

基于特征线的点云数据分割算法

张大鹏¹, 郑德华¹, 夏佳毅¹

(1. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098)



摘要: 为了提高点云数据分割的效率和精确度, 基于深度图像和 CANNY 算子, 研究了一种新的按照特征线的点云数据分割算法。结果表明, 这种基于特征线的数据分割算法能够显著提高数据分割的精度。

关键词: 特征线; 分割; 深度图像; CANNY 算子

中图分类号: P237.3

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2015) 03-0120-02

数据分割是点云数据处理中的一个重要环节, 数据分割的好坏直接影响到曲面重构的质量^[1]。国内外学者在点云分割方面已经作了大量研究。Jiang 等^[2]通过将扫描线分段拟合形成一组直线段来实现点云数据的平面分割, 但效率较低; Besl 和 Jain 提出区域生长方法识别数据中的同类区域^[3], 仅局限于一个特定的模式; 向日华和王润生提出的基于高斯混合模型的分割算法^[4], 对于大量散乱点云的效果并不理想; Yokoya 和 Levine 实现了一种基于边缘和基于区域生长的混合分割方式^[5], 需要进行批量三角化, 计算量大, 难以精确识别特征点或特征线; 丁益洪等人提出的基于随机 Hough 变换的分割算法^[6], 仅考虑了单个点计算隶属函数。

本文提出一种新的基于特征线的分割点云数据的方法。首先将三维点云数据转换为深度图像, 利用 CANNY 算子来提取深度图像的边缘信息, 然后将其转换到三维空间中。根据特征线上的点拟合出最佳平面, 并计算特征线内点的邻域高度差, 判断该点是否属于该平面, 最后完成点云分割。

1 深度图像的生成

深度图像实际是带有距离信息的图像, 它既包含空间三维信息, 又具有视觉图像的特点。Besl 在 1988 年提出了深度图像的表达形式:

$$d(i, j) = f(x_{i,j}, y_{i,j}) \quad (1)$$

式中, $d(i, j)$ 表示深度信息, 即扫描点到图像像面的距离 S ; (i, j) 表示像素点的行列坐标。深度图像 $d(i, j)$ 可看成二维矩阵, 即有 $0 \leq i \leq M-1$, $0 \leq j \leq N-1$; 矩阵元素为图像像素, $M \times N$ 表示图像的大小, 即行数和列数。

二维矩阵与图像的像素点是一一对应的映射关系。

因此, 可根据扫描点在栅格中的位置 (行列号) 定位其在图像中的像元的位置。根据扫描点到图像像面的距离 S 确定该点对应像元的灰度值, 即 Z 方向代表深度, 如式 (2) 所示, 距离和灰度值成正比关系:

$$G_i = \left[\frac{S_i - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \times 255 \right] \quad (2)$$

式中, S_{\min} 和 S_{\max} 分别表示点云数据到扫描仪中心的距离的最小值与最大值。

为了方便后续点云数据处理, 需要创建另外一个图像数组, 其像素为 $P_i = (x_i, y_i, z_i)$, 其中 (x_i, y_i, z_i) 表示该点在三维直角坐标系下的坐标。这种形式的深度图像无法以灰度图像的形式直接显示出来, 但由于扫描点的位置可以根据深度图像中的像元位置 (即扫描点在栅格中的行列号) 来确定, 使得这种扫描点云拓扑结构的建立方式提高了后续数据处理的效率。

2 深度图像的边缘探测

之前有很多的算法可以探测图像的边缘信息, 如 Kirsch、Prewitt、Laplacian 等, 但它们的鲁棒性较差, 对噪声较敏感, 无法高效率地提高图像的实际边缘。

本文采用 Canny 算子对深度图像进行特征提取。Canny 算子满足 3 个判断准则: 信噪比准则, 定位精度准则, 单边缘响应准则。Canny 算法是高斯函数的一阶导数, 是对信噪比与定位精度乘积的最优化逼近算子^[7]。其分为 4 步, 分别是图像平滑、边缘检测、阈值分割及边缘定位, 具体如下:

