

3D 打印机控制系统的设计

徐 军, 王天伦

(哈尔滨理工大学 自动化学院, 哈尔滨 150080)

摘要: 设计了一种 3D 打印机控制系统, 采用微控制器 ATmega2560 为主控制器, 集成了 USB 通信接口模块、打印头温度检测模块、LCD 控制器模块以及电机驱动模块等; 利用计算机切片软件将 3D 模型切片产生 G 代码, 通过串口送到主控制器, 主控制器处理 G 代码并对电机驱动模块发送控制信号, 采用 PWM 脉冲宽度调制技术控制 3D 打印机的 XYZ 三轴电机及挤出机电机进行 3D 打印, 为了保证打印头快速达到打印温度并保持温度恒定, 采用增量式 PID 算法实现对温度的精确控制; 测试结果表明, 采用增量式 PID 算法后, 挤出头温度控制在 245℃, 控制精度为 1℃, 将原来的 300 s 左右进入恒温状态提高到 75 s 左右进入恒温状态, 提高了三维打印恒温控制的性能, 减少了打印过程中打印材料断丝、粗细不均匀等现象, 满足了对打印质量的要求。

关键词: 微处理器 ATmega2560; 3D 打印机; PID 控制; 温度控制

Design of 3D Printer Control System

Xu Jun, Wang Tianlun

(Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: A 3D printer control system is designed, using microprocessor ATmega2560 as the main controller, integrated USB interface module, print head temperature detection module, LCD controller module, motor drive module and so on. 3D model sliced produce G code with the help of computer chip software, through the serial port to the main controller, the master controller processes the G code and transmits the control signal to the motor drive module, using PWM pulse width modulation technology to control the 3D printer's XYZ axis motor and the extruder's motor for 3D printing, in order to ensure that the printing head reaches the printing temperature quickly and keeps the temperature constant, the incremental PID algorithm is used to realize the precise control of temperature. Test results show that, after using the incremental PID algorithm, extrusion head temperature control in 245℃, the control precision is 1℃, the time to enter the constant temperature decreases from 300 s to 75 s, improve the performance of three dimensional printing's constant temperature control. Reduce the phenomenon of printing material broken wire, uneven thickness in the printing process, meet the requirements of printing quality.

Keywords: microprocessor ATmega2560; 3D printer; PID control; temperature control

0 引言

3D 打印机又叫快速成型机, 始于 20 世纪 90 年代, 基本原理是断层扫描的逆过程, 断层扫描是把打印对象“切”成无数叠加的片, 3D 打印则是一层一层地打印, 然后叠加到一起, 成为一个立体物体^[1-3]。

在国外, 发达国家十分关注 3D 打印技术, 他们纷纷出台相关政策来鼓励其国家的企业开发 3D 打印技术, 并已经把 3D 打印技术应用于实际项目。例如美国国家航空航天局(NASA)已利用 3D 打印技术生产了用于执行载人火星任务的太空探索飞行器(SEV)的零部件, 并打算在该飞行器上搭载小型 3D 打印设备, 实现“太空制造”^[4-7]。国内从事 3D 打印技术的科学人员也在该领域做出了突出的成果, 比如 HRP 系列的打印机、打印精度实现 40mm 的突破、甚至研究出了八个喷头的挤出机, 这些进步证明了 3D 打印技术在国内也在飞速发展^[8-10]。

本次设计采用目前比较流行的一种三维成型技术既熔融堆积成型工艺(FDM), 通过 FDM 工艺技术可以保证良好的打印质量和打印精度。其打印原理是对 3D 模型进行分层处理, 把每层具体的数据以 G 代码的形式保存起来, 再通过主控芯

片和扩展版, 就可以控制打印头在 XYZ3 个轴向上的运动, 在打印头喷出塑料之前有一个加热的过程以便挤出塑料, 同样打印平台也有一个加热床来使喷出的塑料不会立刻降温, 以保证打印精度。利用以上原理, 使用 3D 打印机对 3D 模型文件进行打印。

本文设计的 3D 打印机采用 ATmega2560 作为主控芯片, 在实现打印的同时, 降低了打印机功耗和价格。选用 ABS 作为打印材料, 该材料具有优良的综合性能, 有极好的冲击强度、尺寸稳定性好、电性能、成型加工性能较好, 价格便宜, 熔点在 215℃到 250℃间。加热电路通过 PID 调节, 将挤出头温度控制在 245℃, 温床温度控制在 85℃, 保证了打印温度的恒定, 减少了断丝等现象, 提高了打印机的打印质量。

