

基于 PLC 的复合模糊控制在液压伺服同步控制系统中的应用

李潘伟¹, 简珣²

(1. 合肥锻压集团技术开发有限公司, 合肥 230061;
2. 合肥工业大学电气与自动化工程学院, 合肥 230009)

摘要: 针对液压机四角调平控制的要求, 提出一种基于 PLC 的 PID + 模糊控制的复合算法, 其中模糊控制器和 PID 调节器都通过 PLC 来实现, 这样既保留 PLC 控制系统控制灵活、可靠、抗干扰能力强等特点, 又大大提高了控制系统的智能化程度。实践结果表明: 该系统同步控制精度高、适应性好、抗干扰能力强、鲁棒性好。

关键词: 模糊控制; PID; PLC; 四角调平; 同步误差; 倾斜度

中图分类号: TP273+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3881(2008)8-277-3

Application of PID and Fuzzy Control Based on PLC in Hydraulic Servo Synchronization Control System

LI Panwei¹, JIAN Xun²

(1. Hefei Duanya Group Technology and Design Ltd, Hefei 230061, China;
2. School of Electric Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Aimed at the requirement of 4-axis synchronization hydraulic servo machine, a PID + Fuzzy combined control arithmetic based on PLC was presented. Both of the PID and Fuzzy controller are implemented by PLC, the presented method has the advantages of agility, trustiness, strong anti-disturbance disturber of PLC system, and improves the intelligence of the control system. Application indicates that the system has high control precision, high self-adaptive, high anti-disturbance and high robustness characteristics.

Keywords: Fuzzy control; PID; PLC; 4-axis; Synchronization control; Synchronization error gradient

随着现代科学技术和加工制造技术的飞速发展, 加工设备对高精度的液压同步控制技术的需求更为迫切。以线圈液压机为例, 加压平台的4个液压缸在压制过程中应能达到很好的同步控制, 使加压平台在允许的倾斜度范围内工作, 否则可能对线圈造成破坏, 由于线圈的特殊结构, 在压紧过程一旦出现倾斜过大即报废, 造成巨大经济损失。因此, 为严格保持加压平台的平稳, 对不同的干扰必须快速、灵活和准确地做出反映。图1为液压机的控制结构框图。

1 控制方式的选取

在液压机比例伺服系统中, 比例伺服阀的响应频率远高于执行机构的频率, 传统的液压系统控制滞后, 传统的PID控制算法具有结构简单、稳定性好、可靠性高等优点, 但适应性较差, 静态误差大, 且误差变化也大, 不能应用于工程实际。Smith 预估补偿法是解决纯滞后问题的一种有效方法, 但其前提是受控对象的数学模型要精确, 液压系统存在死区, 并有时变性、非线性与模糊不确定性, 很难获得精确数学模型。模糊控制的鲁棒性较好, 对纯滞后及被控对象参数的变化不敏感, 但因控制规则粗糙, 容易在平衡点附近产生振荡现象和稳态误差。

液压同步闭环控制系统的实现方式很多, “同等方式”和“主从方式”是通常采用的2种控制策略。在本系统中采用同等方式, 则要求系统的各执行元件、反馈元件、检测元件及控制元件等性能具有严格的匹配关系, 这显然让机床的成本大大增加, 在应用过程中也容易使4个油缸的位置调节产生震荡, 使加压平台产生摇摆, 不利于实际应用。因此, 本系统采用“一主三从”的控制方式, 以其中一个油缸为基准, 控制其余3个油缸来跟随这一基准, 从而达到调

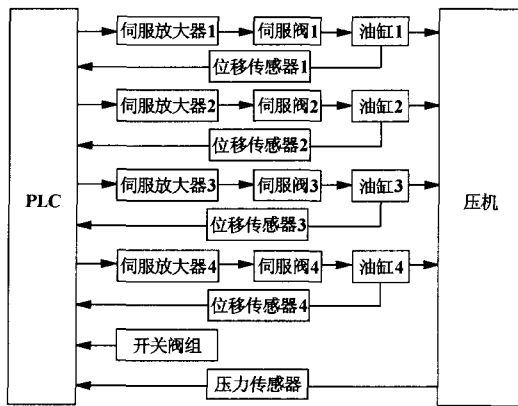


图1 液压机控制结构图

收稿日期: 2007-11-14

作者简介: 李潘伟(1982—), 男, 湖南祁东人, 2004年毕业于合肥工业大学电气与自动化工程学院, 助理工程师。现就职合肥锻压集团技术开发有限公司, 从事液压机床控制系统的研发与应用。E-mail: lpw2222@yahoo.com.cn.

