

基于激光点云的建筑裂缝提取方法研究

王 果^{1,2}, 刘绍堂^{1,2}, 蒋瑞波^{1,2}, 张祥祥¹

(1. 河南工程学院土木工程学院, 河南 郑州 451191;

2. 煤化工资源综合利用与污染治理河南省工程实验室, 河南 郑州 451191)

摘 要:提出一种面向对象的激光点云建筑裂缝提取方法,在对激光点云进行分割的基础上,通过计算面片与水平面之间的夹角、面片面积、面片相似度等特征,依据建筑裂缝先验知识,利用面向对象的激光点云分析方法对裂缝周围面片进行识别,选取建筑裂缝数据进行实验,结果表明,该方法可对建筑裂缝进行有效提取。

关键词:激光点云;面向对象;特征计算;建筑裂缝提取

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2017.07.021

Research on building crack extraction method based on laser point cloud

WANG Guo^{1,2}, LIU Shao-tang^{1,2}, JIANG Rui-bo^{1,2}, ZHANG Xiang-xiang¹

(1. Institute of Civil Engineering, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China; 2. Engineering Laboratory of Comprehensive Coal Resource Utilization and Pollution Control in Henan Province, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: An object oriented method for building crack extraction based on laser point cloud is proposed. Based on laser point cloud segmentation, the characteristics of angle between horizontal plane and segmented plane, area and patch similarity are calculated. According to the prior knowledge of building cracks, object oriented extraction method is used to identify the cracks from point cloud. The experimental results show that the proposed method can effectively extract the building cracks.

Key words: laser point cloud; object oriented; characteristic calculation; building crack extraction

1 引 言

建筑结构的破坏常常始于裂缝,房屋裂缝作为最常见的破坏情形,轻则影响建筑结构的性能,重则损害结构的整体性、减少使用寿命,造成安全事故^[1],因此,裂缝监测是建筑物健康监测的一项重要工作。传统的裂缝监测方法通过放大镜、裂缝测宽仪等对裂缝宽度进行识读,费时费力,效率较低,而且由于建筑物健康状态具有不确定性,现场监测

人员会有一定的危险性。随着数字图像处理技术的进展,基于数字图像的裂缝测量方法已有大量研究^[2-5],然而一方面由于裂缝所处环境复杂,获取的图像存在噪声且难于消除到合格程度,导致测得的结果不稳定;另一方面基于图像的裂缝测量方法,只能用于裂缝宽度的初测,难以描述裂缝的三维空间信息。

三维激光扫描技术克服了传统监测手段对只

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 41301598);煤化工资源利用与污染治理河南省工程实验室开放项目(No. 502002-B02, 502002-B03);河南工程学院博士基金项目(No. D2015040)资助。

作者简介:王 果(1986-),男,博士,讲师,从事三维激光扫描数据处理方面的研究工作。E-mail: wangguo0123@foxmail.com

收稿日期:2016-11-24; **修订日期:**2017-01-05

能采集离散点坐标的局限,可获取房屋裂缝监测区域内密集的点云数据,整体、细致地描述建筑物的裂缝信息,本文基于面向对象的点云分析理论,研究分割面片的倾角、面积、面片相似度等特征,依据建筑裂缝相邻面片之间的规则对裂缝周围面片进行识别,实现激光点云数据的建筑裂缝信息提取。

2 面向对象的激光点云建筑裂缝提取

面向对象的点云分析理论和方法已有大量研究,国外学者基于面向对象的方法从激光点云中提取和重建建筑立面^[6-7]、进行城市植被分类^[8];国内学者将分割后的点云利用面向对象的思想,进行点云滤波和分类^[9-11]、建筑物立面识别^[12]等方面的研究工作。然而针对建筑裂缝这种特定场景的三维激光点云提取尚且缺乏相应的研究,本文以面向对象思想为基础,研究面向对象的激光点云建筑裂缝提取方法,该方法包含点云分割,面片特征计算,裂缝周围面片识别等步骤,整个流程如图1所示,其中预处理部分采用 TerraSolid 软件进行粗差剔除和地面点滤除。

