

文章编号: 1001-1595(2005)02-0095-06

中图分类号: TP391; TP751

文献标识码: A

# 基于投影点密度的车载激光扫描 距离图像分割方法

史文中<sup>1</sup>, 李必军<sup>1,2</sup>, 李清泉<sup>2</sup>

(1. 香港理工大学 土地测量与地理资讯学系 地球资讯科技研究中心, 香港; 2. 武汉大学 空间信息与网络通信技术研发中心, 湖北 武汉 430079)

## A Method for Segmentation of Range Image Captured by Vehicle-borne Laserscanning Based on the Density of Projected Points

SHI Wen-zhong<sup>1</sup>, LI Bi-jun<sup>1,2</sup>, LI Qing-quan<sup>2</sup>(1. *Advanced Research Center for Spatial Information Technology, Department of Land surveying and Geo-Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China;* 2. *Center of Spatial Information and Network Communication, Wuhan University, Wuhan 430079, China*)

**Abstract:** The research presented in this paper is focused on segmentation of range image captured by vehicle borne laser scanning systems. A method, named as Density of Projected Points (*DoPP*) is proposed for the range image segmentation without other auxiliary data and is conducted to demonstrate the feasibility of the proposed solution by two cases. Image segmentation is the foundation and crux of object recognition, positioning, feature extraction and modeling. Range image is the discrete array of coordinates, which cannot describe edge feature or topologic relation, it has not been segmented by mature and feasible methods of segmentation up to now. The investigation in this paper opens a research direction to data acquisition and processing of laserscanning.

**Key words:** laser scanning; range image; density of projected points (*DoPP*); image segmentation

**摘 要:** 对车载激光扫描系统获取的距离图像的分割进行研究, 提出利用投影点密度进行距离图像分割的方法。该方法不需要其他辅助数据就可以进行距离图像的分割, 给出应用实例。图像的分割是目标识别、定位、特征提取与建模的基础和关键。距离图像是离散坐标点阵列, 不表达目标边界特征和拓扑关系, 到目前为止还没有距离图像分割的成熟、可行方法。本文研究成果, 展现了激光扫描技术在数据获取、处理研究上的新方向。

**关键词:** 激光扫描; 距离图像; 投影点密度; 图像分割

收稿日期: 2004-04-14; 修回日期: 2004-09-09

基金项目: 香港特别行政区研究资助局项目 CRC 计划(3\_ZB40); 香港理工大学科研基金资助项目(1\_34\_9709); 国家高技术研究发展计划(863 计划) 项目(2001AA131020); 国家自然科学基金资助项目(40301040)

作者简介: 史文中(1963-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为: GIS、遥感、虚拟现实、空间数据质量、GIS 中 3 维及动态数据模型、GIS 的设计与开发、GIS 与遥感的集成、高分辨卫星影像中的特征提取。

# 1 引言

地球空间信息技术是当今世界各国研究的热点之一,信息的获取、处理及应用是其研究的三大主题。空间信息的快速获取与自动处理技术是“数字地球”、“数字城市”急需解决的关键技术。20世纪80年代末,激光扫描技术在多等级3维地球空间信息的实时获取方面产生了重大突破,为获取高分辨率地球空间信息提供了一种全新的技术手段。激光扫描测量技术采用非接触主动测量方式直接获取高精度3维数据,具有传统测量技术无法取代的优越性,已经发展成为摄影测量与遥感技术的一个重要补充。

按照激光扫描仪搭载平台,通常将激光扫描测量系统分为机/空载激光扫描测量系统<sup>[1,2]</sup>(Airborne Laser Scanning System, ALSS; 也有称之为 Laser Range Finder, LRF; 或者 Airborne Laser Terrain Mapper, ALTM)和地面扫描测量系统<sup>[3,4]</sup>(Ground-based Laser Scanning System, GLSS; Vehicle-borne Laser Mapping System, VLMS)。