节整个加压平台平稳的目的。该控制方式的主要特点是输出响应的快速性、灵活性和准确性^[1]。

同时，在液压机的四缸同步控制过程中把模糊控制和 PID 控制结合起来，不仅具有较快的响应速度和抗参数变化的鲁棒性，而且可以对系统实现高精度控制。其主要设计思想是，当同步误差较小时采用 PID 控制，消除稳态误差，提高控制精度；当同步误差较大时采用模糊控制，以提高系统的响应速度，加快响应过程；两者的转换由事先程序给定的偏差范围自动实现。

控制规则及依据如下：

若 $|e(t)| > e_{max}$ ，则 $u(t) = u_0$ 。说明同步误差超过最大允许值，应将伺服阀归于中位，停止机器，防止故障发生。

若 $e_{min} < |e(t)| < e_{max}$ ，则 $u(t) = u_{Fuzzy}$ 。说明同步误差过大，采用模糊控制，使系统有较快的响应，尽快减小偏差。

若 $|e(t)| < e_{min}$ ，则 $u(t) = u_{PID}$ 。说明同步误差适中，采用 PID 控制逐步消除稳态误差，可保证系统的控制精度。

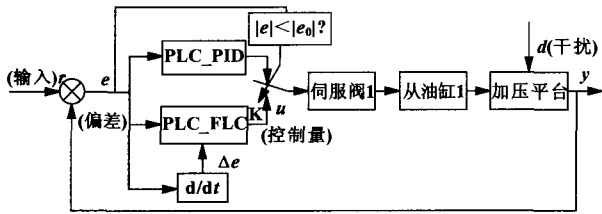


图 2 Fuzzy + PID 控制原理图

Fuzzy + PID 控制原理图如图 2 所示。图中 PID 为比例积分微分调节器，FLC 为二维模糊控制器，K 为控制开关。在本控制系统中 PID 调节器和模糊控制器均通过 PLC 来实现，这样可明显地提高系统的可靠性，获得良好的控制效果^[3-5]。

2 PLC 模糊控制器的设计

图 3 为 PLC 模糊控制器的结构图，图中 e 为同步误差； Δe 为同步误差变化率； r 为输入量； y 为输出量； K_e 、 $K_{\Delta e}$ 分别为同步误差和同步误差变化率的量化因子； K_u 为输出量化因子； E 、 ΔE 为量化后的输入值； U 为模糊控制的输出量； u 为控制量。

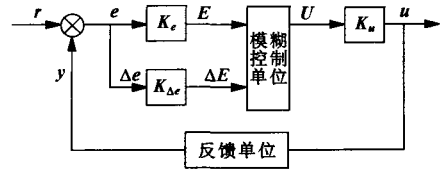


图 3 PLC 模糊控制器的结构图

根据控制目标及经验，设定 E 、 ΔE 、 U 的模糊论域及模糊词集，并可得出如下控制规则：IF E is x AND ΔE is y THEN U is z 。式中 x 、 y 、 z 分别为输入、输出量模糊论域集中的元素。将输入、输出模糊控制论域都划分为： $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$ ， $\{NB, NS, O, PS, PB\}$ ，隶属函数取为三角函数，通过隶属函数可方便地求得输入语言变量的赋值表。利用输入语言变量的赋值表及模糊控制规则，通过合成推理，可得到一个模糊控制查询表，如表 1 所示。

表 1 模糊控制查询表

ΔE	E				
	-2	-1	0	1	2
-2	DB10. DBW0	DB10. DBW2	DB10. DBW4	DB10. DBW6	DB10. DBW8
-1	DB10. DBW10	DB10. DBW12	DB10. DBW14	DB10. DBW16	DB10. DBW18
0	DB10. DBW20	DB10. DBW22	DB10. DBW24	DB10. DBW26	DB10. DBW28
1	DB10. DBW30	DB10. DBW32	DB10. DBW34	DB10. DBW36	DB10. DBW38
2	DB10. DBW40	DB10. DBW42	DB10. DBW44	DB10. DBW46	DB10. DBW48

