

PLC 分级递阶智能控制系统的实现与应用

郭宗仁,王志凯,李 琰
(福州大学电气系,福建福州 350002)

摘 要: 为适应现代工业的自动化控制系统向信息化、网络化、智能化过渡,本文提出了新型实用的 PLC 分级递阶智能控制系统的设计思想和方法。初步应用实践表明,该系统的设计思想和方法是可行的,对于目前中、小企业的技术改造具有参考价值。

关键词: 可编程序控制器 (PLC); PLC 网络; 分级递阶智能控制

中图分类号: TM571.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 04-0480-04

The Application and Realization of PLC Hierarchical Intelligent Control System

GUO Zong-ren, WANG Zhi-kai, LI Yan

(Department of Electric Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: In order to adapt to the era of information, network and intelligent of modern industrials, a practical and new designing method of PLC hierarchical control system is proposed in this paper. The initial practice shows that this method is feasible and has a consulting value with the technical reform.

Key words: programmable controller (PLC); PLC network; hierarchical intelligent control

1 引言

可编程序控制器(以下简称 PLC)是以微处理器为基础,综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术发展起来的一种通用的工业自动控制装置。它具有体积小、功能强、程序设计简单、灵活通用、维护方便等一系列的优点,特别是它们的高可靠性和较强的适应恶劣工业环境的能力,更是得到用户的好评。因而在冶金、能源、邮电、电力等领域中得到了越来越广泛的应用,成为现代工业控制的三大支柱(PLC、机器人和 CAD/CAM)之一。但就目前 PLC 的应用水平来看,多数仍是开关量控制,能够形成闭环控制、智能控制的并不多见。造成这种情况的主要原因是:PLC 本身在数据处理、图象显示方面的能力不如计算机,特别是早期的 PLC 通信网络功能不强,难以联网。近年来,上述情况有了很大的改善,但与计算机相比仍显逊色。可是计算机虽有上述的长处,然而用于工业控制时,其可靠性、可维护性及适应恶劣工作环境的能力却大大地不如 PLC。因此,人们就很自然地联想到如果将 PLC 与计算机两者结合在一起,将 PLC 作为现场控制的下位机,将计算机作为 PLC 的上位机,两者之间用通信线路连接起来,进行数据的传输和交换,这样,相辅相成,就可以构成一个功能强大而完整的控制系统,达到了优势互补、取长补短的效果,以形成以 PLC 为基础的多级分布式控制系统^[2,3]。

当前,随着 PLC 控制系统规模的进一步扩大,信息源进一步增多,人们对控制的要求也愈来愈高,再也不能满足于传统的 PLC 控制方式。希望能将自动控制领域中近年来出现的新思想、新策略,如智能控制等也揉进 PLC 控制系统中,进一步提高自动控制的品质,以迎接扑面而来的信息化、网络化、智能化的时代潮流^[1]。为适应这种形势,作者进行了实验和探索,提出了一种新型的、实用的 PLC 分级递阶智能控制系统的设计思想和方法:以分布式 PLC 控制系统为基础,以分级递阶智能控制为指导思想,综合人工智能技术、PLC 通信网络技术。实践表明:这种 PLC 分级递阶智能控制系统的设计思想是可行的,对于当前各企业的技术改造具有很高的参考价值,进一步完善后可推广应用。

2 PLC 分级递阶智能控制系统的结构

PLC 控制系统通常有两种基本的结构形式:集中结构和分布式结构。前者的优点是控制直接、有效性高、便于系统分析和设计;缺点是若控制中心有故障,则整个系统瘫痪,经济性不高。后者是由控制中心连接若干 PLC,每个 PLC 都有各自的控制对象和目标,其优点是局部的故障不至于影响全局,经济性好;缺点是总体控制性能差,全局协调运行较困难。本文提出 PLC 分级递阶控制系统则是吸收了上述两种结构的优

点,采用了针对 FLC 和计算机的各自特点,进行分级分配的设计原则.将系统分为组织级、监控协调级和执行级三级,各个 FLC 既可以独立地工作,又可以通过通信线路与上级,或同级进行通信、交换信息,这种递阶的结构兼有了集中结构和分布结构的优点,因而它的全局与局部控制性能较高,经济性好,运行可靠.其功能结构框图如图 1 所示.

