

文章编号:1672-058X(2012)11-0031-05

基于二维灰度图像的“非规则形体”三维重建*

钱苏斌

(盐城师范学院 信息科学与技术学院, 江苏 盐城 224002)

摘要:由二维灰度图像恢复形体的三维形状已经成为计算机视觉领域的一个研究热点,对该问题进行了深入的研究,提出了一种基于单幅图像,利用轮廓线特征点进行非规则形体三维重构的方法;该方法从一幅二维灰度图像中提取非规则形体作为研究对象,通过角点检测方法并结合检测阈值获取每条轮廓线的主次特征点;根据主特征点确定轮廓线间的形状匹配关系完成分段连接,根据次特征点并结合最小对角线优化策略完成三角面片拼接,最终实现非规则形体表面的三维重建;实验证明,该方法可以根据形体的二维灰度图像方便有效的重建出其三维形状。

关键词:非规则形体;三维重建;主特征点;次特征点;分段连接;三角面片拼接

中图分类号:TP391.1

文献标志码:A

1 概述

物体的三维重建是计算机图形学、数字图像处理及计算机视觉等领域的一个热点问题。目前,人们获取物体三维模型的方式主要有以下 3 种^[1]:第一种是使用几何建模软件(如 3DMAX、Maya、AutoCAD 等)通过人机交互形式构造三维模型;第二种是使用仪器设备(如各种深度扫描仪等)获取三维模型;第三种是利用所拍摄的一幅或多幅图像来重建具有真实感的场景或三维模型,这种方法所需成本较低,具备很大的灵活性。近年来,基于上述第三种方法的三维重建技术已经逐渐成为众多学者研究的重要课题。

现实世界中广泛存在的形体主要分为规则形体与非规则形体两类。规则形体主要是一些能够用简单数学形式表达的形体,包括一些二次曲面体(如柱体、球体、椎体等),针对这类形体文献[2]提出利用规则形体“对称特性”进行三维重建的方法,这种方法可以高效、快捷的实现形体的三维重建;非规则形体则表现为一些较为复杂的自由曲面体,将基于灰度图像研究如何进行“非规则形体”的三维重建。目前,在计算机视觉领域已经广泛存在着一些基于图像的三维重建技术。如从明暗恢复形状技术^[3](shape from shading,简称 SFS),利用单幅图像中形体表面的明暗变化来恢复其表面三维形状。此外,如文献[4]提出的基于轮廓线的重建技术也是三维表面重建中的代表算法,但在实际操作中该算法会出现因断层偏移过大引起锥化问题。在此提出了一种基于轮廓线的改进算法:使用角点检测提取主、次特征点,并分别依照主、次特征点进行相邻层轮廓线匹配分段及三角面片拼接,从而快速、高效完成形体三维重建。

收稿日期:2012-08-11;修回日期:2012-09-12.

* 基金项目:盐城师范学院校科研基金项目资助(11YCKL036).

作者简介:钱苏斌(1984-),女,江苏盐城人,助教,硕士,从事计算机图形学与虚拟现实研究.

2 基于轮廓线的物体表面重建方法

轮廓线法作为三维重建技术领域中的代表算法,其总体思路是将每层图像的轮廓线提取出来,然后以轮廓线上的数据点集作为顶点,构造一系列彼此不相交、互相不重叠的三角面片,从而利用三角面片重建实体的三维表面。但是上述传统算法中相邻层轮廓线关系的确定及其顶点连接是一个问题。在此基于上述问题,提出一种改进的算法:利用角点检测方法提取每条轮廓线上的特征点,通过检测阈值将特征点划分为主特征点和次特征点,利用主特征点的曲率角及曲线长度确定相邻层轮廓线的形状匹配关系,并依照匹配关系对轮廓线进行分段连接,然后根据每个分段内的次特征点,以最小对角线为优化目标进行三角面片的拼接,进而得到三维模型。

2.1 轮廓线提取

轮廓线是实体与某一特定平面的交线,它在很大程度上反映了实体的形状特征。目前,已经存在许多种用于提取实体轮廓线的方法,本文采用一种从断层剖面提取三维形体轮廓线的算法^[5],如图 1(a)所示为一个实心球体,图 1(b)所示即为使用上述算法提取出的球体轮廓线。算法能够有效提高轮廓线定位精度,降低漏检率,使轮廓线更细致平滑。

