

# 异质材料零件切片数据插补研究

吴静雯<sup>1,2</sup>, 杨建飞<sup>1,2</sup>, 褚红燕<sup>1,2</sup>, 冯春梅<sup>1,2</sup>, 杨继全<sup>1,2</sup>

(1. 南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

(2. 南京师范大学江苏省三维打印装备与制造重点实验室 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 现代制造业对产品性能要求越来越高,因此零件成型精度与打印质量成为三维打印技术研究的关键问题. 本文基于空间微四面体异质材料零件建模,提出了异质材料切片数据插补算法,编写程序并仿真实验结果. 在课题组研发的三维打印成型系统上进行异质材料零件的成型实验,验证了所提算法的正确性. 该方法实现了异质材料零件色彩连续渐变,提高了异质材料零件成型精度和打印质量.

**[关键词]** 异质材料零件,切片,数据插补,打印质量

**[中图分类号]** TH164 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)04-0032-05

## Research of Data Interpolation of Heterogeneous Material Parts

Wu Jingwen<sup>1,2</sup>, Yang Jianfei<sup>1,2</sup>, Chu Hongyan<sup>1,2</sup>, Feng Chunmei<sup>1,2</sup>, Yang Jiquan<sup>1,2</sup>

(1. School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

(2. Jiangsu Key Laboratory of 3D Printing Equipment and Manufacturing, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** The current manufacturing industry requires a higher and higher performance of the products, so the molding precision and the printing quality have been the key issues of 3D printing. Due to the modeling of heterogeneous objects, the research focuses on slicing in a specific distance and interpolating the geometry data and color data. Simulation results confirm the truth of the program. Based on an integral three-dimensional printing system, the paper verifies the accuracy of the algorithm and program. It provides an effective method for a continuous gradient color of heterogeneous material parts and improves the printing quality of heterogeneous material parts.

**Key words:** heterogeneous material parts, slicing, data interpolation, printing quality

三维打印被认为是近20年制造技术领域的一次重大突破,被国内外众多媒体称为“第三次工业革命”的代表性技术<sup>[1]</sup>. 三维打印技术突破传统加工模式,在制造功能梯度零件、多相材料零件等异质材料零件<sup>[2-3]</sup>方面有无可比拟的优势. 随着三维打印技术的迅猛发展,对材料和零件的精度及性能要求越来越高,如何提高异质材料零件的精度及性能已经成为机械工程、材料科学、信息科学等领域的前沿性研究课题<sup>[4]</sup>.

三维打印零件的精度及性能很大程度上是由零件切片后生成的路径信息决定的<sup>[5]</sup>. 当前在快速成型领域,国内外对于单相均质材料零件的切片算法研究较为集中<sup>[5-7]</sup>,大致总结为:使用一系列等间距的平面沿某一方向对三维模型自下而上进行切片,得到一系列二维平面,获取一系列几何坐标点生成运动路径文件. 但对异质材料模型的切片算法研究较为孤立和单薄,异质材料零件快速成型的主要特点是几何结构信息和材料信息的一体化设计与制造,用传统的切片算法只能获得几何路径,不能表示材料信息<sup>[8]</sup>.

本文在空间微四面体异质材料零件建模<sup>[9]</sup>基础上,对异质材料切片算法进行研究. 异质材料零件模型包括几何信息和材料信息,本文将异质材料零件材料信息映射为色彩信息,对异质材料切片获得几何信息与色彩信息. 在切片的基础上对切片数据进行双线性插补,并进一步在三维打印成型系统中实现异质材料零件的成型制造.

收稿日期:2014-11-21.

基金项目:自然科学基金项目(61273243)、江苏省科技支撑计划重点项目(BE2012201)、江苏省高校自然科学基金项目(13KJB460011).

通讯联系人:杨建飞,博士,讲师,研究方向:电机控制与三维打印. E-mail:yjfsmile@njnu.edu.cn

## 1 异质材料零件切片算法

已知异质材料零件微四面体模型各个顶点的几何信息和颜色信息 (RGB) 分别为  $A_1\{(x_1, y_1, z_1), (R_1, G_1, B_1)\}$ ,  $A_2\{(x_2, y_2, z_2), (R_2, G_2, B_2)\}$ ,  $A_3\{(x_3, y_3, z_3), (R_3, G_3, B_3)\}$  和  $A_4\{(x_4, y_4, z_4), (R_4, G_4, B_4)\}$ , 模型如图 1 所示. 用一组平行于  $X$ - $Y$  的平面等厚切片, 分别交  $A_1A_2, A_2A_4$  于点  $A_{12}$  和  $A_{42}$ .