1 控制系统

1.1 控制系统设计方案

3D 打印机控制系统的设计方案如图 1 所示: 主要包括主控制器模块、USB 接口模块、打印头温度检测模块、LCD 控制器模块以及电机驱动模块等。

本系统将计算机切片产生的 G 代码上传发送给 ATmega2560 主控制器, 使用者通过 LCD 人机接口来设置打印参数, 主控制器控制挤出机内的加热棒将打印材料加热并从打印头的喷嘴挤出, 同时可以通过热敏电阻实时的将打印材料的温度反馈给主控制器。在打印头下面的打印平台上有加热床来控制打印平台温度, 也可以通过热敏电阻反馈给主控板。同时

收稿日期: 2016-09-23; 修回日期: 2016-11-03。

作者简介: 徐 军(1968-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士, 主要从事自动控制, 传感器技术的研究。

度过高则会反馈给主控板, 使挤出量无效^[13]。若挤出头温度低于挤出温度, 即使有挤出指令, 也会停止挤出工作, 从而保护了挤出头。

根据经典 PID 控制理论, 位置式 PID 表达式如式 (1) 所示:

$$u(k) = k_p e(k) + k_I \sum_{j=0}^k e(j) + k_D [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

式 (1) 中, k 为采样序号; $u(k)$ 为第 k 采样时刻的 PID 计算输出值; $e(k)$ 为第 k 采样时刻输入的偏差值即设定温度与测得温度之差 $T_1 - T$; $e(k-1)$ 为第 $k-1$ 采样时刻输入的偏差值; k_p 为比例系数; k_I 为积分系数; k_D 为微分系数。根据式 (1) 可推导出式 (2) 如下所示:

$$u(k-1) = k_p e(k-1) + k_I \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + k_D [e(k-1) - e(k-2)] \quad (2)$$

式 (1) 减去式 (2) 得到增量式 PID 控制算法表达式 (3) 如下所示:

$$\Delta u(k) = k_p [e(k) - e(k-1)] + k_I e(k) + k_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (3)$$

增量式 PID 控制算法具有计算量小, 机器故障时影响范围小等优点。令 $A = (k_p + k_I + k_D)$, $B = (k_p + 2k_D)$, $C = k_D$, 可得增量式 PID 控制系统原理图, 如图 5 所示。

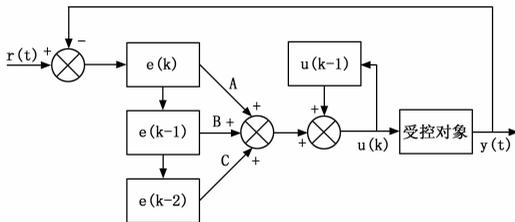


图 5 增量式 PID 控制系统原理图

2 系统软件设计

3D 打印机的软件部分包括三部分, 第一, 下载固件并配置固件, 这里用到的是 Marlin 软件, 运行前需要设置好固件参数并上传固件。第二, 利用切片软件 Slice3r 将三维模型的 STL 文件进行切片分层, 输出一种机械代码 (G-code) 给主控板。第三, 机械代码保存成一个文件, 在上位机 Print run 中打开, 然后连接打印机和电脑, 至此可以对打印机直接进行操作。具体流程图如图 6 所示。

3 系统测试及结果分析

本次设计的 3D 打印机结构主要由木质框架、挤出机、XYZ 轴螺杆、打印平台、LCD 控制器和电源等主要部分组成。

设计选用的 3D 打印材料为 ABS, 熔点在 215 °C 到 250 °C 之间^[14], 所以 3D 打印机的挤出头在工作中需要将温度控制在 230 °C 至 250 °C 之间。挤出头温度过低会导致打印失败或换料时预热达不到耗材的熔点, 换不了料; 挤出头温度过高, 则会严重影响其使用寿命, 所以需要实时的监测并控制挤出头的温度^[15]。

已知加热升温的传递函数为一阶惯性环节如公式 4 所示:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} \quad (4)$$