本系统采用 SIEMENS 公司的 S7-300 PLC 实现控制功能。在系统控制过程中利用高速计数模块进行输入数据的采集，其输出通过模拟量输出模块对执行单元进行控制。为程序处理方便，先将 E 、 EC 模糊论域中的元素分别转换成 $\{0, 2, 4, 6, 8\}$ 和 $\{0, 1, 2, 3, 4\}$ ，并将模糊论域中的对应元素按表 1 的地址分别存入 DB10 中。在查询表查询过程中先将 E 、 EC 相应的转换值置入自定义数据块 DB20 的字单元 DBW2 和 DBW4 中，经过限幅量化处理后，根据它们所对应的输入模糊论域中的对应元素，采用间接寻址查询模糊控制查询表，求得模糊输出量，再乘以输出量化因子即可得到实际输出值。

图 4 模糊控制查询表查询程序

```

Title:
L      #db_no_x
L      P#2.0
*I
T      #Par_Pointer_x
L      #db_no_y
L      P#10.0
*I
T      #Par_Pointer_y
L      #Par_Pointer_x
L      #Par_Pointer_y
+I
T      #Par_Pointer_z
OPN   DB    10
L      DBW [#Par_Pointer_z]
T      #Control_Parameter

```

图 4 PLC 模糊控制查询表查询程序

在全部程序设计中，模糊控制查询表的查询是最为关键的部分，图 4 是实现查询表查询的语句表 (STL) 程序^[2]。

3 PID 控制算法的 PLC 实现

数字 PID 控制在工业控制过程中是一种最普遍采用的控制方法，在本系统中比例伺服阀需要的是控制量 (阀开口) 的变化量，因此采用增量式 PID 控制算法。

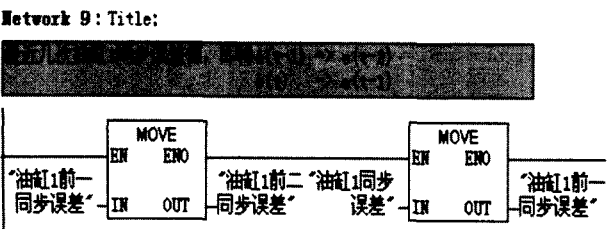
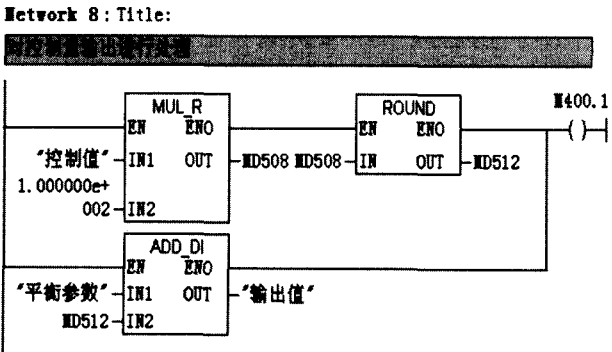
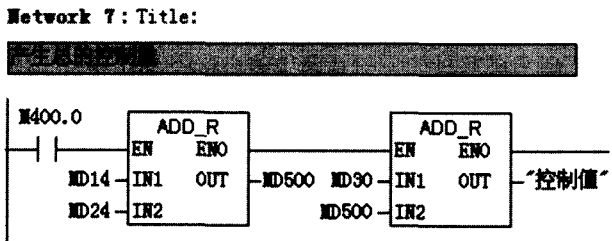
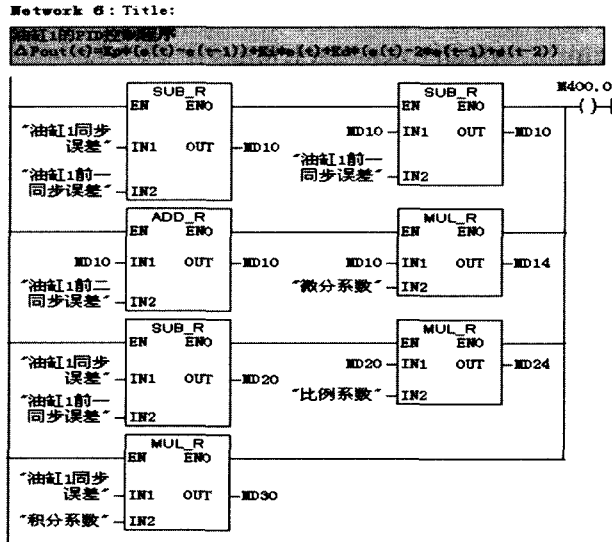


