

基于模糊控制的直流无刷伺服控制系统

李 强, 梁 莉

(西安理工大学 自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 主要研究采用模糊算法设计全数字化微机控制直流无刷伺服系统. 分析了模糊控制器在伺服系统中稳态误差、调节时间和响应时间方面的性能. 用 Matlab 语言仿真了模糊控制的响应, 并且提出了 PI 控制加模糊控制的算法, 采用 DSP 数字信号处理器实现伺服控制.

关键词: 模糊控制; 仿真; 伺服系统

中图分类号: TP202; TP273+.3 **文献标识码:** A

Application of fuzzy control in brushless DC servo system

LI Qiang, LIANG Li

(School of Automation & Information Engineering, Xi'an University of Technology, Shanxi Xi'an 710048, China)

Abstract: The paper introduces a fuzzy algorithm for processing the computer-control servo system, where high speed and accurate were required. The property in steady-state deviation, regulating time and response time of the fuzzy-controlled servo system was analyzed. DSP digital processor performed the servo control. By Matlab language, the response of the fuzzy control was simulated, and then a control algorithm combined PI control with fuzzy control was formulated.

Key words: fuzzy control; simulation; servo system

1 引言(Introduction)

伺服电机应用于许多自动控制系统, 如机械手、制造加工、化工设备等. 基于微处理器的伺服电机控制器也变得越来越普及, 它以智能控制的方法作为工具适应于负载扰动、过程非线性及设备参数的变化等多种不同的情况. 常规 PID 控制具有结构简单、稳定性好、易于工程实现等优点. 但该方法过分依赖于控制对象的模型参数, 鲁棒性较差. 对于复杂系统的控制, 因负载、模型参数的大范围变化以及非线性因素的影响, 使得常规 PID 控制难以达到满意效果.

一般数字控制算法可以由系统的传递函数得出, 通常伺服电机由 PID 算法控制, 但调节 PID 参数几乎不可能改善由于系统非线性造成的不良影响. 为此, 提出将模糊算法与 PID 控制应用于一个要求更快更精确的位置控制系统, 从而提高系统响应和精度.

2 系统结构(System structure)

本系统结构图如图 1 所示, 电机选用无刷直流电动机(方波驱动), 功率开关元件使用智能功率模

块(IPM), 系统用两只电流检测模块做电流反馈, 位置、速度检测采用光电编码器, 处理器选用 DSP(digital signal process) 数字信号处理器 TMS320C240 构成, DSP 高速运算能力和对电机的高效控制能力基于一, 实现伺服系统的全数字化控制.

3 伺服电机模糊控制的算法(Servo motor fuzzy control)

控制算法的目的是使电机轴无超调地转至给定位置, 设计一套基于误差和误差变化的模糊控制的算法, 这样才能调节驱动单元从而控制电机的运行. 模糊控制器输入为: $e = \theta^* - \theta$; 偏差 $\hat{e} = e_1 - e_2$. 其中: θ 为轴编码器的输出; θ^* 为预置值; e_1 为 t_1 时刻误差; e_2 为 t_2 时刻误差; v 为伺服驱动单元的电压输出.

表 1 是一个关系函数的关系矩阵表的一个例子, 它包括误差、误差变化和控制输入量, 每个表格由 5 个集合组成, 包括 LP, SP, ZE, SN 和 LN, 每个集合有 9 个元素, 即 -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 所有误差、误差变化被量化成 9 个等级.