设切层高度为  $z_i$ , 则对交点进行线性插值可得任意一点在  $X$ - $Y$  平面的几何坐标  $(x_i, y_i)$

$$x_i = \frac{(z_i - z_1) \times (x_2 - x_1)}{(z_2 - z_1)} + x_1, \quad (1)$$

$$y_i = \frac{(z_i - z_1) \times (y_2 - y_1)}{(z_2 - z_1)} + y_1. \quad (2)$$

获取  $A_{12}$  和  $A_{42}$  点的 RGB, 分别对三原色进行插值,

$$R_{12} = \frac{(z_{12} - z_1) \times (R_2 - R_1)}{z_2 - z_1} + R_1. \quad (3)$$

同理可求出  $G_{12}, B_{12}$  的值的的大小, RGB 经混合即为此点的颜色. 令  $A_1, A_2, A_3$  和  $A_4$  对应的颜色分别为  $C_1, C_2, C_3$  和  $C_4$ , 先在  $A_{12}$  和  $A_{42}$  所在边进行线性插值, 于是这两条边的颜色可以通过参数方程表示为:

$$C_{12} = (1 - \alpha)C_1 + \alpha C_2, \quad (4)$$

$$C_{42} = (1 - \alpha)C_4 + \alpha C_2. \quad (5)$$

由式(4)和式(5)可得  $A_1A_2, A_2A_4$  边上所有点之间的颜色. 对于给定的  $\alpha$ , 可计算出这两条边上任意两点的颜色, 然后在这两个颜色之间进行线性插值, 就得出了三角形面片内部任意点  $A_5$  的颜色

$$C_5 = C_1 + u * C_2 + v * C_4, \quad (6)$$

$$v = \frac{(y_2 - y_1) \times (x_5 - x_1) - (x_2 - x_1) \times (y_i - y_1)}{(y_2 - y_1) \times (x_4 - x_1) - (x_2 - x_1) \times (y_4 - y_1)}, \quad (7)$$

$$u = \frac{(x_5 - x_1) - (x_4 - x_1)v}{(x_2 - x_1)}. \quad (8)$$

式(6)和式(8)中  $u$  和  $v$  可以由  $A_1\{(x_1, y_1, z_1), (R_1, G_1, B_1)\}$ ,  $A_2\{(x_2, y_2, z_2), (R_2, G_2, B_2)\}$ ,  $A_4\{(x_4, y_4, z_4), (R_4, G_4, B_4)\}$  所组成的三角形面片坐标求得, 根据式(6)可求得到了  $A_{12}$  和  $A_{42}$  所在边任意点  $A_5$  的颜色. 由此可实现整个零件颜色的平缓渐变, 即实现异质材料的连续性变化.

## 2 异质材料零件数据切片方法

本文所提的切片算法流程图如下图 2 所示. 首先用一系列假想的平面沿某一特定的方向按照设定的层厚将异质材料零件三维模型分割出一系列二维截面, 并对截面几何数据和颜色数据进行双线性插补, 最终获得运动路径.

切片及插补具体过程如下所述:

(1) 首先载入异质材料零件模型, 用一系列等间距的平面与三维模型求交, 设定切平面之间的距离  $pixelDist$ , 确定所有与设定切平面相交的三角形面片;

Const  $pixelDist$  As Single=1.5 ' 确定切片厚度为 1.5

Dim  $f$  As clsStlModelFace ' 确定 se->ee 所属的面  $f$

(2) 建立新轮廓, 取三角形面片  $f$ , 找出各个坐标, 利用式(1)~(3)求出交点的几何坐标值与颜色值;

Dim  $p$  As Vector2,  $p3$  As Vector3,  $c$  As Color '  $k$  个点的二维坐标  $p$  和颜色  $c$

