

# 面向 RP 的工业 CT 切片数据格式转换软件开发<sup>\*</sup>)

段黎明<sup>1</sup> 宋 军<sup>2</sup> 聂 璇<sup>1</sup>

(重庆大学 ICT 研究中心 重庆 400030)<sup>1</sup> (重庆交通大学计算机学院 重庆 400074)<sup>2</sup>

**摘要** 针对原始的工业 CT 切片数据,应用矢量化软件提取工件封闭轮廓点数据,并通过轮廓配准、数据精简、三角网格划分、端面处理对轮廓点数据进行处理,实现了面向 RP 的工业 CT 切片数据格式转换。为使构成 STL 文件的三角网格更加优化,文中提出了平均点距值法数据精简与 Delaunay 三角化的网格精简相结合的数据精简算法,实例验证了该方法的正确性。

**关键词** 数据格式转换,工业 CT 图像,STL,RP

## Data Transform Software Development Study for RP Based on Industrial CT Slicing Image

DUAN Li-Ming<sup>1</sup> SONG Jun<sup>2</sup> NIE Xuan<sup>1</sup>

(ICT Research Center, Chongqing University, Chongqing 400030)<sup>1</sup>

(College of Computer Science, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)<sup>2</sup>

**Abstract** In this paper the outline point data of the part are extracted based on its Industrial CT slicing images, then the data transform software Development for RP based on Industrial CT slicing image is presented by this schedule of contour Correspondence, data reduction, Delaunay triangulation, dealing with the surface and so on. Essentially the data reduction method on average distance method and Delaunay triangulation is presented, this method improve the triangle mesh quality that structured STL file.

**Keywords** Data transform, Industrial CT image, STL file, Rapid prototyping manufacture

## 1 引言

快速原形制造技术(Rapid Prototyping, RP)是一种基于离散堆积成形思想的新型成形技术。目前,针对接触式的三坐标测量数据以及激光三维扫描数据,面向 RP 的数据格式转换软件已经较为普遍,但是针对工业 CT 数据进行格式转换的软件却很少看到,本文研究以位图格式存放的工业 CT 图像数据转化为面向 RP 的数据格式转换软件的开发。

## 2 面向 RP 数据转换的文件格式概述

本系统所采用的面向 RP 的数据转换文件格式应用 STL 格式。作为面向目前 CAD 实体模型与快速成型设备进行数据交换的准标准,事实上 STL 格式是将实体曲面用一组小平面对表示,系统以 SET 格式写这些小平面对为 ASCII 文本文件或 Binary 文件,而 Binary 和 ASCII 两种形式是按照数据储存

形式的不同来区别的,本系统应用的是 ASCII 码格式。

ASCII 码格式文件中以 solid, facet, normal, outerloop, vertex, endloop, endfacet, endsolid 等关键词区分各种数据的意义<sup>[1]</sup>。每个实体的信息以 solid 开头,以 endsolid 结束;每个三角形的信息以 facet 开头,以 endfacet 结束;法向矢量以 normal 引导;顶点信息以 outerloop 开头,以 endloop 结束;每个顶点的坐标以 vertex 引导,每个顶点有 x, y, z 三个坐标值。它的一大优点是可以借助文本编辑软件直接阅读和改动,信息表达直观明了。

## 3 数据格式转换软件生成

### 3.1 数据格式转换软件开发思路

针对面向 RP 的数据格式转换软件,采用如下思路进行开发:首先将原始的工业 CT 数据应用已开发的矢量化软件进行边缘提取、轮廓跟踪、细化连接、直线矢量化等前期处理,

<sup>\*</sup>)基金项目:重庆市自然科学基金(CSTC,2006BB2413)。段黎明 副教授,工学博士,研究方向为工业 CT 技术及应用,逆向工程;宋 军 副教授,工学博士,研究方向为嵌入式系统,宽带网络技术。

检测系统工作在发现水平。攻击者掌握的信息比防御者要多得多。隐藏 HTTP 服务器的标识对一个老练的和知识丰富的攻击者不是一个简单的事情。像 HMAP 工具,可以模仿客户端来得到一些响应并且自动地分析这些响应来产生指纹和识别一个服务器。这对攻击者有很大的帮助,识别一个服务器就可以利用它的脆弱性进行攻击。然而这也可以帮助如何加强服务器的安全,通过分析这些工具是如何工作的,可以相应地采取对应措施,在一定程度增加识别的难度,进而提高系统的安全性。

