

# 基于模糊 PID 控制的工程机械系统设计与仿真\*

## Design and Simulation of Construction Machinery System Based on Fuzzy-PID

朱爱军

Zhu Aijun

(桂林电子工业学院电子工程系, 广西桂林 541004)

(Dept. of Elec. Engin., Guilin Univ. of Elec. Tech., Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要: 在介绍普通 PID 控制的工程机械系统的设计方法和缺点的基础上, 阐述模糊 PID 控制的工程机械系统的设计, 并利用 Matlab6.5 软件对模糊 PID 控制和普通 PID 控制分别编写程序进行仿真。仿真结果表明, 模糊 PID 控制比普通 PID 控制具有更好的控制性能。

关键词: 工程机械系统 模糊 PID 控制性能 仿真

中图分类号: TP202.7 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2005)S0-0075-03

**Abstract** It first introduces the method and shortcoming of the design of construction machinery system with common PID, then discusses the design with the Fuzzy-PID. Three parameters ( $k_p$ ,  $k_i$ ,  $k_d$ ) are obtained by the Simulation software. At last, the result of common PID and Fuzzy-PID are compared. It proves that Fuzzy-PID has higher performance.

**Key words** construction machinery system, Fuzzy-PID, performance, simulation

提高工程建筑机械技术性能的有效措施之一是应用现代电子技术、计算机技术、控制技术和传感技术等实现其自动控制和智能控制。目前, 在工业工程控制中应用较多的是 PID 技术。PID 控制具有简单、稳定性好、可靠性高等优点, 但常规的 PID 控制器不具有在线参数整定功能, 当系统误差及其变化率变化较大时难以使 PID 参数自动满足控制要求, 从而影响了控制效果的进一步提高。我们在实施装载机远程服务系统与智能化挖掘子项目当中, 采用普通 PID 算法来控制挖掘机的轨迹。虽然基本功能已经实现, 但是对于象挖掘机这一类作业易受土壤、地形、环境等不确定因素影响的工程建筑机械和车辆, 不能实现在线参数自整定, 其适用范围及控制能力受到较大限制。为了解决这些问题并做好项目的前期工作, 我们采用 FUZZY 和 PID 结合的方法实现对现有控制系统进行系统设计和仿真。

### 1 普通 PID 系统设计

系统采用德州仪器公司 C24X 系列中的

LF2407 作为主控芯片, 采用嵌入式操作系统 UCO SH, 完成多任务程序的执行。

系统主程序首先进行初始化, 包括 DSP 各个寄存器的初始化, 然后通过 CAN 手柄上的按钮进行功能选择, 默认当前的功能为人工操作。根据选择的功能, 进入相关的功能模块, 直到完成相应的典型作业。详见图 1。

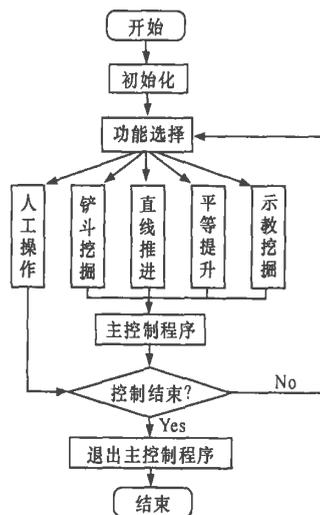


图 1 主程序流程

系统在主控制程序 (图 2) 当中, 执行规划好的当前角度系列。如果当前角度标志位为 1, 则表示已经到

收稿日期: 2005-09-08

作者简介: 朱爱军 (1978-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事 DSP 技术、测控与仪器研究

\* 国家 863 项目: 装载机远程服务系统与智能化挖掘子项目 (编号: 2003AA430109)

达当前角度目标;否则,继续发控制信号进行控制。接着判断是否到达该任务的最后角度目标。如果没有则接着执行下一个角度目标系列,直到完成任务为止。其中  $Q1i$   $Q2i$   $Q3i$  为规划好的轨迹路径上 3 个关节(动臂、斗杆、铲斗)的第  $i$  个点