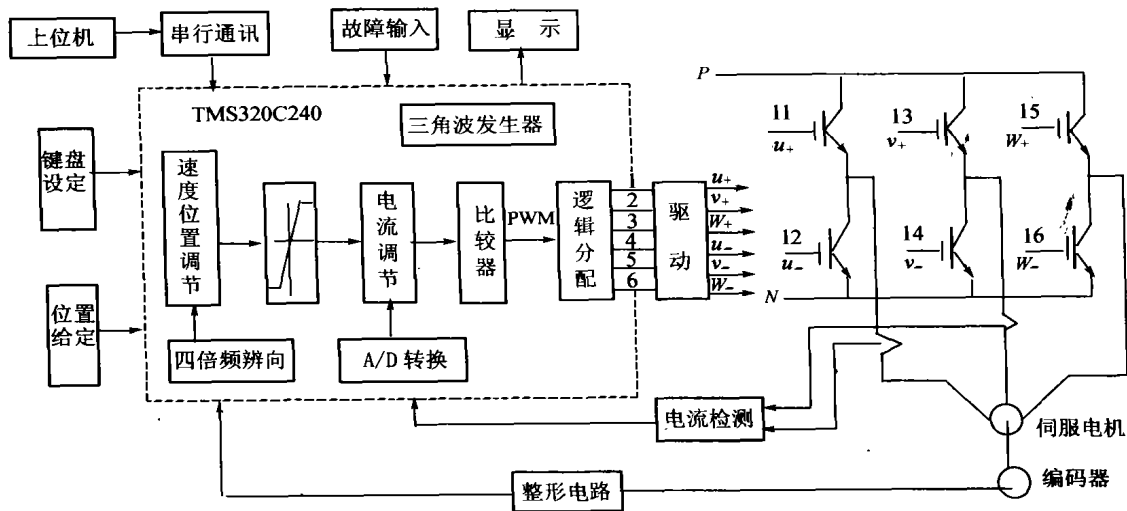


图1 系统结构图

Fig. 1 System structure chart

表1 模糊变量赋值表

Table 1 Fuzzy variable evaluate table

关系函数

语义	量化等级								
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
LP	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1
SP	0	0	0	0	0	0.6	1	0.6	0
ZE	0	0	0	0.6	1	0.6	0	0	0
SN	0	0	0.6	1	0.6	0	0	0	0
LN	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0

本系统中,位置检测轴编码器为增量式,分辨率为2500脉冲/转,伺服放大器的输出范围+140V~-140V,相应的输出决定于每个采样时刻的误差和误差变化.从上述可得出下列规则:

- ① 如果 e 是 LP, $\dot{e}$ 是任一值,那么 v 是 LP;
- ② 如果 e 是 SP, $\dot{e}$ 是 SP 或 ZE,那么 v 是 SP;
- ③ 如果 e 是 ZE, $\dot{e}$ 是 SP,那么 v 是 ZE;
- ④ 如果 e 是 ZE, $\dot{e}$ 是 SN,那么 v 是 SN;
- ⑤ 如果 e 是 SN, $\dot{e}$ 是 SN,那么 v 是 SN;
- ⑥ 如果 e 是 LN, $\dot{e}$ 是任一值,那么 v 是 LN.

规则①说明目前轴的位置离预置点很远的一般条件,因此就需要一个很大的驱动输出使电机轴快速定位.规则②说明误差减小,轴接近预置点的情况.就需要一个小点的驱动输出.规则③说明距离预置点已非常接近,此时需停机以使超调量小.而规则④说明用于发生超调时,此时需要一个小点的反向驱动信号使电机轴回到预置点.规则⑥为规则①的反向情况.为了确定决策表,本文选最大值或使用“重心法”.本设计选用了后者,这是因为这些作用

有相同的最大值.而且“重心法”比最大值法更可靠地建立一个决策表.

最大值法的一般表示形式为

$$I = \sum_{i=1}^n (u_n \times U_n) / \sum_{j=1}^n U_n,$$

其中 I 表示控制输入; u 表示关系函数; U 表示论域; n 表示编号,根据规则,由量化表2合并形成决策表(查询控制表3).

表2 量化(粗控)

Table 2 Quantization (roughly-control)

e	$\dot{e}$	v	量化等级
-1000	-1000	-15	-5
-800	-800	-12	-4
-600	-600	-9	-3
-400	-400	-6	-2
-200	-200	-3	-1
0	0	0	0
200	200	3	1
400	400	6	2
600	600	9	3
800	800	12	4
1000	1000	15	5

然而当误差接近零时,表3不能提供最优的控制.它可能引起超调并在给定位置振荡,因此表3只能用于粗控.表4用于精控.被量化的控制量的查询表被定义为表5的格式.

当误差达到预定范围内,则进行检查并将相应的查寻表传给控制函数.在本系统中,范围是+100~-100.当误差处于这个范围内,则计算机就切换至精查询表.这样就加快了预置点区域的响应速度.