本文作者创新点:针对 HTTP 指纹识别原理,分析并提

出相应的服务器安全策略。

## 参 考 文 献

- 1 section 14.39. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2068.txt>
- 2 王新榕. 威胁 Web 站点安全的威胁及对策. 计算机与网络, 2004, 5:42
- 3 刘全. 网络控制系统的网络安全研究[J]. 微计算机信息, 2006, 9 (3):71~73
- 4 谢希仁. 计算机网络(第四版), 2005, 7
- 5 黄仲祥. TCP/IP 协议分析和网络攻击方法. 通信对抗, 2005, 4
- 6 仆胜贤, 李鹰. Web 网站安全技术研究. 微机发展, 2004, 5:14
- 7 Turn dead links, 404s and other site errors into good traffic (& set up IIS error pages easily). <http://www.port80software.com/products/customerror/? vid=3491283>

得到每层工业 CT 图像数据的封闭轮廓点数据;然后将得到的封闭轮廓点数据应用材料域的轮廓配准算法实现配准;接着应用平均点距值法进行点云数据精简,在这个步骤中应尽量保留轮廓控制点,这样可以最大程度地保留原图像数据特征;在精简点云数据后,开始进行 STL 格式的自动生成环节,得到 STL 格式文件;此时构成 STL 文件的三角面片有很多是狭长的或者不规则的,需要优化其形状,同时应用 Delaunay 三角化的网格精简算法针对一些不良三角面片进行精简。最终得到所需要的工件的 STL 格式文件。整体流程图如图 1 所示。

### 3.2 数据格式转换软件开发中的几个关键问题

#### 3.2.1 提取轮廓点数据

原始的工业 CT 切片数据都是以位图(BMP)的格式存放的,首先利用已开发的矢量化软件获得工业 CT 的轮廓点数据(以 TXT 格式存放)。

#### 3.2.2 针对轮廓点数据进行轮廓配准

##### 1)常见的轮廓配准算法

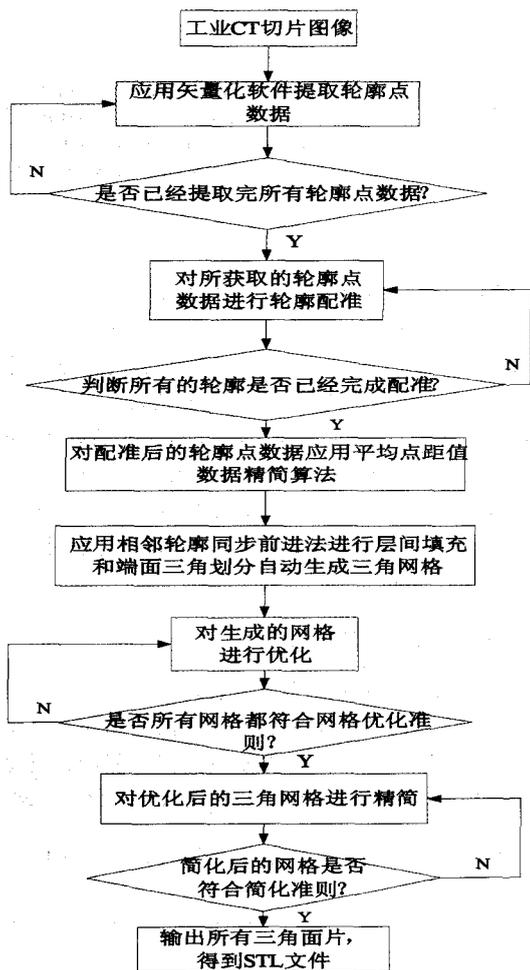


图1 工业 CT 切片数据格式转换开发流程图

断层间的图像配准主要任务就是在两幅图像间建立起对应关系。如图 2 所示,将切片层 1 中轮廓  $C_4$  的中心向切片层 2 作投影,这时切片层 2 的轮廓  $C_1, C_2, C_3$  的中心都落在距投影点一定阈值范围内,  $C_1, C_2, C_3$  都符合与  $C_4$  相配准的条件,所以依靠轮廓所在的局部位置不足以完全保证断层间轮廓的正确配准。洪泉<sup>[2]</sup>等提出的方法是基于切片的内部信息(各轮廓之间相互位置的信息),即利用生物体在系列切片层上的

重心位置具有连续性这一规律,在相邻两切片层内寻找轮廓之间的匹配关系,但该方法不大适合于机械零件断层图像轮廓的配准。

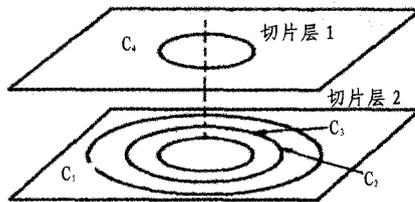


图2 基于中心的轮廓配准

可见,仅以轮廓本身的几何信息,如中心、重心、面积等特征参数难以保证断层间轮廓配准的正确性。基于此思想,本文针对所提取的轮廓点数据采用了基于轮廓层次编码的分层配准的断层间轮廓配准方法。