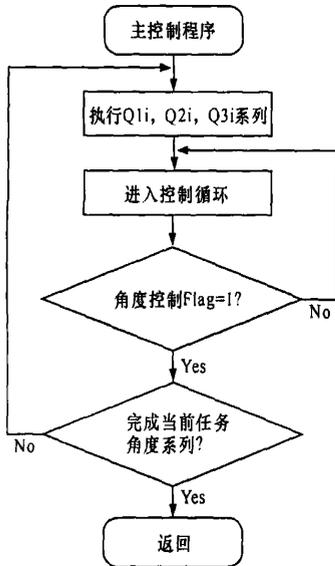


图 2 主控制程序

在 PID 控制程序当中, AD 采集 3 路角度的实际测量值,然后获得采集值与规划角度系列之差。如果角度差的绝对值小于 0.05 度,便认为已经到达了目标位置;否则,通过 PID 算法之后发出相应的 PWM (脉宽调制)驱动信号,继续进行控制,直到达到目标为止。

在挖掘机 (ZLG920C) 小负载的情况下,本系统在柳州一个砖厂,针对松软土质进行试验,获得的 PID 参数见表 1。但是一旦到了大负载工作情况时 3 个关节完全就不动了,显然这种参数不能模糊自调整的方法是不能够用在实际工作环境下的。

表 1 PID 参数调试

关节	P	I	D	效果
动臂	1	0.5	0.4	动作缓慢,
	3.5	0.5	0.8	动作加快,没有超调
	9.0	0.5	0.8	动臂开始超调振动
	8.0	0.5	1.2	效果较好
斗杆	1.0	0.4	0.4	动作缓慢
	1.5	0.4	0.4	动作加快,没有超调
	2.0	0.5	0.8	斗杆振动大
	0.8	0.7	0.8	效果较好
铲斗	1.0	0.4	0.4	动作缓慢
	1.5	0.5	0.4	有振荡
	1.2	0.5	0.6	铲斗振荡减小
	5.0	0.7	1.2	铲斗振荡剧烈
	3.5	0.7	1.5	效果好

## 2 基于 MATLAB 的模糊 PID 系统设计

### 2.1 被控系统建模

以下只研究一个铲斗关节。已知挖掘机铲斗关节控制系统可以等效成二阶系统加上一些典型的非线性环节,如死区、饱和、纯延迟等。这里可以通过系统辨识获得系统函数<sup>[1]</sup>:

$$H(s) = \frac{20e^{0.02s}}{1.6s^2 + 4.4s + 1}$$

控制执行机构具有 0.07 的死区和 0.7 的饱和区,取采样时间间隔  $T = 0.01$

程序如下:

```

num= 20; den= [1.6, 4.4, 1]; [a1, b, c, d]=
tf2ss(num,den);
x= [0; 0]; T= 0.01; h= T; umin= 0.07; umax
= 0.7; td= 0.02.
  
```

### 2.2 参数自整定原则

根据参数对系统输出特性的影响,通过对 PID 控制理论的认识和长期人工操作经验的总结,可知 PID 参数应依据以下几点来适应系统的动态过程。

(1) 当偏差绝对值  $|e|$  较大,加快系统响应并防止开始时偏差  $e$  瞬间变大,取较大的  $k_p$  和较小的  $k_d$ ,同时为了防止积分饱和,应去掉积分作用,即  $k_i = 0$

(2) 当  $|e|$  和偏差变化率绝对值  $|ec|$  为中等大小,为使系统响应的超调减少, $k_p$   $k_i$  和  $k_d$  都不能太大,应取较小的  $k_i$  值, $k_p$  和  $k_d$  值的大小要适中,以保证系统响应速度。

(3) 当  $|e|$  较小,为使系统具有良好的稳态性能,应增大  $k_p$  和  $k_i$  值,同时为避免系统在设定值附近振荡,并考虑系统的抗干扰性能,适当选取的  $k_d$  值,通常为中等大小。