表3 查询控制表(粗控)

Table 3 Check list for control (roughly-control)

e	$\bar{e}$										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	-5	-5	-4	-4	-3	-1	0	1	1	2	2
-4	-5	-5	-5	-4	-3	-1	0	1	1	2	2
-3	-5	-5	-5	-4	-3	-1	0	1	1	2	2
-2	-5	-5	-4	-4	-3	-1	1	2	3	3	3
-1	-5	-5	-4	-3	-2	0	1	2	3	3	4
0	-5	-4	-4	-2	-2	0	1	3	4	4	4
1	-4	-4	-3	-2	-1	0	2	3	4	4	4
2	-4	-4	-3	-2	-1	1	2	3	5	4	5
3	-3	-4	-2	-1	0	1	2	3	5	4	5
4	-2	-3	-2	-1	0	1	3	3	5	5	5
5	-2	-3	-1	-1	0	1	3	3	5	5	5

表4 量化(精控)

Table 4 Quantization (accurate-control)

e	$\bar{e}$	v	量化等级
-100	-100	-4	-4
-75	-75	-3	-3
-50	-50	-2	-2
-25	-25	-1	-1
0	0	0	0
25	25	1	1
50	50	2	2
75	75	3	3
100	100	4	4

表5 查询控制表(精控)

Table 5 Check list for control (accurate-control)

e	$\bar{e}$									
	4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	
-4	-4	-4	-3	-3	-2	-1	-1	0	1	
-3	-3	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	1	
-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	0	1	2	
-1	-2	-2	-1	0	-1	0	1	2	3	
0	-2	-2	-1	0	1	0	1	2	3	
1	-2	-2	0	1	0	1	2	3	3	
2	-1	-1	0	1	1	1	2	3	4	
3	0	0	1	2	2	2	3	3	4	
4	0	0	1	2	3	3	3	4	4	

在调试过程中,出现了精控和粗控无法转换的情况,即在模糊控制过程中,只执行粗控或精控.由于这一问题的出现,故又引入了一中控的模糊控制算法.即在粗控与精控之间有一过渡过程,其中控的量化表如表6所示.

中控的查询控制表仍采用精控查询控制表,即与精控的规则相同.

表6 量化(精控)

Table 6 Quantization (accurate-control)

e	$\bar{e}$	u	量化等级
-300	-200	-6	-4
-225	-150	-4.5	-3
-150	-100	-3	-2
-75	-50	-1.5	-1
0	0	0	0
75	50	1.5	1
150	100	3	2
225	150	4.5	3
300	200	6	4

4 系统仿真与实验(System simulation and experiment)

本系统中用模糊控制取代了PI控制,提高了系统的快速响应性,减少了系统响应时间.由结构图(图2)可以看出,模糊控制中,只对控制对象直接进行控制,省略了电流环及转速环的动态结构图.模糊控制算法流程图及控制算法程序略,输入为1000个脉冲当量位置的仿真结果如图3曲线2所示.分析试验结果可知,其位置跟随性能不太好,不论何值的位置输入,其输出响应总存在一定范围的误差.分析可知,是由误差的量化范围引起的,由于量化范围过大,使得小范围的误差不能实现模糊控制.故采用了一种新的控制算法:即模糊控制与PI控制相结合的控制算法,就是在大误差范围内采用模糊控制,当误差进入一定的小范围内时,则转向PI控制,以提高系统的精度.其流程图与算法程序略.此控制算法在位置输入下的仿真结果如图3曲线1所示.

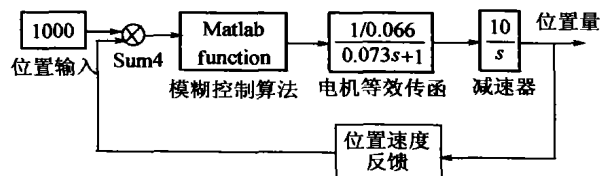


图2 系统动态结构图

Fig. 2 System dynamic structure

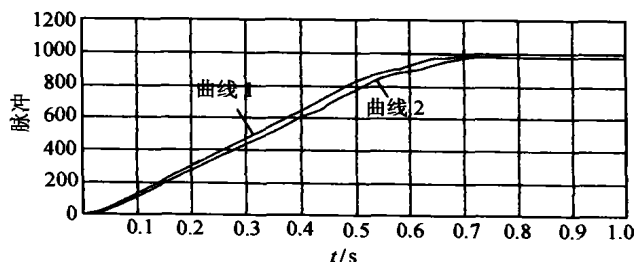


图3 模糊加PI控制位置曲线图曲线1, 模糊控制位置曲线图曲线2

Fig. 3 Fuzzy control and PI control position curve 1, fuzzy control position curve 2

