



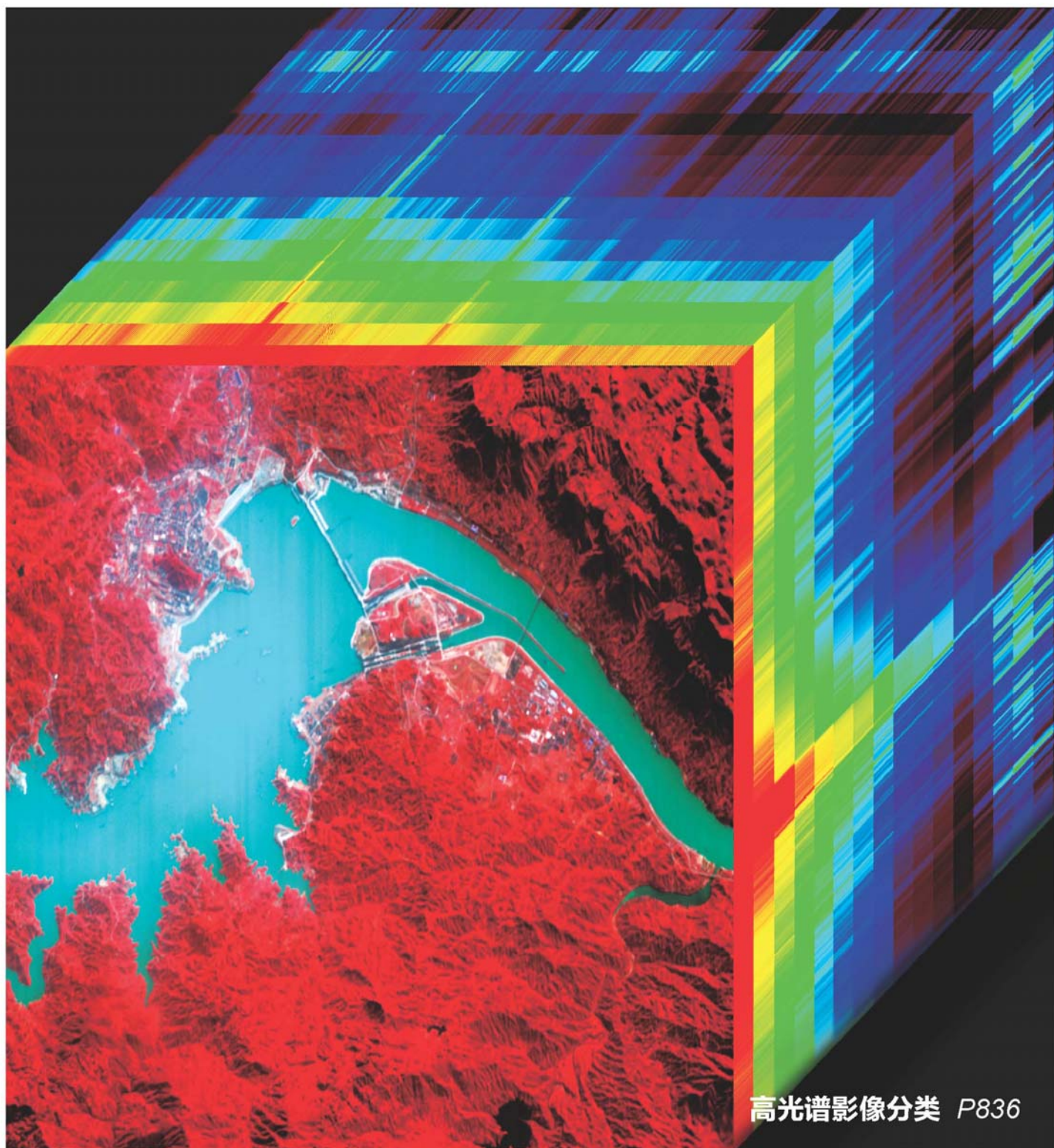
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