##### 2)材料域的配准

对两个相邻的切片层进行材料域的配准过程:设相邻切片层的两个材料域  $M_1$  和  $M_2$  在各自的图像上所占据的像素数为  $S_1$  和  $S_2$ , 占据同一个像素位置的像素数为  $S_c$ , 则材料域  $M_1$  和  $M_2$  具有同一位置像素数的比率(称为共有比率)  $P_1$  和  $P_2$  为:

$$P_1 = S_c / S_1, P_2 = S_c / S_2 \quad (1)$$

给定一个阈值  $\epsilon$ , 若  $P_1 \geq \epsilon$  或者  $P_2 \geq \epsilon$ , 则认为  $M_1$  和  $M_2$  是配准的; 如果  $P_1 < \epsilon$ , 而且  $P_2 < \epsilon$ , 则认为  $M_1$  和  $M_2$  不能进行配准<sup>[3]</sup>。

首先对两切片  $T_1$  和  $T_2$  的图像  $I_1$  和  $I_2$  的材料域进行编码, 同一切片上的码值不能相同, 然后对两切片图像的材料域进行颜色填充, 填充的颜色值等于该材料的编码值, 这时得到两个所有封闭区域都被某种颜色填充的图像  $I_1$  和  $I_2$ 。

同时遍历图像  $I_1$  和  $I_2$  的每一个像素, 通过两幅图像像素点的颜色值及颜色值与轮廓层次编码的对应关系计算每个封闭轮廓所占据的像素数和两幅图像间任意两个轮廓所占有的像素数目, 按式(1)计算其相互共有的比率, 并构造一个共有比率的二维表, 这个共有比率表的每一行代表  $T_1$  上的每一个轮廓环与  $T_2$  上所有环的共有比率, 每一列代表  $T_2$  上的每一个轮廓环与  $T_1$  上所有环的共有比率, 表格的每一格有两个数据, 分别表示对应两个轮廓环的共有比率。搜索共有比率, 若表格单元的两个数至少有一个大于某个阈值  $\epsilon$ , 则其相应的两个材料域是可以配准的材料域。

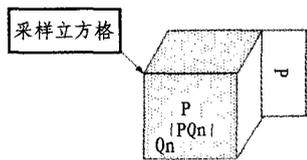


图3 平均点距值法示意图

##### 3)轮廓环的配准

轮廓环的配准是在已配准的两材料域上寻找连续的轮廓环。因为一个材料域是有一个外环和若干个内环所包围的封闭区域, 所以相配准的两个材料域的外环一定是一对配准的轮廓环因此剩下的就是在两个材料域上的内轮廓之间寻找配准关系。

#### 3.2.3 平均点距值算法精简点云数据

任何数据点云精简方法, 其最终目的是减少点云密度, 而

在有限空间内,点云的密度越大,则点与点之间的平均距离值就越小。因此可以通过比较在有限空间内点与点之间平均距离值大小的方法判断点云密度大小,从而决定是否需要删除多余数据点。基于上述原理,提出了一种适用于大量散乱三维数据点云的精简方法,该方法首先需定义采样立方格边长  $d$  和欲精简数据点百分比  $\Phi$  两个参数。如图 3,设点  $P$  为数据点云中任意一点,以点  $P$  为中心、边长为  $d$  的采样立方格内其它数据点点集为  $Q = \{Q_i(X_i, Y_i, Z_i), i=1, 2, \dots, n\}$ , 设点  $P$  坐标为  $P_x, P_y, P_z$ , 则  $Q_i$  满足:

$$\begin{aligned} p_x - d/2 &\leq Q_{ix} \leq p_x + d/2 \\ p_y - d/2 &\leq Q_{iy} \leq p_y + d/2 \\ p_z - d/2 &\leq Q_{iz} \leq p_z + d/2 \end{aligned} \quad (2)$$

分别计算点  $P$  到  $Q_i$  内任一点的距离:

$$\begin{aligned} |PQ_1| &= \sqrt{(P_x - Q_{1x})^2 + (P_y - Q_{1y})^2 + (P_z - Q_{1z})^2} \\ |PQ_2| &= \sqrt{(P_x - Q_{2x})^2 + (P_y - Q_{2y})^2 + (P_z - Q_{2z})^2} \\ &\dots\dots \\ |PQ_n| &= \sqrt{(P_x - Q_{nx})^2 + (P_y - Q_{ny})^2 + (P_z - Q_{nz})^2} \end{aligned} \quad (3)$$

把距离值相加:

$$D = |PQ_1| + |PQ_2| + \dots + |PQ_n| \quad (4)$$

求出平均点距值:

$$\bar{D} = D/n \quad (5)$$

对所有数据点实施上述计算,平均点距值比较小的点是不可能被删除的数据点,根据用户定义的数据精简百分比  $\Phi$  把平均点距值最小的百分比  $\Phi$  个数据点删除<sup>[4]</sup>,从而实现数据点云的精简。