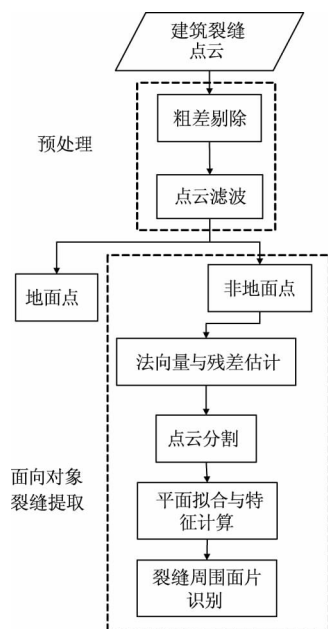


图1 建筑裂缝提取流程

Fig. 1 Building crack extraction process

2.1 点云分割

局部点云密度作为点云内部属性的一种,影响点云分割的效果^[13],采用文献[14]提出的考虑局部点云密度的分割方法,利用KD树方式进行点云数据组织,通过在X,Y,Z方向不断剖分,剖分平面垂直于对应的轴向,直到所有的点云数据被剖分并结构化到KD树结构中。

理论上,在 n 维欧式空间 R^n 中,任何向量可由相互正交的向量线性组合得到。对于给定的三维空间点,通过主成分分析可以确定相互正交的特征向量以及特征值。

假定 P 为 R^3 中 n 个点组成的点云数据 $X_i (i = 1, \dots, n)$, $\bar{X}$ 为均值向量,则协方差阵 Σ 为:

$$\Sigma = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})^T \quad (1)$$

对于协方差矩阵 Σ ,特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 (\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3)$ 以及其对应的特征向量 A_1, A_2, A_3 可被确定,不相同的特征值的个数代表激光点数据的维数,特征向量代表邻域点的基底向量。假定如果能确定某点及其邻域局部足够平整,则该点就能被确定为区域生长的种子点。对于一个绝对平整的区域(无噪声的理想情况)而言,则兴趣点和其邻域会处于点集所定义的平面上,相对特征值 $\bar{\lambda}$ 应该为零。但是由于噪声的存在和现实世界中绝对平面的不存在性,如果 $\bar{\lambda}$ 小于阈值 λ_T 则认为该点为平面分割的种子点。

为了准确分割和法向量计算,采用有效邻域进行,首先,轴向的包围球位于当前点及其 k 近邻点(候选邻域点)上,利用主成分分析获取估计的法向量 $\vec{n}_e$,然后通过点到切平面的最大距离进行约束,如果候选邻域点到切平面的距离小于设定的阈值 d ,则候选邻域被选择为有效邻域,否则作为平面分割的无效邻域被舍弃,其原理如图2所示^[14]。

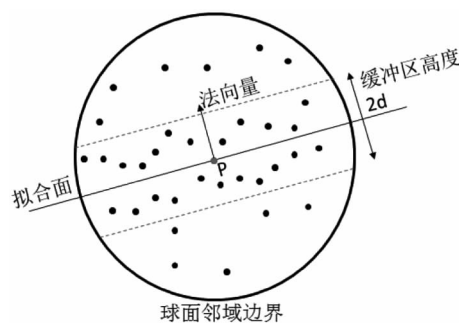


图2 有效邻域的二维示意图

Fig. 2 Two-dimensional schematic of the effective neighborhood

对三维空间中的平面,其表达式为:

$$ax + by + cz = d \quad (2)$$

其中, a, b, c 为平面的法向量元素,如果将平面法向量单位化,则:

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1 \quad (3)$$

任意点的三维坐标为 (x_i, y_i, z_i) ,则该点到最佳拟合平面的距离为:

$$d_i = |ax + by + cz - d| \quad (4)$$

根据最小二乘原理,要想获得最佳平面,应在满足公式(3)的条件下,使得:

$$V = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (ax_i + by_i + cz_i + d)^2 \rightarrow \text{Min} \quad (5)$$

按照相似性测度和自适应生长半径进行点云面片生长,可得到非地面点云数据分割结果,作为进一步建筑裂缝提取的数据源。

2.2 特征计算及裂缝周围面片识别

点云分类和目标识别领域通常包括尺寸、位置、形状、色彩、拓扑关系、方向等特征^[15]。考虑到建筑裂缝相邻平面之间存在以下先验知识:面积较大,通常垂直于水平面,裂缝周围面片具有空间临近性和共面性,因此针对以上先验知识对分割的面片进行特征计算。

1) 面片法向量与水平面夹角:对于分割得到的建筑面片,基于特征值进行平面拟合并计算法向量,将法向量和水平面的夹角作为提取建筑裂缝周围面片的特征,利用该特征,可以剔除平面屋顶、树木以及倾斜屋顶等类别的激光点云。