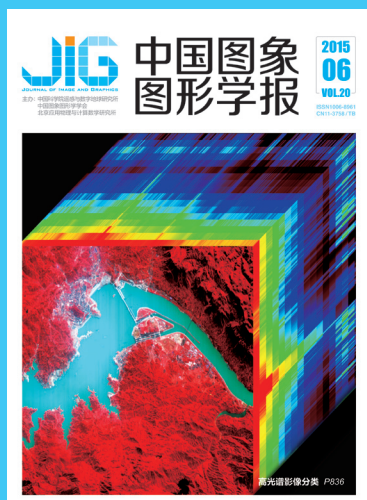
中国图象图形学报

2015
06
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



高光谱影像分类 P836



第20卷第6期（总第230期）

2015年6月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of

Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

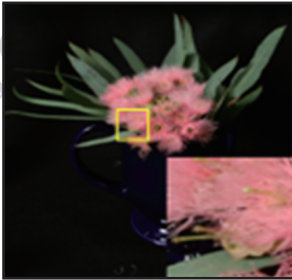
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

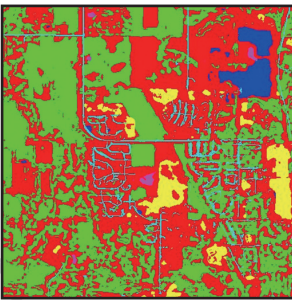
国内定价 50.00元



边缘结构保持的加权BDTV
全光场图像超分辨率重建
(第0733页)



基于超像素的多主体图像交
互分割(第0764页)



谐波分析光谱角制图高光谱
影像分类(第0836页)

图像处理和编码

边缘结构保持的加权BDTV全光场图像超分辨率重建

张旭东, 李梦娜, 张骏, 胡良梅, 王一 0733

基于Arnold映射的分块双层自适应扩散图像加密算法

徐亚, 张绍武 0740

结合梯度信息的特征相似性图像质量评估

苗莹, 易三莉, 贺建峰, 邵党国 0749

图像分析和识别

复杂场景下自适应背景减除算法

邵奇可, 周宇, 李路, 陈庆章 0756

基于超像素的多主体图像交互分割

伯彭波, 袁野, 王宽全 0764

采用金字塔纹理和边缘特征的图像烟雾检测

李红娣, 袁非牛 0772

结合手指检测和HOG特征的分层静态手势识别

刘淑萍, 刘羽, 於俊, 汪增福 0781

形状角计算改进及其在矩形目标识别中的应用

孟伟荣, 李辉, 方黎勇, 白金平 0789

融合图像感知哈希技术的运动目标跟踪

李子印, 朱明凌, 陈柱 0795

利用快速傅里叶变换的目标尺度自适应回归跟踪

张浪, 侯志强, 余旺盛, 许婉君 0805

基于点云属性信息的平面靶特征提取

刘燕萍, 贾东峰 0815

融合局部思想和协作表达的鲁棒分类

楼宋江, 赵小明, 于海涛, 张石清 0822

计算机图形学

草绘3维人体建模的模板形变方法

李毅, 刘兴川, 孙亭 0828

遥感图像处理

谐波分析光谱角制图高光谱影像分类

杨可明, 刘飞, 孙阳阳, 魏华锋, 史钢强 0836

倾斜航空影像的城区DSM生成

吴军, 程门门, 姚泽鑫, 彭智勇, 李俊, 马峻 0845

封面图片由中国科学院遥感与数字地球研究所高光谱遥感应用技术研究室张霞研究员提供

CONTENTS

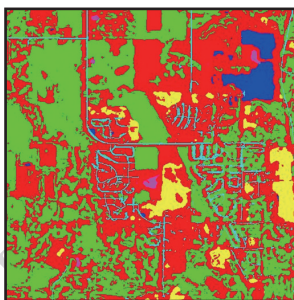
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Edge preserved light field image super-resolution based on weighted BDTV model (P0733)



Interactive multiphase image segmentation based on superpixels (P0764)



Classification algorithm of hyperspectral imagery by harmonic analysis and spectral angle mapping (P0836)

Image Processing and Coding

Edge preserved light field image super-resolution method based on weighted BDTV model

Zhang Xudong, Li Mengna, Zhang Jun, Hu Liangmei, Wang Yi 0733

Encryption algorithm of image blocking and double adaptive diffusion with Arnold mapping

Xu Ya, Zhang Shaowu 0740

Image quality assessment of feature similarity combined with gradient information

