

文章编号:1001-9081(2007)04-1003-03

基于专家 PID 控制和 COM 技术的计算机分布式温压测控系统

李 可¹,张继华²,刘旺开¹,王 浚¹

(1. 北京航空航天大学 航空科学与工程学院,北京 100083;

2. 中国白城兵器试验中心 火炮站,吉林 白城 137001)

(like@buaa.edu.cn)

摘 要:结合对温度、压力实验设备的高温、低温及低气压等试验要求,设计并实现了计算机分布式(DCS)的温度、压力控制系统。利用 COM 技术构建了整个测控系统的软件。为了解决系统超调与响应速度之间的矛盾,以达到更好的控制效果,在经典 PID 调节的基础上,提出采用专家控制策略控制环境模拟舱内的温度,并对其控制效果进行了仿真研究。仿真结果与现场运行调试结果均表明:专家控制方法具有无超调、响应速度快、稳态精度高、加热效率明显的优点,是可行和有效的,对以计算机为核心的温压控制系统具有借鉴意义。

关键词:专家控制;分布式控制系统;COM;PID;

中图分类号:TP39;TP273+.5 **文献标识码:**A

Distributed temperature-pressure measurement and control system based on expert PID control theory and COM technology

LI Ke¹, ZHANG Ji-hua², LIU Wang-kai¹, WANG Jun¹

(1. School of Aeronautic Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;

2. Station of Cannon, Baicheng Ordnance Test Center, Baicheng Jilin 137001, China)

Abstract: Taking account of the necessary conditions of the temperature and pressure experiments, a distributed temperature-pressure measurement and control system was designed and realized, which could be used to control the temperature or pressure of environmental simulation cabin, of which the software was implemented by using COM technology. To solve the contradiction between system overshoot and speed of response, and get better performance, an expert control method was introduced into this temperature-control system based on the classical PID control theory. Comparing the simulated result with the experimental data, the expert control method has been proved with the advantages of no-overshoot, fast response, high precision and great efficiency. It is significant to the same system.

Key words: expert control; Distributed Control System (DCS); Component Object Model (COM); PID

为了实现国内常用的高、低温试验设备以及大气压力试验设备,包括高温舱(箱)、低温舱(箱)和真空舱的自动控制,同时实现对实验过程的集中管理和分散控制,达到多个设备同时工作,多项实验同时进行,以及多组实验信息同时获取同时处理的目的,采用了分布式控制系统(Distributed Control System, DCS),以充分利用其资源对实验过程进行实时监控和管理。利用 COM(Component Object Model) 组建化软件模型技术可构建模块化的软件操作平台,增强数据交互的功能,使软件的灵活性、可扩展性、稳定性和可靠性得到提升。为了解决大多数的试验舱体设备属于大滞后的惯性环节^[1],使整个舱体加热、降温缓慢且无自平衡能力的问题,并达到国军标^[2]中对舱体温度控制精度的要求,防止超调现象发生,本文提出采用专家 PID 控制策略。仿真研究和实际调试均表明:该方法可以有效地抑制超调,提高温控精度。

成单元组合仪器及微处理器的优点,可充分利用计算机技术、控制技术、通信技术及图像处理技术的应用成果来完成所要求的控制系统设计,其特点是:集中管理、分散控制。图 1 为测控系统结构。

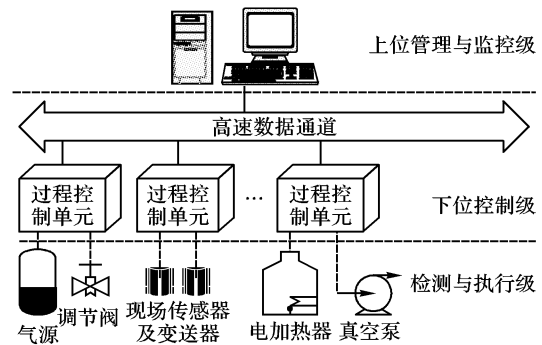


图 1 测控系统结构

检测与执行级:指现场信号测量单元与设备执行单元。测量单元主要包括传感器、变送器等,其输出的信号由 A/D

1 测控系统结构

分布式计算机控制系统是以工业级计算机为核心^[3],集

收稿日期:2006-09-27;修订日期:2006-12-01

作者简介:李可(1980-),男,江苏徐州人,博士研究生,主要研究方向:计算机过程控制及计算机仿真;张继华(1970-),男,黑龙江双鸭山人,工程师,主要研究方向:环境模拟;刘旺开(1953-),男,湖南茶陵人,教授,主要研究方向:控制理论和控制工程;王浚(1935-),男,山西孝义人,教授,中国工程院院士,主要研究方向:环境模拟及人机环境工程。

