

基于 LONWORKS 现场总线的 自整定 PID 控制系统

王亚刚, 郑德忠, 戴自祥, 邵惠鹤

(上海交通大学 自动化研究所, 上海 200030)

摘要: 将 PID 自整定技术和现场总线技术有机地结合起来, 实现了基于 LONWORKS 现场总线的 PID 自整定系统。自整定系统由两层组成, 上层为 PC 计算机, 下层为一个智能节点。它们之间通过 LONWORKS 现场总线进行通信。PC 计算机给操作人员提供一个良好的人机界面, 同时控制着整个 PID 参数自整定的过程。实验证明了该自整定系统的适用性和有效性, 必将在工业过程控制中得到广泛的应用。

关键词: PID 控制, 继电器反馈, 自整定, 现场总线

中图分类号: TP273, TP214+.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-393X(2000)03-0032-05

1 前言

在工业过程控制中, 95% 以上的控制回路具有 PID 结构。PID 控制器被广泛应用主要是因为其结构简单、在实际中容易被理解和实现, 而且许多高级控制都是以 PID 控制为基础的。但 PID 参数的整定一般需要经验丰富的工程技术人员来完成, 既耗时又耗力, 加之实际系统千差万别, 又有滞后、非线性等因素, 使 PID 参数的整定有一定的难度, 致使许多 PID 控制器没能整定得很好, 为此人们提出了自整定 PID 控制器。

Astrom 和 Hagglund 提出了一种基于继电器反馈的整定方法^[1]。这种整定方法的主要优点是整定过程是在闭环中进行的, 系统仍然运行在工作点附近, 这样既不影响系统的正常运行, 又可以克服系统非线性对参数整定的影响。随后许多改进的和扩展的继电器反馈实验方法相继被提出。作者在文献^[2]中给出了一种基于继电器反馈的二阶加纯滞后模型的辨识方法, 基于辨识出的模型, 又提出了多种控制器的整定方法^[2~5]。

现场总线技术的兴起, 改变了控制系统的结构, 使其向着网络化的方向发展, 形成了控制网络。由于现场总线技术适应了控制系统向智能化、网络化、分散化发展的趋势, 因而显示出强大的生命力, 成为控制领域的热点技术。本文将 PID 自整定技术和现场总线技术有机地结合起

来, 实现了基于 LONWORKS 现场总线的 PID 自整定系统。

2 自整定系统的硬件结构

自整定系统由两层组成, 上层为 PC 计算机, 下层为一个智能节点。它们之间通过 LONWORKS 现场总线进行通信。硬件结构框图如图 1 所示。

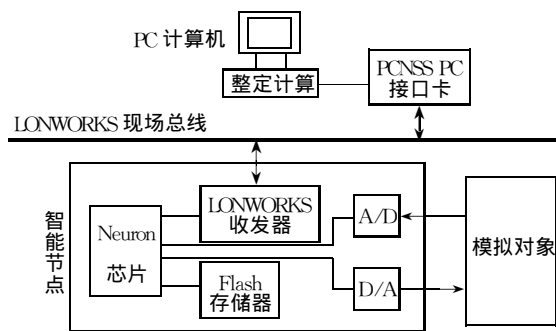


图 1 自整定系统的硬件结构框图

PC 计算机给操作人员提供一个良好的人机界面, 同时控制着整个 PID 参数自整定的过程。PC 计算机通过 PCNSS PC 接口卡与 LONWORKS 现场总线相连, 通过现场总线从下层的智能节点得到过程对象的辨识数据, 然后基于一些整定算法进行 PID 参数的计算, 最后将计算结果通过现

场总线下载到智能节点上来实现 PID 控制。

智能节点采用美国生产的 Smart Controls 节点, 它包括 Neuron 芯片、外部存储器 Flash、A/D 和 D/A 以及 LONWORKS 收发器。