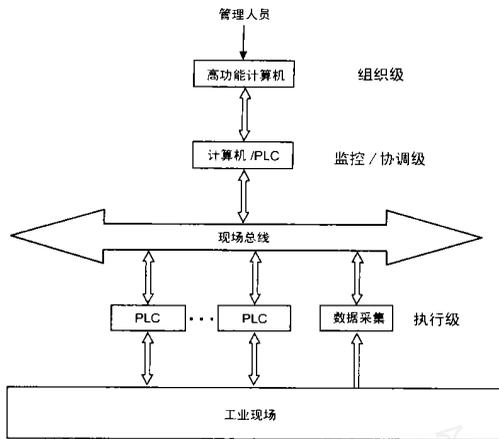


图 1 FLC 分级递阶智能控制功能结构图

该系统是一种实用、可靠、新型的工业控制系统.它可以按照实际的需求,对规模大小、近程或远程进行选择^[2].

系统可以分为三级:

(1) 最高级为组织级 (Organization Level)

该级通过人机接口与管理人员进行友善的人机对话,执行管理决策的职能;对下监视、指导协调级和执行级的所有行为.其智能程度最高,控制精度最低,宜粗不宜细,以便进行宏观指导,它的功能相当于人的思维级.

(2) 中间级为监控/协调级 (Coordination Level)

该级的功能是完成组织级下达的任务或命令,监控和维持执行级中各控制器的正常运行.该级可由计算机、主 FLC 或 FLC 终端构成,它的功能相当于人的感知级.

(3) 最低级为执行级 (Executive Level)

该级负责产生直接的控制信号,通过执行机构(如电机、电磁阀等)作用于被控对象.其智能程度最低,但控制精度最高,它的功能相当于人的行为级.

3 控制算法

现代工业生产中常会碰到控制对象及其工作环境具有大滞后、非线性、不确定性的情况,精确的数学模型不易甚至根本无法建立,用常规的 FLC 控制方式是难以实现有效的控制的,因此采用拟人智能控制的设计思想就成为解决上述难题的有效方法.仅仅由计算机和 FLC 构成的分布式控制系统还不能算是一个智能控制系统,它只是为智能控制提供了一个物理实现的硬件基础.控制系统智能的赋予,还必须借助于具有拟人智能控制特点的分级递阶智能控制算法.该算法是根据人脑的宏观功能模拟与对人的控制行为功能模拟相结合的原理而实现的,直接从有经验的操作人员的经验、决策行为出

发而设计的.整个控制算法分两部分叙述:

3.1 多模式的控制算法^[4]

$$U = GV$$

$$\text{即} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1m} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & g_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix}$$

式中 $U = [u_1 u_2 \dots u_n]^T$ 为控制向量,

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1m} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & g_{nm} \end{bmatrix} \text{为控制提取矩阵, } V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix} \text{为控制基元向量.}$$

对于多模式控制策略往往是由一些常用的控制基元所组成的如:比例、微分、积分、维持等,即: $v_1: k_p e$ 为比例控制, k_p 为比例系数, e 为偏差(以下皆同); $v_2: k_d e$ 为微分控制, k_d 为微分系数; $v_3: k_i \int e \cdot dt$ 为积分控制, k_i 为积分系数; $v_4: u_H$ 为维持控制, u_H 为输出保持上一拍的值; $v_5: \pm u_{max}$ 为 bang-bang 控制, u_{max} 为最大控制量.

因此,适当的选取 G 和 V ,就可以获得各种形式的控制模式,在 FLC 之上的上位机可以接受组织级的命令,依据检测的现场信息,进行适当的调整.

