### 参考文献

- [1] 吴重光. 仿真技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [2] 金如麟, 张尉堂. 无刷直流电动机的微处理机控制系统[J]. 微特电机, 1983(1): 1-6.
- [3] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.