ALSS 是一个多传感器集成的复杂系统,在产品和应用方面已日趋成熟<sup>[5]</sup>。国际上主要技术系统有:瑞典 Saab 公司开发的 TopEye (<http://www.topeye.com>),加拿大 Optech 公司的 ALTMS (<http://www.optech.on.ca>),美国 JCLS 公司的 Fl-Map (<http://flimap.com/site.php>),德国的 TopoSys 系统 (<http://www.toposys.de>) 和 TopScan 系统 (<http://www.topscan.de>) 等。机载激光扫描测量技术在电力巡线<sup>[6]</sup>,海岸线、森林地区<sup>[7]</sup>,矿区、城区等有着广泛应用<sup>[7-12]</sup>。

基于地面的激光扫描信息采集系统(特别是移动系统)的产品和应用还正处于发展阶段,是国际研究的热点。按照数据获取特点又可分为静态扫描和移动扫描。静态扫描典型的产品是 Leica 公司的 CyraX 系列扫描系统。移动扫描系统如日本东京大学开发的车载激光扫描测量系统 VLMS 样车<sup>[13]</sup>。我国 863 计划先后支持了机载激光扫描成像技术<sup>[14]</sup>和车载激光扫描测量技术的研究<sup>[15]</sup>。

激光扫描所获得的数据是由全离散的矢量距离点构成的“点云(Points Cloud)”,常被称为“距离图像(Range Image)”。距离图像本身蕴含了丰富地形信息和地物信息,除可以直接构建高精度的 DEM 外,还应该可以根据高度信息进行特征提取<sup>[16,17]</sup>。问题的关键就集中在如何将不同目标

分离出来,分别建模。综观国内外激光扫描技术研究、应用成果,目前的数据处理方法集中在构建 DSM/DEM 上,或者附加 CCD 影像进行融合<sup>[5]</sup>,对直接从距离图像中进行目标分类和特征提取研究较缺乏。文献[3]对距离图像建筑物的线特征提取进行了研究,取得了进展;文献[13]根据每个断面扫描点的点位空间分布特征,对扫描点进行了分类,可以将建筑物、道路和树木等初步分离;但都局限于只能提取建筑物的一个侧面特征。到目前为止,还没有距离图像分割和特征提取的成熟、可行方法。本文主要研究车载激光扫描系统获取的距离图像的分割技术和方法。

## 2 目标获取与分割流程

### 2.1 距离图像的获取

车载激光测量系统是以汽车作为平台实现多传感器的集成。在车载计算机控制系统控制下,汽车以正常速度行驶(见图1,汽车绕建筑物行驶一周),动态实现3维目标表面几何信息的实时获取。系统中,GPS 测出扫描仪在空中的精确3维位置,姿态测量装置测出其在空中的姿态参数,激光扫描仪以一定的采样频率精确测定成像中心到目标的距离,形成距离图像。

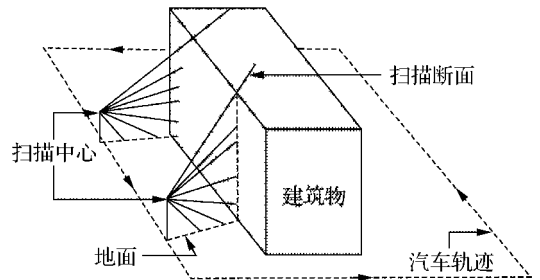


图1 激光扫描示意图

Fig. 1 Sketch map of laserscanning

### 2.2 图像分割原理及工作流程

图像分割是计算机视觉和图像分析的一种基本的、关键的技术。对于2维灰度图像而言,图像分割的过程是把图像分成各具特性的区域并把其中感兴趣的区域或目标提取出来的过程。从上世纪60年代开始人们就对图像分割进行了大量的研究,至今提出了上千种针对各种具体应用的分割算法<sup>[18]</sup>。但目前尚无通用的分割理论和适合所有图像的通用分割算法;即使给定一个实际图像分割问题,要选择适用的分割算法也还没有标准<sup>[19]</sup>。通常做法是选择一些重要特征,使图像中

主要目标在获得最优、最显著有用特征的同时, 丢弃无关或次要的信息, 以降低分类的复杂性<sup>[20]</sup>。

当前图像分割与识别算法都是针对 2 维灰度图像, 这些算法不能用于 3 维距离图像的分类。本文通过对地面目标的空间特征分析, 提出了距离图像中不同目标的分割方法。目标分割基本原理是: ① 根据测量范围, 建立水平格网, 将每个格网单元编号; ② 将所有数据点垂直投影到格网上, 并统计每个格网单元上所包含的点数, 本文称为投影点密度; ③ 根据投影密度不同 (有时需要辅加高度信息) 来区分不同目标。数据处理工作流程见图 2。