Neuron 芯片是由美国 Echelon 公司在 90 年代初研制, 美国 Motorola 公司和日本 Toshiba 公司生产销售的一种集网络通信、应用程序处理和多种 I/O 模式于一体的高级 VLSI 器件, 被有关专家视为第三代单片机。芯片固件包含基于 ISO/OSI 七层网络协议的 LonTalk 协议, 由内含的三个 CPU 协同完成。其中 CPU1 为介质访问处理器, 控制 LonTalk 七层网络协议中的层 1 和层 2, 包括驱动通信子系统硬件和执行冲突避让算法。CPU2 为网络处理器, 实现网络协议中的层 3 到层 6, 即控制网络变量进程、编址、处理事项进程、报文鉴定、软件定时器、网络管理器和路由确定功能。CPU3 为应用处理器, 实现网络协议中的层 7, 执行用户代码和用户代码调用的操作系统的服务。

存储器 Flash 为 16 k 字节的片外非易失性存储器, 用来存放用户的程序代码。

LONWORKS 收发器是智能节点与 LONWORKS 网络之间的接口。Echelon 公司提供多种通信介质的收发器模块。包括双绞线收发器、电源线收发器、电力线收发器、无线收发器和光纤收发器。这里我们采用双绞线收发器。

A/D 和 D/A 是 10 位数模、模数转换器, 用于智能节点同外部的物理对象进行连接。

智能节点主要完成的功能包括: 基于继电器反馈的辨识实验, 将辨识结果通过 LONWORKS 总线送到上层的 PC 计算机, 执行常规的 PID 控制, 控制器的参数由上层的 PC 计算机确定。

3 软件的实现

3.1 智能节点的软件实现

PID 的结构为:

$$U = K_p(bY_{sp} - Y) + \frac{K_i}{s}E + \frac{K_d s}{1 + sT_d/N}(cY_{sp} - Y) \quad (1)$$

式中:

Y_{sp} —— 给定值;

Y —— 过程输出;

$E = Y_{sp} - Y$;

K_p —— 比例增益;

K_i —— 积分增益;

K_d —— 微分增益;

T_d —— 微分时间常数;

N —— 微分系数, 用来抑制微分环节的高频增益;

b 和 c —— 加权系数, 取值范围为 0~1, b 可以用来减小给定值改变时输出响应的超调量, b 值越小, 超调量越小, 而 c 值一般取为零, 这样可以避免给定值改变时控制量的突变。

PID 控制的数字实现为:

$$\Delta u_p(k) = K_p[(by_{sp}(k) - y(k)) - (by_{sp}(k-1) - y(k-1))] = K_p[(by_{sp}(k) - y_{sp}(k-1)) - (y(k) - y(k-1))] \quad (2)$$

$$\Delta u_i(k) = K_i T_d \Delta(k) \quad (3)$$

$$u_d(k) = \frac{T_d}{NT + T_d} [u_d(k-1) + K_p N(\Delta(k) - \Delta(k-1))] \quad (4)$$

$$\Delta u_d(k) = u_d(k) - u_d(k-1) \quad (5)$$

$$\Delta u(k) = \Delta u_p(k) + \Delta u_i(k) + \Delta u_d(k) \quad (6)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (7)$$

继电器反馈实验的数字实现:

$$u(k) = u_0 + d \quad \Delta(k) > 0 \quad (8)$$

$$u(k) = u_0 - d \quad \Delta(k) < 0 \quad (9)$$

包含积分环节的继电器反馈实验的数字实现:

$$u(k) = u(k-1) + d * T \quad \Delta(k) > 0 \quad (10)$$

$$u(k) = u(k-1) - d * T \quad \Delta(k) < 0 \quad (11)$$

式中:

u_0 —— 系统在稳定状态时的控制量;

d —— 继电器特性的幅值;

T —— 采样周期。

Neuron 芯片的任务的调度是事件驱动的 (Event Driven)。当一个给定的条件变为真 (TRUE) 时, 与该条件相关联的一段代码被执行。事件的类型有输入管脚状态的改变、接收一个网络变量的新值或计时器的终止等。智能节点所要完成的任务是继电器反馈实验和 PID 控制器, 程序框图如图 2 所示。

从图 2 中可以看出, 智能节点有五种运行状态, 它们由上层的参数整定计算机通过一个网络变量来控制。继电器实验辨识得到的数据是通过相应的网络变量传送到上层计算机, 而 PID 控制算法所需的参数也是通过网络变量由上层计算机给定。