2) 面片面积:由于分割后的面片具有不规则性,直接计算面积通常比较复杂,本文利用每一个面片中包含的激光点数量作为面积测度,避免了获取激光点云面片边缘数据和计算面积过程,减少了算法时间和空间复杂度,通过面片面积这一特征,可以剔除面积较小的地物激光脚点。

3) 面片相似度:分割后的每个面片表达式如公式(2)所示,可以用向量 (a_i, b_i, c_i, d_i) 表示,通过上述两项特征对面片进行过滤后,对剩下的面片通过相似度计算进行共面性质判断,采用向量夹角的余弦值进行相似度计算,如公式(6)所示。

$$\begin{aligned} \text{Sim}(\vec{x}, \vec{y}) &= \cos(\angle \vec{x}, \vec{y}) \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $\vec{x}, \vec{y}$ 分别为两平面的向量表示形式,通过裂缝周围面片共面这一特征,可以剔除与裂缝不相邻的激光脚点数据。

3 实验过程及结果

为了验证方法的可行性与有效性,采用徕卡 Scanstation2 三维激光扫描设备获得建筑裂缝点云数据,经过 TerraSolid 软件进行粗差剔除和地面点

滤除,按照高程显示得到如图 3 所示的实验验证数据,通过考虑局部点云密度的点云分割方法,采用文献[14]的分割参数对该实验数据进行分割,共得到 28 个平面,分割后效果利用自主研制的 LPS(LiDAR Processing Software)软件进行显示,如图 4 所示。

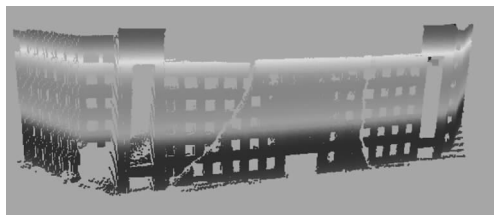


图 3 建筑裂缝实验点云数据

Fig. 3 Test point cloud data of building crack

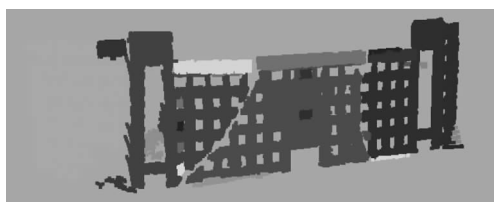


图 4 实验点云分割结果

Fig. 4 Test segmentation result of the test data

为了进一步得到与建筑裂缝相关的点云面片,将分割后的点云按照面向对象的裂缝提取方法进行提取,其中面片法向量与水平面夹角设定为 $86^\circ \sim 92^\circ$,面片包含最少点数为 500,面片相似度参数设置为 0.96,实验得到 6 个与建筑裂缝有关的点云面片,共包含 28731 个点,提取效果利用自主研制的 LPS 软件进行显示如图 5 所示。

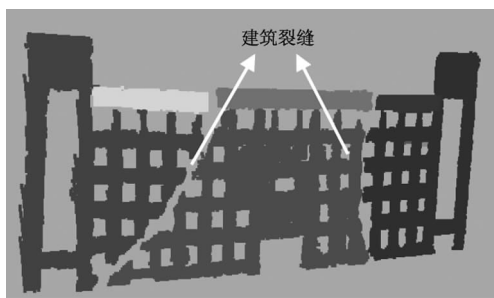


图 5 建筑裂缝提取效果

Fig. 5 Test result of building crack extraction

从图 5 可以看出,本文提出的面向对象激光点云裂缝提取方法能够实现对建筑裂缝周围面片提取,分析其原因在于:

1) 利用点云分割的结果作为裂缝提取的前提,采用面向对象的思想,不仅考虑了点云之间的关系,而且也考虑面片之间的关系;

2) 利用建筑裂缝的先验知识,通过面片特征辅

助进行提取,计算简单,具有较好的操作性。

与图4对比可以看出,本文方法大大减少了分割面片数,实验数据从28个面片精确到与建筑裂缝有关的6个面片,为进一步精确分析建筑变形信息提供数据支持。

4 结 语

基于建筑裂缝数据的先验知识,提出一种面向对象的激光点云建筑裂缝提取方法。该方法首先对激光点云进行分割,然后利用分割面片与水平面的夹角、面积、面片相似度等特征定义规则对裂缝周围面片进行识别,具有以下特点:①通过激光点云数据进行建筑裂缝提取,可以获得裂缝的三维信息;②采用面向对象的思想,利用先验知识,不仅考虑了点与点之间的关系,同时考虑了面片与面片之间的关系。实验结果表明,本文方法能够实现对建筑裂缝提取,可为建筑监测及裂缝提取工作提供借鉴。

