

彩色三维打印机控制系统的开发

夏 俊¹, 杨继全²

(1 南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097;

2 南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 三维打印成型技术是集机械、自动控制、精密控制、计算机技术等为一体的先进制造技术. 在对研制的彩色三维打印成型系统的结构及工作流程的基础上, 进行了控制系统的总体设计, 研究了基于 TRIO 运动控制卡的多轴协调运动规划、上千个微细喷嘴的数字化喷墨控制方式、喷墨控制主板及副板的设计方法等. 该控制系统能把数据处理软件传来的每层彩色图像采用“按需喷墨”的喷射方式控制微细喷嘴的开、关, 从而实现彩色成型件的快速制作.

[关键词] 快速成型, 三维打印, 控制系统, 喷嘴控制

[中图分类号] TP 204 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2009) 02-0008-05

Development of Control System of Color Three-dimensional Printer

Xia Jun¹, Yang Jiquan²

(1 School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

2 School of Electrical and Automation Engineering Nanjing Normal University Nanjing 210042 China)

Abstract Three-dimensional Printing(3DP) technology, which integrates mechanics, automatic control, precision control and computer science, is one of the advanced manufacturing technologies. Based on the introduction of framework and work flow of color 3DP system, control system is designed. Multi-axes motion control of TRIO card, thousands micro-nozzles control methods, mainboard and subboard of nozzles control are developed. The control system, which can convert color slices from data process software into nozzles on-off as drop-on-demand, was applied into 3DP apparatus to quickly build color prototypes.

Key words rapid prototyping, three-dimensional printing, control system, nozzle control

20 世纪 80 年代末、90 年代初出现的快速成型 RP (Rapid Prototyping and Manufacturing) 技术, 被认为是近 20 年制造技术领域的一次重大突破. 目前主要的快速成型工艺有: 光固化快速成型、选层实体制造、选择性激光烧结、熔融沉积制造、三维打印成型等. 其中三维打印成型 3DP (Three Dimensional Printing) 工艺由于具有成型速度快、制作成本低等优点, 因而成为快速成型技术中非常具有活力的一个分支^[1-3].

根据使用不同的成型材料, 3DP 成型技术可分为粘接材料三维打印成型 (如美国的 Z Corp 公司)、光敏材料三维打印成型 (如以色列的 Object Geomtries 公司) 和熔融材料三维打印成型 (如美国的 Stratasys 公司) 3 种工艺, 其中只有粘结材料三维打印成型工艺可以制作出具有全彩色的三维成型件, 其常用的材料包括陶瓷、金属、塑料的粉体, 关键的技术就是配制合乎要求的粘结剂^[3].

目前仅有美国的 Z Corp 公司开发的成型设备具备了制作彩色三维成型件的能力. 本文主要介绍本课题组研制的具有全彩色三维打印成型装置的控制系统的开发过程.

1 彩色 3DP 的结构及工作流程

研制的彩色三维打印成型系统包括机械装置、控制系统、软件系统、检测系统等部分, 其整体结构由图 1 所示, 其工作流程由图 2 所示.

收稿日期: 2008-12-18

基金项目: 江苏省高新技术研究 (BG2006042) 资助项目.