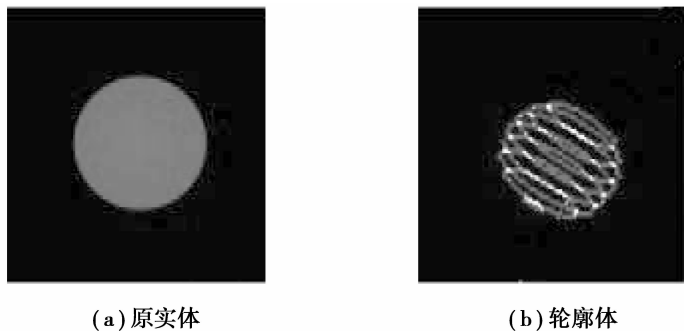


图 1 实体轮廓线提取

在轮廓线提取的过程中,设置点结构体数组 $profile_point[count][i]$,用于存放构成实体的每一条轮廓线上的像素点的有效信息,下标 $count$ 对应于构成实体的第 $count$ 条轮廓线, i 对应于第 $count$ 条轮廓线上的第 i 个像素点。其中,数组变量 $profile_point[count][i].x$ 、 $profile_point[count][i].y$ 分别用于存储像素点二维坐标信息。

2.2 特征点提取

一般情况下,实体的轮廓线特征点包含了大量轮廓线形状信息,能够反映轮廓线变化趋势和整体形状。轮廓特征点包括角点、切点和拐点三类。其中,角点被定义为一阶导数的局部最大所对应的点,也就是说角点处不仅梯度的数值大,而且梯度方向的变化速率也大,所以角点提示了图像在二维空间内变化剧烈的地方,是和周围邻点有着明显差异的点^[6]。基于上述原理,在此将角点作为轮廓线特征点。

目前,常用的角点检测方法主要包括基于轮廓线的角点检测方法、基于灰度图像的角点检测方法。本文采用一种基于轮廓线曲率的检测方法对实体的每一条轮廓线进行角点检测。

在任意轮廓线上,某轮廓点的曲率与其曲率角成正比,如图 2 所示,取以轮廓点 $profile_point[count][i]$ 为中心,半径为 R 的区域计算曲率角。轮廓点 $profile_point[count][i]$ 与其前后半径为 R 的各点构成的区域定义:

$$R[count][i] = \{profile_point(i) = [x(j), y(j)] | j = i - R, \dots, i - 1, i, i + 1, \dots, i + R\} \quad (1)$$

前后两个区域的几何中心点分别定义为 $R_1[count][i]$ 、 $R_2[count][i]$:

$$R_1[count][i] = [x_1(i), y_1(i)] = \left[\sum_{j=i-R}^{i-1} \frac{x[j]}{R}, \sum_{j=i-R}^{i-1} \frac{y[j]}{R} \right] \quad (2)$$

$$R_2[\text{count}][i] = [x_2(i), y_2(i)] = \left[\sum_{j=i+1}^{i+R} \frac{x[j]}{R}, \sum_{j=i+1}^{i+R} \frac{y[j]}{R} \right] \quad (3)$$

则 $\text{profile_point}[\text{count}][i]$ 与前后两个区域的几何中心点构成两个方向向量,其方向角:

$$\theta_1(i) = \arctan \left[\frac{(\text{profile_point}[\text{count}][i].y - y_1(i))}{(\text{profile_point}[\text{count}][i].x - x_1(i))} \right] \quad (4)$$

$$\theta_2(i) = \arctan \left[\frac{(y_2(i) - \text{profile_point}[\text{count}][i].y)}{(x_2(i) - \text{profile_point}[\text{count}][i].x)} \right] \quad (5)$$

这里,将轮廓点 $\text{profile_point}[\text{count}][i]$ 的曲率角 $\theta(i)$ 定义为上述两个方向向量的夹角,则 $\theta(i)$:

$$\theta(i) = \theta_2(i) - \theta_1(i) \quad (6)$$

设置检测阈值 T ,当满足条件 $\theta(i) \geq T$ 时,将 $\text{profile_point}[\text{count}][i]$ 标记为候选角点。根据重建精度的要求,再次设定两个检测阈值 T_{\max} 、 T_{\min} ,在候选角点集中,当某角点满足条件 $\theta(i) \geq T_{\max}$ 时,当前角点为主特征点,主特征点反应了轮廓线几何形状的主要信息;当某角点满足条件 $T_{\min} \leq \theta(i) < T_{\max}$,当前轮廓点为次特征点。如图 3、4 所示,为依照上述方法分别提取出的主特征点、局部次特征点。其中,检测阈值 T 、 T_{\max} 、 T_{\min} 的确定应当根据每一条轮廓线的具体形状特征来动态的调整。