### 3.2.4 三角网格生成

基于轮廓点数据反求 STL 文件就是针对各个截面上的轮廓点数据进行层间三角填充,对端面进行三角划分形成一个封闭的三维 STL 模型。由于最短对角线法对层间轮廓环对中和形状要求较高,本系统采用了相邻轮廓同步前进行层间填充。此算法的基本思想是在用三角面片连接相邻轮廓环上的点列时,使得连接操作在相邻轮廓环上尽可能同步进行<sup>[5]</sup>。

### 3.2.5 三角网格精简

本系统采用 Delaunay 三角化的算法应用简化准则进行顶点的删除。与其它算法相比,本算法不仅能够有效简化高斯曲率为零而平均曲率较大的一类网格,而且对顶点随机分布的任意拓扑形状的网格均能自动处理,简化算法描述如下。

步骤 1:对顶点集  $v_i = (v_1, v_2, \dots, v_n)$  中每一点  $v_i$ , 求出  $Star(v_i)$ , 进行步骤 2~5。

步骤 2:根据  $Star(v_i)$  中每个三角形的单位法矢, 求出  $Star(v_i)$  的同心超面个数<sup>[6]</sup>, 判断  $Star(v_i)$  是完全星形邻域还是半星形邻域, 如图 4 所示。

步骤 3:根据同心超面个数和  $Star(v_i)$  特点判断是否符合简化准则 1、2<sup>[6]</sup>, 若符合,置该点移除标志为真; 否则,置该点移除标志为假。

步骤 4:对移除标志为真的顶点,按其符合的准则进行空洞剖分区域划分并分别进行约束三角剖分。

步骤 5:根据剖分结果修正相关数据结构。

步骤 6:重复以上步骤,直到顶点集中每个顶点均不满足简化准则为准。

## 4 实验结果及分析

基于上述思路,作者在 VC++ 6.0 环境下针对工业 CT 图

像开发数据格式转换软件,以 108 层汽车发动机工业 CT 切片数据为例(每层间距为 1mm),对切片进行矢量化后得到边缘轮廓点数据,该数据以 TXT 格式保存,经过本系统中所开发的软件进行数据转换后得到整个汽车发动机的 STL 文件,如图 5a、图 5b 为汽车发动机 STL 格式文件在 IMAGEWARE 软件下的光照显示。可以看出,上述方法已能较为清楚地显示汽车发动机实体光照模型。数据转换后得到的 STL 文件片段如下。

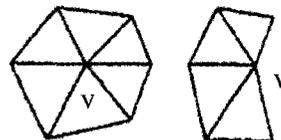


图 4 V 点星形邻域形式

```

solid
facet normal 0 0. 707107 0. 707107
outer loop
vertex 190 34 1
vertex 189 35 0
vertex 189 35 1
endloop
endfacet
.....
facet normal -0. 707107 -0. 707107 0
outer loop
vertex 156 196 96
vertex 157 215 95
vertex 157 196 95
endloop
endfacet
endsolid
    
```

结论 本文是研究面向 RP 的工业 CT 切片数据格式转换问题。文中基于材料域的配准算法克服了以往应用形心,质心,重心,面积等不能正确针对切片轮廓有效配准的缺点;提出了平均点距值法数据精简与 Delaunay 三角化的网格精简相结合的数据精简算法,对此解决了以往一些算法不能进行简化的问题。实验表明,该算法可以简化具有复杂拓扑结构的网格模型。



a 汽车发动机模型侧面显示



b 汽车发动机正面显示

图 5

## 参考文献

- 1 QIAN Xue-ming, ZHANG Ying-jie. Research Into the Generation of STL Files in Reverse Engineering [J]. Machine Tool and Hydraulics, 2003(4): 72~74
- 2 洪泉,陈德强,黄文浩.一种基于图像内部信息的轮廓匹配和切片对齐新方法[J].中国图像图形学报,2001,6(2):152~158
- 3 FENG Yu-qiang, NING Ru-xin. Contour Correspondence from Slices Based on 3D Reconstruction of Cross-Section Images [J]. Mechanical Science and Technology, 2003, 22(4): 563~568
- 4 Wan Jun, Ju Lu-yue. Data Reduction for Reverse Engineering [J]. Journal of Shanghai University(Natural Science), 2004, 10(1): 26~29
- 5 WANG Cong-jun, HUANG Shu-huai. Reversing Surface STL Format File from the 3D Discrete Data [J]. China Mechanical Engineering, 2000, 10: 1093~1095
- 6 孙玉文.面向快速原型制造的反求工程关键技术研究.[大连理工大学博士学位论文]. 2000,4:92~97
- 7 JIN Tao, TONG Shui-guang, et al. Reverse Engineering [M]. Bei Jing: Mechanical Engineering Publishing House, 2003. 271~277