3.2 整定计算机软件的实现

上层计算机的参数整定软件是在 Wonderware 公司的 InTouch 监控软件平台上实现的,既实现了良好的人机界面,又计算出 PID 参数。InTouch 是用于建立人机接口的一种软件包。该软件包由 WindowMaker 和 WindowViewer 两大部分组成。WindowMaker 为开发环境,它的功能是建立动画显示窗口。通过它提供的工具箱可以方便地建立实时趋势图、历史趋势图和报警记录显示。WindowViewer 是用于显示 WindowMaker 中建立的图形窗口的运行环境。

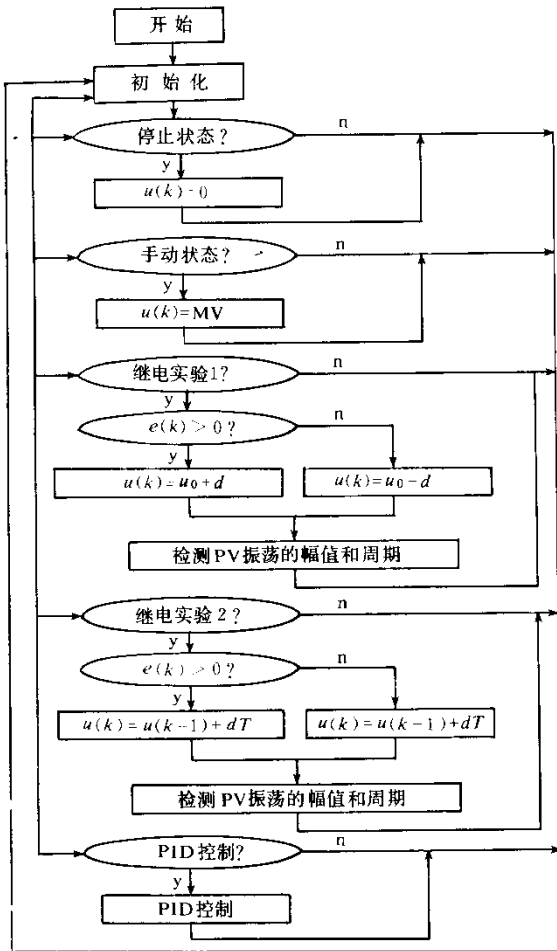


图 2 智能节点的程序框图

注: MV —— 手动给定的控制量; PV —— 过程的输出量

使用 InTouch 软件,只需先建立一个标记名字典,标记名的值需要通过动态数据交换(DDE)从其它应用程序中获得。InTouch 只需在标记名字典中指明标记名为 DDE 特性,同时指定应用程序的服务名和话题名,WindowViewer 自动执行获取与维护数据点值所需的全部动作。

DDE 是进程之间的通讯机制,它使用 Windows 消息和共享的内存,使相互合作的应用程序能够交换数据。DDE 中潜在着一种协议,发送应用程序和接收应用程序在交换数据时必须遵守这种协议。一般来说,数据的提供者就是 DDE 服务程序,而数据的接收者就是 DDE 的客户程序。在这里,InTouch 应用程序为 DDE 客户程序, LonManager DDE 服务程序为服务程序。LonManager 服务程序在 LONWORKS 网络 Windows 客户程序之间交换网络变量数据,它们之间的连接框图如图 3 所示。