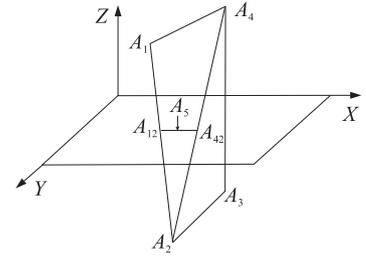


图 1 切平面与模型表面相交  
Fig.1 The intersections of slices

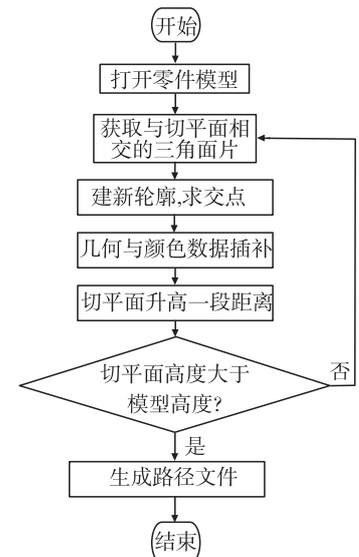


图 2 切片流程图  
Fig.2 Flow chart of slicing

(3)查找相邻三角形面片,重新找到各坐标最值求交点,直至遍历所有三角形面片;

```
If se.Face Is ee.Face Or se.Face Is ee.Adjface Then
f=se.Face
Else
f=se.Adjface
End If '设置循环,遍历所有三角形面片
```

(4)计算切平面与三角形面片的交线长度,利用交线长度除以切平面距离求出交点数 $k$ ,获取 $k$ 个点的几何坐标值与颜色值;

```
Dim k As Integer=(sp-ep).Length/pixelDist '计算交点数k
For i = 0 To k-2 '避免三角形面片边框线上的交点重复:有起点,没终点
p=sp + i * delta
p3.X=p.X;p3.Y=p.Y;p3.Z=z '几何三维坐标
c=TextureBitmap.GetPixel(p2.X*TextureBitmap.Width,p2.Y*TextureBitmap.Height) 'k个点的颜色
```

(5)根据双线性插补的原则,在截面交点之间进行几何坐标与颜色值插补,求得插补后的截面路径数据,插补计算方法如式(1)至式(8)所示;

(6)所有符合条件的三角形面片遍历完毕,查找与设定切平面相交的三角形面片是否全部求得交点.若有面片没有求交,转(2);

(7)若所有三角形面片遍历完毕,结束本高度分层;

(8)自下而上按上述流程切片,直至模型切片完毕,求得所有交点生成运动路径文件.

### 3 仿真结果

为验证几何数据与颜色值插补结果的准确性,本文随机选定三维模型某一个三角形面片,使用MATLAB软件对切片数据进行仿真. MATLAB有强大的数据处理能力,本文将上述插值部分程序写入MATLAB主函数程序,实验环境是Windows7-32位操作系统, pentium 处理器,内存为2G.

在MATLAB程序中,假设与三角形面片相交的一系列假想平面间距为1.5;将三角形面片与20个等间距的平面相交,求得平面与三角形面片的相交线长度,将相交线离散为含有几何信息和颜色信息的点,点的个数由相交线长度和假想平面间距决定,运行结果如图3所示. 对含有几何数据和颜色数据的点进行一次双线性插补,插补结果如图4所示. 由两张图对比可以看出,进行双线性插值数据点更加密集,可以更好实现色彩连续性渐变,证明本文算法程序的正确性.