在组织级的计算机中建立有知识库 $H^{[5]}$, H 中的控制知识组成的集合为:

$$H = \{ h_i | h_i \dots h_i \},$$

特征信息空间 ϕ 为:

$$\phi = [\phi_i], i = 1, 2, \dots, r$$

H 是根据特征信息空间 ϕ 及数据库有关数据建立起来的,这个过程实际上就是根据检测特征信息空间 ϕ 到 H 的映射:

$$: \phi \rightarrow H, i \rightarrow h_i$$

其中,定量映射: $w: h_i = f_i(\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_r)$. 式中, f_i 为某个确定的函数

定性映射:

$$w: f \text{ IF } \langle \text{条件} \rangle \text{ THEN } \langle \text{操作} \rangle$$

3.2 分级递阶智能控制算法

按照上节所述,系统分为组织级、监控/协调级和执行级,其功能框图可用图 2 表示.

例:为了便于叙述,设系统分为 Bang-Bang 控制、模糊控制和 PID 控制,其算法的相平面图如图 3 所示.

则控制算法描述如下:

Rule1: IF $|e(t)| > e_{max}$ OR $|e(t)| > e_{max} / \text{THEN} / \text{Bang-Bang 控制}$

Rule2: IF $|e(t)| < e_{min}$ AND $|e(t)| < e_{min} / \text{THEN} / \text{PID 控}$

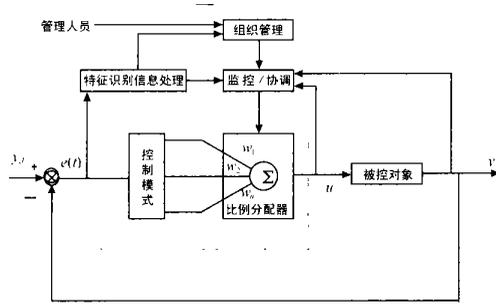


图2 HLC 分级递阶智能控制功能框图

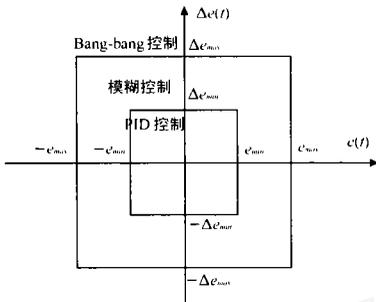


图3 控制算法的相平面图

制]

Rule3: IF [$e_{min} < |e(t)| < e_{max}$ AND $|e(t)| < e_{max}$] OR [$e_{min} < |e(t)| < e_{max}$ AND $|e(t)| < e_{max}$] THEN / 模糊控制 /

图2中的比例分配器,可以接受上位协调/监控级的指令,对控制策略进行调整分配比例 w_i ,即分级递阶智能控制的

输出控制为: $u = \sum_{i=1}^n u_i \times w_i$.

4 实例

福建某木材加工厂原采用的是传统的单机 PLC 控制系统,使用的是日本东芝老式淘汰产品,其产品配件在市场上已难以寻到,故障率高、智能化程度低,严重影响生产的正常进行.现改用分级递阶智能控制,重新设计,对该厂的控制进行了较彻底的改造.经改造后,生产效率、产品质量均大大提高了,社会效益、经济效益十分显著.

4.1 系统基本组成

现代化的木材加工是一个连续的自动化程度较高的系统,生产线前后相连,处理参数较多,最多时开关量可达近千个,模拟量达近百个.系统按照针对 PLC 和计算机的各自特点,进行分级分配的设计原则.系统共分为三级,最高级为组织管理级,以组织管理为主并兼有在线编程、数据处理的功能.包括有知识库、数据库、在线学习以及用于生产管理各种软件.采用 20 寸的大屏幕显示,必要时还可以投影,以供管理人员使用.控制系统的中间级为监控/协调级,采用的是 OMRON NT20M 可编程终端 (Programmable Terminals).控制命令可通过触摸式屏幕开关直接下达于 PLC.最下一级为执行级,由若干台带有通信模块的 C200H PLC 组网构成.它们之间的信息和数据传输可通过光纤或带屏蔽的双绞线进行.

4.2 通信接口的设计

C 系列的 C200H 配有 HOST LINK 通信模块,对上可与计算机通信,进行组网链接;对下可以通过 RS-232C,RS-442,RS-485 光缆实现近程或远程的通信,实现了对生产线的各个监控点的监控.本例中因链接的 PLC 不多,仅两台,故采用“轮询”式的工作方式,依次对链接的各 PLC 进行数据传输.上位机对来自现场的数据经特征识别、分析判断后,针对不同的状态,再经通信口给下级下达控制命令.操作人员还可经 PLC 终端对 PLC 的工作进行可视性监控,通过触摸屏开关下达命令.因此整个系统运行的正常与否和通信口的设计关系极大.整个系统的硬件连接如图 4 所示.