通讯联系人: 杨继全, 博士, 副教授, 研究方向: 数字化设计与制造、智能机器人. E-mail: jiquany@126.com

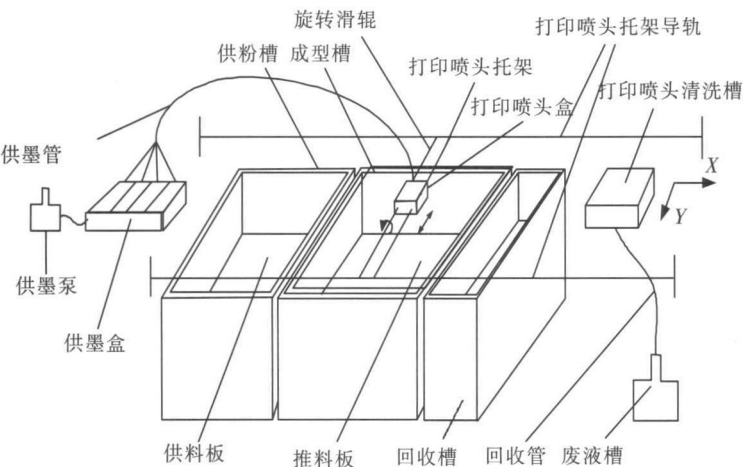


图 1 3DP 系统整体结构
Fig.1 3DP system frame

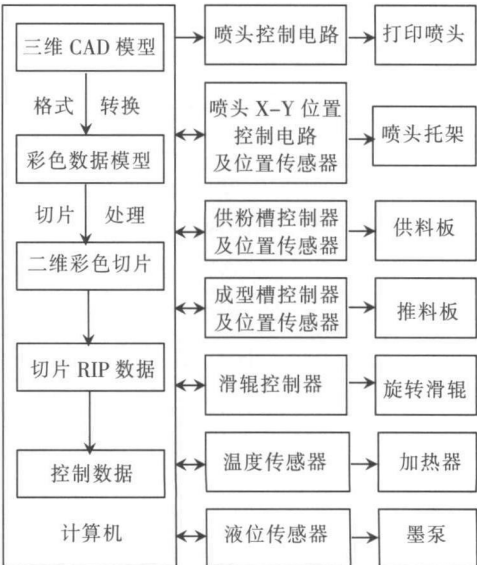


图 2 彩色三维成型系统工作流程
Fig.2 Color 3DP system flow

由图 2 可见, 先建立预加工的计算机三维实体模型, 将其以彩色 STL、ply、wrl 等数据格式存储, 之后采用本课题组开发的彩色三维模型切片软件对该彩色三维模型进行切片分层 (如图 3 所示), 得到一系列具有色彩信息的二维切片 (如图 4 所示), 再进行切片光栅图像处理 RIP (Raster Image Processor) 分析, 获得每层的加工信息。制作开始时, 计算机控制供料板和推料板把粉末铺平在成型槽上方, 新铺的粉末层厚为该层的切片厚度; 然后, 在新铺的粉末上快速打印出该层彩色图像; 如此反复, 一层层的打印并粘结, 从而快速制作出彩色三维物体。

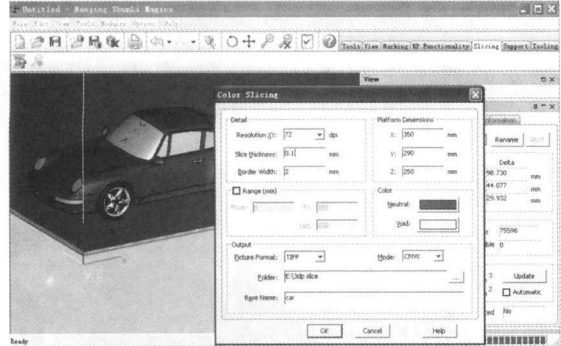


图 3 彩色切片参数设置
Fig.3 Color slicer parameter setting

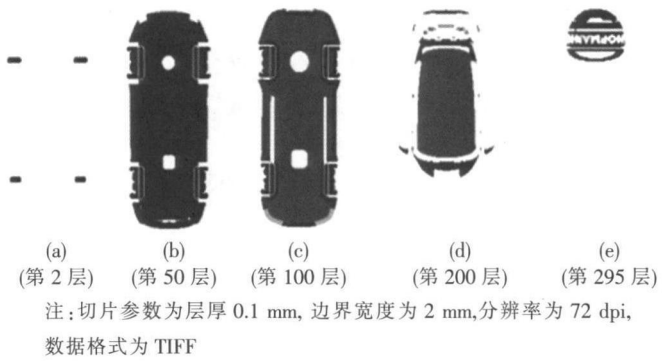


图 4 彩色切片
Fig.4 Color slices

为使喷射的粘结剂与成型材料更充分地反应以获得更好的机械性能, 在整个成型件加工过程中均需要对 3DP 系统的工作空间进行加热, 经过多次成型试验, 确定本系统的工作温度为 32~ 38℃。

2 彩色 3DP 控制系统的设计

2.1 3DP 控制系统总体设计

控制系统是整个彩色 3DP 系统的关键部分之一, 图 5 为彩色 3DP 控制系统的整体框架。上位机控制软件调入经由分层切片软件处理而得到的 TIFF 格式的二维切片数据文件, 把切片数据经过处理后, 通过 USB 接口输送到喷墨控制板的 SDRAM 中, 然后根据此数据和 Y 轴电机的光栅位置反馈信号控制喷头的粘接剂喷射。喷墨控制板主要提供 CMYK 4 个喷头的数据信号和使能信号并接收电机的位置反馈信号, 即可在不同的位置点喷射不同颜色的墨水 (即粘结剂), 从而在此位置点上叠加而成所需要的色彩^[4]。X 轴和 Y 轴采用伺服电机控制, 喷墨控制板接收伺服驱动器的光栅信号输出确定电机的当前位置和运动方向。