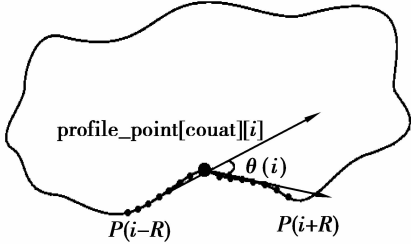


图 2 特征点提取

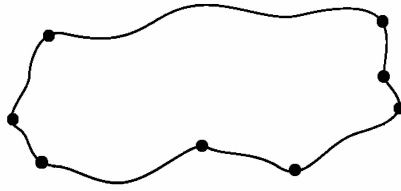


图 3 主特征点提取

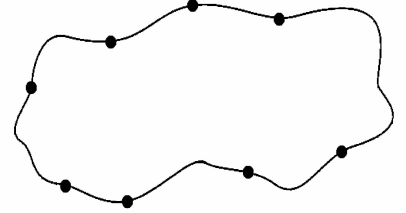


图 4 局部次特征点提取

在特征点提取的过程中,分别设置点结构体数组 $\text{main_point}[\text{count}][i]$ 、 $\text{sub_point}[\text{count}][i]$,用于存放构成实体的每一条轮廓线上主特征点、次特征点的有效信息,下标 count 对应于构成实体的第 count 条轮廓线, i 对应于第 count 条轮廓线上的第 i 个主、次特征点。其中,数组变量 $\text{main_point}[\text{count}][i].x$ 、 $\text{main_point}[\text{count}][i].y$ 、 $\text{sub_point}[\text{count}][i].x$ 、 $\text{sub_point}[\text{count}][i].y$ 分别用于存储主、次特征点的二维坐标信息,数组变量 $\text{sub_point}[\text{count}][i].\text{upper}$ 、 $\text{sub_point}[\text{count}][i].\text{lower}$ 分别用于存储每条轮廓线上与次特征点紧邻的前后两个主特征点在主特征点数组中的排序。

2.3 特征点匹配

现实世界中的物体,其轮廓线间的形状(尤其是相邻层轮廓线间)往往具备几何相似性,可以通过寻找并连接相邻层轮廓线上形状匹配的特征点来保证物体三维重建后的合理性及精确性。相邻层轮廓线间特征点的匹配其实就是分布在各自特征点附近的曲线几何形状的匹配。从微观角度上来讲,曲线的几何形状是由一系列具备不同弯曲程度的分段曲线所构成,而这些分段曲线的弯曲程度由分布在其上的特征点处的曲率角及其自身的长度所共同决定。取以主特征点 $\text{main_point}[\text{count}][i]$ 为中心、半径为 R 的区域,通过轮廓线支撑区域内中心点两侧轮廓点的几何中心值计算曲率角及曲率符号。若将主特征点 $\text{main_point}[\text{count}][i]$ 近似看作是其自身与前后两个区域的几何中心点构成的方向向量的交点,则根据 2.2 节所描述, $\theta(i)$ 即为两方向向量的夹角。

从计算机视觉角度出发,分段曲线是由一系列像素点构成的,所以构成该分段曲线的像素点个数可以作为分段曲线长度的一种表征。在形成以主特征点 $\text{main_point}[\text{count}][i]$ 为中心、半径为 R 的支撑区域的同时,设置数组变量 $\text{main_point}[\text{count}][i].\text{counter}$ 存储每一个支撑区域内分段曲线上像素点的个数,即分段曲线的长度 $s(i)$ 。

设置基层轮廓线特征点集: $P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_m\}$,待匹配层轮廓线特征点集: $Q = \{Q_1, Q_2, Q_3, \dots,$

$Q_n\}$, 其中 $m \leq n$ 。将第 count 层及 $\text{count} + 1$ 层的主特征点集分别赋予 P, Q , 依次从 P 中取出 P_i , 从 Q 中找到一点 Q_i , 分别计算它们在曲率角 $\theta(i)$ 和曲线长度 $s(i)$ 上的误差值。这里, 分别设定曲率角和曲线长度的误差值上限为 ξ_1, ξ_2 (一般情况下将 ξ_1 设为 0.005, ξ_2 设为 3), 当且仅当同时满足条件 $\theta(i) \leq \xi_1$ 和 $s(i) \leq \xi_2$ 时, P_i 和 Q_i 匹配成功, 从 Q 集合中剔除 Q_i , 重复上述过程, 直至遍历 P 中所有的点。

2.4 轮廓线分段连接及三角面片拼接

依次连接相邻层已经匹配好的主特征点, 将相邻层轮廓线分成几个独立的部分。如图 5 所示, P_i, P_{i+1}, Q_i 及 Q_{i+1} 分别为两相邻轮廓线上的主特征点, 其中 P_i 与 Q_i 相匹配, P_{i+1} 与 Q_{i+1} 相匹配, 在曲线段 $\widehat{P_i P_{i+1}}$ 上分布着次特征点 T_j, T_{j+1} , 在曲线段 $\widehat{Q_i Q_{i+1}}$ 上分布着次特征点 S_j, S_{j+1} , 在进行三角面片拼接时, 以最小对角线为优化目标。

