

利用反射率和距离信息的三维场景数据分割方法^{*}

A Method of Segmentation of 3-D Scenes Based on Range and Laser Reflectance Images

胡少兴 查红彬

(北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室 北京 100871)

Abstract 3-D range data segmentation based on feature edges is very important for 3D data registration, merging and texture mapping. A new segmentation method of 3-D range data is presented in this paper. First, the range data acquired with a laser scanner are represented by a laser reflectance image. Second, the feature edges and the boundaries of the range data are detected with the Canny edge detector and a edge tracking operator. At last, the 3-D range data are segmented based on the feature edges and boundaries. The experimental results show that the new segmentation method is robust and efficient.

Keywords Reflectance, 3-D scenes, Segmentation, Edge detection, Edge tracking

0 引言

利用激光三维扫描仪和高分辨率彩色 CCD 摄像机产生完整的包括三维几何和纹理信息的真实场景模型,对虚拟现实、远程浏览、数字考古及数字城市等具有重要意义,是计算机视觉和机器人领域最大的挑战和热点问题,受到国内外学者的普遍关注^[1~3]。真实场景三维建模主要包括如下三步:数据分割、几何建模及纹理映射。其中数据分割是后续工作的基础,它将三维点云数据按场景结构分成不同的封闭区域,以去除冗余数据,加快处理速度。并为多视点三维数据配准、几何建模和纹理映射提供准确的基元特征。因此本文主要研究数据分割。

在现有的分割法中较有代表性的是:Zhao 等提出的投影数据分割法^[4,5],其原理是通过统计建筑物的高度值在长宽平面上的投影范围,界定建筑物的主要框架。其余数据的分割利用激光测距仪扫描数据的特点,寻找其不连续处进行分割。缺点是激光扫描仪扫描时,须已知扫描仪的姿态,才能正确地提取主框架,从而限制了算法的应用范围。Michael K 等提出了利用法向量和斜方差的三维场景数据分割方法^[1,6],通过求法线找出同一平面区域,并由相邻平面求交获取三维特征线。优点是场景的点云数据越丰富,分割越准确;缺点是分割时,若数据较少,可能无法找到交线,且分割速度较慢。而分析激光三维扫描仪的测量原理可知,测距时也能同步获取物体的反射率信息。由于它们是同一激光脉冲回波产生的,因此反射率和距离数据一一对应,且反射率和距离图像的空间分辨率完全相同。又因反射率信息本身也是正常红外波段的场景图像,并能与任何其它图像如可见光纹理图像配准,是距离图像数据分割的

重要依据。所以本文提出了利用反射率和距离信息融合的三维场景数据分割方法,通过边缘检测和链码跟踪技术提取三维特征。最后给出实验结果,表明该算法较好地去除了冗余数据,具有分割速度快、误差小的特点,提供了距离图像配准、三维建模及纹理映射的基元。

1 距离和反射率信息的三维描述

激光三维扫描仪提供的是密集并有规则的三维场景采样点,且采样点的反射率与距离信息是同一激光脉冲回波产生,因此三维场景的距离和反射率信息可用距离反射率图像对 $G(r, g)$ 表示。其中 $r = r(i, j)$, $g = g(i, j)$ ($i = 1, 2, \dots, M$, $j = 1, 2, \dots, N$) 分别对应着采样点的反射率信息和采样点的三维位置。 i, j 定义了激光束扫描的位置和方向,故三维场景的采样点可用矩形网格索引,且可定义网格节点的连通关系。图 1 表示了网格节点的 8 邻接,同时对应着三维连通区域。 β 为相邻两列的夹角, α 为相邻两行的夹角。

