

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.02.019

基于DSP的三维打印机控制系统研究

付 尧,冯清秀*

(华中科技大学 机械科学与工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:针对目前国内自主研发的三维打印机加工精度不高的问题,设计了一种新型三维打印机控制系统。该控制系统分为硬件系统和软件系统,硬件控制系统核心为电机运动控制和温度控制,软件系统主要实现PID算法在DSP芯片中的嵌入。通过PID控制和模糊控制的控制原理进行了控制原理的确立,在Matlab环境中进行了控制系统模型的建立与仿真,最终通过DSP芯片实现了三维打印机控制系统硬件平台的搭建。研究表明,采用新型控制系统的三维打印机加工性能得到了显著提高。

关键词: 三维打印机; 控制系统; DSP

中图分类号: TH39; TP273 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)02-0217-04

Control system for 3D printer based on DSP

FU Yao, FENG Qing-xiu

(School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong Science and Technology University,
Wuhan 430074, China)

Abstract: Aiming at solving the problem of low machining accuracy in domestically-developed three dimension printers (3DP), experimental study on a new 3DP control system was carried out. The control system was composed of hardware system and software system. The hardware system was established through motion control of motor and temperature control. PID arithmetic applied in DSP was realized in software system. Control principle was set up through PID control and fuzzy control. Model of control system was set up and simulated through Matlab, hardware platform of 3DP control system was set up through DSP. The experimental results show that the machinability of new 3DP is significantly improved.

Key words: three dimension printers(3DP); control system; DSP

0 引 言

三维打印技术是一种基于加法思路且采用离散堆积的方式实现制造的新型制造技术,其具体的工作原理为:①首先利用三维制图软件或三维扫描仪完成零件三维模型的绘制;②对该三维模型文件进行Z方向的分层处理,得到模型在不同高度的轮廓图像,并对这些轮廓图像处理、保存;③根据保存的轮廓图像及相应高度信息,利用LOM、FDM等快速成型方法完成材料的堆积;④进行合适的后处理,以提高加工零件表面的光洁度和美观度。三维打印技术由于加工

过程不需要专用的模具或夹具,具有极好的柔性,多用于具有复杂结构零件的小批量生产^[1-3]。

目前,国内自主研发的三维打印机普遍存在打印精度不高的问题,本研究拟从控制系统方面解决该问题,通过PID和模糊控制技术实现控制系统原理的设计,并利用DSP搭建的硬件平台完成相关试验。

1 控制系统总体方案设计

基于功能模块化的思路,而设计的控制系统总体方案如图1所示^[4-6]。PC端与芯片的通讯采用PCI总线结构。相比于ISA总线,PCI总线独立于处理单元,因

收稿日期: 2013-08-19

作者简介: 付 尧(1984-),男,辽宁鞍山人,主要从事机电一体化产品方面的研究。E-mail:hustfuyao@163.com

通信联系人: 冯清秀,女,教授,硕士生导师。E-mail:hustfqx@163.com

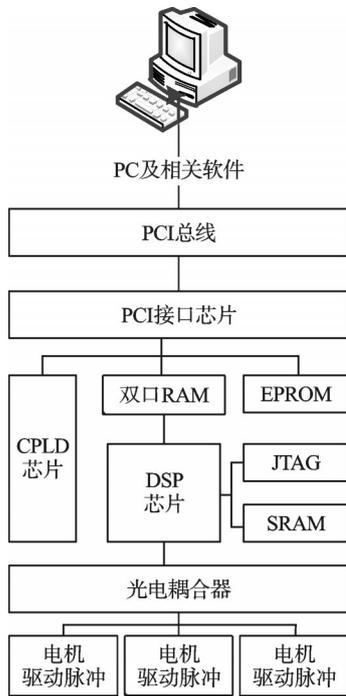


图1 控制系统总体方案图

此其传输速度与处理器的时钟频率无关,工作频率可达到33 MHz,是一种具有较好性能的局部总线。本研究选用PLX公司生产的PCI9052型芯片作为PCI总线接口芯片,其有两个优点:首先PCI9052型芯片是一种实现通用PCI接口功能的专用芯片,节省了研发周期和成本,非常适合产品研发过程和小成本生产过程;其次,该芯片的驱动电压为5 V,而后续的双口RAM芯片也是5 V供电,这就省去了电平转化的环节。串行EEPROM用于加载PCI接口芯片的配置信息。在PC与DSP芯片进行实时的数据传输过程中,会大量占用CPU时间,可能导致CPU工作效率大大降低。为解决这一问题,本研究采用了双口RAM芯片作为数据缓冲的中点,PC和DSP的CPU都可以将双口RAM扩展为自身的RAM并将数据寄存于其中,这样不但保障了CPU负荷不会过高,同时也保证了数据传输的可靠性。双口静态RAM芯片型号选为IDT7025。DSP芯片起着信号处理和通讯的重要作用。随着集成电路技术的发展,DSP技术也得到了快速的发展,DSP芯片的性价比也逐渐提高,目前,DSP芯片由于其自带的双工A/D转换模块、为便于电机控制而进行优化处理的事件管理器和PWM输出接口,成为了当今实现较为复杂运动的控制器的首选。该系统选用了TMS320F2812型芯片,作为TI公司研发的新一代32位定点DSP芯片,TMS320F2812型芯片采用了哈佛总线结构,每秒钟可执行的指令数为1.5亿次,具有12位16通道的A/D转换器,12个PWM输出通道以及便于开发人员调试的