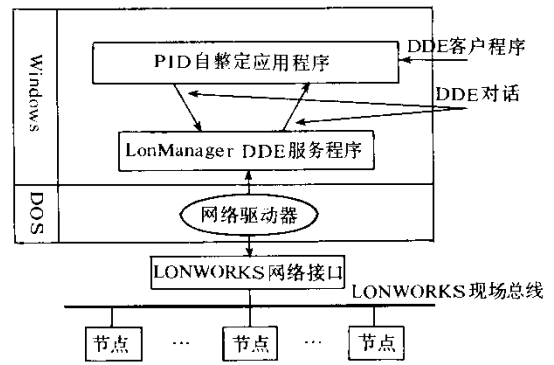


图 3 DDE 服务程序和客户程序以及 LONWORKS 网络的连接机制

DDE 服务程序使用一个三级的分极体制“服务名、话题名和项目名”来唯一地识别服务程序可以在会话中进行交换的数据单位。服务名是当客户应用程序想要与服务程序建立会话时,服务程序需要响应的字符串。客户应用程序必须指明这个服务名,才能与服务器应用程序建立会话。话题名是用以识别逻辑数据关联的字符串。对于基于文件的文本操作的服务器应用程序,话题名一般就是文件名,对于其它服务器应用程序来说,话题名是应用程序指定的其它字符串。客户应用程序要与服务器应用程序建立会话,必须在指明服务器应用程序的服务名的同时,指明话题名。项目名是一个字符串,用于标识服务器应用程序一次交互可以传给客户应用程序的数据单位。例如,一个项目名指的可以是一个数或一个字符串。

对于 LonManager DDE 服务程序,服务名是 Lmsrvrl,话题名是 Netvar,项目名则是上层的整定计算机需同智能节点交换数据的网络变量名。

基于 InTouch 的客户应用程序通过 LonManager 服务程序控制着智能节点的运作,如运行模

式的控制, 给定值的改变等, 同时也从智能节点得到所需要的现场数据, 如过程对象的输入和输出数据、智能节点对过程对象的辨识数据。客户应用程序既完成了实时的图形显示, 给操作人员提供了良好的人机界面, 同时又基于辨识数据进行 PID 参数的计算, 并将计算结果再通过 LonManager 服务程序送给智能节点。

应用程序控制着智能节点的四种工作状态, 停止 (STOP)、手动 (MAN)、整定 (TUNING) 和 PID 控制, 其中在整定状态中, 可以是一个继电器实验, 也可以是两个继电器实验, 这决定于整定方法的选择。本软件提供了八种整定方法, 其中整定方法 Ziegler-Nichols PI/PID 和 Astrom-Hagglund PID 参见文献 [1, 7], 整定方法 Wang Adam PI/PID 参见文献 [5], 整定方法 Gain-Phase Margin PID 参见文献 [3], 整定方法 Robust Optimal PI 参见文献 [2, 4], 整定方法 Sensitivity Optimal PI 参见文献 [6]。整定方法 1, 2, 3 只需要继电器实验 1 的辨识数据, 整定方法 4, 5 只需要继电器实验 2 的辨识数据, 而整定方法 6, 7, 8 需要两个继电器实验的辨识数据。

整定系统最初处于停止状态, 首先按下 MAN 按钮, 切换到手动状态, 人工给定控制量 MV 使过程输出达到某个稳定值。按下 Tuning Method 按钮选择用户需要的整定方法。按下 TUNING 按钮, 进入整定状态, 应用程序会根据选择的整定方法自动确定智能节点的继电器实验。当继电器实验结束后, 应用程序从智能节点得到辨识数据, 然后根据用户选择的整定方法进行 PID 参数的计算, 将计算得到的参数送给智能节点, 同时自动进入 PID 控制状态。当系统在运行过程中, 过程对象的参数可能发生变化, 这时系统的控制效果会变差, 需要重新整定控制器的参数。如果系统仍然工作在稳定状态, 则只需按动整定按钮 (TUNING), 则系统会自动完成新的整定任务。如果系统已经工作不稳定, 则要切换到手动状态 (MAN), 待系统稳定后再进行系统的自整定工作。

4 运行结果

采用一个模拟计算机装置来模拟一个实际的过程对象, 这里我们用模拟计算机装置构成一个三阶加纯滞后系统。选择整定方法 2, 即经典的 Ziegler-Nichols 整定方法, 这种整定方法只需要典