2.2 3DP 运动控制

本系统采用英国的 trio 运动控制卡, 该运动控制卡可以同时 对 5 个轴进行联动控制, 此运动控制卡具有高速、高精度、编程简单等优点. 运动控制卡与计算机上位机软件之间采用 RS232 串口通信的方式, 用 TRIO BASIC 语言编写运动控制程序. 在控制卡编程时设有一个控制 3DP 系统开始打印的状态变量和一幅二维切片数据图像处理好的状态变量, 当一幅二维切片数据处理好后, 控制软件就通过串口对该状态变量置位, 当控制卡查询到此状态时, 就开始一层的打印工作. 控制面板主要通过运动控制卡接收按键命令进行手动铺粉和联机 / 脱机的控制. 运动控制卡有 8 个 I/O 输出口, 16 个 I/O 输入口, 其中前 8 个 I/O 口是输入输出复用的, 这些接口能够满足整个系统的要求.

伺服电机有多种控制方式, 本控制系统采用位置控制方式. X 轴与控制卡的接口信号有脉冲、方向和集电极开路的 + 5V 信号, Y 轴则增加伺服驱动器的光栅输出信号, 用来准确定位 Y 轴电机的位置和转动方向, 此信号与喷墨控制板的光栅输入信号接口相连. TRIO 运动控制卡有加、减速参数设置、速度设置和自动搜寻原点的功能. 使用常闭的光电限位开关来定位原点, 使用 TRIO 控制卡的 DATUM () 函数来进行原点搜索. 当系统开机并自检通过后, X、Y 轴就进行原点搜寻, 搜索到原点后就定位在预定的位置, 以后的各轴运动都以这个位置为参考零点, 等待控制面板或上位机控制软件发指令.

在编写运动控制程序时采用状态机的方法, 这样就可以把一连串运动分解到每一个状态当中, 因此, 任何一个状态都可以暂停运动, 而不是一一定要在整个运动执行完毕后可以暂停, 这样不会影响其它动作的执行.

TRIO 运动控制卡的运动控制流程大致如下:
GLOBAL “变量名”, 序号 / 设置全局变量, 此全局变量可以通过串口设置变量值, 同样的可以用 PRINT#“端口号”, “\$T”; 变量名; “@ ”向主机发送变量值 (/ 后面表示注释)

```
main                / 主程序
GOSUB datum_init    / 原点搜寻参数设置
GOSUB goto_datum     / 回系统原点
GOSUB prt_pam        / 打印参数设置
GOSUB print_init
WHILE TRUE           / 整个运动在此重复执行. 在此过程中把每个完整的运动分解为多个小的运动状态, 这样软件就一直在对状态进行查询, 可以在不影响当前运动的前提下, 做其他动作.
    print_state      / 打印状态
    unpark
    repark
    ctm_oto           / 电机控制
    press_spread      / 手动铺粉
WEND
```

2.3 3DP 喷墨控制

在计算机中, 各切片上的每个像素都是用 24 位 RGB 来表示, 本设备在加工各切片之前, 计算机软件驱动程序要通过 “色彩转换” 和 “半色调转换” 这两个步骤把 RGB 模式转换成 4 位 CMYK 模式. 由于本文考虑的是多材料成型件, 所以成型件所有切片上各像素的灰度种数与成型件所需材料数相同. 加工各切片时, 驱动程序将该切片上各像素的灰度值转换成控制打印喷嘴的一系列开 / 关命令, 控制这些喷嘴是否喷射.

假设某成型件共需要 s 种材料, 并且被切出 t 个切片, 每个切片又被计算机分割成 m 个像素, 如果记喷射控制信号为 1, 不喷射控制信号为 0 则在每个切片中针对各像素, 每个喷嘴的控制信号对应着一个 t × m 矩阵. 用 P₁ 表示第一个喷嘴在各层中的控制信号, 则:

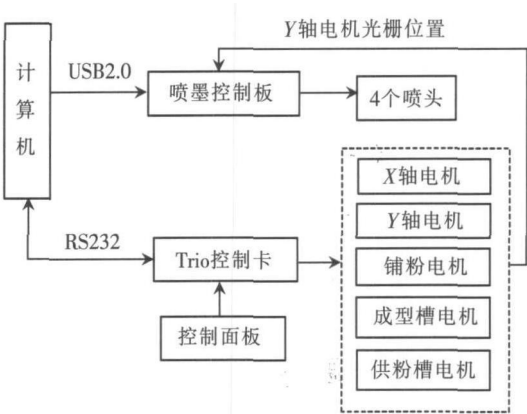


图 5 控制系统总体框架
Fig.5 Control system frame

$$P_1 = \begin{bmatrix} x_{111} & x_{112} & \cdots & x_{11m} \\ x_{121} & x_{122} & \cdots & x_{12m} \\ \cdots & \cdots & x_{1\bar{j}} & \cdots \\ x_{1t1} & x_{1t2} & \cdots & x_{1tm} \end{bmatrix}, \tag{1}$$