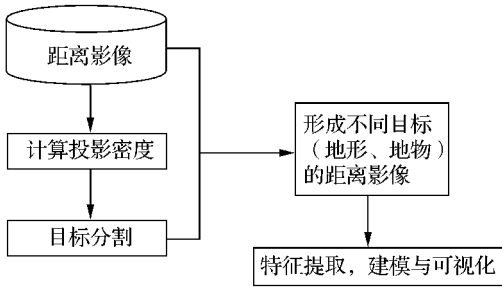


图 2 数据处理流程

Fig. 2 Workflow of data processing

### 3 距离图像空间特征及其分割

#### 3.1 不同目标空间特征分析

本文主要解决的对象是距离图像所包含的建筑物、地面和独立地物, 如树木、灯柱等重要目标的分割。

如图 3 所示, 距离图像仅由 3 维坐标点构成, 是不规则的离散数据阵列。数据处理非常复杂, 但同时激光扫描获取的是扫描点空间坐标, 对灰度变化没有要求, 这又给地物特征提取提供方便。下面对不同目标的像点空间特征进行分析。

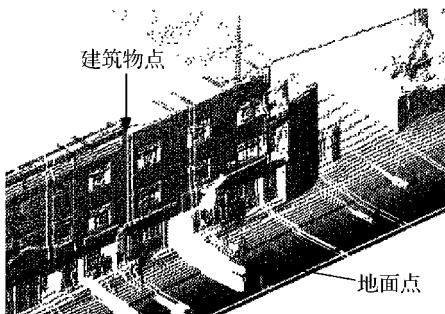


图 3 距离图像局部放大图

Fig. 3 Range image

#### 3.1.1 地面像点的空间特征

图 1 所示的车载激光扫描系统获得的距离图像包含了大量的地形点。在距离图像中, 地形点一般比较平缓, 高程值相对较小且变化不大; 在水平面上则成不规则网状分布, 随距扫描仪越远, 采样点间间隔越大。

#### 3.1.2 独立地物像点的空间特征

独立地物如树木、灯柱等, 由于具有一定高度和范围, 像点将呈现局部特征: 比周边地形点高, 在水平面上局部单位面积采样频率大, 如图 4 所示。

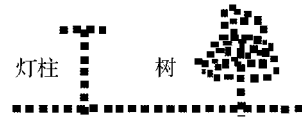


图 4 独立地物采样

Fig. 4 Sampling independent objects

#### 3.1.3 建筑物像点的空间特征

不失一般性, 可以认为建筑物高于环境地形而且具有垂直墙。建筑物像点在垂直地面方向上均匀分布, 建筑物表面 (立面) 有大量的像点 (图 3), 在建筑物水平投影边缘上单位面积采样频率大。而且在同一扫描断面上 (图 1), 相邻像点在水平轴上偏差很小, 在垂直轴上有近似垂直的斜率。

### 3.2 投影密度理论及方法

根据像点空间特征的分析, 在此提出投影密度的概念: 将 3 维坐标点直接垂直投影到水平面上 (见公式 (1), 或者将  $Z$  值取任意常数), 统计和计算水平面任意位置处所含投影点的个数, 记为  $DoPP$  (Density of Projected Points)。

$$[X \ Y \ \bar{Q}] = [X \ Y \ Z] \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

在理想状态下 (目标表面平滑、无遮挡, 所有采样点均为有效点),  $DoPP$  值与目标高度  $H$ 、扫描仪中心到目标的垂直距离  $D$ 、扫描仪的空间分辨率  $\alpha$  相关:

$$DoPP = \text{int} \left[ \frac{ATN(H/D)}{\alpha} \right] \quad (2)$$

为了简化计算, 可以将测量区域划分成规则的格网, 将格网统一编号, 统计每个格网单元上的投影点数, 并以此数值作为该格网单元的  $DoPP$  值, 这样就可将  $DoPP$  离散化表示。  $DoPP$  值具有以下