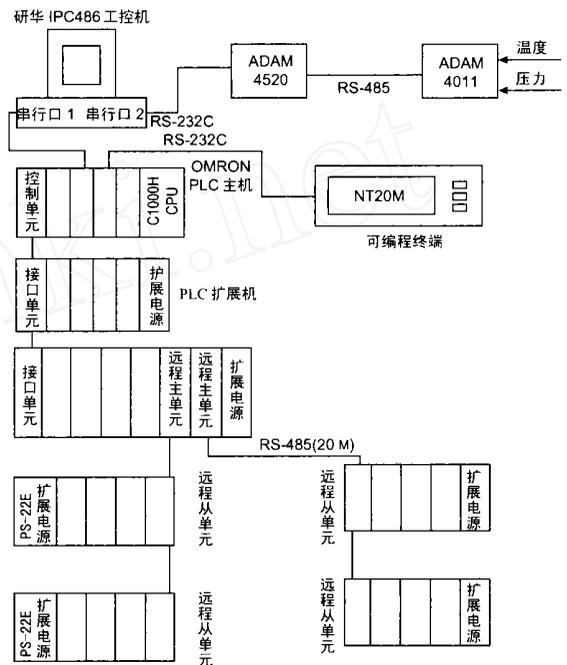


图4 硬件组成图

为保证通信畅通可靠,在编制通信程序时应注意如下几点:

- (1) 波特率的设定应与 HOST LINK 单元的 SW3 的设置保持一致;
- (2) 以指令格式形成通信指令帧;
- (3) 为保证传输可靠,对指令帧每一字符进行“异或”逻辑运算,形成通信指令检验的 FCS 码;
- (4) 对由 HOST LINK 单元返回的相应帧在判读其相应为“00”后进行处理,若 FCS 校验错或相应码不为“00”时,显示错误信息,重新发送指令.

4.3 控制算法

对于 PLC 开关量的控制,通常可采用梯形图进行编程.对于模拟量的控制,利用 PLC 机内的 PID 模块来完成.对于不定量的处理,采用智能控制的方法,即多模式的智能算法.其分级递阶智能控制算法的相平面图如图 3 所示.

按照图 3,系统可以有三个控制模块:

- (1) 当系统偏差很大时,采用 bang-bang 控制,控制量最大,尽快减小偏差;

(2) 当偏差在设定点附近小范围内, 则采用 PID 控制. 此时, 控制量基本维持不变, PID 参数只要满足不同工况下系统稳定性的要求即可;

(3) 处于上述两者之间, 即偏差 $e(t)$ 、偏差变化量 $\dot{e}(t)$ 较大时, 选用模糊控制, 即按照操作者的经验执行.

显然, 这三个模块的工作都是在上位机的监控下相互切换的. 对于 FLC 而言, 由于产生式规则库结构简单、易于修改, 容易实现. 对于高级的算法, 特别是在线的学习算法, 则由 FLC 的上位计算机承担. 由于该系统充分的利用了 FLC 和计算机的特长, 取长补短, 并考虑到操作工人的控制行为知识, 因而适应性较强, 可以充分满足实际生产的需要. 此外, 由于简单的规则库是利用了事实知识构成的, 无相交集, 在任何情况下都有唯一的规则所对应, 并触发三个模块中的一块. 至于控制量的分配, 可通过专家系统模糊推理, 按实际 $e(t)$ 和 $\dot{e}(t)$ 来分配, 即 $w_i (i=1, 2, 3)$ 的值在 0 至 1 之间进行选择.

