

文章编号: 1005-366X(2001)02-0001-04

模糊控制在现场总线控制系统中的应用

王毅峰, 李令奇

(中国科学院 沈阳自动化研究所五室, 辽宁 沈阳 110003)

摘 要: 介绍了如何把模糊控制算法与现场总线中的 CAN 总线结合起来应用于控制系统, 并设计了一种智能型模糊控制算法, 给出了系统的整体结构和现场模糊控制单元的硬件实现电路及其软件设计思路; 系统的仿真结果表明, 该系统实时性好, 控制精度较高, 鲁棒性强, 在现场控制中有效可行。

关 键 词: 模糊控制; 现场总线; CAN 总线; 数据采集; 控制系统

中图分类号: TP 273+.4 文献标识码: B

1 引 言

近年来, 各企业生产规模的不断扩大, 生产过程控制系统也越来越复杂, 整个系统的非线性增强、时滞增大, 而且不是系统中的每个环节都能建立精确的数学模型, 这就为模糊逻辑控制在生产过程中的应用提供了可能。随着模糊控制的迅速发展和现场总线的出现, 为不需要被控对象的精确数学模型的模糊控制算法, 利用现场总线的强大网络功能实现集中化管理, 而对各个现场部分实现分散控制提供了很好的应用机会。本文介绍了一种基于 CAN 总线的运用模糊控制技术的分布式数据采集与控制系统。

2 CAN 总线的特点

CAN 总线除了具有现场总线都具有的开放性、互可操作性与互用性、系统结构的高度分散性、安装维护简单等特点外, 还具有自身的一些优点。

① CAN 总线以多主方式工作, 网络上任一节点均可在任意时刻主动地向网络上其他节点发送信息, 而不分主从, 通信方式灵活。

② CAN 总线采用非破坏性的基于优先权的总线仲裁技术, 优先级高的最早得到仲裁响应, 优先级低的节点则主动退出发送, 高优先级的数据最多可在 134 μ s 内得到传输。

③ CAN 总线只需通过报文滤波即可实现点

对点、一对多点及全局广播等方式收发数据。

④ CAN 总线目前最多可挂接 110 个节点, 通信速率最高可达 1Mbps, 最远距离可达 10 km。

⑤ CAN 总线采用短帧方式发送数据, 每帧数据长度最多为 8 个字节, 传输时间短, 每帧信息都有 CRC 校验及其他检错措施, 抗干扰能力强, 数据出错率极低。

⑥ 节点在错误严重的情况下具有自动关闭输出功能, 当总线上的某一节点出现错误时, 就会自动关闭与总线的连接, 而不影响其他节点的正常工作。

基于 CAN 总线的高性能、高可靠性、实时性好的特点, 我们设计了一个采用 CAN 总线技术和模糊控制技术的控制系统, 其系统结构如图 1 所示。

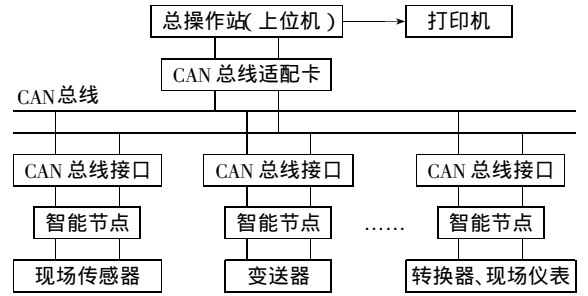


图 1 基于 CAN 总线的控制系统结构图

3 模糊控制器的设计

模糊控制器的设计主要是设定各输入、输出

收稿日期: 2000-09-26

作者简介: 王毅峰(1975-)男, 河南衡阳人, 中国科学院沈阳自动化研究所硕士研究生, 主要从事现场总线模糊控制的研究与应用工作。

变量模糊子集的隶属函数,模糊变量的量化论域,模糊控制规则,输入输出变量的比例变换因子等参数。它需要依据设计者的经验和反复调试才能设计出一个比较理想的模糊控制器。常规模糊控制器的输入是经量化因子将连续信息量化成几个等级后的数据,因为它不能把输入论域无限细分,

只能划分为有限的几个等级,并且由于系统没有积分环节,在系统的平衡点附近容易产生振荡或出现极限环。针对常规模糊控制器不能消除稳态误差,我们设计了一种智能型模糊控制器,其结构图如图 2 所示。