参考文献:

- [1] XIAO Feng. Research of building crack monitoring based on digital Image processing technology [D]. Chongqing: Chongqing University, 2013. (in Chinese)
肖峰. 基于数字图像处理技术的建筑裂缝监测研究 [D]. 重庆:重庆大学, 2013.
- [2] LU Xiaoxia. Research on concrete crack width detection technology based on image processing [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2010. (in Chinese)
卢晓霞. 基于图像处理的混凝土裂缝宽度检测技术的研究 [D]. 成都:电子科技大学, 2010.
- [3] WANG Lei. Crack measurement of concrete structures based on digital image [D]. Tianjin: Tianjin University, 2006. (in Chinese)
王雷. 基于数字图像的混凝土结构构件裂缝测量 [D]. 天津:天津大学, 2006.
- [4] NIE Honglin, HU Wusheng. Research on deformation monitoring of wall cracks based on digital image processing technology [J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2012, 21(4): 61–65. (in Chinese)
聂红林, 胡伍生. 基于数字图像处理技术的城墙裂缝变形监测研究 [J]. 测绘工程, 2012, 21(4): 61–65.
- [5] XIAO Feng, LIU Xing, ZHANG Yali, et al. Research on deformation monitoring of wall cracks based on digital image processing technology [J]. Beijing Surveying and Mapping, 2012, (5): 10–14. (in Chinese)
肖锋, 刘星, 张亚力等. 基于数字图像处理技术的建筑裂缝测量研究 [J]. 北京测绘, 2012, (5): 10–14.
- [6] Pu S. Knowledge based building façade reconstruction from laser point clouds and images [D]. Netherlands: University of Twente, 2010: 1–13.
- [7] Pu S, Vosselman G. Automatic extraction of building features from Terrestrial Laser Scanning [J]. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2006, 36(5): 25–27.
- [8] Rutzinger M, Höffle B, Hollaus M, et al. Object-based point cloud analysis of full-waveform airborne laser scanning data for urban vegetation classification [J]. Sensors, 2008, 8(8): 4505–4528.
- [9] Zhang J X, Lin X G. Filtering airborne LiDAR data by embedding smoothness-constrained segmentation in progressive TIN densification [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013, 81: 44–59.
- [10] Zhang J X, Lin X G, Ning X G. SVM-based classification of segmented airborne LiDAR point clouds in urban areas [J]. Remote Sensing, 2013, 5(8): 3749–3775.
- [11] YANG Na, QIN Zhiyuan, ZHU Yan, et al. Object-oriented filtering method for airborne LiDAR point clouds [J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2014, 31(2): 157–161. (in Chinese)
杨娜, 秦志远, 朱艳, 等. 面向对象的机载 LiDAR 点云滤波方法 [J]. 测绘科学技术学报, 2014, 31(2): 157–161.
- [12] NI Huan, ZHANG Jixian, DUAN Minyan, et al. Object-based extraction of building facades from mobile LiDAR point clouds [J]. Science of Surveying and Mapping, 2014, 39(4): 92–96. (in Chinese)
倪欢, 张继贤, 段敏燕, 等. 面向对象的车载激光扫描点云建筑物立面提取 [J]. 测绘科学, 2014, 39(4): 92–96.
- [13] Zahra Lari, Ayman Habib. New approaches for estimating the local point density and its Impact on lidar data segmentation [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2013, 79(2): 195–207.
- [14] WANG Guo, SHA Congshu, WANG Jian. Study on segmentation of building facade considering local point cloud density [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2015, 52(6): 061001–1–6. (in Chinese)
王果, 沙从术, 王健. 考虑局部点云密度的建筑立面自适应分割方法 [J]. 激光与光电子进展, 2015, 52(6): 061001–1–6.
- [15] WEI Zheng. Automated extraction of building and facades reconstruction from mobile LiDAR point clouds [D]. Wuhan: Wuhan University, 2012. (in Chinese)
魏征. 车载 LiDAR 点云中建筑物的自动识别与立面几何重建 [D]. 武汉: 武汉大学, 2012.