1) 采用高斯滤波器, 对图像 $f(x, y)$ 进行平滑滤波, 高斯函数公式为:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

2) 用一阶偏导数的有限差分计算平滑后的图像梯

收稿日期: 2014-03-17。

度 $\nabla g(x, y)$ 和方向 $\theta(x, y)$:

$$|\nabla g(x, y)| = \sqrt{F_x^2(x, y) + F_y^2(x, y)} \quad (4)$$

$$\theta(x, y) = \arctan \frac{F_y(x, y)}{F_x(x, y)} \quad (5)$$

$F_x(x, y)$ 、 $F_y(x, y)$ 由 $G(x, y)$ 在 x 方向和 y 方向的偏微分 $\frac{\partial G}{\partial x}$ 、 $\frac{\partial G}{\partial y}$, 分别与图像卷积得到。

3) 对梯度进行“非极大值抑制”, 为了细化幅值图像中的屋脊带, 保留局部梯度极大值及在该点处梯度突变最大的像素点。

本文采用开放式的阈值设置方法, 用户可以自己调节高低阈值及 σ 的大小, 以得到最满意的边界数据。

3 生成初始特征线

根据得到的特征点及其在栅格中的索引, 利用点之间的距离关系将相近的点连接起来。

具体步骤如下:

1) 确定起始点。本文以索引顺序搜索, 从特征点中第一个点 S_0 开始, 根据点云数据的分辨率定义距离阈值 d_{\max} 。不同的三维点云数据的扫描间隔是不同的, 根据不同的扫描间隔来定义距离阈值 d_{\max} (本文中实验所用点云的扫描间隔为 10 mm, 距离阈值 d_{\max} 设置为 15 mm)。

2) 在 S_0 的近邻中计算特征点集与 S_0 的距离 d , 搜索距离最近的 2 个点 P 、 Q 。若其距离 $d < d_{\max}$, 且 PS_0 与 QS_0 的夹角 $\angle PS_0Q$ 大于 120° , 则 S_0 可作为一条特征线的起点。

3) 在 S_0 的近邻中搜索距离最近的点 P_i , 若其距离 $d < d_{\max}$, 则将 P_i 点与 S_0 点连线。将该点作为新的起点并标记为访问, 重复上述步骤, 直到 P_i 点的邻域点搜索不到符合要求的特征点, 该点即为此条特征线的终点。

4) 在特征点集未访问的点中, 取一点 P_i 赋值给 S_0 , 重复第 2)、3) 步, 直到所有的点处理完毕。

若该终点的邻域中包含起始点 S_0 , 则该特征线封闭; 若不包含起始点 S_0 , 则特征线不封闭。

4 提取平面点

每个三维点的特征向量表示它邻域的最主要特征。特征向量由 3 个属性组成: (h_i, \vec{n}_i, d_i) 。其中 h_i 是点 i 相对于其邻点的高度差, \vec{n}_i 是点 i 的单位法向量, d_i 是切平面到原点的距离。高度差 h_i 是由点到其邻点的最佳拟合平面的距离。点与其邻点的高度 h_i 通常用来测量曲面局部变化。 h_i 值表示曲面的变化: 值较小表

示点位于曲面上, 而值较大表明曲面波动较大。则此点的高度差 h 为:

$$h = \frac{|ax_0 + by_0 + cz_0 + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (6)$$

式中, (a, b, c) 表示平面的单位法向量, $a^2 + b^2 + c^2 = 1$; d 表示坐标原点到该平面的距离。根据 h_i 的大小能判断不同的曲面类型。对于均匀的点密度和均匀程度的噪音的平面点云数据, 若 h_i 约等于 0 说明点在曲面区域内。然而, 如果是曲面点云数据, 点到最佳拟合平面的距离将大于 0。利用高度差来识别点是否属于平面是很好方法。

提取平面点的具体步骤如下:

