

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.09.009

多色光敏树脂 3D 打印机的设计与实现^{*}

王春梅, 杨文龙^{*}

(1. 广东金融学院 互联网金融与信息工程系, 广东 广州 510521; 2. 广州国光仪器有限公司, 广东 广州 510800)

摘要:针对当前以液态光敏树脂为原料的立体快速成形技术来实 3D 打印实现多色打印和原料回收问题, 对光敏树脂的成形方式和固化机理进行分析, 对立体光固化成型(SLA)技术和数字光处理(DLP)技术进行了深入研究, 提出了一种基于 DLP 技术的多色光敏树脂 3D 打印机, 详尽论述了高分辨率 DLP 投影仪的工作原理和电路设计, 给出了一个 4 色光敏树脂 3D 打印的整体解决方案, 并设计了打印原料的自动回收装置。研究表明:采用 DLP 技术的光敏树脂 3D 打印比 SLA 技术的打印速度要快得多, 同时满足高分辨率 3D 打印的要求;采用基于 DLP 技术的多色光敏树脂能实现多层颜色打印以及原料自动回收的功能, 满足快速成型制造技术的要求, 实现了 3D 打印智能化和自动化, 达到了预期的目标。

关键词:3D 打印; 光敏树脂; SLA; DLP; 多色打印

中图分类号:TH166; TG665

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)09-0999-05

Design and realization of multicolor photosensitive resin 3D printer

WANG Chun-mei, YANG Wen-long

(1. Department of Internet Finance & Information Engineering, Guangdong University of Finance, Guangzhou 510521, China; 2. Guangzhou Guoguang Instrument Co., Ltd., Guangzhou 510800, China)

Abstract: Aiming at the problems of current the three-dimensional rapid prototyping technology bases on liquid photosensitive resin to realize multi-color printing and raw material recovery, the forming method and curing mechanism of the photosensitive resin were analyzed, the stereo lithography appearance technology and digital light procession technology were deeply researched. A multi-color photosensitive resin 3D printer bases on DLP technology was proposed, the working principle and circuit design of high resolution DLP projector were discussed in detail, the overall solution for four-color photosensitive resin 3D printing was given, and the automatic recovery of printed materials was designed. The results indicate that the photosensitive resin 3D printing of using DLP technology prints faster than SLA technology, also meet the requirements of high-resolution 3D printing; multi-color photosensitive resin 3D printer bases on DLP technology can achieve multilayer colors printing and function of automatic recycling raw materials, to meet the requirements of rapid prototyping manufacturing technology, to realize intelligent and automatic 3D printing, the expected target is achieved.

Key words: 3D printing; photosensitive resin; stereo lithography appearance(SLA); digital light procession(DLP); multicolor printing

0 引 言

液态光敏树脂为原料的 3D 打印机是基于光敏树

脂在紫外(UV)光下固化的 3D 打印技术,其固化快速、成型精度高、表面光洁好、物件机械强度高、具有类 ABS 性能特点,适用于主流快速成型设备。光敏树脂一般为低粘度的液态,常用于制作高强度、耐高温、防

收稿日期:2016-12-08

基金项目:广东省重大科技专项资助项目(2015B010124004)

作者简介:王春梅(1974-),女,山东荣成人,硕士,讲师,主要从事计算机应用方面的研究。E-mail:mei_wangchun@163.com

通信联系人:杨文龙,男,高级工程师。E-mail:wlxyang@tom.com

水等材料。光敏树脂由聚合物单体与预聚体组成,其中加紫外光引发剂(或称为光敏剂),在一定波长(250 nm~400 nm)的紫外光波长照射下立刻引起聚合反应,即完成固化^[1]。

光敏树脂是一种既古老又崭新的材料,与一般固化材料比较,光固化材料具有下列特性:

(1)固化速度快,可在4 s~10 s内固化,可应用于要求立刻固化的场合;

(2)不需要热源,不存在温控问题;

(3)可配制多种颜色,实现多色打印。

近年来光敏树脂在3D打印机上得到广泛的应用,但几乎都为单色打印^[2]。本研究将利用已调颜色液态光敏树脂为原料以实现多色打印,使光敏树脂3D打印机锦上添花。

1 光敏树脂3D打印机原理

根据所采用光源的不同,光敏树脂3D打印机可分为SLA和DLP两种数字光处理机器。

1.1 SLA 技术

立体光固化成型技术的光源来自UV(紫外光)激光器。激光光束通过数控装置控制振镜扫描,按设计的扫描路径照射到液态光敏树脂表面,使表面特定区域内树脂固化。每当一层加工完成后,生成物件的一个截面,然后升降台下降一层距离,固化层上覆盖另一层液态树脂,再进行下一层扫描。后一固化层牢固地粘结在前一固化层上,逐层叠加而成三维工件原型。