其中, x_{1ij} 表示第一个喷嘴在第 i 个切片中针对第 j 个像素的控制信号, $i \in [1, t], j \in [1, m]$, 且 $x_{1ij} = 1$ 或 0 从而可以得到第 n 个喷嘴在各层中的控制信号 P_n .

$$P_n = \begin{bmatrix} x_{n11} & x_{n12} & \cdots & x_{n1m} \\ x_{n21} & x_{n22} & \cdots & x_{n2m} \\ \cdots & \cdots & x_{n\bar{j}} & \cdots \\ x_{nt1} & x_{nt2} & \cdots & x_{ntm} \end{bmatrix}, \tag{2}$$

其中, x_{nij} 表示第 n 个喷嘴在第 i 个切片中针对第 j 个像素的控制信号, $n \in [1, s], i \in [1, t], j \in [1, m]$, 且 $x_{nij} = 1$ 或 0

2.4 喷墨控制主板设计

图 6 为整个喷墨控制板的模块框图. FPGA 采用 ALTERA 公司的 Cyclone 系列的现场可编程门阵列, 提供了专用的 SDRAM 外部存储器接口, 并内置 2 个增强型锁相环, 提供高性能的时钟管理能力. 整个控制系统的核心部分都用 VHDL 语言采用模块化设计方法在 FPGA 内部实现, 包括 USB 接口模块、SDRAM 接口模块、数据处理模块、光栅计数模块、时钟分频模块等^[5]. SDRAM 接口模块提供时钟信号、地址总线、复位信号等, 并通过 FIFO 存储器与 SDRAM 器件连接^[6]. FIFO 存储器为 Cyclone 器件提供的免费 IP 核^[7], 在编程时通过配置直接生成, 位宽和深度都可以在不超过最大值的情况下自行定义.

该 SDRAM 接口的输入输出信号接口定义如下:

```
library ieee;
use ieee std_logic_1164 all;
use ieee std_logic_arith all;
use ieee std_logic_unsigned all;
entity sdram_b is port(
    addsel_clk, rst_clk200K: in std_logic;
    rdadd_in: in std_logic_vector(15 downto 0);
    AddrEq, WriteNoEn, ReadNoEn: in std_logic;
    :
    sd_clk: buffer std_logic;
    sd_add_out: std_logic_vector(11 downto 0);
    rdaddOut, rdaddOut_out: std_logic_vector(22 downto 0);
    sd_ba_out: std_logic_vector(1 downto 0));
end sdram_b;
```

2.5 喷墨控制副板设计

喷墨控制副板的作用主要是接收从喷墨主板发送的控制信号和数据信号, 并用这些信号驱动 4 个喷嘴的触点, 从而使喷头加热产生气泡把粘接剂从喷嘴压出. 该副板采用了 26 芯扁平数据电缆接插头、48 芯扁平数据电缆接插头、74HC244D 驱动芯片、MC3486 信号接收芯片、MC3487 信号发送芯片、稳压芯片、调压芯片等. 其中, 74HC244D 驱动芯片驱动 4 个喷头的控制信号和使能信号, 因为 4 个喷头均有两列数百个喷嘴, 并且可以分别控制, 所以每个喷头的每一列都提供使能信号 EN、复位信号 RST、列控制信号 CP 和 3 个数据信号 D1、D2、D3. 这些信号都经过 74HC244D 驱动芯片驱动; MC3486 芯片与信号发送芯片 MC3487 配合使用, 信号发送芯片 MC3487 的作用是把输入的一路信号变换成两路输出的差分信号, 因为差分信号抗干扰能力更强, 传输更稳定, MC3486 的作用则刚好相反; 稳压芯片提供 + 5V 输出电压; 调压芯片提供喷头所需的 + 10V 或更高些的工作电压.