### 2.3 定义输入和输出变量及其隶属度函数

模糊控制器的输入量是  $|e|$  和  $|ec|$ ,输出量是  $k_p$   $k_i$   $k_d$ ,它们都取 4 种模糊语言变量:零 (Z)、小 (S)、中 (M)、大 (B),其模糊论域分别为:

$$|e|: X = \{0, 0.2, 0.4, 0.6\},$$

$$|ec|: Y = \{0, 0.15, 0.30, 0.45\},$$

$$k_p: Z_p = \{0, 0.3, 0.6, 0.9\},$$

$$k_i: Z_i = \{0, 0.3, 0.6, 0.9\},$$

$$k_d: Z_d = \{0, 0.3, 0.6, 0.9\},$$

则  $|e|$  的隶属度函数为:

$$uZe(x) = 1 + \frac{x}{0.2}, 0 \leq x \leq 0.2,$$

$$uSe(x) = \begin{cases} \frac{X}{0.2}, & 0 \leq X \leq 0.2, \\ 2 - \frac{X}{0.2}, & 0.2 < X \leq 0.3, \\ 1 + \frac{X}{0.2}, & 0.2 \leq X \leq 0.4, \\ 3 - \frac{X}{0.2}, & 0.4 < X \leq 0.6, \\ 2 + \frac{X}{0.2}, & 0.4 \leq X \leq 0.6, \\ 1, & X > 0.6. \end{cases}$$

其他的隶属度函数式类同 隶属度函数图形如图 3 所示。

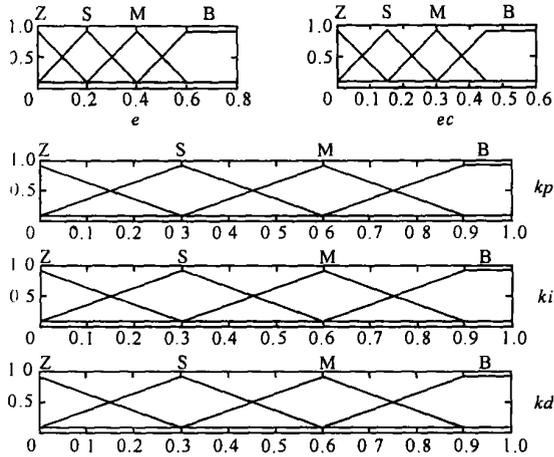


图 3 变量的隶属度函数

### 2.4 建立模糊规则

当确定好输入输出的模糊量后,就要寻找一组整定 PID 参数的模糊规则。规则的建立根据前所述的原则和专家的经验,也可以通过多次仿真来找出最佳的一组

表 2 模糊规则

ec	kp   ki   kd			
	Z	S	M	B
Z	Z/Z/M	S/M/S	M/M/Z	B/Z/S
S	B/S/M	B/S/S	M/M/Z	B/Z/S
M	B/S/M	B/S/M	M/M/S	B/Z/S
B	M/S/M	M/Z/M	S/M/S	S/Z/S

### 2.5 模糊推理和去模糊化

模糊推理采用最大最小法,去模糊化采用面积重心法<sup>[2]</sup>。其过程可通过观察调节规则窗口来理解,关键程序为:

```
in= [e1 ec1];
s= ku* evalfis(in, a);
s= s+ [kp ki kd].
```

分别输入不同的 e 和 ec,求解 kp ki kd 的结果

见图 4 这样就可以根据参数判断 比较和改善控制的方法 在每一次控制过程结束后,根据被控对象的输入相应特性与要求的性能进行比较,修改 kp ki kd, 就能逐步改善被控对象的动静态性能