JTAG接口,因而成为C2000系列芯片中功能最强大的产品。系统中还采用了CPLD芯片,作为可编程逻辑器件的一种,CPLD具有以下优点:由于CPLD内部集成了大量种类不同的逻辑门电路,可以通过CPLD的JTAG接口,在软件中进行电路的设计,从而在进行外围电路的设计过程中,可以通过软件就可以修改电路,而不需要重新设计PCB,在一定程度上节省了设计时间和成本。CPLD的主要生产厂商有:Altera、Xilinx和Lattice-Vantis,该系统选用了Altera生产的MAX II CPLD系列芯片,该系列芯片基于突破性的体系结构,其单位I/O引脚的成本和功率都是最低的,这使得MAXII CPLD芯片成为了一种低功耗、低成本的芯片。

2 电机运动控制系统

在三维打印机快速成型的过程中,电机转速控制是影响成型质量的关键因素。该系统采用闭环系统对电机的转速进行控制,相较于开环系统控制,闭环控制系统可以检测出测量值与预设值的偏差并消除偏差,具有较强的抗干扰性能,从而使电机的转速能够得到较为精准的控制。

根据闭环控制原理设计的硬件原理图如图2所示。其中,DSP芯片作为实现控制功能的核心单元,其型号选用TMS320F2812即可满足功能需求。TMS320F2812型芯片内部带有一个A/D模块,该模块是一个12位分辨率、具有流水线结构的模/数转换器,在运动控制系统中起着运动速度采集的作用。采集到的速度信号经过PID控制环节后,P控制信号经由DSP芯片的通用输入/输出多路复用器GPIO的引脚输出给电机,从而控制电机的精确运动。

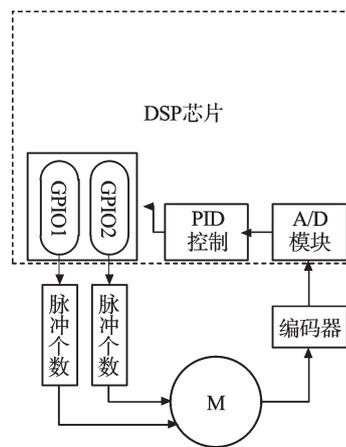


图2 电机运动控制硬件原理图

为了实现电机转速的精确运动控制,该控制系统采用了模糊控制的方法。相较于传统的PID控制,模

模糊控制是一种基于规则的控制,在设计过程中不需要对被控对象建立起精确的数学模型,因而简化了设计过程,非常适用于对那些数学模型难以建立、动态特性难以掌握的对象进行控制。同时,模糊控制系统具有较好的鲁棒性,外部干扰信号对控制过程的影响得到极大削弱,非常适用于电机的精确控制过程。利用 Matlab 建立的模糊控制系统如图 3 所示^[7]。

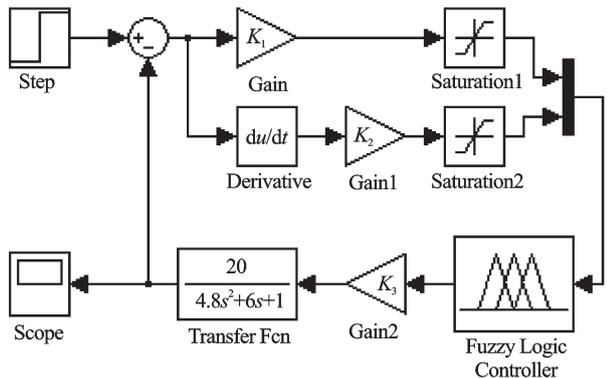


图3 Matlab环境下的运动控制系统仿真图

3 温度控制系统

三维打印机的温度控制原理为:通过温度传感器测量出打印头加热模块的温度,并将温度通过 A/D 模块转换为数字信号,再利用 PID 环节控制双向晶闸管开关的导通角,进而控制施加于加热电阻两端的电压,使得加热电阻的加热功率为恒定值,从而实现了三维打印机加热模块的温度控制。