1) 将特征线按点云数目排序, 从特征点数目最多的特征线开始计算。

2) 在特征线上的点云中任选 3 点 (P_1, P_2, P_3) , 构造一个平面 L , 利用特征值法计算 a 、 b 、 c 的初始值。

3) 根据计算出的 a 、 b 、 c 值, 按照公式计算出该扫描线上其余点至平面 L 的距离 d_i 。统计 d_i 小于阈值 2σ 的点的个数, 作为 L 的分数 S_L 。

4) 重复第 2)、3) 步 $C_n^3/2$ 次, 选择出分数最高的平面 L' , 重新计算最佳的 a 、 b 、 c 值。

5) 以平面 L' 为最佳拟合平面, 运用式 (6) 计算特征线内的点的高度差 h , 设置阈值 ε , 判断 h 是否小于阈值 ε , 高度差小的即可认为是平面。

6) 将平面点标记为已访问, 计算下一条特征线, 直到所有的点访问完毕。

其中, 阈值 2σ 为距离 d_i 的标准偏差, 其计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^T (d_i - \bar{d})}{n - 1}} \quad (7)$$

式中, $\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$ 。

5 实验分析

对 RealWorks 软件中提供的某培训数据进行处理, 如图 1 所示, 共有 145 329 个点。将其转换成深度图像, 如图 2 所示, 像素大小为 512 416。



图1 原始点云数据



图2 深度图像

(下转第132页)

表 1 网格最大与最小面积比值在各个剖分层次的变化

| 剖分层次 | 四边形网格总数 | QTM 扩展四边形网格最大与最小面积比值 | 直接剖分四边形网格最大与最小面积比值 | 直接剖分下 50% 较大面积网格的面积比 |
|------|---------|----------------------|--------------------|----------------------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 4 | 1.311 | 1.479 | 1.254 |
| 2 | 16 | 1.815 | 2.960 | 1.272 |
| 3 | 64 | 2.023 | 5.836 | 1.283 |
| 4 | 256 | 2.085 | 11.74 | 1.294 |
| 5 | 1 024 | 2.099 | 23.49 | 1.302 |
| 6 | 4 096 | 2.103 | 47.04 | 1.307 |
| 7 | 16 384 | 2.104 | 94.07 | 1.309 |
| 8 | 65 536 | 2.104 | 188.12 | 1.309 |
| 9 | 262 144 | 2.104 | 376.23 | 1.309 |

4 结 语

基于三角形扩展的四边形网格会继承三角形网格的形变特征,本文提出了一种基于直接剖分的球面四边形离散网格生成方法与基于 QTM 扩展的四边形网格相比,它在整体上均匀性较差,但在大范围的局部区域上表现出更加规整和均匀的特性,满足一般中小尺度模型的范围要求。基于直接剖分的球面四边形离

(上接第 121 页)

因此扫描对象为平面,其特征边缘都为跳跃型,所以对深度图像采用边缘检测算子进行特征提取就能取得较好的结果,如图 3 所示。转换为点云如图 4 所示,共检测到 2 854 个特征点。将特征点连成特征线,共有特征线 33 条,其中闭合特征线 7 条,如图 5 所示。对其进行平面点的提取,结果如图 6 所示。利用提取出来的平面点进行平面拟合,其标准差为 78.52 mm。若直接采用原始点云数据进行平面拟合,其标准差为 120.33 mm。可见,对于平面点云数据,本文算法可有效快速地提取出点云数据的特征点,并提取出平面。



图 3 图像提取边界



图 4 边界点云数



图 5 特征线



图 6 平面点提取结果

散网格为构建局部高精度网格提出了新的参考,其在球面离散网格建模中的应用值得进一步研究。

参考文献

- [1] 赵学胜,侯妙乐,白建军.全球离散格网的空间数字建模[M].北京:测绘出版社,2007
- [2] 李德仁,朱欣焰,龚健雅.从数字地图到空间信息格网[J].武汉大学学报:信息科学版,2003,28(6):642-650
- [3] Sahr K, White D, Kimeling A. Geodesic Discrete Global Grid Systems[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2003,30(2):121-134
- [4] 赵学胜,白建军.基于菱形块的全球离散格网层次建模[J].中国矿业大学学报,2007(3):397-401
- [5] Goodchild M F. Criteria for Evaluation of Global Grid Models for Environmental Monitoring and Analysis[R]. Ncgia Technical Report,1994
- [6] 张永生,贵进,童晓冲.地球空间信息球面离散网格——理论算法及应用[M].北京:科学出版社,2007
- [7] 赵学胜,孙文彬,陈军.基于 QTM 的全球离散格网形变分布及收敛分析[J].中国矿业大学学报,2005,30(4):438-442