该模糊控制器与常规模糊控制器相比就是在

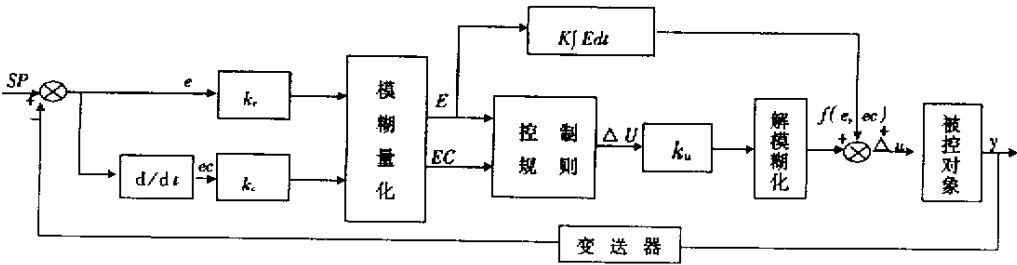


图 2 模糊控制系统结构图

控制规则库上并联了一积分环节以减少或消除系统的稳态误差。引入积分环节的缺点是使系统的响应速度变慢,并且 K 值的选取比较难,过大使系统振荡,过小体现不了积分作用,所以对积分环节只是在某些时刻引入,且 K 值的大小要适中。对此控制器的设计可以根据系统的响应曲线来获得控制规则,为了使系统输出尽快跟踪输入,并使系统误差控制在允许的精度范围内,于是考虑分段引入积分环节:在系统响应曲线从平衡点偏离,即系统误差趋势增大时,引入积分作用;而在系统响应曲线从偏离点趋向平衡点,即误差趋势变小时,取消积分作用。根据此设计思想写成表达式的形式为:

$$\begin{cases} \Delta u = f(e, ec) + K \int E dt & E, EC > 0 \\ & \text{或 } EC = 0, E \neq 0 \\ \Delta u = f(e, ec) & E, EC < 0 \text{ 或 } E = 0 \end{cases}$$

式中, $f(e, ec)$ 为模糊控制规则部分的输出;
 $K \int E dt$ 为积分环节的输出。

该模糊控制器的输入为系统的偏差 e 和偏差变化率 ec , 输出为控制量的增量 Δu ; k_e, k_{ec} 为量化因子, k_u 为比例因子; $E, EC, \Delta U$ 分别为偏差 e 、偏差变化率 ec 和输出控制增量 Δu 的模糊语言变量。输入、输出变量在讨论范围内被划分为正大(PL)、正中(PM)、正小(PS)、零(ZO)、负小(NS)、负中(NM)、负大(NL)共 7 个模糊状态,定义其相应论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0,$

$1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 13 个等级。在充分考虑到控制系统的非线性、大时滞等情况下,根据专家先验知识和现场熟练操作人员总结出来的操作经验,得出的控制规则见表 1。

表 1 模糊控制规则表

EC	E						
	NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
NL	PL	PL	PL	PL	PM	PS	ZO
NM	PL	PL	PM	PM	PS	ZO	ZO
NS	PL	PM	PM	PS	ZO	ZO	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	ZO	ZO	NS	NM	NM	NB
PM	ZO	ZO	NS	NM	NM	NB	NB
PL	ZO	NS	NM	NB	NB	NB	NB

对于输入变量的模糊化可用公式:

$x' = 12 \left[\frac{b-a}{2} x - \frac{(a+b)}{2} \right]$ 来实现,其中 $[a, b]$ 为输入变量的实际变化范围, x 为实际模拟输入量,即把论域 $[a, b]$ 转化为论域 $[-6, +6]$ 。

表 1 的模糊控制规则用 if-then 语句形式可表示为: if E_i and EC_j then U_{ij} , 此控制规则根据 Mamdani 推理法则,可用模糊关系表达式表示为: $\tilde{R} = \bigcup \{E_i \times EC_j \times U_{ij}\}$, 设某时刻的偏差与偏差变化率的模糊值分别为 \tilde{E} 和 \tilde{EC} , 则根据以上的模糊关系进行合成运算得到相应的控制量模糊值 $\Delta \tilde{U} = (\tilde{E} \times \tilde{EC}) \cdot \tilde{R}$; 当遍历所有的控制规则后可得到总的模糊控制规则。

本系统输入模糊变量的隶属函数是采用三角形隶属度函数,输入变量按照上面的推理合成规则求出各相应控制增量输出 ΔU , 再按最大隶属

度原则进行判决,然后根据控制系统在某一时刻的响应曲线趋势来决定是否加入积分环节,最后合并得到相应的控制增量 Δu 。以上算法则经计算机离线进行反复的调试、修改、仿真,可得到模糊控制总表,存放于控制现场智能节点内单片机存储器或上位机内存中。