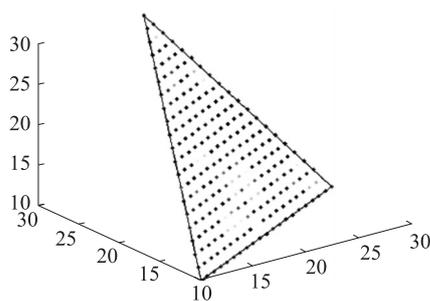


图3 双线性插值前的三角形面片

Fig.3 The triangle before Bilinear interpolation

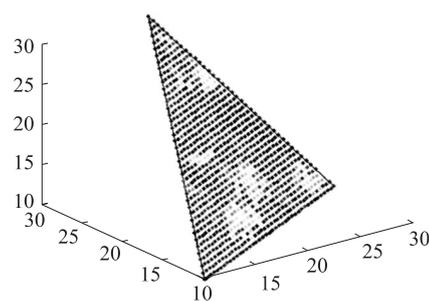


图4 双线性插值后的三角形面片

Fig.4 The triangle after Bilinear interpolation

### 4 成型实验验证

本文在课题组研发的三维彩色粉末快速成型机上进行验证,成型装置外观如图5所示. 三维彩色粉末快速成型装置制作彩色三维模型的工作流程如图6表示. 首先利用计算机建模软件建立三维CAD异质材料实体模型,用一系列等间距平面对异质材料零件三维模型分层切片插补数据,得到一系列的二维切片数据,其中包括每层的几何结构信息、材料信息和成型信息;上位机软件获得切片层的信息后,计算机根据每一层的成型信息分别控制各机构做协调运动. 具体地,制作开始时,计算机通过供粉槽控制器控制

供粉槽导轨,使得供粉槽中的推料板上升一段距离,推出一部分成型粉末;同时,计算机通过成型槽控制器控制成型槽导轨,使得成型槽中的推料板下降一段距离;接着计算机通过滑辊控制器控制旋转滑辊把推料板上升一段距离而推出的成型粉末铺在成型槽的上方,在铺成型粉末的时候,旋转滑辊做逆时针运动把粉末铺平;接着打印喷头按照零件的二维切片截面数据,计算机通过喷头X-Y位置控制电路控制喷头托架做X-Y平面运动,喷头控制电路控制打印喷头盒内的多个喷头做喷射动作,将粘结剂有选择地喷射到已铺好的粉末层上,使零件截面轮廓有实体区域内的粉末材料粘结在一起,形成截面轮廓;一层打印完后成型槽工作台下降一层的高度,然后将供粉槽中的成型材料铺平到成型槽工作台上.如此循环逐层打印,直至工件完成,快速制得到成型工件.



图5 快速成型机

Fig.5 The rapid prototyping machine

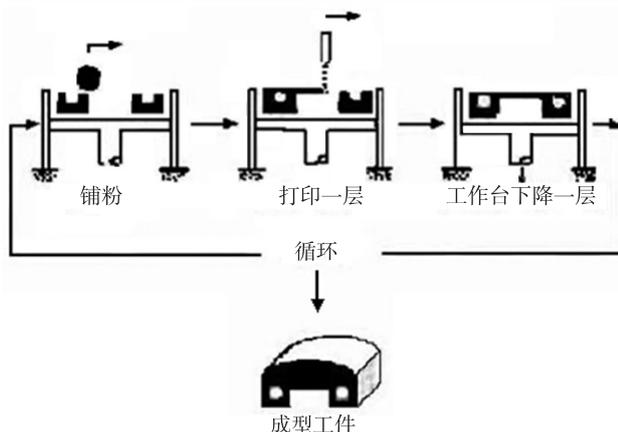


图6 快速成型工艺原理

Fig.6 Process principle of rapid prototyping

色盘色彩变化丰富,可以较好地观察出色彩变化.色盘插补前的模型与插补后打印模型对比如下图7和图8所示.图7为未进行插补的快速成型零件,图8边为插补后的快速成型零件.从模型对比图可以看出,插补后的模型相较插补前的模型色彩更加鲜明,颜色过渡更加连续且平缓,成型精度大大提高.