SLA技术采用的是激光照射光敏树脂的方式,激光头依照模型切片生成的G代码,从点到线再到面,顺序扫描每一层模型切面,被激光照射到的光敏树脂迅速固化,但SLA每层需要由刮板将液态树脂刮均匀。为了实现高速扫描,激光经激光器产生经过X、Y两个方向的振镜依次反射,再照射到树脂表面。SLA的特点是成型精度高,大部分的高精度工业级光固化机器都是采用SLA。由于SLA打印技术类似于FDM型3D打印技术,每一层成型过程都是走轨迹的逐点固化,速度比较慢。

1.2 DLP 技术

数字光处理技术3D打印机的光源是来自投影仪。投影仪每次将一个模型的切面作为平面图像通照射到液态树脂上使之固化,利用这种方式每次成型一个面,打印时间只取决于要打印物件的层高,因此打印

速度要比SLA快,采用这种方式可实现小批量快速成型生产。

DLP式3D打印机又分为上投式和下投式,上投式3D打印机DLP投影仪在物件上方,与SLA3D打印机结构相似,不过就是由DLP投影仪取代上方的激光器及振镜装置。下投式即投影仪在下方,树脂槽底部透明,内侧覆盖离型膜或者硅胶,以避免物件粘结在槽里。每固化一层后,可升降构建台提升一个层厚的距离。为了能够充分离型以及底部补充树脂,一般采用先升再降的方式,例如,以0.1 mm层厚打印,先抬高5 mm,再下降4.9 mm。下投式DLP打印机的离型膜或硅胶多次使用后也会损耗,因此也属于耗材。

而上投式的优点是没有离型问题,每次成型面均在液面,成型后模型浸在树脂内。树脂表面张力会影响成型层厚及成型效果,因此工业级的DLP会多一个刮板装置。每次成型平台下降时,刮板都会将液面刮平,以减小树脂表面张力的影响。

2 DLP 投影仪

传统的投影仪多半采用LCD技术,它是利用液晶的电光效应,通过电路控制液晶单元的透射率及反射率,从而产生图像。LCD投影仪的主要成像器件是液晶板,如果将LCD投影仪用于光敏树脂的3D打印机,存在分辨率低,体积大和灯泡寿命短等问题。而目前DLP投影仪是目前体积小分辨率极高的投影仪,非常适合平面光固化3D打印,DLP投影技术是应用了数字微镜器件(digital micro-mirror device, DMD)来做主要关键元件以实现数字光学处理过程。

2.1 DMD 器件

DLP投影机是采用光学数字化反射式的新型设备,DLP投影机的关键成像器件DMD是在1987年由TI公司的Dr HORNBECK L发明的。DMD是通过二位元脉冲控制的半导体器件,该器件具有快速反射式数字开关性能,能够准确控制光源。其基本原理是,光束再投射在DMD部件上,控制微镜偏转角,将需要发光像素投射到屏幕上,不需要发光的像素反射到光吸收板上。

二位元控制的微镜如图1所示。

在DMD装置中每个微镜都有一个复杂的微机电控制装置,包括偏转支架,铰链和弹簧等。每个微镜下

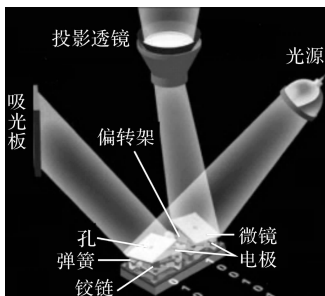


图1 二位元控制的微镜

方有两个电极,通过施加到电极上的电压控制微镜 $\pm 12^\circ$ 角两个位置偏转,因此在微镜的电极上,通过电压控制微反射镜偏转,获得了高精度的控制能力和无限的偏转寿命。一片DMD以矩阵分布安装了多达200多万个正方形的微反射镜,微镜的大小相当于头发丝的1/10,每一个微镜都对应着生成图像的一个像素,微镜数目决定了一台DLP投影机的物理分辨率。