采集进计算机。执行单元为调节阀、电加热器等执行机构。

下位控制级:由过程控制单元所组成,并和检测与执行级相连。除可直接显示现场测量参数值以外,还具有 D/A 的功能,以及同上位管理控制级通讯的功能,主要担负着控制现场执行机构的运行。

上位管理控制级:由上位控制计算机及接口电路组成。它与下位控制级通讯接口相连,直接从下位级获得各种试验数据,并处理和管理试验数据,生成各种曲线及报表,实时监控试验运行,执行现有设备报警与安全保护,在线修正试验参数和试验状态,同时还可以根据需要直接从现场级获取试验数据。

舱体温度测控原理如图 2 所示。温度传感器将温度信号变送给数显仪表,用于现场显示。数显仪表通过串口同上位计算机进行通讯,上位计算机再将计算后的控制量传给数显仪表,由数显仪表的 D/A 端输出的控制信号给执行机构(电加热器),即完成对温度的闭环控制。

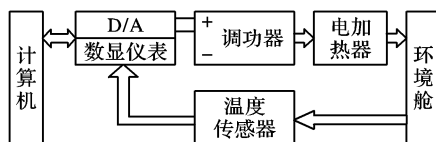


图2 温度测控原理

2 专家控制算法

计算机控制是一种采样控制,利用采样时刻的偏差值计算控制量。增量式 PID 控制算法的离散表达式为:

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

$$\Delta u(k) = K_p(e(k) - e(k-1)) + K_i(k) + K_d(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \quad (2)$$

$u(k)$ 为控制器输出值, $\Delta u(k)$ 为控制量的增量。 $e(k)$ 为离散化的当前采样时刻误差, $e(k-1)$ 为上一时刻的误差值, $e(k-2)$ 为前两个采样时刻误差; K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分、微分系数。

专家控制算法是建立在经典 PID 控制算法基础上的一种控制算法,其实质是基于受控对象和控制规律的各种知识,并以智能的方式利用这些知识来设计控制器。利用专家经验来设计 PID 参数便构成专家 PID 控制^[4]。

根据偏差及其变化,可设计专家 PID 控制器本。文提出的控制器可按以下六种情况进行设计:

1) 当 $|e(k)| > M_1$ 时,考虑控制器实施较强的控制作用,以迅速调整误差,使误差绝对值以最大速度减小。 M_1 为设定的误差界限。调试发现此时可选用较大的 k_p 与较小的 k_d 以增加系统的快速性,同时为了防止较大的超调,可采用积分分离的方法。

2) 当 $e(k)\Delta e(k) \geq 0$ 时,误差在朝误差绝对值增大方向变化,或误差为常值,未发生变化。如果此时 $|e(k)| > M_2$,说明误差也较大,可考虑由控制器实施较强的控制作用。如果 $|e(k)| < M_2$,则说明尽管误差朝绝对值增大的方向变化,但误差绝对值本身并不很大,可实施一般的控制作用。 M_2 为设定的误差界限。

3) 当 $e(k)\Delta e(k) < 0$ 、 $\Delta e(k)\Delta e(k-1) > 0$ 或者 $e(k) = 0$ 时,误差在朝减小的方向变化。此时比例作用应该同步减小,微分作用应该加强,使控制器提前作用,以抑制系统的超调。

4) 当 $e(k)\Delta e(k) < 0$ 、 $\Delta e(k)\Delta e(k-1) < 0$ 时,误差处于

极值状态,如果 $|e(k)| \geq M_2$,则采用较强的控制作用。反之则采用较弱的控制作用。

5) 当 $|e(k)| < \varepsilon$, ε 为任意小的正数。此时误差很小,考虑加入积分环节,减少稳态误差。

6) 当 $e(k) = 0$ 时,说明系统已经达到平衡状态,此时可考虑维持当前控制量不变。调试发现当误差达到控制精度要求后即可维持当前控制量不变,可避免小范围的波动使被控对象更快稳定下来。

3 组件化的软件设计

COM 是一种以组件为发布单元的对象模型,这种模型使软件组件可以用一种统一的方式进行交互。可以利用 COM 的基本原理将测控系统的软件结构按照不同的功能模块化设计,以 DLL(动态链接库)或 OCX(控件)的形式被主控程序调用。基于 COM 组件的温压控制系统软件结构如图 3 所示。软件采用 C++ 语言编写,在 VC++ 6.0 的开发环境下编译运行。