第一作者简介:陈永就,工程师,主要从事大地测量、工程测量及地理信息系统的应用和软件开发工作。

6 结 语

本文在扫描线和区域生长方法的基础上,提出按照特征线的点云数据分割方法。

1) 验证了这种方法在点云分割过程中的正确性和有效性,按照特征线进行数据分割,并拟合出最佳平面,为点云的数据分割提供一种新的方法。

2) 本文为点云数据分割提供了一个新的思考方向。在分割过程中,如何更好地提取深度图像的边缘信息可以进一步研究。

参考文献

- [1] 蔡润彬.地面激光扫描数据后处理若干关键技术研究[D].上海:同济大学,2008
- [2] Jiang X Y, Bunke H. Edge Detection in Range Images Based on Scan Line Approximation[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1999,73(2):183-199
- [3] Besl P J, Jain R C. Segmentation Through Variable-order Surface Fitting[J]. IEEE Transactionson Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988, 10(2):167-192
- [4] 向日华,王润生.一种基于高斯混合模型的距离图像分割算法[J].软件学报,2003,14(7):1 250-1 257
- [5] Yokoya N, Levine M D. Range Image Segmentation Based on Differential Geometry: A Hybrid Approach [J]. IEEE Trans Pami, 1989, 11(6): 643-649
- [6] 丁益洪,平西建,胡敏.基于随机 Hough 变化的深度图像分割[J].计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(5): 902-907
- [7] 何丽,李嘉,郑德华.基于栅格的点云数据的边界探测方法[J].测绘工程,2013,22(3):69-73

第一作者简介:张大鹏,硕士,研究方向为三维激光扫描技术。

Point Cloud Data Segmentation Algorithm Based on Characteristic Line

by ZHANG Dapeng

Abstract In order to improve the efficiency and accuracy of point cloud data segmentation, based on the application of depth image and CANNY operator, this article studied a new point cloud data segmentation algorithm according to characteristics line. The results show that the characteristic of data segmentation algorithm can significantly improve the accuracy of segmentation.

Key words characteristic line, segmentation, depth image, CANNY operator (Page:120)

Construction Method of Chinese Semantic Address Model in Chongqing

by ZANGYingfei

Abstract Taking Nan'an as an example, we summed up the characteristics of the unstructured Chinese address with the existing data, optimized the structure of existing address elements to meet the needs of address database construction and geocoding. And then, we proposed the Chinese semantic model construction method. In order to avoid the Chinese natural language ambiguity effectively and improve the address resolution confidence, we built a topology relationship between address elements to increase the context binding and introduce the support vector machine (SVM). The result shows that building Chinese address model can improve the standard database of geocoding support ability.

Key words SVM, address model, Chinese semantic, Chongqing (Page:122)

Simulation of Multi-frequency GPS Observation Data

by ZHANG Hongqiang

Abstract This article studied the method of using the non-poor ideas to numerical simulate L5, with the same method to simulate L2 carrier data, and compared with measured the L2 carrier of data analysis. The result verifies that this simulation method is feasible.

Key words L5 frequency, non-poor observation, carrier phase, pseudorange (Page:126)

Production Method of Spherical Quadrilateral Discrete Grid Based on Direct Subdivision

by CHEN Yongjiu

Abstract This article proposed a production method of spherical quadrilateral discrete grid based on direct subdivision, and made a comparative analysis with QTM extended quadrilateral discrete grid on area deformation. The experimental data show that maximum and minimum area ratio of QTM extended quadrilateral discrete grid increased with level of subdivision added, and eventually converge to 2.1, direct subdivision method of spherical quadrilateral discrete grid on the area ratio increased with level of subdivision added and will not convergence, while in the intermediate constant, continuous large area of this grid, the area ratio increased with level of subdivision added and eventually converge to 1.3.