2.2 微反射镜工作原理

在DMD芯片,微反射镜是其最小的工作单位,微反射镜主要作用反射光线,其偏转角度达 $\pm 12^\circ$ 。

微反射镜的工作示意图如图2所示。

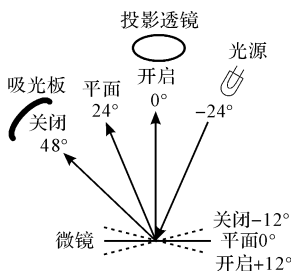


图2 微反射镜工作示意图

在微反射镜开启状态($+12^\circ$)时,入射光线(光源)的入射角达到 12° ,反射角亦达 12° ,两者相加是 24° 。微反射镜将光源的入射光绝大部分反射到投影透镜,此时光能最大;若微反射镜偏向关闭(-12°)状态时,此时微反射镜将入射光绝大部分反射到吸光板,投影透镜上的光能非常小,亮度最低。由此可见一块仅能提供 $\pm 12^\circ$ 偏转的微反射镜,而实际情况却提供 72° 的工作范围,再考虑到微反射镜是通过电极控制的、可视为实现无级翻转,进而在单个像素内提供极高的亮度控制范围,能轻松实现高对比度^[3]。

2.3 DLP 投影仪系统结构

位于DMD芯片内部海量的微反射镜,这些微反射镜是依靠电极来控制的,电极则是底层CMOS控制电路和镜片复位信号的二进制状态进行单独控制的,在16个单独的复位块中驱动,可进行全局寻址或一次

寻址一个。

TI公司还专门为DMD器件提供了实现DLP投影仪的系统设计方案^[4]。例如,TI公司的DLP4500FQE是一个WXGA分辨率(1280×800)的数字微镜器件DMD,亮度高达500流明,24位DDR(双数据速率)数据总线,80 MHz~120 MHz输入数据时钟速率,内部集成微镜驱动电路。TI公司还为该DMD器件提供了控制器DLPC350,它是专门为DLP4500数字微镜器件(DMD)提供的数字控制器。DLPC350控制器为DMD间提供一个便捷的、多功能接口,该接口可实现高速数据传输,以及LED控制和用于多输入格式的数据。

DLPC350数字控制器的特性如下:

(1)具有DLP4500DMD分辨率(912×1140)相容高速图形显示。

- ① 高达4225 Hz的二进制图形速率;
- ② 高达120 Hz的8位灰度图形速率;
- ③ 与微反射镜1对1的输入映射;
- ④ 多位深度和样式序列中的发光二极管(LED)。

(2)与照相机和传感器的轻松同步。

- ① 两个可配置输入触发器;
- ② 两个可配置输出触发器;
- ③ 14个完全可编程通用输入输出(GPIO)信号。

(3)32 KB内部RAM用于图形处理。

- ① 存储高达48个1位样式;
- ② 无需外部易失性存储器;
- ③ 支持高达64 MB闪存,用于增加样式存储能力。

(4)多个配置接口。

- ① 基于USB的API和主机GUI;
- ② 两个I²C端口;
- ③ LED脉宽调制(PWM)发生器。

(5)视频投影运行模式。

- ① 10 Hz~120 Hz全彩色帧速率;
- ② YUV,YCrCb或RGB输入数据格式;
- ③ 宽范围视频处理能力。

(6)集成微镜驱动器。

(7)集成时钟生成。

由DLPC350构成的DLP投影仪电路原理如图3所示。

3 多色3D打印的实现

目前,已有可调色光敏树脂材料,而具备5种颜色

的光敏树脂材料,将会被用户根据需要调成喜欢的颜色,现在已经有 Cyan(青色)、Magenta(洋红)、Yellow(黄色)、Black(黑色)光敏树脂材料已经在出售。

要实现多色打印,一种简单的方案就是采用多个

不同颜色的光敏树脂液槽。例如,实现 4 种不同颜色打印,在可旋转的“十”字架上安装 4 个液态光敏树脂槽,分别用于盛不用颜色的液态光敏树脂,4 色打印原理图如图 4 所示。