温度控制系统的核心为晶闸管开关导通角大小的控制,双向晶闸管的特点:交流电压经过零点至下一脉冲触发期间,负载端电压为零,下一脉冲触发至交流点电压再次经过零点期间,负载端电压与交流电压源提供的电压相一致。因此,可以通过改变脉冲发生器脉冲的相位角度来改变负载端电压的大小,进而达到温度控制的目的^[8-10]。温度控制的硬件结构主要分为两部分:温度信号采集和输出控制。温度信号采集原理图如图 4 所示。 R_t 为热敏电阻的阻值,经过差动式电桥即可得到热敏阻值的变化量,再经过后续的集成运放电路、偏置电路,以调节电压值在 0~3 V 的范围内波动,进而满足 DSP 的 ADCINA0 引脚对输入电压的要求。

输出控制的硬件原理图如图 5 所示。采集到的信号经过 DSP 的 D/A 模块后,从 DSP 的 GPIOA0 引脚输出,经过光耦合双向可控硅驱动器 MOC3040,为双向晶闸管产生触发脉冲,控制晶闸管开关的导通角,进而控制加热电阻两端的电压及其加热的功率,其中

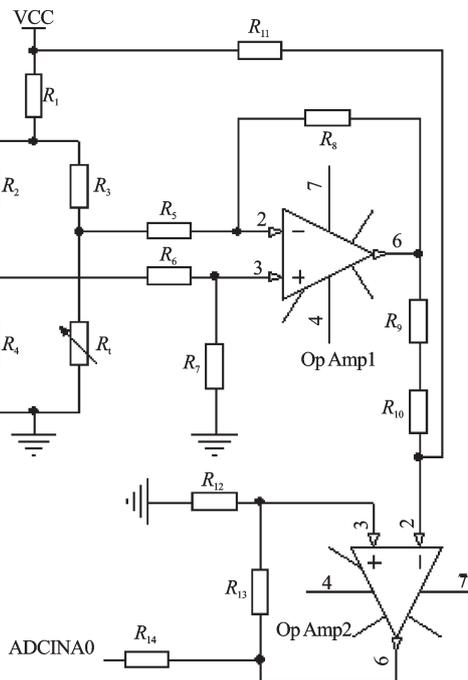


图4 温度信号采集及放大电路图

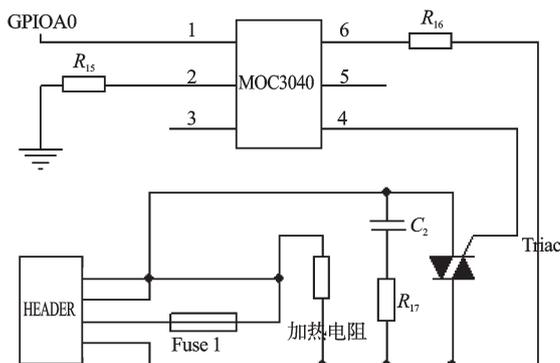


图5 输出控制电路图

Fuse1 是防止加热温度过高的熔断器。

在实际使用过程中,交流电压源过零点时,输出的负载不为 0,说明晶闸管开关不能完全关闭,为了实现对加热模块温度的精密控制,需要加入 PID 环节。PID 控制系统的原理图如图 6 所示。除了通过比例、微分和积分环节对信号进行调节外,本研究还加入了饱和环节和延时环节。由于晶闸管导通角为 $0^\circ \sim 180^\circ$,笔者加入饱和环节以限定控制参数的范围;而温度变化是一个较为缓慢的过程,需要加入延时环节,使仿真过程的时间与实际过程所需的时间相近。

仿真结果如图 7 所示,其结果表明:经过 PID 处理后的温度信号,能在更短的时间趋于稳定的状态,其上升时间相对于没有加入 PID 环节减少了将近 50%。同时,PID 环节可以显著提高控制系统的鲁棒性能,使系统在更大的频域范围内保持一定的稳定性。