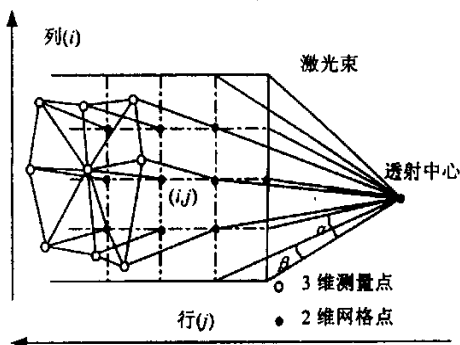


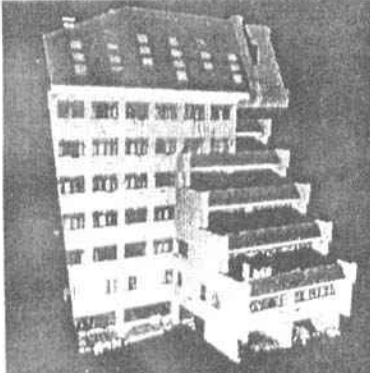
图1 距离和反射率信息的描述简图

^{*} 985 资助项目, 动态三维视觉信息处理与大规模几何建模技术研究。

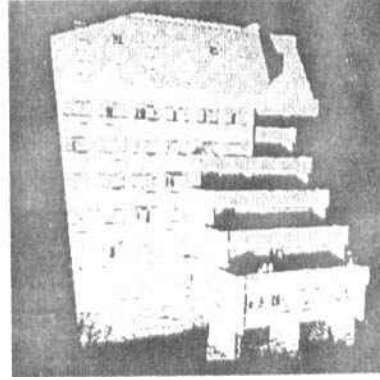
为处理方便,将反射率信息转化在 0~255 之间,也就是说反射率图像是三维数据点的灰度表示。反射率信息的具体转换为

$$R(i, j) = \frac{(r_{\max} - r_{\min}) \times r(i, j)}{255} \quad (1)$$

其中, $R(i, j)$ 为 (i, j) 网格节点 (x, y, z) 位置的灰度



(a)



(b)

图 2 (a)原始数据点云, (b)转换后灰度图像

2 分割算法

从图 2(b)可以看出,距离反射率图像对与二维图像非常类似。大多数的图像分割技术,如区域增长、像素聚类等^[8~10],是基于局部的分裂与合并,而距离反射率图像对的分割意在寻求一种全局的分割方法。文[7]是利用形态分水岭的方法对曲面网格进行分割,而不是直接对原始数据。事实上,直接对原始数据分割更有利于场景网格的模型生成和多幅距离反射率图像对的配准及场景的纹理映射。

本文利用采样点的距离和反射率信息,提出了基于反射率图像的真实场景数据分割方法,将反射图像分割成各个子区域 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 。每个 $C_i, i \geq 1$ 对应着景物表面的一部分,且 $C_i \cap C_j = \emptyset, \forall i, j: i$

值, $r(i, j)$ 为 (i, j) 同一位置的反射率, $r_{\max}, r_{\min}$ 为反射率极限。

采用式(1),对原始数据点云图 2(a)进行转换,对应的灰度图像见图 2(b)。

$\neq j$ 。分割流程如图 3。

2.1 原始数据噪声点去除

通过激光三维扫描仪获取三维场景原始数据时,由于转换器件及周围环境的影响,原始数据不可避免地含有噪声。这些噪声点的存在给数据分割带来困难,故去除噪声是必不可少的环节。考虑到距离数据含有非高斯噪声,且中值滤波可较好地保存边缘,因此本文选择 3×3 的中值滤波器,去除噪声。

2.2 三维边缘检测

距离反射率图像对主要包含阶跃边缘,可以利用边缘检测算子提取三维场景中物体的边缘。近年来, Canny^[8,11] 边缘检测算子在灰度图像处理中得到广泛应用,一直被认为是一种较好的边缘检测算法。其方法的实质是用一个准高斯函数作平滑运算,然后以带方向的一阶微分算子确定导数的最大值,用高斯函数的梯度来近似,在理论上很接近四个指数函数的线性组合形成的最佳边缘算子。Canny 算子具有定位精度高,单一边缘和检测效果好的优点。因此,本文采用 Canny 算子做三维边缘检测。具体的实现方法如下:

Step1 将距离反射率图像对分解为四幅二维子图像,即 x 图像, y 图像, z 图像, r 图像;

Step2 对每幅子图像,分别沿扫描的 (i, j) 方向做一维的行列滤波,得到卷积 $E_x^2(x, y, z, r)$ 和 $E_y^2(x, y, z, r)$, 计算边缘强度和边缘方向,即

$$A_{(i,j)}^{(x,y,z,r)} = \sqrt{E_x^2(x, y, z, r) + E_y^2(x, y, z, r)} \quad (2)$$

$$\alpha_{(i,j)}^{(x,y,z,r)} = \arctg \left[\frac{E_y(x, y, z, r)}{E_x(x, y, z, r)} \right] \quad (3)$$

式中, $A_{(i,j)}^{(x,y,z,r)}$ 反映了距离反射率图像对 (i, j) 网格

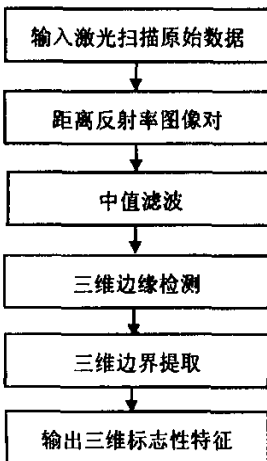


图 3 分割流程图

节点处 (x,y,z,r) 的边缘强度, $a_{(x,y,z,r)}$ 为同一节点的法向量(正交于边缘方向的方向)。

Step3 判断边缘点,当一个像素满足以下三个条件,则认为是图像的边缘点:

- (1)该点的边缘强度大于沿该点梯度方向的两个相邻点的边缘强度;
- (2)与该点梯度方向上相邻两点的方向差小于 45° ;
- (3)以该点为中心的 k 近邻中的边缘强度极大值小于某个阈值。

Step4 将四幅边缘子图像作逻辑或,从而得到区域边缘。

2.3 三维特征提取

Canny 边缘实际上只是一些三维离散点。为提取场景中有标志性的特征,进一步标明各区域边界,本文借助边缘点本身的梯度和方向,采用边缘链接技术,将同区域的边缘点划分成一组,形成单像素的边缘链,有利于区域的提取与标识。

边缘链接是二维图像边界跟踪的一种方法,它由梯度图像中一个边缘点出发,根据边缘点的连接性,依次搜索并连接相邻边缘点,从而逐步检测出边界的方法^[12]。如图 4 为 8 邻接定义,数字表示搜索顺序,即 0-1-2-3-4-5-6-7-8。

一个边缘的连接数定义为在它的 8 个方向上按某一方向绕行一周时,由 0 $\rightarrow$ 1(或由 1 $\rightarrow$ 0)改变的次数,其连接数反映了一个点的分支情况。