Miao Ying, Yi Sanli, He Jianfeng, Shao Dangguo 0749

Image Analysis and Recognition

Adaptive background subtraction approach of Gaussian mixture model

Shao Qike, Zhou Yu, Li Lu, Chen Qingzhang 0756

Interactive multiphase image segmentation based on superpixels

Bo Pengbo, Yuan Ye, Wang Kuanquan 0764

Image based smoke detection using pyramid texture and edge features

Li Hongdi, Yuan Feiniu 0772

Hierarchical static hand gesture recognition by combining finger detection and HOG features

Liu Shuping, Liu Yu, Yu Jun, Wang Zengfu 0781

Improved shape angle computation and its application in detection of rectangular

Meng Weirong, Li Hui, Fang Liyong, Bai Jinping 0789

Object tracking algorithm based on perception hash technology

Li Ziyin, Zhu Mingling, Chen Zhu 0795

Scale adaptive regression tracking method based on fast Fourier transform

Zhang Lang, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng, Xu Wanjuan 0805

Feature extraction of flat target based on point cloud attribute information

Liu Yanping, Jia Dongfeng 0815

Locality constrained collaborative representation classification for robust classification

Lou Songjiang, Zhao Xiaoming, Yu Haitao, Zhang Shiqing 0822

Computer Graphics

Sketch-based method for 3D human modeling using template deformation

Li Yi, Liu Xingchuan, Sun Ting 0828

Remote Sensing Image Processing

Classification algorithm of hyperspectral imagery by harmonic analysis and spectral angle mapping

Yang Keming, Liu Fei, Sun Yangyang, Wei Huafeng, Shi Gangqiang 0836

Automatic generation of high-quality urban DSM with airborne oblique images

Wu Jun, Cheng Menmen, Yao Zexin, Peng Zhiyong, Li Jun, Ma Jun 0845

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)06-0815-07

论文引用格式: Liu Y P, Jia D F. Feature extraction of flat target based on point cloud attribute information[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(6): 0815-0821. [刘燕萍, 贾东峰. 基于点云属性信息的平面标靶特征提取[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(6): 0815-0821.] [DOI: 10.11834/jig.20150611]

基于点云属性信息的平面标靶特征提取

刘燕萍¹, 贾东峰²

1. 同济大学浙江学院土木系, 嘉兴 314051; 2. 同济大学测绘与地理信息学院, 上海 200092

摘要: **目的** 色彩和回光强度作为点云的属性信息可以有效地应用到点云数据的特征提取中。本文根据平面标靶的几何以及光谱特性, 提出了一种平面标靶的快速提取算法用于精确确定靶心坐标。**方法** 首先根据点云的色彩信息, 采用光谱欧式距离函数进行点云的分类; 对分类后的点云进行色彩重采样以提高同类点云色彩的一致性, 同时根据平面标靶点云的光谱特性, 根据其 RGB 值进行目标区域的提取, 通过对圆形区域的面积测定以确定目标提取的正确性。最终根据点的回光强度值, 确定圆形目标区域的中心坐标位置。**结果** 通过两组实验分析, 第 1 组对固定距离处的标靶靶心提取精度分析, 本文自动提取靶心的点位中误差为 3.31 mm, 而手工提取靶心的点位中误差为 11.78 mm, 证明本文方法的提取精度明显高于手工提取靶心的精度; 第 2 组对分散排列的标靶靶心提取精度分析, 通过分析证明本文方法在 5 m 处的靶心提取精度可以优于 2 mm; 10 m 处的提取精度可以优于 4 mm; 15 m 处的点位提取精度可以优于 5 mm。结论证实了本文方法的可行性和精确性。

关键词: 属性信息; 特征提取; 平面标靶; 点云; 分类

Feature extraction of flat target based on point cloud attribute information

Liu Yanping¹, Jia Dongfeng²

1. Department of Civil Engineering, Tongji Zhejiang College, Jiaxing 314051, China

2. Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: **Objective** Color and intensity which are attributes of a point cloud could be effectively used in the feature extraction of a point cloud. Base on the geometrical and spectral characteristics of the flat target, this paper presents a fast flat target extraction algorithm to determine the coordinate of the target center. **Method** First, spectral Euclidean distance function is adopted to classify the point cloud based on color information and then a method of color resampling is used to improve the color consistency in the same category. The extraction of the target area is implemented by the values of RGB in terms of the spectral property of the flat target. In addition, the target's validity is confirmed by measuring the area of the extracted circle field. Finally, according to the intensity values of the points, the center of the target area is determined. **Result** The feasibility and accuracy of the proposed method are demonstrated by two groups of experiments. The first experiment was conducted by fixing the distance to analyze the extraction accuracy of the center of the target. Comparing with the mean square error of 11.78 mm of the manual extraction method, the mean square error of automatic extraction of the proposed method can reach to 3.31 mm, which is obviously more accurate than the method of manual extraction; and the second experiment involve an analysis by arranging the targets in different places to get the center coordinates. Through the