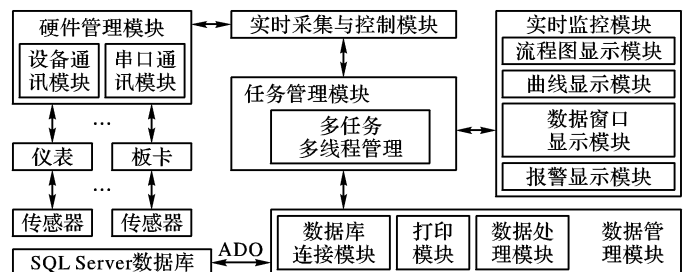


图3 温压控制系统软件结构

1) 任务管理模块:是整个软件应用程序的核心,起到调度各模块工作和数据交互的作用。并且保证系统实时运行,及时响应用户的命令。时钟管理保证系统运行的实时性及周期性,完成任务间同步、通讯和数据互斥保护。该模块采用多任务多线程技术来管理并实现任务间的同步、通讯与互斥。因为线程具有并发性关系,测量的数据作为共享资源需加以保护。可以定义临界区对象、互斥对象及红绿灯等来保护共享资源。几个线程如果逐个读取共享资源并完成各自任务,速度太慢,不能发挥线程的优势。为此,数据存储线程和监测线程定义了各自的数据副本,读取共享测量数据时,把共享区作为一个内存块复制到副本中,并立即退出共享资源,再完成各自的任务。

2) 实时采集与控制模块:该模块是试验控制任务的核心,主要完成采集试验各测点的数据,完成工程单位的转换,处理数据,根据试验工况解算控制算法(专家控制算法)控制设备,输出各种控制信号。其软件流程如图 4 所示。其中,时钟同步模块设计的优劣直接影响到系统能否实时运行。所谓时钟同步就是保证系统运行周期为固定时间 T 。在本测控系统中,时钟同步采用了多媒体定时器的时钟中断方式,即设置周期为 T 的时钟中断,每一次中断触发一次循环处理。其算法描述如下:

(1) 进入主循环之前,设置周期为 T 的时钟中断;

(2) 主循环开始阻塞等待时钟中断事件,该事件由时钟中断处理函数发生;

(3) 中断事件到进入本次循环处理,完成数据采集、控制算法解算等任务;

(4) 本次循环完成之后,阻塞等待下一次时钟中断事件。

3) 硬件管理模块:管理所有的硬件功能板及其驱动程序

硬件自测试、自诊断,包括直接同硬件相关的设备通讯模块和串口通讯模块。

4) 实时监控模块:主要监控试验设备状态,显示所有的参数信息,并完成以下功能:在流程图窗口实时显示系统流程各测点的试验数据,在曲线图窗口实时绘制趋势图,在综合数据显示窗口显示所有的试验数据,在报警窗口显示报警信息。

5) 数据管理模块:定时存储试验数据,即时打印试验数据,处理试验数据,完成数据表格打印、曲线处理打印等,提供更方便外部接口。该模块采用数据库技术,设计了 CSaveDataBase 类来管理试验数据,用数据文件的形式备份数据。在本系统软件中使用了 ADO(ActiveX Data Objects)接口技术连接 SQL Server 2000 数据库管理系统作为数据管理工具。其中为了方便调用,提高效率,将变量信息、传感器信息、设备信息和控制回路等数量不定,又需要各对象有文件读写能力的试验信息数据采用 MFC(Microsoft Foundation Class)中已有的链表结构作为数据存储结构,它支持文档读写操作序列化,插入检索方便,为了类型安全,选择 template 版本,分别定义如下:

CArray < SENSOR, SENSOR > m_SensorArray; 传感器信息
CArray < METER, METER > m_MeterArray; 仪表信息
CTypedPtrArray < COBArray, CDevice * > m_DeviceArra; 设备信息
CArray < float, float > m_DataValue; 试验数据数组

试验信息数据在运行期驻留在内存中,在退出时保存为试验信息文件。

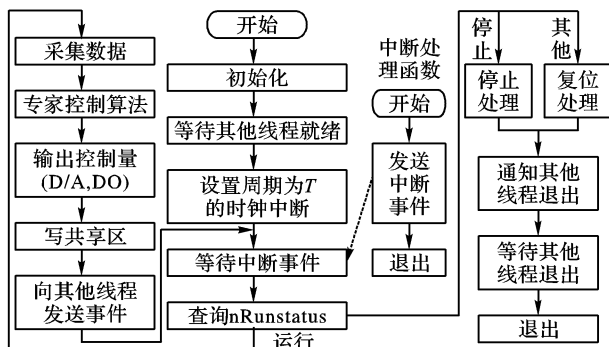


图4 实时采集与控制模块系统流程

4 仿真及实验结果

为了验证专家控制算法的正确性,在 Matlab 的 Simulink 环境中进行仿真研究。仿真模型选自某环境室的高温舱体,该舱体是一个长 30m,宽 2m,高 2m 的长方体。舱体内部包有保温材料,经过传热计算后,电加热器功率足够大,能提供的热量远远大于散失的热量。整个系统是一个二阶系统,