若按照上述的算法设计成一个高水平的控制程序, 还应注意如下几点:

(1) 三个区域的划分, 应依据各工段的工艺知识和实际人工操作的经验而定;

(2) 任何情况下, 只唯一的针对着某一相应的区域;

(3) 切换时要尽量作到无扰动或少扰动(只要把扰动控制在容许的范围内即可);

(4) w_i 的选择可根据上位计算机的模糊推理按实际情况而定;

(5) 模糊推理表须经实际较长时间试运行后而定, 一旦确定下来后, 可由上位机向 FLC 进行下载, 形成 FLC 规则库中的一部分. 这样的规则既可以反映出模糊控制的特点, 又可以反映出人工操作的行为, 有较高的适应性;

(6) 温度、压力数据的处理, 直接关系到木材加工的质量. 众所周知, 对于这样的复杂关系和过程一味的追求它的精确的数学模型是不合理的, 也是难以成功的. 在实践中, 我们发现, 可以根据系统的外部特性, 根据生产过程中积累的经验、按照调试过程中收集的历史数据信息和曲线如图 5 所示, 经过优化、筛选后形成理想曲线如图 6 所示.

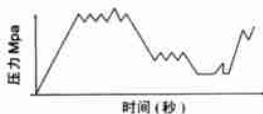


图 5 实时压力曲线



图 6 理想压力曲线

将此理想曲线与来自于现场的实时数据信息进行比较, 从而决定采用什么样的控制策略. 实践表明: 采用这种有参考模型的多模态控制方法, 简单而十分有效. 通过编程, 在上位机上交替显示实时和理想的曲线, 可使操作人员一目了然地检测出当前实时曲线是否正常. 在机内以 40ms 为一周期循环检测比较, 若超过阈值, 自动修正. 若出现意外, 情况严重就自动报警人工干预.

5 结论

本文介绍了一种新型、实用的 FLC 控制系统, 这种系统的

设计, 运用了拟人的智能控制的新思想. 它可以使目前在工业自动化控制领域中广泛使用的计算机和 PLC 克服各自的短处, 发挥各自的长处, 真正地实现了智能控制. 成功的应用实践表明, 这种设计思想和方法是正确可行的, 它不仅对木材加工业, 而且对其它行业的自动化控制系统的设计都具有很高的参考和推广应用价值.

参考文献:

- [1] 钟义信. 中华科技的新崛起(序) [A]. 中国人工智能学会第 9 届全国学术会议论文集 [C]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [2] 郭宗仁, 等. 可编程控制器及其通信网络技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.
- [3] 郭宗仁, 等. 胶合板生产的分布式控制系统的研究与实现 [A]. 95 '中国智能自动化学术会议论文集 [C]. 天津: 中国自动化学会, 1995. 1155.
- [4] 袁南儿, 等. 计算机新型控制策略及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [5] Guo Zongren, Deng Yuping. On Intelligent Design of Servo System [A]. Proceedings of the 1997 IEEE International Conference On Intelligent Processing Systems [C]. 北京: 万国学术出版社, 1997.
- [6] 郭宗仁, 王志凯, 余占兴, 李琰. 基于 FLC 网络的分布式监控系统及其在电力系统中的应用 [J]. 福州大学学报(自然科学版), 2002, 30(2): 211 - 215.
- [7] 郭宗仁, 林礼清, 张树君. FLC 在大型水电枢纽工程三级船闸控制系统中的应用 [J]. 福州大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 59 - 62.
- [8] 郭宗仁, 陈硕. 基于 FLC 分级递阶分布式控制的无速度传感器矢量控制调速系统 [J]. 制造业自动化, 2002, 24(2): 7 - 10.

作者简介:



郭宗仁

郭宗仁 男, 1944 年生于江苏南京, 1967 年毕业于北京邮电学院无线电系, 毕业后曾分别在清华大学自动化系和南京大学计算机系进修, 90 年作为公派访问学者赴俄罗斯乌德莫尔梯国立大学一年. 现任福州大学电气系副教授, 硕士生导师, 曾在国内外正式刊物上发表论文 20 余篇, 专著两本, 省产、学、研项目两项, 研究方向为智能自动化.



王志凯

王志凯 男, 1976 年生于山东济南, 1999 年毕业于山东工业大学, 现为福州大学电气系研究生, 研究方向为智能自动化, 在正式刊物共发表论文 8 篇, 参加了“可编程控制器的应用系统设计及通信网络技术”一书的编写工作, 参加省产、学、研项目一项.