息(图 11, 取建筑物平均高度) 可得到建筑物的立 体模型。



图 7 建筑物的距离图像

Fig. 7 3D range image of building

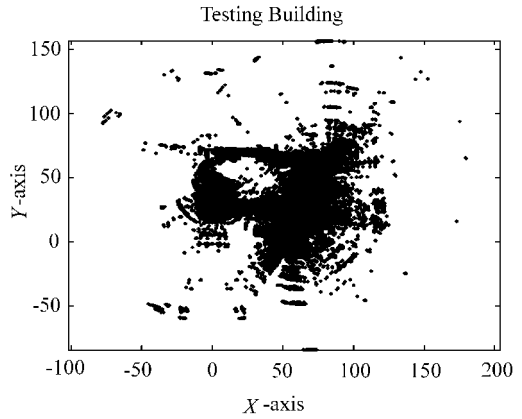


图 8 水平投影图

Fig. 8 Horizontal projection map

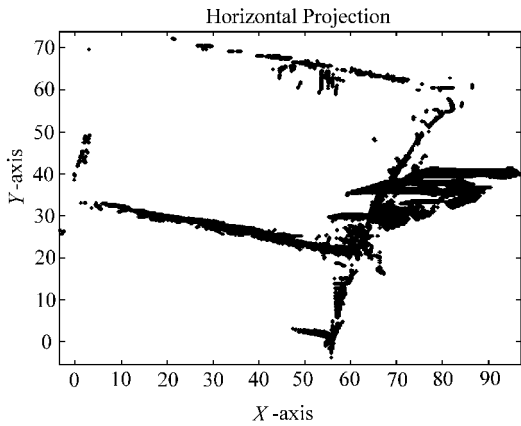


图 9 DoPP > 30 得到的水平投影图

Fig. 9 Projection to horizontal plane as DoPP ≥ 30

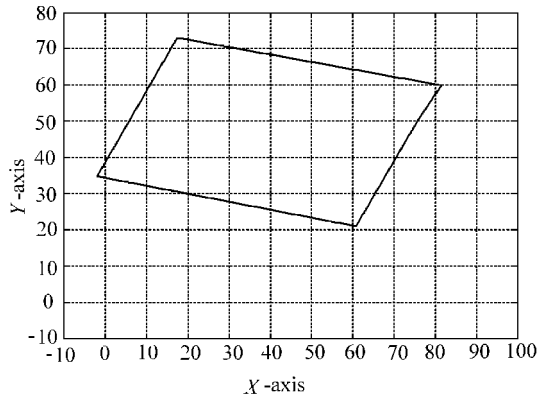


图 10 计算、编辑后的建筑物轮廓

Fig. 10 Result of analyses and interactive editing

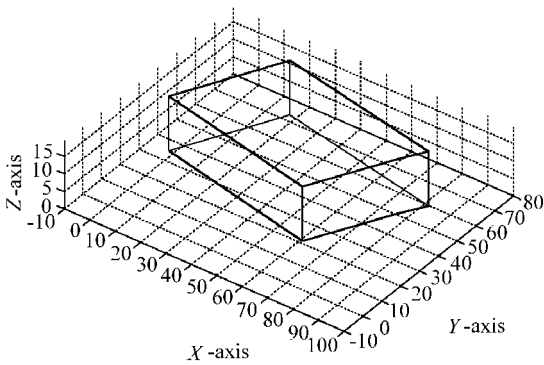


图 11 建筑物 3 维重建图

Fig. 11 3D Model of Building

等领域的一个热点。车载激光扫描系统利用 2 维激光扫描仪能够快速、方便地获取地面和建筑物详细的立面信息, 在建立详细的 3 维模型、数字城市/ 数字小区等时有较大的灵活性和优势。

本文提出的投影密度可以用来较好解决距离图像的分割; 辅助以高度值后, 基本上将距离图像中的主要目标分离出来, 进一步处理就可以实现提取特征、3 维重建与可视化。由于没有使用其他辅助数据, 直接对距离图像进行处理, 开辟了距离图像数据处理和应用的新方向。在数据处理上, 今后的研究将集中在几个方面: 格网大小与投影密度值的自适应算法、建筑物细部特征的提取与建模及距离图像分割的评价法则。