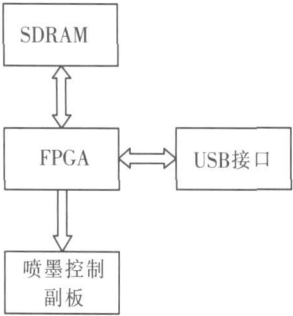
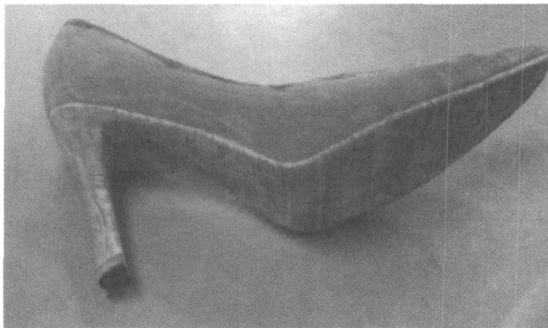


图 6 喷墨控制板框图

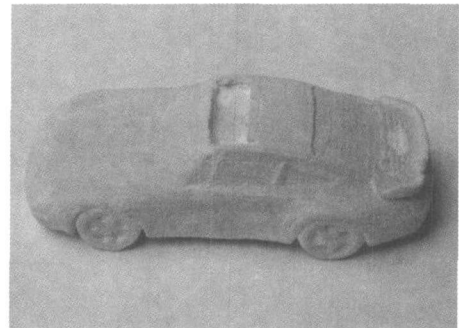
Fig.6 Ink-jet control board frame

3 结论与分析

本文开发的 3DP 控制系统采用了自主开发的喷墨控制子系统及基于 TR D 卡的运动控制子系统, 与开发的彩色三维模型数据处理软件相结合, 能够完成三维实体模型的上色、贴图、数据修复、格式转换、切片分层、数据解析、运动控制等一系列功能. 目前开发的控制系统已应用于研制的彩色 3DP 设备中, 经过较长时间运行测试后, 该系统运行稳定, 图 7(a)和 7(b)就是由该 3DP 系统所打印出的彩色三维实体模型.



(a) 女士高跟鞋



(b) 汽车模型

图 7 3DP 系统制作的彩色三维实体模型

Fig.7 Color 3D models by 3DP system

在打印成型过程中, 尚需对以下几个方面作进一步研究与改进:

- (1) 提高成型精度. 开发性能更为优越的成型材料和粘结剂, 使其反应迅速且收缩性减小.
- (2) 增强色彩还原度. 改进图像处理算法, 尽量减少图像色彩的失真度, 同时降低对内存的消耗.
- (3) 改善成型工艺. 如定期对喷头进行清洗, 以免喷头堵塞, 影响打印质量; 增加故障报警信号的处理功能, 以便于维护.

[参考文献] (References)

- [1] 伍咏晖, 李爱平, 张曙. 三维打印成型技术的新进展 [J]. 机械制造, 2005(12): 62-64
Wu Yonghui, Li Aiping, Zhang Shu. The new progress of three-dimensional printing technology [J]. Machinery Manufacturing, 2005(12): 62-64 (in Chinese)
- [2] Giannatsis J, Dedoussis V. Additive fabrication technologies applied to medicine and health care: a review [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007(12): 116-127
- [3] 杨继全, 徐国财. 快速成型技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006
Yang Jiquan, Xu Guocai. Rapid Prototyping Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006 (in Chinese)
- [4] 何继成, 高有行, 王厚生. 喷墨绘图机喷头驱动电路的分析与设计 [J]. 电子计算机与外部设备, 1995 23(3): 8-10
He Jicheng, Gao Youxing, Wang Housheng. Inkjet plotter nozzle driving circuit analysis and design [J]. Electronic Computer and External Equipment, 1995 23(3): 8-10 (in Chinese)
- [5] Jayaram Bhasker. VHDL 教程 [M]. 刘雷波, 孟一聪译. 北京: 机械工业出版社, 2006
Jayaram Bhasker. A VHDL Primer [M]. Liu Leibo, Meng Yicong Translation. Beijing: China Machine Press, 2006 (in Chinese)
- [6] 邱建鹰, 柏业超, 马飞, 等. 基于 USB 的高精度 AD 模块综合测试台设计 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2008 3(1): 13-17.
Qiu Jianying, Bai Yechao, Ma Fei, et al. Design of precise AD module testing system based on USB [J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2008 3(1): 13-17 (in Chinese)
- [7] 徐光辉, 程东旭, 黄如, 等. 基于 FPGA 的嵌入式开发与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006
Xu Guanghui, Cheng Dongxu, Huang Ru, et al. FPGA-based Embedded System Development and Application [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2006 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]