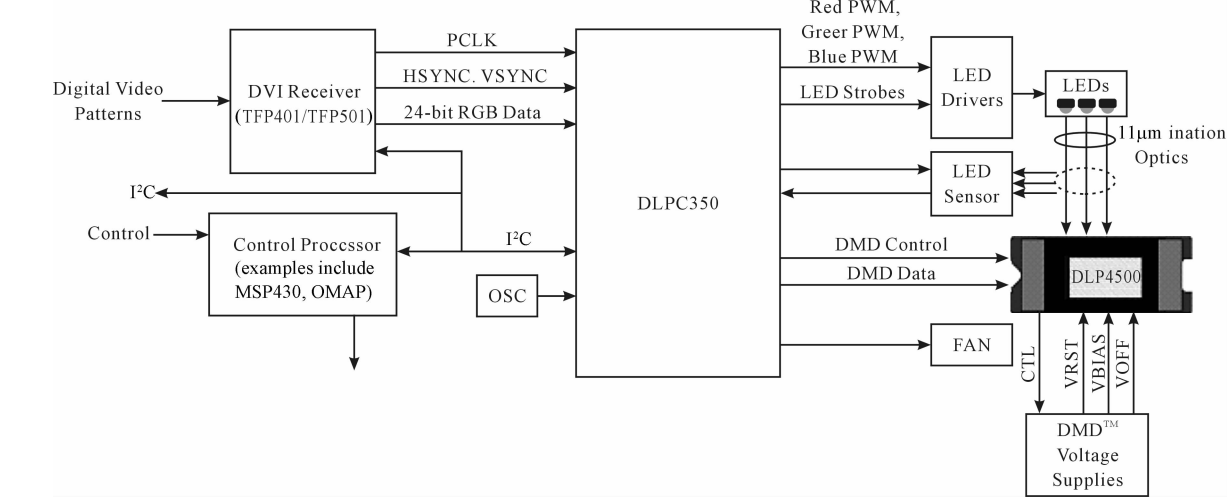


图 3 DLP 投影仪电路原理图

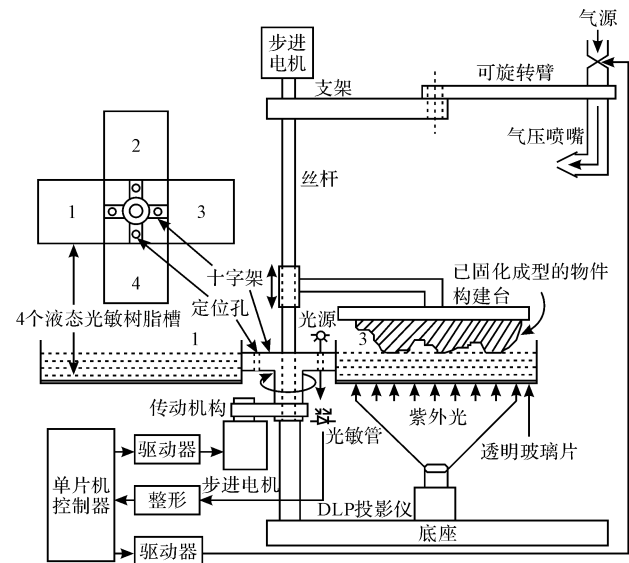


图 4 4 色打印原理

当一种颜色的材料打印完成后,通过马达驱动,装有另一种材料的树脂槽就会转动到构建台的下方,接替先前的材料继续接受投影仪的照射从而让打印作业继续进行。

为了使每个树脂槽都能旋转到构建台下方的正确位置,可转动的“十”字架上有 4 个定位小孔,并将“十”字架 4 空隙部分用金属板遮挡,利用红外线光源透过定位孔使下方的红外光敏管接收到红外光来判断树脂槽是否到位。单片机控制器在驱动步进电机的同时,不断检测光敏管的信号,若接收到了红外光表示树脂槽已到位,停止步进马达转动。采用红外光检测方

法,是为了避免可见光的干扰。通过使用这一方法,最终实现树脂槽无障碍自动更换。

采用可旋转“十”字液槽结构能实现层间不同颜色的打印,且结构简单,工作稳定可靠。但是,当在不用颜色槽之间进行切换时,由于成型物体表面附着有上一个槽的液体,会带到下一个液槽中,从而造成颜色污染。为了克服颜色污染问题,对于小尺寸的 3D 打印机可在顶部支架上增设一个可旋转的气压喷嘴,当进行槽切换时,将物件从上一个槽中提起,气压喷嘴对成型物件周围进行气体喷气清洁,然后在移到下一个槽中继续打印。

4 液态树脂自动回收装置

由于预先放置的光敏树脂的量往往难以精确估计,如果光敏树脂预先放置过多时,容易造成浪费;如果放置过少,造成不足^[56]。

为了避免浪费,本研究设计了一种液态树脂自动回收装置^[7],如图 5 所示。

光敏树脂智能控制装置由液态光敏树脂储液罐、加液阀门、U 型管液位检测、气体压力传感器、回收树脂抽液泵以及单片机控制器组成^[8]。

打印机的液态光敏树脂槽中的液态树脂由储液罐中的液态光敏树脂供给,只要单片机使加液阀门打开,即对打印机液态树脂槽加液,液态光敏树脂槽中的液态树脂同时也通过 U 型罐流向气体压力传感器,气体