式 (4) 中, k 为放大系数, T 为时间常数, 在不加入 PID

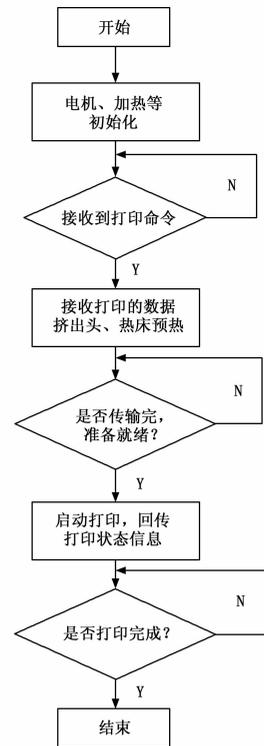


图 6 系统软件流程图

算法控制前, 设目标温度为 245 °C, 加热电阻丝功率为 60 W。微处理 ATmega2560 的采样周期 T 是恒定的, 值为 40 左右, 通过飞升曲线法实验计算得其 K 值约等于 1, 因此得到其传递函数如公式 (5) 所示:

$$G(s) = \frac{1}{40s + 1} \quad (5)$$

用 MATLAB 中的 Simulink 模块对加热升温的传递函数进行了模拟, 如图 7 所示, 其稳定时间为 300 s 左右。

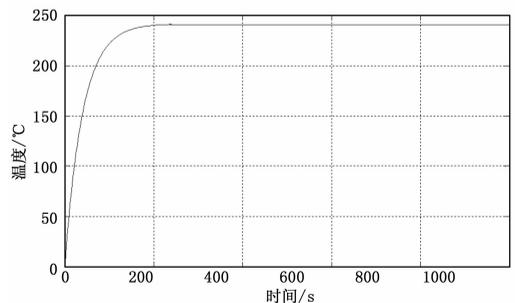


图 7 模拟的加热过程曲线

利用增量式 PID 算法, 由于微处理 ATmega2560 的采样周期 T 是恒定的, 因此只要确定 k_p , k_I , k_D 的值和前后 3 次测得的温度偏差值就可以完成对温度的控制。PID 温控系统中的 k_p , k_I , k_D 值可通过 Simulink 模块中的 PID 功能模块进行选择, 本次模拟分析设定的初始值为 $k_p = 1$, $k_I = 1$, $k_D = 0$, 其 PID 响应曲线如图 8 中闭环响应所示, 其超调量为设定恒温温度的 1.6 倍, 稳定时间为 250 s 左右, 因此 k_p , k_I 选择不合理。通过调整响应时间多次修正后所得 k_p , k_I , k_D 值如图 9 中调谐响应所示, 其超调量仅为设定恒温温度的 5%。

如设定喷头温度为 245 °C, 加热电阻丝功率为 60 W, 则

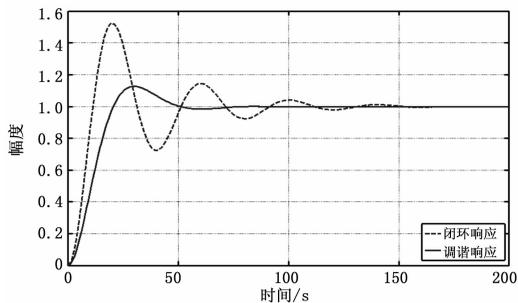


图 8 在不同 PID 3 个参数下的响应曲线图

最大超调温度为 257.25℃，该超调温度对打印材料的性质没有显著影响，其稳定时间为 70 s，与不加 PID 算法时的 300 s 相比较，有大幅减小。在此状态下， $k_p = 3.284$ ， $k_i = 0.088$ ， $k_D = -18.235$ ，所得加热恒温曲线如图 9 所示。

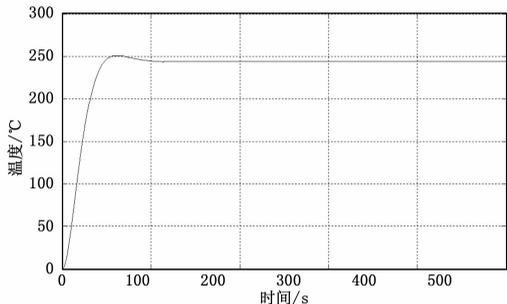


图 9 加入 PID 算法后模拟的加热过程曲线

加入 PID 算法后测得喷头达到设定恒温 245℃ 时平均最大超调温度为 256.8℃，稳定时间为 75.3 s，最大超调量为 4.8%，其最大超调温度对三维打印材料性质影响不大因此满足 3D 打印头恒温控制的要求。打印机具有了温度控制精度高，稳定后温差小，温度波动小，温度达到稳定所用时间短的特点。

4 结语

本文就 3D 打印机的设计给出了具体的实现原理及程序流程，采用 ATmega2560 为主控制器，设计了硬件电路并完成了系统软件的编写。设计的 3D 打印机与传统 3D 打印机相比，具有低功耗、价格低的特点。加热电路通过 PID 调节，温度

控制在 245℃，控制精度为 1℃，减少了打印过程中打印材料断丝、粗细不均匀的现象，满足了对打印质量的要求。经实际验证，本设计的 3D 打印机系统性能稳定。

参考文献:

[1] Walters P, Davies K. 3D printing for artists; research and creative practice [J]. Journal of the Norwegian Print Association, 2010, (1): 12-15.