图 5 油缸 1 的 PID 控制程序

增量式 PID 控制计算公式:

$$\Delta P_{out}(k) = K_p(e(k) - e(k-1)) + K_i e(k) + K_d(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2))$$

增量式 PID 控制算法不需要作累加，增量只跟最近的几次采样有关，容易获得较好的控制效果。由于式中无累加，消除了当偏差存在时发生饱和的危险。

增量式 PID 控制在 PLC 的具体实现如下：在 OB35 中实现 PID 控制程序，OB35 是一个以固定时间间隔循环执行的组织块，使用连续的变量输出，将相应的数值转换为控制伺服阀开口的控制值，该值通过模拟量输出模块对执行单元 (比例伺服阀) 进行控制。图 5 是油缸 1 的 PID 控制梯形图 (LAD) 程序，另 2 个油缸与此类同。

4 实际应用

将此系统应用于某变压器公司的线圈压制液压机中，通过切换 PID 和 Fuzzy 功能块的执行输出，有效控制 4 个油缸的同步运行，达到控制机床在倾斜度允许范围内压制线圈的目的。系统利用 SIEMENS 高计数模块对 4 个油缸位置进行采集，通过模拟量输出模块输出调节比例伺服阀的开口的信号。由 PLC 对整个机床进行控制，现场采用 SIEMENS 的 TP270 触摸屏作为人机界面，方便即时修正机床参数。同时 PLC 通过 Profibus DP 与上位机进行信息交换，由上位机进行历史数据记录。

上位机采用 Wincc 组态，详细记录每一个线圈的压制过程。模糊控制和 PID 调节功能由 PLC 实现，二者的切换时机由事先给定的偏差范围自动实现：在大偏差范围采用 Fuzzy 控制，在小偏差范转内转换为 PID 控制。实际运行结果如图 6 所示。

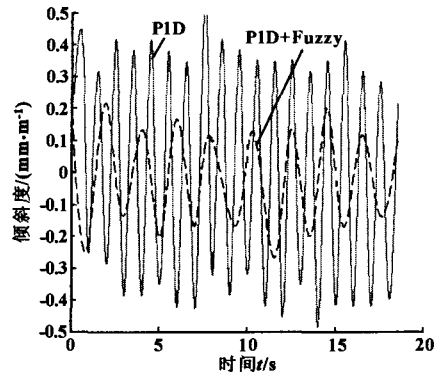


图 6 一般 PID 与 Fuzzy + PID 控制实际效果比较

由图中可以看出：用一般的 PID 控制，加压平台就像摇船似地压制，倾斜度变化太大，不利于对线圈进行均衡压力压制。而用 PID 和模糊控制相结合的控制方法，极大地减小了油缸同步的同步误差，使整个加压平台的倾斜度减小很多，并且在整个压制过程中显得非常平稳，符合线圈压制的要求。

(下转第 298 页)

为 5KR 精密可调电阻, 用来给定速度值, +10V 对应正向 (前进) 最大速度, -10V 对应反向 (后退) 最大速度, 0 对应 0 速。R₁, R₂ 为 5kΩ 精密可调电阻, 用以保护电路, 防止工作电源短路。D1 ~ D6 为二极管, G 为刨台速度主给定端, 接至直流调速器模拟 A 输入端子主给定端, 0 接至直流调速器模拟量输入端子主给定负端及参考地端。

工作台前进: 当工作台自动工作时, 线圈 KAI 动作, 其常开触点闭合; 工作台前进时, KAF 线圈动作, 其常开触点闭合, 通过调速电位计 W₃ 可接通正向给定回路, 在 G 端获得 0 ~ 10V 的模拟量输出, 模拟量的大小通过调节 W₃ 的触头来控制, 直流调速器根据给定模拟量的大小来调节主拖动直流电机的转速。