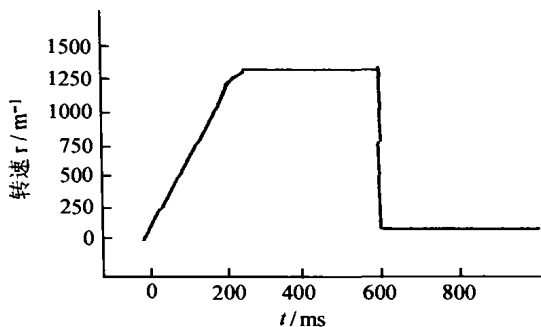


图4 模糊加PI控制速度曲线

Fig. 4 Fuzzy control and PI speed curve

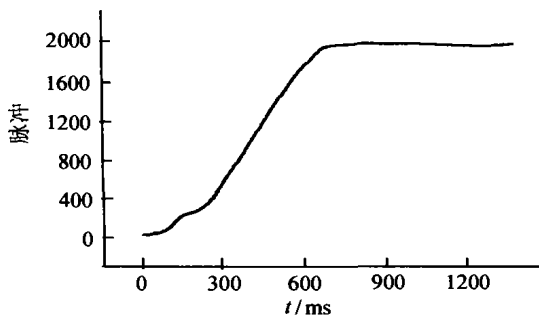


图5 模糊加PI控制位置曲线

Fig. 5 Fuzzy control and PI position curve

按图1所示设计位置闭环控制系统,突加位置给定,分别加20000个脉冲当量及8000个脉冲当量的位置给定量,系统最大误差为2个脉冲当量(10'),fuzzy控制在系统接近稳态时,调节速度快,速度响应无波动,系统能实现快速定位。

5 结论(Conclusion)

模糊控制在位置随动系统中的应用更优于PI控制,模糊控制实现了系统的最快响应和最小稳态误差,模糊控制参数的量化可用查询控制表,同时使用精控和粗控两种算法大大缩小了系统的调节时间,并且模糊算法最明显的优点是鲁棒性强。

在模糊控制的系统设计中,由于量化范围的关

系,使位置输出在最小量化误差范围内不能实现位置的准确跟踪,出现了误差,故采用模糊控制和PI控制相结合的新型控制算法,实现位置的准确跟踪,提高了系统的精度。

参考文献(References):

- [1] LI Qiang. Application of fuzzy control in servo system electrical drive automation [J]. *Electrical Drive Automation*, 1993, 15(1): 44 - 51.
- [2] MICHAEL T W, RONALD G H. Identification and control of induction motor using artificial networks [J]. *IEEE Trans on Industry Application*, 1995, 31(3): 612 - 619.
- [3] 梁天培, 周其节, 毛宗源, 等. 模糊控制器的优化设计方法[J]. 控制理论与应用, 1995, 12(4): 491 - 497.
(LIANG Tianpei, ZHOU Qijie, MAO Zongyuan, et al. An optimization design method of fuzzy logic controller [J]. *Control Theory & Applications*, 1995, 12(4): 491 - 497.)
- [4] TI Company TMS320C24X DSP. *Controllers Peripheral Library and Specific Devices* [M]. Owensville Missouri: Custom Printing Compang, 1997.
- [5] SIN W, MOHAMED A E. Laboratory implementation of a network trajectory controller for DC motor [J]. *IEEE Trans on Energy Conversion*, 1993, 12(4): 3107 - 3113.
- [6] YANG Yanxi. Digitized DC motor position servo control system based on DSP [J]. *J of Xi'an University of Technology*, 1999, 15(4): 66 - 70.
- [7] MURAI Y. Torque ripple improvement for brushless DC miniature motors [J]. *IEEE Trans Industry Applications*, 1998, 25(3): 441 - 445.

作者简介:

李强 (1964—), 男, 副教授, 1991年毕业于西安理工大学自动化与信息控制工程系自动化专业, 主要从事自动化与智能控制以及电子信息方面研究, 发表论文20余篇. E-mail: li-qiangli@sobu.com;

梁莉 (1964—), 女, 1991年毕业于西安理工大学自动化与信息控制工程系自动化专业, 主要从事自动化与计算机控制方面的教学与科研工作, 曾发表文章10余篇, 擅长计算机控制系统的设计。