[2] 韩霞. 快速成型技术与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.

[3] 王运赣. 三维打印技术 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2014: 9-63.

[4] 郭日阳. 3D 打印技术及产业前景 [J]. 自动化仪表, 2015 (3): 5-8.

[5] 王灿才. 3D 打印的发展现状分析 [J]. 丝网印刷, 2012, (9): 37-41.

[6] Brian, Vans E. 解析 3D 打印技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.

[7] Christopher, Arnett B. 3D 打印: 正在到来的工业革命 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.

[8] 董子凡. 3D 打印: 将虚拟“打”进现实 [J]. 科技生活, 2012 (23): 5-6.

[9] 蔡恩泽. 3D 打印颠覆传统制造业 [J]. 中国中小企业, 2012, (17): 46-47.

[10] 丁万. 微型 FDM 型 3D 打印机的研制 [M]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.

[11] 黄树槐, 肖跃加, 莫健华. 快速成型技术的展望 [J]. 中国机械工程, 2000: 195-200.

[12] 刘光福, 李爱平. 快速成型与快速制模技术 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2004.

[13] 王运赣. 三维打印技术 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013.

[14] Siti Afifah mohshim. Fast Prototyping and low Volume Manufacturing Using 3d printer [A]. Conference Proceedings of 3rd International Conference on Advances in Engineering & Technology (Kuala Lumpur) [C]. Kuala Lumpur University, Kuala Lumpur, 2014: 645-650.

[15] 许向宏. FDM3D 打印机及其适用材料分析 [J]. 广东印刷: 技术专栏, 2015, 39 (1): 46-49.

改进粒子群优化算法的电力变压器故障诊断方法 [J]. 高电压技术, 2014, 40 (11): 3424-3429.

[2] 李应红, 尉询楷, 刘建勋. 支持向量机的工程应用 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2004.

[3] 张艳秋, 王蔚. 利用遗传算法优化的支持向量机垃圾邮件分类 [J]. 计算机应用, 2009, 29 (10): 2755-2757.

[4] 张培林, 钱林方, 曹建军. 基于蚁群算法的支持向量机参数优化 [J]. 南京理工大学学报, 2009, 33 (4): 464-468.

[5] 黄璇, 郭立红, 李姜, 等. 磷虾群算法优化支持向量机的威胁估计 [J]. 光学精密工程, 2016, 10 (6): 25-29.

[6] 段锁林, 任珏朋, 毛丹, 等. 基于改进的 PSO 优化 SVM 火灾火焰识别算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (4): 202-205.

[7] 刘建峰, 淦燕. 基于模糊多核学习的改进支持向量机算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (3): 231-233.

[8] 冯晓琳, 宁芊, 雷印杰, 等. 基于改进型人工鱼群算法的支持向量机参数优化 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (5): 237-241.

[9] 郑含博, 王伟, 李晓娟, 等. 基于多分类最小二乘支持向量机和

[10] 张进, 丁胜, 李波. 改进的基于粒子群优化的支持向量机特征选择和参数联合优化算法 [J]. 计算机应用, 2016, 36 (5): 1330-1335.

[11] 周璐, 卢冰原. 基于改进粒子群算法的支持向量机参数优化及应用 [J]. 企业文化旬刊, 2014, 10 (2): 14-19.

[12] 柴远斌. 改进粒子群算法和最小二乘支持向量机的电力负荷预测 [J]. 电气应用, 2015, 6 (12): 46-49.

[13] 黄东, 李长彬. 基于粒子群算法优化最小二乘支持向量机的网络安全态势评估 [J]. 信阳师范学院学报自然科学版, 2016, 12 (1): 113-115.

[14] 崔东文, 金波. 动态自适应粒子群优化算法与最小二乘支持向量机在年径流预测中的应用 [J]. 人民珠江, 2016, 37 (10): 145-152.