

微机数字PID控制系统的设计与研究

——刨花施胶量控制系统

程 放

(中国林科院木材工业研究所 北京 100091)

摘要 本文以刨花板生产中的施胶过程为例,从软件、硬件两方面讨论了微机数字PID系统器的设计原理及应用。文中描述了系统的硬件构成、控制规律和程序框图。作为直接数字控制系统(即DDC系统),文中重点论述了实时控制程序的设计思想和实现数字PID调节算法的原理。

关键词 计算机控制;数字PID;刨花施胶

1 概述

在刨花板的生产过程中,施胶量的多寡直接影响到板材的成本和质量。如何能按下料刨花的相应比例实时控制定量施胶,做到既不施胶过量,又要保证产品质量,这是刨花板生产过程控制中的关键一环。通常的办法是采用常规仪表控制,如:采用模拟量PID调节器等。随着计算机控制技术的发展和普及,国外目前较先进的方法是采用微型计算机(可以是单板机或单片机)控制,即DDC系统。应用计算机丰富的软件功能,由程序控制实现对刨花的按比例跟踪施胶,无疑要比常规仪表控制更加灵活方便,是人造板生产过程控制的一个发展方向。电脑控制施胶量是一种在线实时检测控制系统,其控制过程是:由检测传感器对生产现场的刨花和胶液的瞬时流量信号进行连续检测,经模数转换器(A/D)周期性采样后输给计算机,然后,计算机对采集来的数据按一定控制规律(如PID,前馈等)进行运算处理,最后得到结果送给数模转换器(D/A),使其输出一模拟信号去控制胶的流量给进机构,来保证施胶量按给定的比例跟踪刨花流量,形成一个完整的数字反馈控制系统。其优点在于:一是体积小,用于DDC系统中的微计算机只需几片集成电

路构成,结构很简单;二是造价低,一台单板计算机或单片机可以替代几个以至十几个模拟量调节器,而其价格最多也不超过一个调节器的价格;三是可靠性高,平均无故障时间可达几千小时到上万小时以上;四是灵活性大,通过改变软件即可改变控制功能,实现新的控制目的。

2 系统的硬件构成

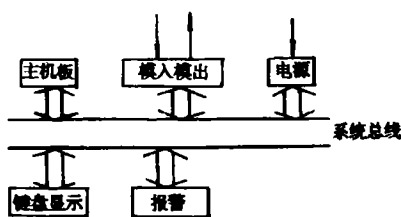


图1 系统硬件结构框图

2.1 主机板:采用目前比较普及的Z-80单板计算机。它的核心部件Z-80CPU(微处理器)的指令丰富(158条),具有较强的向量中断功能,适合用作工业控制。

2.2 模入模出板:它是一切模拟量输入输出通道接口板。根据系统设计要求,需要四路模拟量信号输入,两路模拟量信号输出,为留有余量,便于检测与控制点数的扩展,此板设计为八路模拟量输入,八路模拟量输出。考虑各路信号精度要求均不大于 $\pm 1\%$,选用八位精

收稿日期 1995-08-24

度的 ADC0809、DAC0832 数模、模数转换器。模拟量输入信号为 0~5 V;输出信号为 0~5 V 或 0~10 mA(可选)。

2.3 键盘、显示板:为监视调试和生产运行时情况,系统用六位七段数码显示器,定时巡回显示或按键盘显示各路的工作状态,若干个数值键及命令键,可实时检查或修改各路参数,执行各种特定的命令,以便实现人一机对话。

2.4 越限及故障报警:系统使用单板机上 PIO 可编程程序接口的两个开关量口输出开关信号,接指示灯或蜂鸣器,作为故障及各路参数的上、下限报警。

2.5 电源:为了提高对来自电源的抗干扰性能,本系统采用两级稳压方式。

3 系统的软件设计思想

3.1 中断时序安排

Z-80 系列芯片的外围接口电路如 CTC、PID 等具有很强的可编程中断功能,这给软件设计带来了极大的方便和灵活性。本系统在程序设计时,考虑到生产线上的施胶量控制属在线采样控制,它要求具有严密的实时性和准确性。计算机的 CPU(中央处理单元)在相当短的时间(1~2 s)内,既要按时对现场参数采样,并对采样值作分析处理,最后输出相应的控制量,控制生产过程按给定值运行,又要同时显示有关数据,记录生产结果,还要随时接受来自键盘的信息,完成人下达给计算机的命令。如何在时空上合理调度这些工作,使 CPU 高效运转,各项任务不至于相互冲突,本系统采用中断方式进行。特设定三个中断源,即:键盘中断、实时采样控制中断、5 ms 显示刷新中断,并规定他们的优先级为:

键盘→采样控制→5 ms 显示

上述中断功能的实现,是靠 Z-80CTC 各通道的中断逻辑来完成的。具体安排如下:

①采用 CTC0 做键延时定时器。考虑到调试和改变工艺参数时的方便,系统允许在

实时控制过程中,随时按键置入或观察修改各路采样周期、给定值及 PID 等参数,为了防止键按下或键释放时因键抖动引起键盘分析的处理错误,需设定键延时 20 ms。在 Z-80 单板机的原监控程序中,对键延时的处理是采用程序死循环等待方法实现的,而这对实时性要求较高的工业过程控制是不妥当的。因为,一般实时控制系统往往采用程序中断方式工作,系统的中断源较多,其中断服务程序可能较长,而且按键和各中断源发出的中断请求都带有一定的随机性。这样,键延时程序则可能被打断时间过长,甚至连续被各中断源打断,键命令不能得到 CPU 的及时响应,致使键盘输入发生错误。为此,系统选用 CTC0 的两次定时中断来实现键按下和键释放的 20 ms 延时。选用 CTC0 通道,使键延时中断优先级高于其它中断源,可以避免出现丢失键信息现象,保证 CPU 及时响应键盘命令(CTC0 中断服务程序很简短,对实时控制无影响)。

②采用 CTC1、CTC2 为计时、计数器连用,作为实时采样控制的定时,由于 CTC 的一个通道的最大定时仅 26 ms,而本系统为流量检测控制,根据香农(Shanon)采样定理,按一般规律,采样周期 T 定位 1 秒钟较为适宜。所以,本系统中置 CTC1 为 25 ms 计时器,不允许中断,CTC2 为常数 80 的计数器,允许中断,把 CTC1 的计时器零信号(ZC/T)与 CTC2 计数输出端(CLK/TRG)连接起来,从而实现 1 秒钟的采样时钟定时。

③设定 CTC3 通道为 5 ms 计时,用作显示中断。这样安排是考虑到,如果按通常采取在主程序中死循环方法显示,可能会因为前面的程序执行时间过长或随机中断程序打断,造成显示抖动,然而采用 5 ms 显示中断的办法,每过 5 ms 执行一次显示服务程序,既维持了显示器的稳定,又可及时更新显示单元的内容,起到实时监测的作用。此外,显示中断的优先级定为最低,使得系统优先处理键盘命令,执行实时检测控制,保证系统的

各项任务按正常时序有条不紊地依次运行。

CTC 初始化源程序如下:

```
LD    A,20H
LD    I,A
LD    A 80H
OUT   (84H), A
LD    A, 0A5H
OUT   (84H), A
LD    A, 25H
OUT   (85A), A
LD    A, 0E4H
OUT   (85H), A
LD    A, 0C5H
OUT   (85H), A
LD    A, 50H
OUT   (86H), A
LD    A, 0A5H
OUT   (87H), A
LD    A, 31H
OUT   (87H), A
```

3.2 数字滤波

对于在线检测控制,干扰现象是不可避免的,前面已提到对电源的抗干扰措施,这里将讨论对输入信号的抗干扰措施。一般,对输入信号的干扰分为两种,一种是随机性干扰,如:大电气设备的起、停;另一种是周期性干扰(通常是工频干扰信号)。

本系统为保证采样值的准确可靠,对输入信号的抗干扰处理除了在硬件上考虑信号线选用双绞屏蔽线,信号采用电流传输形式外,P3 模拟量输入信号为 0~5 V,还在软件上采用了数字滤波技术。数字滤波的方法有多种,这里选用了较常用的算术均值滤波的方法,即每次采样的实际值,采用几次采样的算术平均值,其算法如下:

$$Y(K) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X(K+i)$$

式中: $Y(K)$ — K 时刻的滤波值

$X(K+i)$ —采样值

N —有效连续采样次数

经过均值滤波,对随机性的干扰脉冲起到了衰减作用,维持系统的稳定。此外,只要 N 选得合适,均值滤波还可完全消除周期性的干扰。

4 实现数字 PID 算法的原理

PID(比例、积分、微分)调节是古典控制理论中较成熟的一种控制技术,在连续控制系统中已被广泛应用。目前,在大多数工业生产对象的动态特性尚未被识别清楚,得不到较精确的控制模型,难于应用现代控制理论进行控制的情况下,PID 调节仍具有较好的适应性和灵活性,它保留了人工管理功能,可以方便地调整参数(比例度、积分时间、微分时间),使得系统设计时有较大的调整余地。随着计算机控制技术的发展,连续系统 PID 调节也被引入到离散系统。由程序实现 PID 算法,即所谓的“数字 PID”,不仅保持原来的优点,而且还增加了计算机的逻辑判断功能,因而这一算法更加灵活、方便。