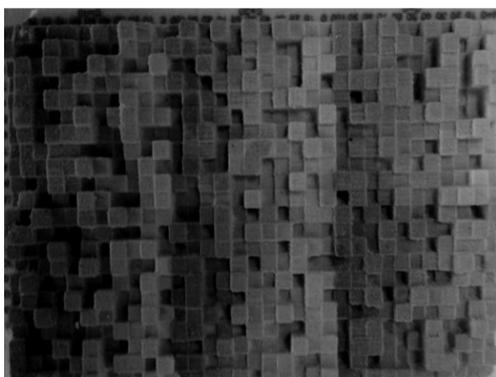


图7 双线性插值前三维打印零件实体

Fig.7 The part before Bilinear interpolation

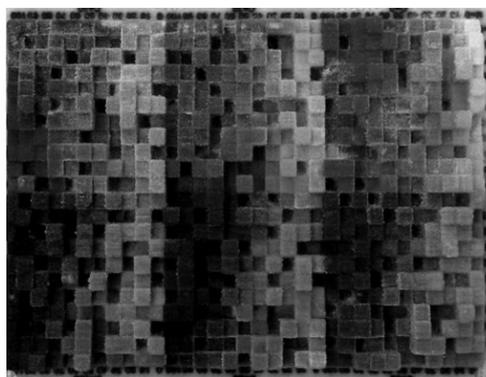


图8 双线性插值后三维打印零件实体

Fig.8 The part after Bilinear interpolation

## 5 结论

本文基于数字化微滴喷射工艺,对异质材料在切片基础上进行数据双线性插补探索研究.在课题组研发的三维打印成型系统上进行异质材料零件的成型实验,验证算法程序的准确性.本文研究不仅提高了三维打印成型件的精度,而且有助于制造结构复杂和材料连续性变化的多相零件与功能梯度零件,为其进一步工业化应用提供了有效的方法.

### [参考文献](References)

- [1] 杨继全,戴宁,侯丽雅. 三维打印设计与制造[M]. 北京:科学出版社,2013.  
 YANG J Q, DAI N, HOU L Y. 3D printing design and manufacture[M]. Beijing: Science Press, 2013. (in Chinese)

- [2] KUMAR V, DUTTA D. An approach to modeling & representation of heterogeneous objects[J]. Journal of mechanical design, 1998, 120(4): 659-667.
- [3] ALEXANDER P, VALERY A, PETER C. Heterogeneous objects modeling and applications[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008: 285-290.
- [4] TERRY W. Wohlers Report 2013: Additive manufacturing and 3D printing state of the industry annual worldwide progress report[R]. Wohlers Associates, Inc., 2013.
- [5] 王春香, 李振华. STL模型分层算法的优化及应用[J]. 机械设计与制造, 2013(3): 87-90.  
WANG C X, LI Z H. Optimization and application of STL model for hierarchical algorithm[J]. Machinery design and manufacturing, 2013(3): 87-90. (in Chinese)
- [6] 王素, 刘恒, 朱心雄. STL模型的分层邻接排序快速切片算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(4): 600-606.  
WANG S, LIU H, ZHU X X. STL model of hierarchical adjacency sorting algorithm for fast slicing[J]. Journal of computer aided design and computer graphics, 2011, 23(4): 600-606. (in Chinese)
- [7] 杨光, 刘伟军, 王维, 等. STL格式文件拓扑重建及快速切片算法研究[J]. 现代制造工程, 2009(10): 32-35.  
YANG G, LIU W J, WANG W, et al. Research on the STL file topology reconstruction and Rapid Slicing Algorithm[J]. Journal of modern manufacturing engineering, 2009(10): 32-35. (in Chinese)
- [8] 王素, 王彦, 高峰. 功能梯度材料零件层片路径扫描算法[J]. 北京科技大学学报, 2011(11): 1406-1411.  
WANG S, WANG Y, GAO F. The path scan algorithm of functional gradient material parts[J]. Journal of university of science and technology Beijing, 2011(11): 1406-1411. (in Chinese)
- [9] 朱玉芳, 杨继全, 王昌明. 基于空间微四面体的异质材料零件建模方法[J]. 机械工程学报, 2012, 48(1): 150-155.  
ZHU Y F, YANG J Q, WANG C M. Modeling method for heterogeneous material parts based on space micro tetrahedral[J]. Chinese journal of mechanical engineering, 2012, 48(1): 150-155. (in Chinese)

[责任编辑: 陈 庆]

---

(上接第18页)

- CHINA STANDARDIZATION and INFORMATION CLASSIFICATION and CODING INSTITUTE. Human dimensions of Chinese adults: GB/T 10000-1988[S]. Beijing: China Standardization and Information Classification and Coding institute, 1989. (in Chinese)
- [11] 曲日, 鲍彦如, 任长明. 城市轨道交通中闸机事件识别技术[J]. 中国铁道科学, 2006(4): 112-118.  
QU R, BAO Y R, REN C M. Event recognition method of ticket gate in urban mass transit[J]. China railway science, 2006(4): 112-118. (in Chinese)
- [12] 杨广学, 李凤娇, 慕香永, 等. 基于物联网的家居安防系统设计[J]. 计算机应用, 2010(S2): 300-302.  
YANG G X, LI F J, MU X Y, et al. Design of security and defense system for home based on internet of things[J]. Journal of computer applications, 2010(S2): 300-302. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]