具有较大的滞后和惯性环节,所以要特别防超调现象的发生,还要保证一定的温控精度。该舱体模型的可由(3)式表示如下:

$$G(s) = \frac{25797.87S + 5.15}{117526150S^2 + 123655.28S + 20} \quad (3)$$

按照升温要求从室温 T_0 (18℃) 加热到 E_0 (70℃),采用无超调的专家 PID 控制算法,其仿真结果与经典 PID 控制仿真曲线比较如图 5 所示。其中曲线 b 为经典 PID 控制仿真曲线,曲线 c 为专家 PID 控制仿真曲线。可以看出采用专家 PID 控制策略的控制效果比经典 PID 控制要好,可以有效地抑制超调并且提高升温速率。

在实际高温舱体的升温过程中,采用专家控制算法取得了较好的控制效果,升温曲线如图 5 曲线 a 所示。在调试过程中发现,为了加快升温速率同时避免超调发生,可以利用专家判断在系统启动初时采用 PD 控制,当温度接近设定值时采用 PID 控制以保证系统的控制精度。

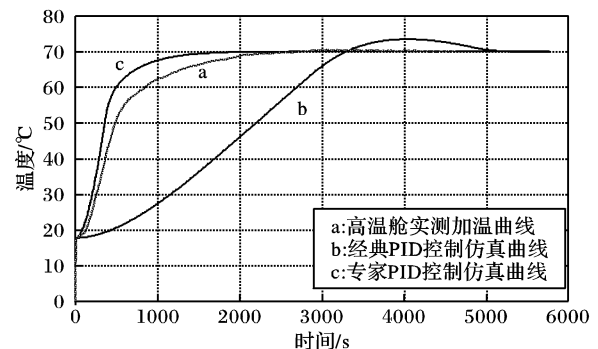


图5 仿真曲线比较

5 结语

利用计算机分布式控制系统原理及 COM 技术,设计温压测控系统的软硬件,可以实现对舱体温度、压力控制系统的集中管理和分散控制,并从数据库获得可靠的试验数据。结合专家 PID 控制方法可以防止超调、加快响应速度,提高稳态精度高,符合国军标^[3]的检测规定,对于类似问题的处理具有较大意义。

参考文献:

- [1] 王浚. 环境模拟技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996. 225 - 227.
- [2] GJB 150. 3A-200x. 军用设备环境试验方法[S]. 国防科学技术工业委员会, 1986.
- [3] 向运飞, 刘旺开, 沈为群. 双路热动力试验台集散控制系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2002, 10(10): 653 - 655.
- [4] 刘金琨. 先进 PID 控制 Matlab 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005. 94 - 102.

(上接第 1002 页)

分解模极大的多分形奇异谱的计算方法效果很好,而且明显优于经典的功率谱分析。

参考文献:

- [1] MALLAT S, HWANG WL. Singularity detection and processing with wavelets[J]. IEEE Transaction on Information Theory, 1992, 38(2): 617 - 643.
- [2] RIEDERER SJ, Pelc NJ, Chesler DA. The noise power spectrum in computed X-ray tomography[J]. Physics in Medicine and Biology, 1978, 23(3): 446 - 454.
- [3] VICSEK T. Fractal growth phenomena, second edition[M]. Singapore: World Scientific, 1993.

- [4] ROBERTSON AN, FARRAR CR, SOHN H. Singularity detection for structural health monitoring using holder exponents[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2003, 17(6): 1163 - 1184.
- [5] MANDELBROT BB. Fractals and Multifractals: Noise, Turbulence and Non-Fractal Patterns in Physics[M]. Nilhof, Dordrecht, 1986.
- [6] JAFFARD S. Multifractal formalism for functions parts I and II [J]. SIAM J. of Mathematical Analysis, 1997, 28(4): 944 - 998.
- [7] BROWN G, MICHON G, PEYRIERE J. On the multifractal analysis of measures[J]. Journal of Statistical Physics, 1992, 66(3): 775 - 790.
- [8] FALCONER K. Fractal Geometry-Mathematical Foundations and Applications[M]. John Wiley, 1990.