首先选取上层两点 T_j, T_{j+1} , 下层取对应两点 S_j, S_{j+1} , 由这 4 点构成一个四边形的小面片。至于对角线是连接 T_j, S_{j+1} , 还是 T_{j+1}, S_j 可由两跨距的长度来决定, 一般采取的原则是取短舍长, 这样两个三角面片可同时产生; 然后 j 值增加 1, 重复上述步骤, 使上下两轮廓线的点同步前进, 直至所有点均连接完毕, 并返回到起始点, 此时一个封闭的表面已经形成。

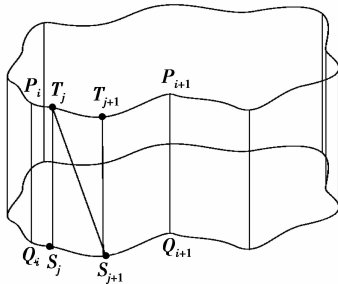


图 5 分段拼接

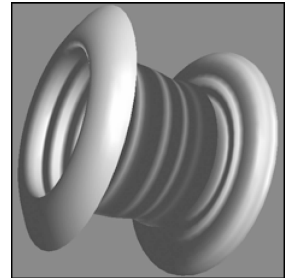


图 6 三维重建效果

3 实验结果与结论

以 OpenGL 和 VC++ 6.0 为开发工具, 采用本文提出的轮廓线特征点构造方法实现了一个基于二维灰度图像的“非规则形体”三维重建系统, 如图 6 所示为经过上述系统重建生成的工业线轴, 从效果上可以看出重建的表面结构合理, 基本符合不规则形体本身的轮廓线层次分布。

本文提出了基于二维灰度图像的“非规则形体”三维重建方法。该方法利用角点检测技术并结合检测阈值提取每条轮廓线上的主次特征点, 利用主特征点确定相邻层轮廓线的形状匹配关系及轮廓线的分段连接, 再根据每个分段内的次特征点, 以最小对角线为优化目标进行三角面片的拼接, 进而得到三维模型。这种方法不仅有效避免了一般重建方法所要求的需要较多的几何参数去精确表示曲面形态的缺陷, 而且一定程度上提高了重建的精度。

参考文献:

- [1] 张虎. 机器视觉中二维图像的三维重建[D]. 北京: 北方工业大学, 2006
- [2] 钱苏斌. 基于轮廓线的旋转体三维重建[J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2010, 29(4): 331-334
- [3] 廖熠, 赵荣椿. 从明暗恢复形状几类典型算法分析与评价[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(10): 953-959
- [4] 孔令鑫. 基于轮廓线的三维重建技术研究[J]. 机械与电子, 2011, (10): 3-6
- [5] 白相志, 周付根. 三维形体任意剖面轮廓线的提取方法[J]. 中国体视学与图像分析, 2006, 11(1): 63-66
- [6] 赵文彬, 张艳宁. 角点检测技术综述[J]. 计算机应用研究, 2006(10): 17-19

3D Reconstruction of Irregular Object Based on 2D Grey Image

QIAN Su-bin

(School of Information Science and Technology, Yancheng Teachers College, Jiangsu Yancheng 224002, China)

Abstract: 3D reconstruction from the 2D grey image has been a research hot spot in the field of computer vision. After making an intensive study on the hot spot, a method according to the characteristic points of the profile curves to complete the reconstruction of the irregular object is proposed. The method extracts the irregular object from the 2D grey image as the research target and adopts corner detection and the detection-threshold to acquire main characteristic points and subprime points. According to the main points to determine the matching relationship of the profile curves, thereby the segmentation-concatenation is completed, according to the subprime points and the shortest diagonal optimization strategy, the triangular plane-concatenation is finished, finally, the 3D reconstruction of irregular object surface is realized. The experiment indicates that the method could conveniently reconstruct the 3D shape of the irregular object according to its 2D grey image.

Key words: irregular object; 3D reconstruction; main characteristic points; subprime characteristic points; segmentation-concatenation; triangular plane-concatenation

责任编辑:代小红

(上接第 21 页)

Analysis of Chongqing Industrial Structure Adjustment Based on Shift-share Analysis

HE Yue

(Yangtze Upriver Economic Research Center, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: This paper uses shift share analysis to disintegrate the growth rate of Chongqing industry during 2006-2010 into regional growth share, industrial restructure shift share and regional shift share, studies 38 industrial sectors of Chongqing to find structural effect and competitive effect of each industrial sector, analyzes the calculated results and indicates that the majority of Chongqing's 38 industrial sectors belongs to growth sectors in the nationwide range and has certain nationwide competence.

Key words: shift share analysis; Chongqing; industrial structure

责任编辑:田 静