4.1 模拟 PID 调节器数字化

理想的模拟量 PID 调节器特性式可表达为:

$$U(t) = K_P \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \dots \quad (1)$$

式中: $e(t)$ —偏差,给定值与测量值之差;

$U(t)$ —调节器输出;

K_P —比例常数;

T_I —积分时间;

T_D —微分时间。

经离散化处理,(1)式中:微分项 $\frac{de(t)}{dt}$ 用差分方程 $\frac{1}{T}(e_n - e_{n-1})$ 代替;积分项 $\int_0^t e(t) dt$ 用矩形面积和式 $\sum_{k=0}^n e_k T$ 近似代替,则得:

$$U_n = K_P \left[e_n + \frac{1}{T_I} \sum_{k=0}^n e_k T + T_D \frac{e_n - e_{n-1}}{T} \right] \dots \quad (2)$$

式中: K —采样序号;

e_n —采样形成的偏差值;
 e_{n-1} —上次采样形成的偏差值;
 e_k —第 K 次采样形成偏差值;
 T —采样周期

按照(2)式计算, U_n 不仅需要本次与上次采样的偏差值 e_n 和 e_{n-1} , 而且还需要用 e 到 e_n 的所有值, 这样, 当 n 很大时, 必然要占用很多内存来存放这些数据, 且要花费计算机的大量时间去计算。因此, 直接用(2)式计算很不方便, 为此, 把(2)式化成逆推形式。

根据(2)式, 可写出第 $n-1$ 次采样的输出为:

$$U_n = K_P \left[e_{n-1} + \frac{1}{T_I} \sum_{k=0}^{n-1} e_k T + T_D \frac{e_{n-1} - e_{n-2}}{T} \right] \cdots \quad (3)$$

由(2)~(3), 整理后得:

$$U_n = U_{n-1} + K_P [e_n - e_{n-1} + \frac{T}{T_I} e_n + \frac{T_D}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})] \cdots \quad (4)$$

按(4)式计算第 n 次采样后控制输出量 U_n , 只需要本次偏差信号值 e_n , 前两次偏差值 e_{n-1} 和 e_{n-2} , 以及上次计算的输出值 U_{n-1} , 这样计算就简单方便多了。

4.2 PID 增量控制

从(4)式中可以看出, 计算后的控制输出 U_n 是全量输出, 这样势必会造成系统在起停或出现故障时 U_n 大幅度变化, 使得设备剧烈运动, 对于安全不利, 因此改变(4)式的形式, 得到 PID 算式的增量形式为:

$$\Delta U_n = U_n - U_{n-1} = K_P [e_n - e_{n-1} + \frac{T}{T_I} e_n + \frac{T_D}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})] \cdots \quad (5)$$

采用 PID 增量算式, 计算机只输出增量, 而将计算机的一部分功能 $U_n = \int \Delta U$ 分给其它部件(如步进电机等)去完成, 这样可以提高响应速度, 减少磨损, 特别是增加了系统的可靠性。实现执行机构按增量信号进行动作, 即使计算机出错, 对生产过程的影响也较小。

4.3 积分分离算法

考虑到生产过程的开启或大幅度升降负荷时, 由于偏差积累较大, 在积分项作用下, 必将产生较大的超调, 并出现振荡, 而在计算机控制算法中, 这个问题很容易解决。本系统利用了计算机的逻辑判断功能, 设计了积分分离功能, 即在被控变量开始跟踪时, 取消积分作用, 直至被控变量接近新的给定值时, 才加入积分作用。

带有积分分离作用的 PID 增量控制算式为:

$$\Delta U_n = K_P (e_n - e_{n-1}) + \alpha_i K_i e_n + K_d (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})$$

$$\text{式中: } \alpha_i = \begin{cases} 1, & |e_n| \leq A \\ 0, & |e_n| > A \end{cases}$$