4 模糊控制算法实现

1) 硬件实现 对于一个大的、复杂的控制系统我们采用了现场总线和模糊控制技术把各个子系统有机的联系起来,实现了集中管理和对各现场实时、有效的控制。其硬件电路如图 3 所示。

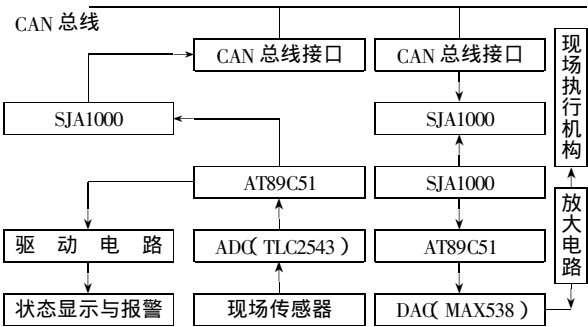


图 3 现场控制单元硬件结构图

现场控制单元以 AT89C51 芯片为核心,它主要负责数据的采集与处理、对现场设备状态的显示与报警和通过 CAN 总线收发数据。其中 SJA1000 为 PHILIPS 公司生产的 CAN 总线微控制器,它符合 CAN2.0B 标准,在该电路中它主要是把从 AT89C51 来的信息以 CAN 总线协议的格式发送到 CAN 总线上以供上位机或其他智能单元使用和从 CAN 总线上接收上位机或其他智能单元的有用信息提供给 AT89C51 作进一步的处理。本系统的 ADC、DAC 转换电路没有做在同一个电路单元上主要是因为一个大系统下的各个子系统之间是有联系的,某一子系统采集到的数据可能正是另一子系统作进一步处理的依据,而不是自

身的需要,同时为了使各智能单元之间数据通信方便、快速,便于上位机管理,所以把两个功能单元设计在不同的电路板上。该硬件电路中还用到了 DC-DC 转换电路和多种光电隔离电路,其主要是为了防止现场干扰信号过大而破坏核心电路;由离线形式计算出的模糊控制规则表可以在 C 语言的环境下直接以矩阵的形式写入芯片的内部程序存储器中,然后以偏差 e 和偏差变化率 ec 的量化值 E 和 EC 为控制增量变量的下标查表,即可直接得到控制增量 Δu ,最后并入积分环节经解模糊化得到控制量 u ,该控制量就可作为有用的信息以供其他单元使用或经 D/A 转换送至执行机构以达到控制现场设备的目的。

2) 软件实现 本控制系统的各智能节点中单片机的内置控制程序是用 C-51 语言编写的,C 语言是一种结构化、模块化的语言,具有编写简洁、移植性等特点。系统软件所实现的功能是:首先采样 n 时刻 A/D 转换输出值,同时计算设定值与反馈值之间的偏差 $e(n)$ 根据本次采样值 $e(n)$ 与上次采样值 $e(n-1)$ 计算得出 n 时刻的偏差变化率 $ec(n)$ 选择合适的量化因子 k_e 和 k_{ec} 由相应的模糊化规则分别得到模糊值 $E(n)$ 和 $EC(n)$ 并分析 $E(n)$ 和 $EC(n)$ 的变化趋势以确定是否加入积分环节,然后根据 $E(n)$ 和 $EC(n)$ 的值直接查程序存储器内的模糊控制总表或进行积分运算得到模糊控制增量,最后对加入或不加入的模糊控制增量采用最大隶属度原则进行模糊判决,选择适当的比例因子 k_u 得到控制增量 Δu ,计算 $\Delta u + u(n-1)$ 的值即为 n 时刻的控制量,该值可通过 CAN 总线发送给其他智能单元进行 D/A 转换后即可控制现场设备或上位机做进一步的处理以协调整个系统各控制单元的正常、有效的运行。智能控制单元在处理以上的任务时,同时还要完成与 CAN 总线数据通信和对现场设备的状态显示与报警。其软件设计流程如图 4 所示。