型的继电器反馈实验进行辨识。这样系统在整定过程中的继电器反馈实验以及整定后的 PID 控制器作用在过程对象上的给定值变化输出响应曲线如图 4 所示。

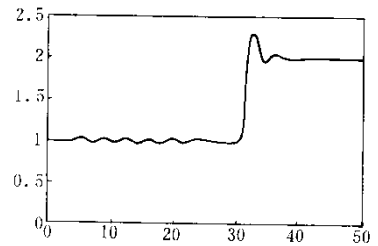


图 4 自整定系统的整定过程及过程响应曲线

在图 4 所示的曲线中, 前半部分为继电器反馈实验的曲线, 整定过程结束后自动进入 PID 控制, 后半部分为给定值发生变化后的响应曲线。从图 4 的曲线中可以看出, 在整定过程中, 过程输出只是在工作点附近小幅度地波动, 而且波动幅度可以通过继电器幅值调节, 基本不影响系统的正常工作。从响应曲线中可以看出, 采用 Ziegler-Nichols 方法整定的系统控制效果较差, 如超调较大, 衰减率较低。如果选择方法 7, 即最优 PI 控制器整定方法, 系统整定过程需要两个连续的继电器反馈实验, 从而辨识出一个二阶加纯滞后模型, 然后基于这个模型整定 PI 参数。整定过程及过程响应曲线如图 5 所示, 从响应曲线中可以看出整定后的最优 PI 控制器给出了较好的控制效果, 优于图 4 所示的 Ziegler-Nichols 整定方法。

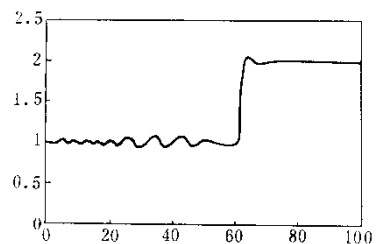


图 5 自整定系统的整定过程及过程响应曲线

5 结束语

现场总线控制系统 (FCS) 改变了 DCS 的控制结构, 把控制算法集成在智能仪表中。在 FCS 中, 无论是计算机工作站还是现场智能仪表, 都被看成是系统中的节点, 不同的节点执行不同的功能。FCS 的控制功能完全分散到现场的智能仪表中, 智能仪表可以在生产现场执行对生产过程的

控制。因此,一方面即使计算机发生故障,控制系统也不会“瘫痪”;另一方面,工作站和智能仪表之间通过控制网络进行数字化通信。除了能够完成组态与管理功能外,还可以在必要的时候对生产过程按复杂的高级控制计算结果进行控制和对智能仪表进行参数整定。PID控制是工业过程控制的基本单元,而它的参数自整定是现场倍受欢迎的技术。本文将PID自整定技术和现场总线技术有机地结合起来,实现了基于LONWORKS现场总线的PID自整定系统,实验证明了该自整定系统的适用性和有效性,必将在工业过程控制中得到广泛的应用。

参 考 文 献

[1] Astrom, K. J., Hagglund, T. Automatic Tuning of Simple Regu-

lators with Specifications on Phase and Amplitude Margins[J]. Automatica, 1984, 20(5): 645-651.

[2] Wang, Y. G., Shao, H. H. Optimal Tuning for PI Controller [J]. Automatica, 2000, 36(1).

[3] Wang, Y. G., Shao, H. H. PID Autotuner Based on Gain and Phase Margin Specifications [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1999, 38(8): 3007-3012.

[4] Wang, Y. G., Shao, H. H. Automatic Tuning of Optimal PI Controllers [D]. Phoenix, USA. :38th IEEE Conference on Decision and Control, 1999.

[5] Wang, Y. G., Shao, H. H. Modified Automatic Tuning of PI/D Controllers Based on Phase and Amplitude Margin Specifications [D]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 1999, 12.

[6] 王亚刚, 邵惠鹤. 一种基于灵敏度的自整定最优PI控制器 [J]. 自动化学报.

[7] Ziegler J. G., N. B. Nichols. Optimum Settings for Automatic Controllers [J]. Trans. ASME, 1942, 64: 759-768.

PID Autotuning System Based on LONWORKS Fieldbus

WANG Ya-gang, ZHENG De-zhong, DAI Zi-xiang, SHAO Hui-he

(Research Institute of Automation, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: In this paper, PID autotuning technique is combined with fieldbus technique, thus an autotuning system based on LONWORKS fieldbus is implemented. The autotuning system includes two levels, the upper level is a PC with Windows, the lower level is an intelligent node. The two levels communicate via LONWORKS fieldbus network. The upper computer not only provides good user interface, but also control the whole procedure of PID tuning. Experiments show the effectiveness and flexibility of the PID autotuning system which can be popular in the process industry.

Key words: PID control; relay feedback; autotuning; fieldbus