A —预定的积分分离门限值;

α_i —积分作用逻辑系数;

K_P, K_i, K_d —分别为比例、积分、微分常数。

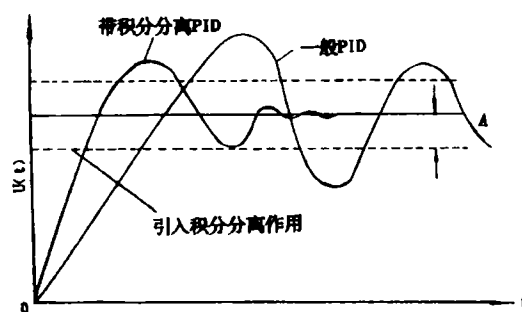


图2 具有积分分离的控制过程曲线

由曲线图可看出, 引入积分分离法后, 显著地降低了被控变量的超调, 并缩短了稳定时间, 使系统的调节性能得到改善。

4.4 PID 算法的程序设计

根据前面的推导, PID 算法的增量算式就简化为:

$$\Delta U_n = a_0 e_n - a_1 e_{n-1} + a_2 e_{n-2}$$

其中系数 a_0, a_1, a_2 均为正数, 偏差 e_n, e_{n-1}, e_{n-2} 可能有正有负, 这样由上式编程只做加法和乘法运算, 比较简单, 只要记住符号。具体设计程序见框图 3:

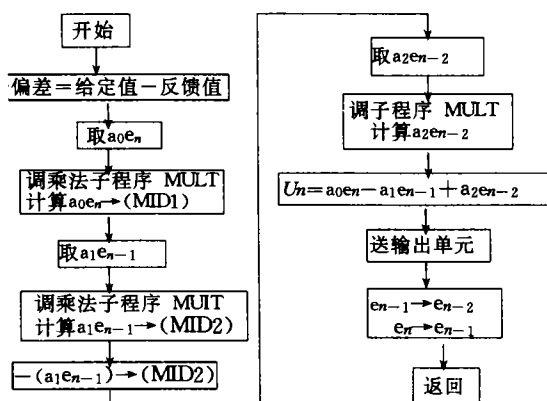


图3 数字PID控制算法框图

5 小结

以上简要介绍了刨花施胶量电脑控制系统的软、硬件构成、控制原理以及程序框图,限于篇幅,对于如系统方案的选择、硬件电路的具体设计,以及对系统的经济分析等,未作全面的论述。

此研究设计系统虽然是针对刨花施胶量过程控制的,但涉及到的控制原理、系统硬件结构、软件设计思想等,具有一定的普遍性,也适用于其它微型计算机检测与控制系统。例如,纤维的施胶过程控制等。如果更换不同的传感器与执行机构,本系统也完全适用于人造板生产过程的其它检测、控制,届时只需修改有关程序和参数即可。

6 参考文献

- 1 刘植桢、郭木河、何克忠编著. 计算机控制. 清华大学出版社,1981
- 2 华中工学院自控和计算机系工业自动化教研室编. 微型计算机控制技术. 1993
- 3 [日]绪方胜彦著,卢伯英等译. 现代控制工程. 科学出版社,1976
- 4 [日](八)木广满等著,张学志译. Z-80 的彻底研究. 北京工业大学自动化研究室、北京微型电脑应用分会,1983
- 5 徐家栋、吴定荣、侯伯文编. TP-801 单板机手册. 北京工业大学出版,1981

Studies on a Digital PID Control System —Computerized Proportioning of Glue and Particles

Cheng Fang

(Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 10091)

Abstract The principle and application of Digital PID Control System in glue spreading of particleboard production were discussed in this paper. A computerized system of proportioning of glue and particle was designed. The paper described methods to realize a computerized system and algorithm of digital PID controller.

Keywords Computer control; Digital PID; Glue spreading; Particleboard

本期广告目录

苏州林业机械厂	哈尔滨北方木材干燥新技术开发公司
上海人造板机器厂	镇江林业机械厂
德国威力公司	四川江东机械厂
锦焜兴业股份有限公司	上海木材工业研究所欣申科技实业公司
锦荣机器厂	昆明康发机械有限公司
兴记行集团广州联络事务所	西北人造板机器厂
江苏溧阳市林达机械厂	浙江临安化工制剂厂
广州宇明工贸有限公司	江苏省溧阳市平陵林机厂
意大利对外贸易协会	牡丹江恒生机械厂
	三乐电气总公司