### 参考文献:

[1] FLOOD M, GUTELIUS B. Commercial Implications of

## 5 结论与展望

激光扫描测量技术已经成为地球空间信息学

- Topographic Terrain Mapping Using Scanning Airborne Laser Radar [ J ]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1997, 63(4) : 327-329, 363-366.
- [ 2 ] KILLIAN J, HALLA N, ENGLISH M. Capture and Evaluation of Airborne Laser Scanner Data [ J ]. *IAPRS*, 1996, 31(B3) : 385-388.
- [ 3 ] LI Bi-jun, FANG Zh-xiang, REN Juan. Extraction of Building's Feature from Laser Scanning Data [ J ]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(1) : 65-70. (in Chinese)
- [ 4 ] LI Qing-quan, LI Bi-jun, CHEN Jing. Research on Laser Range Scanning and Its Application [ J ]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000, 25(5) : 387-392. (in Chinese)
- [ 5 ] ACKERMANN F. Airborne Laser Scanning: Present Status and Future Expectations [ J ]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, (54) : 64-67.
- [ 6 ] WEHR A, LOHR U. Airborne Laser Scanning: An Introduction and Overview [ J ]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, (54) : 68-82.
- [ 7 ] KRAUS K, PFEIFER N. Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data [ J ]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 1998, 53(4) : 193-203.
- [ 8 ] CHEN Xiao-yong, MURAI S J. Integration of Image Analysis and GIS for 3D City Modeling [ J ]. *IAPRS*, 1998, (32) : 31-36.
- [ 9 ] ERIK N. Determination of Mean Tree Height of Forest Stands Using Airborne Laser Scanner Data [ J ]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1997, (52) : 49-56.
- [ 10 ] HAALA N, BRENNER C. Generation of 3D City Models from Airborne Laser Scanner Data [ C ]. Tallin: EARSel Workshop, 1997.
- [ 11 ] MURAKAMI H, NAKAGAWA K, SHIBATA T. Potential of an Airborne Laser Scanner System for Change Detection of Urban Features and Orthoimage Development [ J ]. *IAPRS*, 1998, (32) : 422-427.
- [ 12 ] PALMER T C. Urban Modelling from LIDAR Data in an Integrated GIS Environment [ C ]. St Louis: ASPRS Annual Conference, 2001. 23-27.
- [ 13 ] MANANDHAR D, SHIBASAKI R. Vehicle-borne Laser Mapping System (VLMS) for 3D Urban GIS Database [ C/CD ]. Manoa: University of Hawaii, 200.
- [ 14 ] LI Shu-kai, LIU Shao-chuang. Progress in Mobile/ Airborne Laser Ranging / Multispectral-Imaging Mapping System [ J ]. *China Journal of Image and Graphics*, 1999, 4(A) : 89-94.
- [ 15 ] LU Xi-shan, LI Qing-quan, FENG Wen-hao, LI Cheng-ming, *et al.* Vehicle-borne Urban Information Acquisition and 3D Modeling System [ J ]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2003, 36(3) : 76-80. (in Chinese)
- [ 16 ] WEIDNER U. An Approach to Building Extraction from Digital Surface Models [ A ]. Vienna: Proceedings of the 18th ISPRS Congress, Comm. 3, WG 2, 1996 [ C ]. Vienna: [ s. n. ], 1996. 924-929.
- [ 17 ] BRUNN A, WEIDNER U. Extracting Buildings from Digital Surface Models [ J ]. *IAPRS*, 1997, Part3-4w2. 27-34.
- [ 18 ] PAL N R, PAL S K. A Review on Image Segmentation Technique [ J ]. *Pattern Recognition*, 1993, (26) : 1277-1294.
- [ 19 ] ZHANG Yu-jin. A Classification and Comparison of Evaluation Techniques for Image Segmentation [ J ]. *China Journal of Image and Graphics*, 1996, 1(2) : 151-157. (in Chinese)
- [ 20 ] VAILAYA A, FIGUEIREDO M, JAIN A K. Image Classification for Content-based Indexing [ J ]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(1) : 117-130.

(责任编辑:雷秀丽)