

文章编号: 1000-2022(2004) 03-0428-05

# 工业过程仿真培训系统教师指令机设计与实现

郭 伟

(南京气象学院 信息工程系, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 介绍了基于图形化编程语言 LabVIEW 的工业仿真培训系统中教师指令机的设计和实现, 给出了 PID 控制算法、串级控制、TCP/IP 通讯、仿真状态的保存及恢复、时标的改变、状态的切换等教师指令机具体功能实现程序。用这种方式建立教师指令机功能已在加氢精制仿真培训系统中实现并成功投入使用。

**关键词:** 仿真培训系统; 教师指令机; 图形化编程; LabVIEW

**中图分类号:** TP391.9      **文献标识码:** A

工业过程仿真培训系统能够仿真工业生产过程各个方面。其中生产过程或生产工艺过程是以建立数学模型来模拟, 数学模型一般放在系统服务器上或专门运行数学模型的机器上, 以便快速运算获得系统所需的工艺参数。生产过程的控制由仿集散控制系统(DCS)的操作站来完成。工业仿真培训系统整体结构由教师指令机、模型机和操作站通过局域网形式组成<sup>[1]</sup>。受培训者在操作站上按规定进行相关内容学习和操作, 其操作参数传到模型机进行有关运算后返回, 从而改变生产过程的有关状态达到培训的目的。期间教师指令机(下称教师机)的功能就是指导和设计相关培训方式, 监控仿真培训系统的运行, 所以在工业过程仿真培训系统中教师机的设计与实现至关重要。目前一般将模型机和教师机独立实现<sup>[2]</sup>, 采用高级语言(如 C 等)编程, 其工作量非常大。有的工业仿真培训系统采用专用开发工具<sup>[3-4]</sup>来实现, 但这类工具价格昂贵且不易掌握。本文在加氢精制装置全流程仿真培训系统开发中选取把模型机和教师机合二为一的形式, 采用面向仪表及控制的图形化语言 LabVIEW 作为开发工具, LabVIEW 特点参见文献[1], 这样系统性能价格比得以提高, 有利于仿真系统的推广应用。

## 1 教师机总体结构

在加氢精制全流程仿真系统<sup>[1]</sup>中教师机负责与各个操作站和现场站的通讯、与化工模型的连接、PID 调节规律和无扰动切换的实现、以及仿真培训教师机的一些功能。各个操作站和现场站数据都汇总到教师机, 教师机程序根据各个文件中的时间形成一个同一时刻的数据文件, 其中包括各个阀门的开度, 各个测量的温度, 液位等。教师机程序是通过调用化工模型的动态连接库(DLL)进行化工模型的运算, 然后再将运算结果传送到各操作站和现场站。仿真培训

收稿日期: 2003-06-06; 改回日期: 2003-09-24

基金项目: 中国石化股份有限公司科技开发资助项目([2001] 84-9)

作者简介: 郭 伟(1960-), 男, 安徽巢湖人, 副教授, 硕士, 研究方向: 计算机控制与计算机仿真。

时一些功能如状态的切换, 事故的选择等通过设置不同的参数来完成, 化工模型根据这些参数的不同采用了不同的算法。教师机软件系统采用多线程技术完成, 通过信号灯来协调各个线程的运行, 避免线程的死锁。其总体结构见图 1。

2 PID 调节规律及无扰动切换

教师机中可以对调节方式加以设定, 并可显示其趋势(图 1)。调节算法以 PID 为主和实际相对应。PID 运算公式采用改进的增量式算法, 经过实际应用证明, 此算法经参数整定后, 系统能够在二个振荡周期内达到稳定。

$$U = K_P e_n + K_D(e_n - e_{n-1})T + K_I e_{\text{end}}T + \sum_{i=1}^n e_i \quad (1)$$

式(1)中,  $T$  表示采样间隔,  $e$  表示偏差,  $U$  表示控制量增量。在算法执行中, 每执行一次都要记录前一次的偏差、前一次采样时间的偏差的总和。算法中  $T$  限位在 0.04 ~ 0.15 之间,  $U$  是限位在 0 ~ 100 之间。该算法的 LabVIEW 语言实现如图 2 所示。