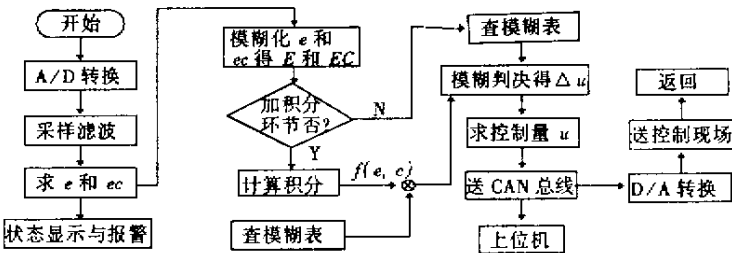


图 4 智能单元模糊控制实现程序框图

5 仿真实验

针对以上描述的模糊控制算法和控制系统设计思想,我们选择某一被控系统做了仿真实验,该被控制系统的传递函数为:

$$G(s) = 10\exp(-s)(s+1)(2s+1)$$

从系统的传递函数可以看出,该系统非线性较强、纯滞后较大($T=1$ s)的特点;其对纯 PID 控制器算法和本论文讨论的模糊控制器算法的阶跃响应曲线如图 5 所示。

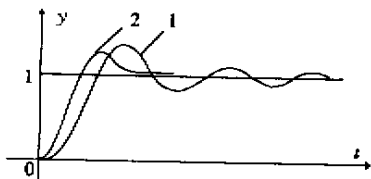


图 5 仿真实验响应曲线

其中曲线 1 是采用纯 PID 控制的系统响应曲线,曲线 2 是采用模糊控制算法的系统响应曲线;从系统控制响应曲线 2 看,由于该模糊控制器采用了纯模糊控制算法和加入积分环节相结合的方案,系统在从开始响应到第一次到达平衡点阶段,误差和误差的变化率都比较大且 E 和 EC 的乘积小于零,所以只有模糊控制的作用,响应曲线到达平衡点的速度快,曲线斜率大,而当曲线继续上升要偏离平衡点时, E 和 EC 的乘积大于零,此时加入积分环节,曲线变化速率变慢,作用到一定程度后曲线又开始向平衡点运动,最后在平衡点附近振动或到达平衡点。与纯 PID 控制器算法相比,它具有算法简洁、响应速度快、无须参数整定等特点,同时因为模糊控制的论域不可能无限细分,所以还存在一定的稳态误差,但本文设计的模糊控制器能很大程度上提高系统的稳态误差,并且如果控制系统的精度要求较高,我们还可以

通过调整模糊控制器中的量化因子 k_e 、 k_c 和比例因子 k_u 来达到提高系统的稳态精度,这样整个控制系统既能达到控制的快速性,同时还可以减少或消除系统稳态误差。从系统仿真结果可得出,对很难建立精确数学模型、有非线性、大时滞特性且控制精度要求不是很高的控制系统,该设计方案是有效、可行的。

6 结 语

模糊控制和现场总线是近些年控制领域向智能化、全面化、快速化方向发展需要而建立起来的两门新技术,把智能控制与现场总线结合起来是以后工程控制中的主要应用方向。从整个控制系统的设计过程和仿真结果来看,系统的硬件结构相对比较简单,软件实现方便,整个系统的开发周期短,控制效果理想,实时性好,控制精度较高,鲁棒性强,具有很高的性能价格比。从而证明该设计方案切实、可行,具有很好的发展和应用前景。

参考文献:

- [1] 何平,王鸿绪. 模糊控制器的设计与应用[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [2] 王毅峰,李令奇. 基于 CAN 总线的分布式数据采集与控制系统[J]. 工业控制计算机,2000,(5):34-38.
- [3] 王俊普. 智能控制[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1996.
- [4] 赵望达,等. 模糊控制在尾砂胶结充填过程控制中的应用[J]. 电子技术应用,2000,26(2):26-28.
- [5] 张颖,等. 模糊控制在现场总线控制系统中的应用[J]. 化工自动化及仪表,2000,27(2):10-12.
- [6] 曾一江. 啤酒发酵温度的模糊控制研究[J]. 计算机自动测量与控制,2000,8(3):30-32.
- [7] 吕其恒,等. 模糊自校正流量控制系统[J]. 自动化与仪器仪表,1999,25(11):28-30.
- [8] 刘泽军,王延明. 真空烧结炉的微机集散模糊控制系统设计[J]. 自动化与仪器仪表,2000,7(2):8-10.

The Use of Fuzzy Control in Field Bus Control System

WANG Yi-feng, LI Ling-qi

(The Fifth Department, Shenyang Institute of Automatic, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110003, China)

Abstract: The paper introduces how to apply fuzzy controller arithmetic and CAN bus of field bus in control system, and presents a kind of intelligent fuzzy controller arithmetic design. The overall architecture of the system, hardware configuration of the field fuzzy controller node and software functions are proposed here. It is indicated through the emulational results that the system has good real-time response, higher control precision and strong robust. It is reliable in practice.

Key words: fuzzy control; field bus; CAN bus; data collection; control system