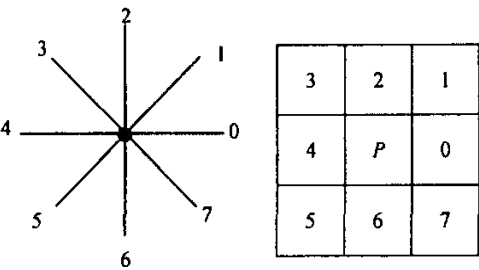


图 4 像素 P 的方向码

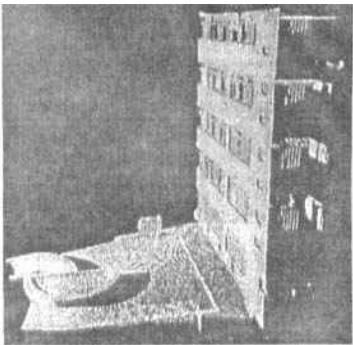
连接数为 0 的点是孤立点,为 1 的点是一端点,为 2 的点是一边缘上的点(不是端点),为 3 的点是边的一个交点,可如此分析下去。连接数为 2 的点不作为起始点,除非这是一条闭合边缘。连接数为 0 的点应去除。连接数为其它数值的边点都可作为一个起始点。当用连接数不等于 2 的点作为起始点,处理完整个距离反射率图像对后,还应任选一个连接数为 2 的点作为起始点,再作一次跟踪,以得到闭合边缘链。这样就能保证从闭合边缘的端点开始跟踪,同时又不失闭合边缘的性质。但因受光照等因素的影响,偶尔出现同一边缘点相距较远的现象,所以在边缘连接时,选择邻接窗口模板为 5×5 ,如

11	9	8	6	5
12	10	7	4	3
14	13	0	1	2
15	16	19	22	24
17	18	20	21	23

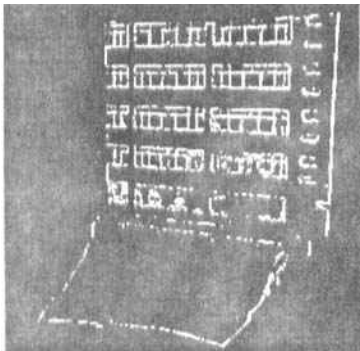
(4)

这里,式中的数字表示搜索的先后次,即
0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24。

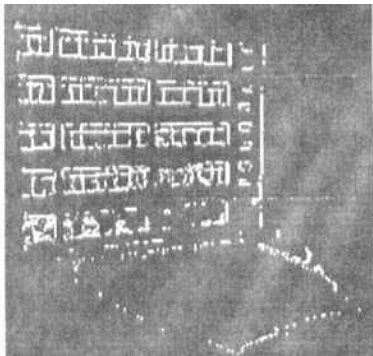
由于本文处理的是三维场景数据,因此在算法上与二维图像的链码跟踪又有不同。



(a)



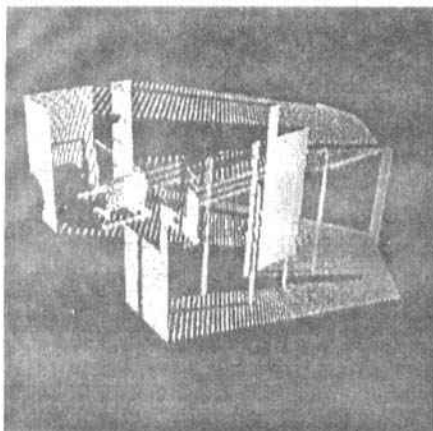
(b)



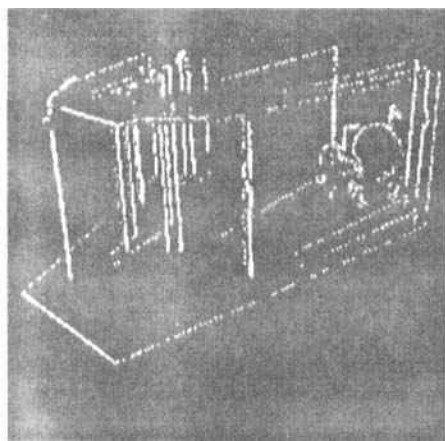
(c)

图 5 (a)是北大理科 2 号楼开井一角的灰度图像, (b)、(c)为从不同视点观察的分割效果

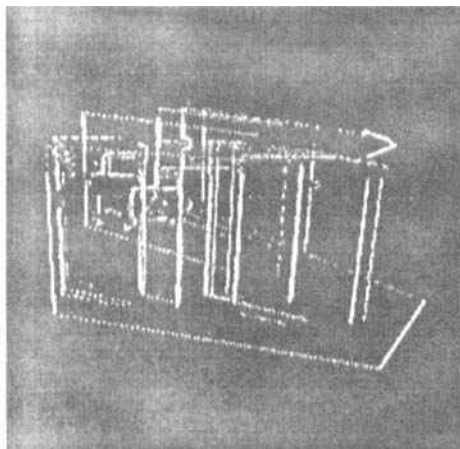
假设图像上边缘点为 1,非边缘点为 0,具体算法如下:



(a)



(b)



(c)

图6 (a)为室内场景的灰度图像,(b)、(c)为从不同视点观察的分割效果

Step1 选取一个起始点,并给出该点坐标;

Step2 将此点的值从1改为0,以防止重复跟

踪;

Step3 寻找下一点,以式(4)模板为基础,逆时针考察当前点的24个邻接点。若有为1的点,计算该点与前一点的距离

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (5)$$

如果 $d_{ij} < r$ (阈值),则置为当前点,输出此点方向,转 Step2;

Step4 搜索跟踪结束;

Step5 去短枝,将链长小于 t 的链码去掉;

Step6 将边缘点按链码跟踪结果存储,即同一边缘点化分成一组。

经上述处理,便得到了三维场景中有标志性的三维特征。

3 实验结果

在 Windows 平台上,利用 Visual C++ 语言实现了上述算法。选取有代表性的两个单视点场景作为检测对象。这些场景基本上是由平面和规则门窗组成,有明显的标志性特征。利用莱卡公司的 Cyrax2500 激光测距仪和 Dell 笔记本组成的扫描装置,获取三维场景原始数据点云。其转换后 3 维图像分别见图 5(a)、图 6(a),相应的从不同视点观察的分割效果见图 5(b)、(c)和图 6(b)、(c)。

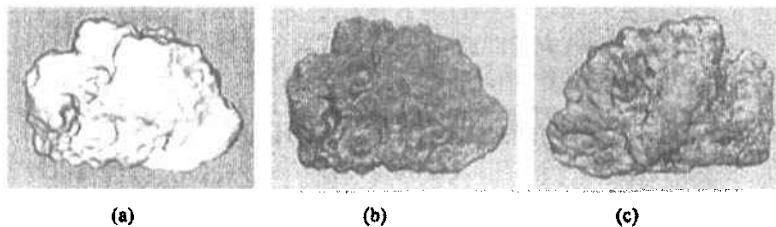
从图 5 和图 6 可以看出,场景中门窗的边界和棱线基本能够准确地提取,局部区域分割效果较差。这里有三个原因:(1)激光测距时,激光可透过玻璃等透明物体得到室内物体的采样点,见图 6(a)右边的部分,但这些杂点不属于该区域,并不影响区域划分和边界提取;(2)测距时,存在物体间的相互遮挡;(3)因在三维环境中展示分割效果,有些区域并没有完全显示出来。

结束语 本文提出了利用反射率信息和距离信息进行三维场景数据的分割方法。首先对距离和反射率信息进行三维描述,形成距离反射率图像对;然后根据 Canny 边缘算子和链码跟踪技术,提取出场景中有标志性的三维特征。不仅去除数据冗余,而且有利于后续的三维数据配准和纹理映射。算法分割速度快,区域边界定位准确。最后分析了分割后场景中杂点产生的原因。

参考文献

- 1 Stamos I, Allen P K. 3-D Model Construction Using Range and Image Data. In: Proc. CVPR, 2000. 531~536
- 2 Becker S, Bove V M J. Semi-automatic 3-D Model Extraction from Uncalibrated 2-D Camera Views. SPIE Visual Data Segmentation and Analysis I. 1995. 2410(2): 447~461
- 3 Beardsley P, Torr P, Zisserman A. 3D Model Acquisition from Extended Image Sequences. In: Proc. ECCV. 1996. 693~695
- 4 Zhao H, Shibasaki R. A Robust Method for Registering Ground Based Laser Range Images of Urban Outdoor Objects. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2001, 67 (10): 1143~1153

(下转第 17 页)



(a) 几何模型; (b)(c) 贴上纹理的珊瑚化石模型(两个不同的角度)