图 1 教师机操作界面  
Fig. 1 The operation interface of teacher instruction station

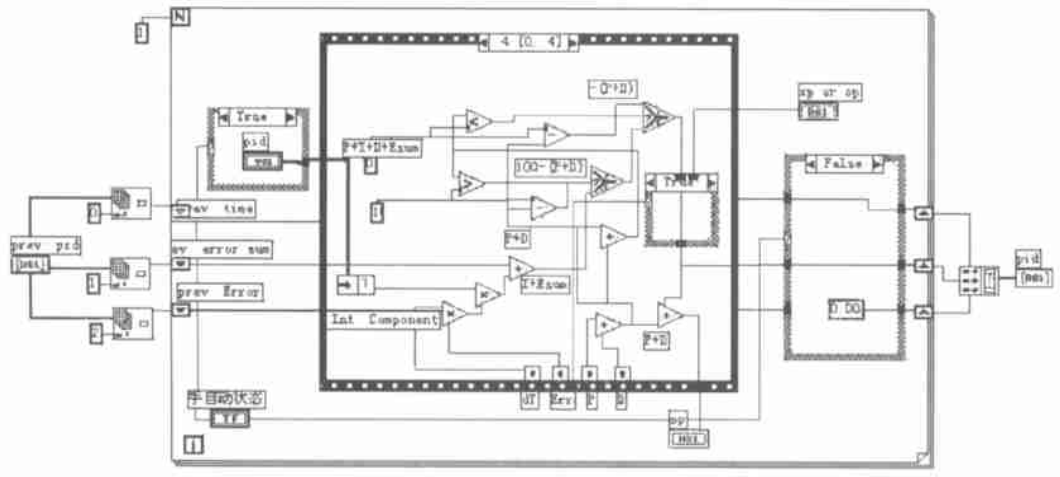


图 2 PID 算法公式程序  
Fig. 2 PID algorithm program

整个仿真系统中共有 37 个单回路控制和 3 个串级控制, 教师机程序中对所有控制回路控制系统进行了编号。程序中采用了循环结构来依次执行各个控制系统。执行各个回路时, 程序根据回路的编号来确定控制系统正反作用, 从控制文件中得到手动/自动状态、PID 参数、给定值、测量值及上一次的阀门开度值, 再调用 PID 算法子程序, 运算后得到一个新的阀门开度值, 存入控制文件中, 并将这些最新数据输入到模型进行新一轮运算。

考虑到实际 DCS 的功能, 仿真系统在控制回路设置中, 加入了手动/自动无扰动的切换功能。具体实现方法是: 在系统处于“自动”状态时, 单回路控制培训人员只能对 PID 的参数进行

调整, 阀门开度由 PID 公式运算得出。在切换到 ‘手动’ 时, 首先保持上一次的阀门开度, 然后再将阀门开度的操作权限放开, 允许培训人员改动, 以此保证系统在切换的瞬间不产生突跳。

系统在 ‘手动’ 状态时, 给定是不允许人为调节的, 它自动跟踪测量值, 并记录每次的采样时间和阀门开度。在切换到 ‘自动’ 时, 因为给定值实时地跟踪测量值, 保证了第一次 PID 运算时偏差为零, 并在系统中切除了微分作用, 这使得投入 PID 运算后的阀门保持了 ‘手动’ 状态时开度, 实现了系统无扰动切换的要求。第二次 PID 运算时, 给定已不再跟踪测量值, 且允许人工修改, 微分作用也不再切除。随着测量值的改变, 系统产生偏差后, 控制回路就根据 PID 算法公式开始运算, 实现控制系统的自动调节。控制回路和无扰动切换程序分别见图 3 和图 4。