当工作台前进至触发减速接近开关时, 线圈 KAF, KAI, KAP 均处于得电状态, 其常开触点均闭

合, KAI 和 KAP 的常闭触点断开, 减速给定回路接通, 在 G 端获得 0 电位, G 端输出 0 电位至直流调速器, 主电机随即减速至零再换向。当工作台步进时, KAI 线圈不得电, 其常开触点断开, 通过调速电位计 W₁ 可接通点动给定回路, 在 G 端获得 0 ~ 10V 电压, 输出到直流调速器使工作台获得不同的步进速度。工作台后退时原理也一样。电路还设置了触点互锁, 确保只有有一条回路接通。

3 应用效果

本系统能很好地实现平滑调速和零速换向, 可消除原工作台换向时产生的冲击现象, 能很好地保护电机和传动机构, 大大减少了维护成本和工作量。且调速方便, 精度高, 加减速时间短, 可大大提高工作效率。

直流调速的性能在各方面远远优于原来的直流发电机组调速, 具体参数对比见表 1。

表 1 直流调速系统与直流发电机组性能对比

项目	主传动装机容量	传动效率	调速范围	静差度/%	占地面积	惯性	可靠性	经济性
直流发电机组	5 台电机, 共 365kW	<0.6	1:10	<10	大, 100%	大	差	不经济
直流调速系统	1 台电机, 共 60kW	>0.9	1:35	<3	小, 10%	小	好	经济

4 结束语

采用直流调速系统对现有龙门刨床的电控系统进行了改造, 克服了原控制系统的一系列缺点, 实现了平滑调速和无冲击换向, 节能增效。工程应用证明该方法能充分利用控制器的内部硬件条件和软件功能, 速度调节方便精确, 参数优化效果显著, 且经济实用, 安全可靠, 值得推广应用。

参考文献

[1] 唐军. B210 龙门刨床电控系统的改进 [J]. 工装设

备, 2004, 3: 53 - 55.

[2] 刘永旭, 冯顶尊, 李蒙. 采用全数字调速系统改造龙门刨床 [J]. 机床电器, 2004, 2: 43 - 47.
 [3] 安惠杰, 高玉启. 6RA27 系列直流调速装置在精密龙门刨床上的应用 [J]. 齐齐哈尔轻工学院学报, 2004, 10: 88 - 91.
 [4] 熊雪英, 刘艺. 直流调速控制器 590 + 装置应用解析 [J]. 机械工人, 2005, 12: 23.
 [5] 张弘. 龙门刨床数字式直流调速控制系统的设计和研

(上接第 279 页)

5 结束语

将模糊控制和 PID 控制两者结合起来, 提出了一种复合模糊控制系统, 该系统既具有模糊控制灵活而适应性强的优点, 又具有 PID 控制精度高的特点。

经长期实际运行后证明, 该控制算法既能保证控制的快速性, 又提高了系统的同步控制精度, 并且具有较好的鲁棒性。最终四缸同步运动误差小于 0.50mm, 加压平台倾斜度小于 0.28mm, 完全达到客户不大于 0.50mm 的要求。该系统在某变压器公司线圈压制过程中应用良好, 整个设备运行稳定、可靠,

完全满足设计和实际使用要求。

参考文献

[1] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用 [M]. 机械工业出版社.
 [2] SIMATIC S7-300 和 S7-400 语句表编程. 参考手册.
 [3] 徐本洲, 等. FuzzyPID 控制器在压注机中的应用 [J]. 液压与气动, 2006 (1).
 [4] 黄方平, 等. 变频闭式液动力单元模糊 PID 复合控制 [J]. 液压与气动, 2006 (1).
 [5] 王纪森, 等. 液压系统的模糊 PD 控制 [J]. 机床与液压, 2007, 35 (6).

(上接第 272 页)

[6] 韩立强, 李志宏. 一种改进机构的 Smith 预估器及在轧机 AGC 中的应用 [J]. 河北大学学报: 自然科学版, 2004, 24 (2): 130.

[7] 王炎, 孙一康. 冷连轧模糊控制反馈 AGC 系统的设

计与仿真 [J]. 控制工程, 2002, 9 (5): 42 - 44.

[8] 陈连贵, 杨卫东, 杨斌虎. 基于鲁棒二自由度增益自适应 Smith 预估器的冷轧厚度计型 AGC [J]. 北京科技大学学报, 2007, 29 (6): 632 - 635.
 [9] 连家创, 刘宏民. 板厚板形控制 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1996.