Key words global discrete grid, spherical quadrilateral discrete grid, direct subdivision, area deformation (Page:130)

Research on the Aerial Image Dodging Based on Improved Mask

by MAO Yulong

Abstract Firstly, the original images were treated by low-pass filter in frequency domain to attain background image, which could reflect the illumination condition of original images. And then, we used the Mask technique to generate an image in ideal conditions. In this process, we used a reduced image instead of the original image to generate the background image, which could greatly improve the efficiency of the generated background image. The experimental results show that this method is efficient to resolve the color problem inside a single image.

Key words aerial images, image dodging, Mask (Page:133)

Handheld GPS-assisted Method of Digital Image-pricking

by SHANG Haixing

Abstract This paper introduced the detailed working process of digital image-pricking method. Using the handheld GPS devices to prick field points, the paper real-time navigated data quickly arrived at the target

field image control point position, browsed digital image in the Global Mapper. This method can improve the efficiency and reliability of prick, and have strong practicability in rare texture area.

Key words handheld GPS, image-pricking, Google Earth, image control point (Page:135)

Application of 3D Laser Scanning Measurement Technologies in Landslide Monitoring

by WANG Yancheng

Abstract In this paper, we introduced the principle of 3D laser scanning measurement and analyzed the theory of measurement error. We used 3D laser scanning technologies to observe a landslide in the field of Wuhua Benggang in Guangdong Province six times. The results show that 3D laser scanning technologies compared with traditional landslide monitoring has quick speed, high precision, real-time 3D dynamic display. The advantages of real-time display amount change and landslide has extensive application prospect in the real-time dynamic monitoring.

Key words 3D laser scanning measurement, landslide monitoring, error (Page:138)

Underground Space Census and Management System Construction of Chongqing Urban Area

by XIAO Yong

Abstract This paper briefly introduced the underground space census and the management system construction of Chongqing urban area. The paper summarized the experience and provided valuable reference for governments at all levels, to improve the planning level, clear the development strategy, and set management policy of underground space.

Key words underground space census, management system construction, technology innovation (Page:142)

Research on Awning Structure Vibration Monitoring Method Based on Video Tracking

by FAN Dengke

Abstract This paper proposed a scenario for efficiently processing videos, and exactly obtaining the amplitude and frequency of vibration related to awning structure established on high-speed railway platform. This method adopted several algorithms in computer vision domain, such as feature extraction, object motion tracking and curve correction, to assist processing video frames with manual operation. Owing to such an excellent scenario, efficiency and accuracy were prompted. Besides, uncertainty arose by errors was depressed. The method appeared to be practical application value after being applied to vibration curve manufacturing and made competition with prior scenario.

Key words feature extraction, object tracking, curve correction (Page:145)

Research on Neighborhood Level Management in Xiangtan Cadastral Information System

by WEN Jian

Abstract From the cadastral management perspective, taking Xiangtan cadastral management system upgrade for example, we proposed the idea which was increasing neighborhood level data in the cadastral system, and explained the necessity and technical method of additional neighborhood level. This method would improve the cadastral management system utilization, and enhance the efficiency and quality of system's spatial analysis.

Key words cadastral system, neighborhood level, parcel, cadastral number (Page:148)

Research on the Updating Method of 1 : 250 000 Road Data

by ZHOU Hao

Abstract This paper proposed an updating mode based on automatic generalization, supplemented by artificial coordinated comprehensive. The automatic matching of line elements was introduced and developed. And a series of actions, which performed by the incremental data was achieved by extracting, screening, downsizing automatically. Meantime, the process of incremental updating was described in detail from the technical route. The result demonstrates that the proposed method is feasible and practical, and achieves high generalization quality.

Key words incremental information, generalization updating,