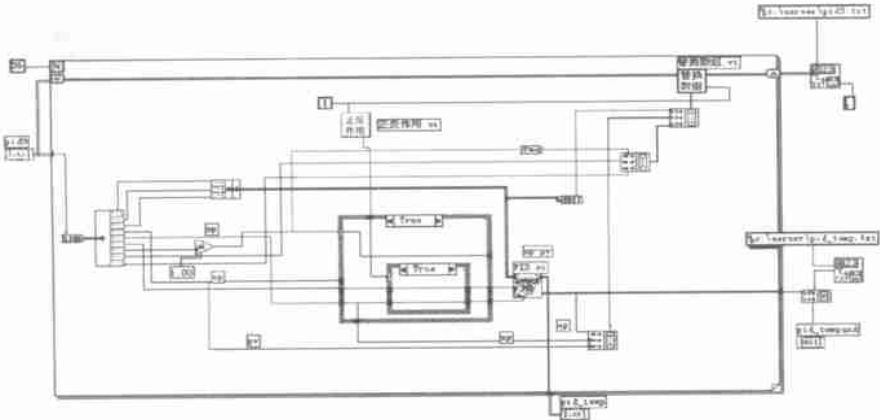


图 3 控制回路程序实现

Fig.3 The realization of control loop program

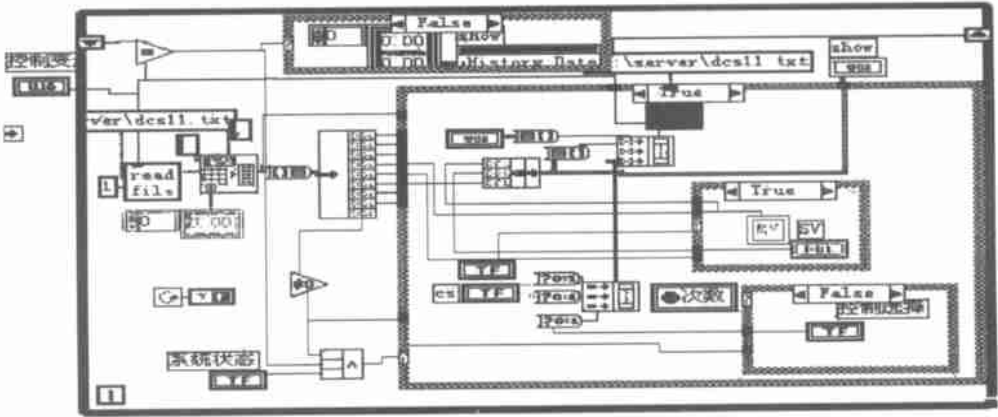


图 4 无扰动切换

Fig.4 Undisturbed switch over

由图可见, 系统中共有 3 个串级回路, 平时采用副环控制回路。当培训人员切换为串级控制时, 主环的输出作为副环的给定值, 副环经过 PID 运算后得到阀门开度值。程序中先对 3 个副环进行 PID 运算, 判断系统是否是串级控制, 如果不是串级控制, 则直接改变文件中相应的

阀门开度, 否则将得到的结果根据主环测量值的范围, 换算成相应的值(PID 运算后的输出范围是 0 ~ 100), 去改变主环中的给定。最后的 OP 值由主环经过 PID 运算得出。串级回路 LabVIEW 实现见图 5。

3 数据的传送与更新

加氢精制仿真培训系统中共有 3 个 DCS 操作站, 一个现场站, 它们之间采用 TCP/IP 协议进行通讯。在教师机程序中, 开辟了一个线程去监听一个端口, 当侦测到有数据时, 根据数据中的标识符来判断现在是哪个站正在与教师机通讯, 并为它建立一个通道进行数据的读写。教师机发送给各个站的数据中包含了一些模型运行的状态。各个站根据这些状态位来判断是调用初始数据还是显示数据。各个站第一次接收到教师机的数据时, 或当教师机改变化工模型的运行状态时接收到教师机的数据时, 它要根据模型的状态去调用不同的初始数据; 其他情况时, 它接收教师机的数据后, 将其显示到相应画面上去。如果培训人员改变了某个阀门开度或控制回路的给定, 它都将改变后的数据发送给教师机。教师机汇总了各个站发送来的数据形成一个数据交换文件传递给化工模型, 经过运算后形成一个新的发送给各个站的数据。在程序中有一个同步信号来保证各个站的数据同步。通讯程序的 LabVIEW 实现见图 6。