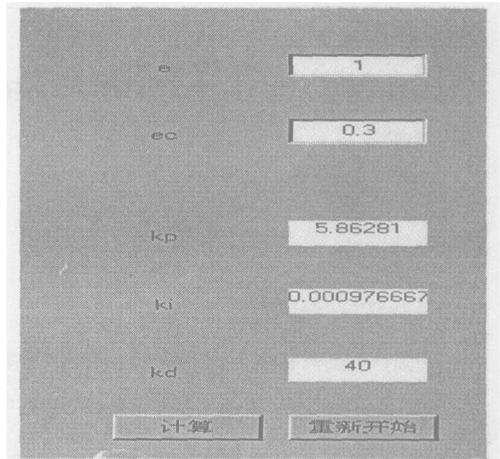


图 4 模糊计算结果

### 2.6 仿真分析

利用 MATLAB 6.5 软件编程对模糊 PID 控制和普通 PID 控制进行仿真,得到其阶跃曲线如图 5 所示。

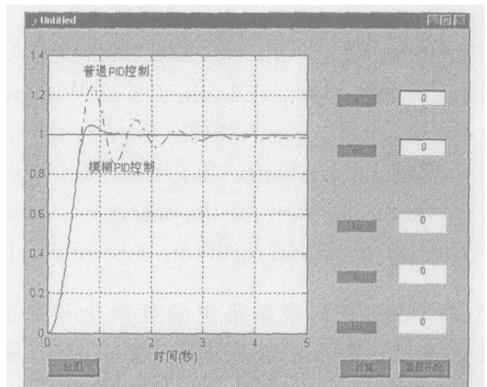


图 5 模糊 PID 控制与普通 PID 控制比较

比较图 5 中模糊 PID 控制和普通 PID 控制的输出曲线可以看出,在响应速度上,两者基本相同;在超调量和稳定时间上,前者的效果比后者好得多,说明模糊 PID 控制可行有效 通过增加去除系统延迟观察控制曲线,发现在系统具有延迟的情况下,模糊 PID 控制具有更佳的控制效果,而工程控制中很多系统都存在不同程度的延迟,所以模糊 PID 控制应用于工程控制在理论上比常规 PID 控制具有更好的效果。

### 3 结束语

本文首先介绍了普通 PID 设计工程机械系统

(下转第 80 页)

各个方面:信息的录入、浏览、删除、修改、检索等各个方面,完整地实现了网络系统对即时信息的管理要求。尤其是在信息录入和修改中,利用了数据验证控件对录入和修改的信息在客户端就进行了有效的验证,避免了从服务器上验证,从而提高了网络的运行速度。

(4)方便移植。针对不同的企业单位,只需要稍作修改就可以开发出适合本企业单位特点的网络信息管理系统

## 5 结束语

ASP.NET作为微软公司推出的用于设计和架构新一代 Internet网站的编程环境,它与 ADO.NET

的结合为电子商务、电子政务网站的建设提供了方便快捷的方式,利用 ASP.NET和 ADO.NET开发的广西数字认证中心数字证书发放管理系统提供了简洁方便的操作界面,使操作人员可以方便进行信息的添加、修改、查询和导出等操作,实现了系统的动态管理,使得对信息的管理更加及时、高效,提高了工作效率

参考文献:

- [1] 冯芳芳. ASP.NET精讲 [M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

(责任编辑: 韦廷宗)

(上接第 77页)

的方法和缺点,然后阐述了模糊 PID控制器的设计,并通过 MATLAB进行仿真,输入任意  $e$ 和  $ec$ 获得模糊 PID控制的 3个参数  $k_p$   $k_i$   $k_d$ 。本研究为下一步改善工作的进行做了良好的铺垫。

致谢:

感谢广西柳工机械股份有限公司博士后工作站的戴群亮博士后的理论指导和技术上给予的帮助,感谢李智教授的指导。

参考文献:

- [1] 王高中. 运行控制系统中被控对象的模型辨识研

究[J]. 计算机仿真, 2005, 22(4): 194-197.

- [2] 黄晓宇. 基于 MATLAB的模糊自整定 PID参数控制器计算机仿真 [J]. 自动化与仪器仪表, 2001, 21(3): 21-23.
- [3] 朱爱军. 声光一体生命搜索与定位探测仪设计与实现 [J]. 计算机工程与应用, 2004, (4): 198-199.
- [4] 李 铭. 模糊 PID控制算法在气缸位置伺服控制中的应用 [J]. 机床与液压, 2004, 55(2): 55-56.

(责任编辑: 邓大玉)