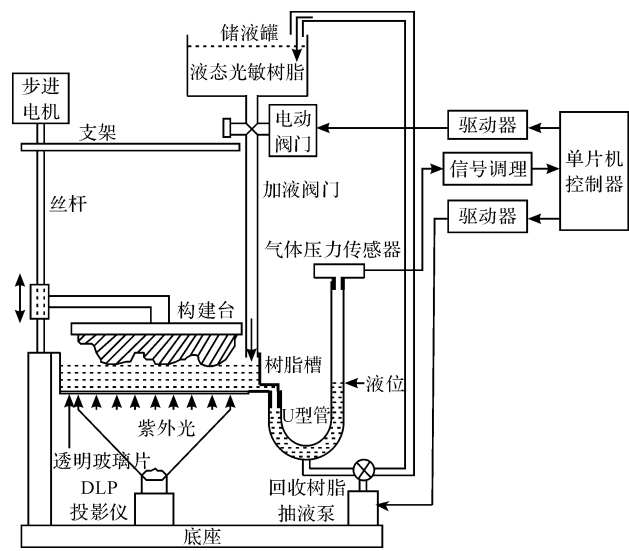


图5 自动回收装置

压力传感器感应到的压力正比于液态光敏树脂槽中的液态树脂高度。与此同时,单片机控制器将根据气体压力传感器检测到的压力来控制光敏树脂的量,当加进液态光敏树脂槽中的液态树脂到达指定量时,由单片机输出关闭加液阀门的信号,使阀门关闭,停止加液。

当打印完成后,液态光敏树脂槽中剩余的液态树脂由U型管下方的回收树脂抽液泵抽取到储液罐,避免浪费。回收树脂抽液泵也由单片机控制,同理单片机是根据气体压力传感器检测到的压力来判断剩余的液态树脂是否抽完。

5 结束语

近年来,我国3D打印技术及设备开发已取得较大进展,但与发达国家相比尚存在一定的差距,主要表现在:高精度3D打印技术比较薄弱、成型材料种类少^[9]、彩色3D打印仍然不能满足需求^[10]。

本研究就多色光敏树脂3D打印机的核心技术作精辟的论述,特别是采用高分辨率DLP投影仪实现快速打印的技术、液态光敏树脂实现多色打印的方法、如何克服各颜色之间的污染问题以及剩余液态树脂的自动回收装置进行了深入的研究,真正实现了智能化的多色3D打印,旨在对彩色3D打印技术的研究起到指导作用,加速推动彩色3D打印技术的发展。

参考文献(References):

[1] 邵中魁,姜耀林. 光固化3D打印机关键技术研究[J]. 机电工程,2015,32(2):180-184.

[2] 郭天喜,陈 遵. 用于光固化三维快速成型(SLA)的光敏树脂研究现状与展望[J]. 杭州师范大学学报:自然科学版,2016,15(2):143-147.

[3] 方浩博,陈继民. 基于数字光处理技术的3D打印技术[J]. 北京工业大学学报,2015,41(12):1775-1782.

[4] TI. DLP4500 3D打印机解决方案[J]. 世界产品与技术,2015(8):8-11.

[5] 阳贺生,赵文豪,宋 杰,等. 基于乏臂并联结构的桌面3D打印机[J]. 机械,42(2):36-40.

[6] 金嘉琦,宋君峰,孙 凤,等. 立体光固化成型技术的节材研究[J]. 机械工程师,2015(8):123-126.

[7] 杨文龙. 光敏树脂3D打印机控制装置[P]. 中国:20692113.7,2016-7-2.

[8] 杨文龙. 单片机原理及应用系统设计[M]. 北京:清华大学出版社,2011.

[9] 朱 珠,雷 林,罗向东. 含能材料3D打印技术及应用现状研究[J]. 兵工自动化,2016,35(6):52-55,70.

[10] 何岷洪,宋 坤,莫宏斌,等. 3D打印光敏树脂的研究进展[J]. 功能高分子学报,2015,28(1):102-108.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

王春梅,杨文龙. 多色光敏树脂3D打印机的设计与实现[J]. 机电工程,2017,34(9):999-1003.

WANG Chun-mei, YANG Wen-long. Design and realization of multicolor photosensitive resin 3D printer[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(9):999-1003.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>