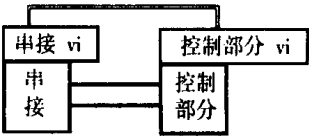


图 5 串级回路  
Fig. 5 Cascade loop

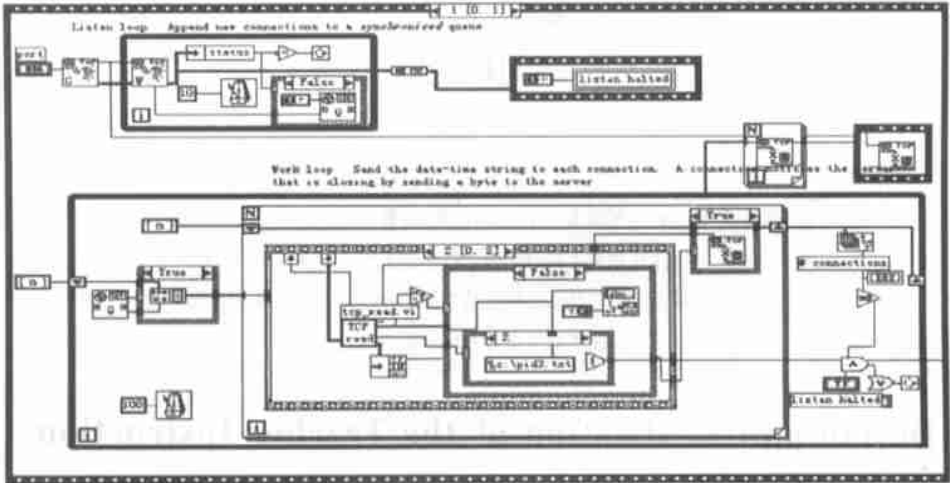


图 6 TCP/IP 通讯  
Fig. 6 TCP/IP communication diagram

4 状态的保存及恢复、时标的改变、状态的切换

状态的保存及恢复、时标的变化和状态的切换是仿真培训中教师机必须具备的三个功能。仿真培训过程要花很长的时间, 时标的改变能够改变化工模型的运行速度。在教师机程序中化工模型初始运行速度为正常的仿真速度, 为改变模型的运行速度, 在 DLL 程序中设置了一个时间变量, 教师机只要向模型发出一个值, 使得此时间变量发生变化, 就可以实现时标变化功能。

状态切换也是同样的工作原理, 在化工模型的 DLL 程序中设置一个变量来记录当前的运

行状态,如正常开工、冷态开工、停电事故等,当教师机发出这个变量变化时,就可以使化工模型跳转到不同的运行状态(模型正常运行时才能进行事故切换)。

在培训过程中,教师可以保存一个状态,通过恢复状态后,能重现保存时刻的全部数据,以帮助教师及时指出培训人员的操作中有哪些错误,指点学员下一步应该如何正确操作。教师机程序中的状态保存是将保存时刻程序运行的全部数据保存(包括中间临时变量)到数据文件中,并备份到指定的目录。恢复程序执行时,程序根据要恢复的哪个状态,找到相应目录中的相应数据文件后,将其替换当前的数据文件,并根据替换后的数据向各个站发送更新数据和同步标志。该部分 LabVIEW 实现见图 7。

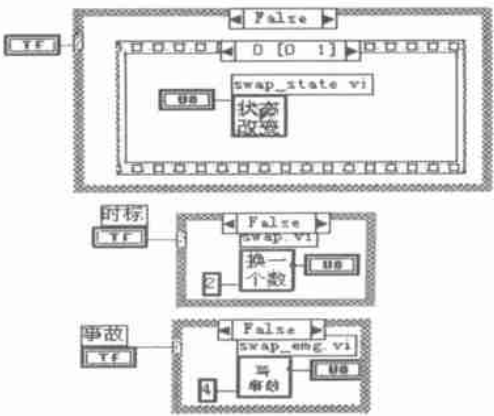


图 7 时标、状态切换

Fig.7 Operating state change

5 结 语

教师机是工业仿真培训系统的核心部分,它的性能和功能直接关系到仿真系统的整体性能。设定事故、设定冷态或正常工况、设定“快门”记忆工况、设定时标以便加快或减慢仿真运行节奏等监控功能的实现,操作站和过程模型以及教师机通讯、如何实现自动评分等,都是教师机应具有的功能。上述功能已在加氢精制全流程仿真系统教师机全部实现,该系统已投入使用并通过省级科技成果鉴定。

参考文献:

[1] 郭 伟. LabVIEW 在加氢精制装置仿真系统开发中的应用[J]. 计算机仿真, 2004, 21(1): 143-146.  
[2] 陈宗海, 戴 路. 对苯二甲酸工艺全流程仿真系统[J]. 中国科学技术大学学报, 1997, 27(1): 50-54.  
[3] 廖衣才, 龚时雨. 一种基于微机局域网的过程仿真培训支持系 PSTSS[J]. 计算机仿真, 2001, 18(4): 44-47.  
[4] 吴重光, 沈承林. 过程系统仿真环境[J]. 系统仿真学报, 1996, 8(2): 1-6.

Design and Realization of the Teacher Instruction Station of Industrial Process Simulation Training System

GUO Wei

(Department of Information Engineering, NIM, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on the LabVIEW of graphical program, this paper introduces the design and realization of the teacher instruction station of industrial processes simulation training system in detail. A system with this method had been applied in hydrogenation refining successfully.

**Key words:** simulation training system; teacher instruction station; graphical program; LabVIEW