图8 珊瑚化石模型2

表1 化石模型中的相关数据

名称 \ 参数	长/宽/厚度 (单位:厘米)	顶点数	三角面 片数	彩色图 像数
菊石	10/9.5/2.5	2509	5000	2
三叶虫化石	6.5/4.5/2.7	28410	56815	2
珊瑚化石1	6.5/6/3.4	15002	30000	4
珊瑚化石2	9.5/6.8/2.5	27559	55114	4

结论 由于古生物和地质工作者需要根据化石来鉴定其形成的年代和环境,因此在这个领域的数字化建模有其特殊要求。它不仅需要准确地保留几何特征,还需要精确的纹理信息。本文详细介绍了建立地质化石真实感模型的整个过程,尤其对在建模过程中遇到的困难及其解决方法作了较为详尽的阐述,同时部分解决了模型纹理贴图图中的边界接缝问题,使整个模型的纹理过渡更加自然。通过实例展示了应用这些方法的建模效果。

但是,在纹理边界接缝的处理上仍然存在一些问题。目前我们只是通过观察来确定分界线,这样做存在一定的误差,它可以减轻但不能完全消除分界现象。如何更好地实现物体表面纹理的全景无缝合

成,将作为下一步的研究工作,需要我们进一步探讨和解决。

致谢 该研究使用的各种地质化石均由北京大学地质学系地质档案博物馆提供,特此感谢。

参考文献

- 1 Bernardini F, Martin L M. High-Quality Texture Reconstruction from Multiple Scans. *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, 2001, 7(4): 318~332
- 2 Weinhaus F W, Devarajan V. Texture Mapping 3D Models of Real-World Scenes. *ACM Computing Surveys*, 1997, 29(4): 325~365
- 3 Weinhaus F M, Devich R N. Photogrammetric Texture Mapping onto Planar Polygons. *Graphical Models and Image Processing*, 1999, 61: 63~83
- 4 Neugebauer P J, Klein K. Texturing 3D Models of Real World Objects from Multiple Unregistered Photographic Views. *Computer Graphics Forum*, 1999, 18(3): 245~256
- 5 Heckbert P S. Survey of Texture Mapping. *IEEE Computer Graphics & Applications*, 1986, 6(11): 56~67
- 6 El-Hakim S F, Brenner C, Roth G. A Multi-sensor Approach to Creating Accurate Virtual Environments. *ISPRS J. of Photogrammetry & Remote Sensing*, 1998, 53: 379~391

(上接第13页)

- 5 Zhao H, Shibasaki R. Reconstructing Urban 3D Model Using Vehicle-borne Laser Range Scanners. In: *Proc. of 3-D Digital Imaging and Modeling*. 2001. 349~356
- 6 Reed M K, Allen P K. A Robotic System 3-D Model Acquisition from Multiple Range Images. In: *Intl. Conf. on Robotics and Automation*. 1997. 2509~2514
- 7 Mangan A P, Whitaker R T. Partitioning 3D Surface Meshes Using Watershed Segmentation. *IEEE Trans. On Visualization and Computer Graphics*, 1999, 5(4): 308~321
- 8 Ahja N. A Transform for Multiscale Image Segmentation by Integrated Edge and Region Detection. *IEEE Trans. Pattern*

- Analysis and Machi-Intelligence, 1996, 18(12): 1211~1235
- 9 Singleton H R, Pohost G M. Automatic Cardiac MR Image Segmentation Using Edge Detection by Tissue Classification in Pixel Neighborhoods. *Magnetic Resonance in Medicine*. 1997, 37(3): 418~424
- 10 Goldenberg R, Kimmel R, Rivlin E, et al. Fast Geodesic Active Contours. *IEEE Trans. On Image Processing*, 2001, 10(10): 1467~1475
- 11 Canny J. Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Trans. On Pattern Anal. Machine Intell.*, 1986, 8(6): 679~698
- 12 朱建新. 扫描工程图的轮廓矢量提取. *工程图学学报*, 1997, (3): 46~51