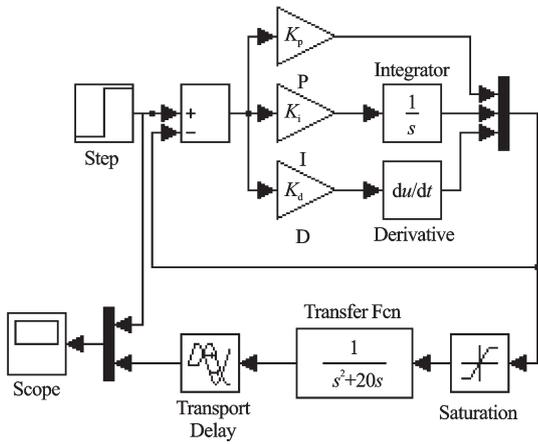


图 6 Matlab 环境下温度控制系统仿真图

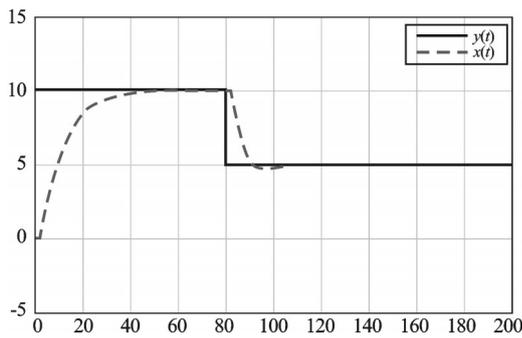


图 7 PID 仿真结果图

4 软件系统

三维打印机软件的功能模块如图 8 所示,其中温度控制和速度控制为核心部分。由于温度控制基于 PID 算法,在软件的编写过程中,需要利用 C++ 语言实现 PID 算法。PID 控制器的时域微分方程如下:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

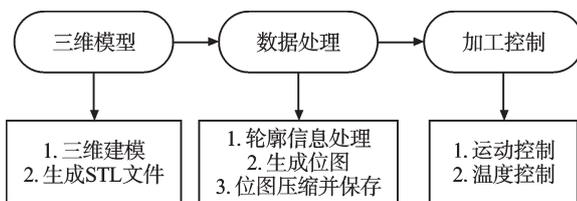


图 8 软件功能模块图

根据方程编写的 C++ 代码如下:

```
pid.err=pid.SetPoint-pid.ActualPoint;
pid.integral+=pid.err;
pid.ActualPoint=pid.Kp*pid.err+pid.Ki*pid.integral+pid.Kd*
```

```
(pid.err-pid.err_last);
pid.err_last=pid.err;
return pid.ActualPoint;
```

其中,SetPoint 代表设定温度,ActualPoint 代表实际测量温度,err 代表实际值与设定值的偏差,即 $e(t)$,积分常数 $K_i = K_p / T_i$,微分常数 $K_d = K_p \times T_d$,变量 integral 用以保存不同时间所对应的积分值,err-err_last 用以保存不同时间所对应的微分值。

5 结束语

本研究提出的新型三维打印机控制系统得到了实验验证,其实验结果表明,通过加入 PID 控制和模糊控制可以有效提高控制的准确性,进而改善三维打印机的加工精度,并为以后的研究提供了重要参考依据。

在下一阶段,本研究将主要探讨通过优化打印机喷墨头运动路径来显著缩短加工时间,改善生产效率。由于 PID 控制和模糊控制的控制效果分别与 PID 参数的整定和模糊规则的制定有关,还需对各方面参数的设定进行更为全面的实验,以求得控制系统最优解。

参考文献 (References):

- [1] 杨小玲,周天瑞. 三维打印快速成形技术及其应用[J]. 浙江科技学院学报,2009,21(3):186-189.
- [2] 张 曙,金天拾,黄仲明. 三维打印的现状与发展前景[J]. 精密制造与自动化,2013,42(2):1-5.
- [3] 高 阳. 三维打印技术在产品设计中的应用研究[D]. 北京:北京工业大学软件学院,2012.
- [4] 刘厚才. 光固化三维打印快速成形关键技术研究[D]. 武汉:华中科技大学材料科学与工程学院,2009.
- [5] 黄小毛. 熔丝沉积成形若干关键技术研究[D]. 武汉:华中科技大学材料科学与工程学院,2009.
- [6] 万建军. 三维打印快速成型机控制系统的研发[D]. 西安:西安科技大学机械工程学院,2009.
- [7] 肖云茂. 基于模糊 PID 的步进电机控制技术研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2008.
- [8] 吕俊霞. 基于模糊 PID 的温度控制系统设计与分析[J]. 精密制造与自动化,2010(2):23-26.
- [9] 张艳艳. 基于 PID 算法和 89C52 单片机的温度控制系统[J]. 工控技术,2009,21(2):216-218.
- [10] 欧阳磊. 基于自整定 PID 控制器的温度控制系统研究[D]. 淮南:安徽理工大学电气与信息工程学院,2010.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

付 尧,冯清秀. 基于 DSP 的三维打印机控制系统研究[J]. 机电工程,2014,31(2):217-220.

FU Yao, FENG Qing-xiu. Control system for 3D printer based on DSP[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(2): 217-220.