收稿日期: 2014-09-10; 修回日期: 2015-01-26

基金项目: 浙江省教育厅项目(Y201330123)

第一作者简介: 刘燕萍(1987—), 女, 讲师, 2011 年于同济大学获摄影测量与遥感专业硕士学位, 主要研究方向为 3 维激光扫描。

E-mail: emysun@163.com

Supported by: Foundation of Zhejiang Educational Committee (Y201330123)

analysis the following results can be obtained that the extraction accuracy could be better than 2 mm at the distance of 5 m, and be better than 4 mm at the distance of 10 as well as 5 mm at the distance of 15 m, respectively. The feasibility and accuracy of the proposed method are also demonstrated by the experiments conducted in this paper as well.

Key words: attribute information; feature extraction; flat target; point cloud; classification

0 引言

色彩和强度作为点云的属性信息,目前在点云数据的处理中并没有得到有效的应用。通过分析点云的属性信息,基于点云的色彩和强度可以有效提高海量散乱点云处理的效率,这对3维激光扫描技术应用领域的拓展有着重要的意义。目前,利用3维激光扫描仪获取的点云数据包含空间坐标 (x, y, z) 、属性信息色彩 (R, G, B) 和回光强度(指激光经过物体表面反射并返回到仪器内部经过量化后的反射光强度值)。现有的点云处理算法和流行的商业软件多是在3维笛卡儿坐标系中,根据点的空间坐标 (x, y, z) 对点云数据进行处理。随着点云数据量的不断增加,此类算法的效率和处理的效果都面临着极大的挑战。平面标靶中心的精确确定对扫描仪的检校以及多视点云数据的配准具有重要的意义,目前各个扫描仪厂家都有专属的平面标靶,但是对平面标靶靶心的提取多是依托软件附加功能进行手工交互式提取,这种方法提取效率低且精度较差。根据点云的色彩和强度信息,提出一种平面标靶的提取算法并精确确定靶心坐标是本文研究的重点。

近年来,国内外学者针对点云数据的分割和特征提取进行了大量的研究。第1类主要根据点云的空间特性进行点云分割。主要有Woo等人^[1]对点云数据进行空间栅格划分,并用八叉树对空间网络进行细分和特征点提取,其方法可以有效地建立散乱点云的拓扑结构;Fan等人^[2]用局部曲面曲率性质来识别点数据域的明显边界,文中重点讨论了基于曲率的特征识别方法,但是该方法在大规模点云数据计算中效率较低;Chen和Liu^[3]用切片的方法划分点云数据,并把切片拟合成2维NURBS样条曲线,最后通过计算最大曲率来识别边界点;Yang和Lee^[4]认为边界点具有曲率极值,于是首先估算曲面曲率获取边界点,然后提出邻域边链算法来构建边界曲线,该方法特别适用于大曲率点云数据的分割;柯映林等人^[5]提出建立基于空间栅格的边界提取

模型,通过边界栅格识别和生长算法以及空间拓扑构型推理算法,该方法可以有效提取点云边界,但是对于尖角特征处的提取效果较差,会出现边角特征的退化现象。第2类根据图像处理算法实现点云的分割。主要有万幼川等人^[6]基于滤波算法实现点云数据的分割;吴杭彬等人^[7]基于数学形态学的方法对LIDAR点云数据进行分割。该方法中应用到了点云的属性信息。针对点云的特征提取可以分为两类:基于三角网格的特征提取和基于点的特征提取。目前研究最多的是从网格中提取特征线,代表性的论文主要有Mencl等人^[8]根据共顶点的边对特性,检测孔和外边界;Dey等人^[9]提出了一种可检测采样不足区域的算法,为后续特征的提取提供了一种特征分类基础;Yoshizawa等人^[10]利用局部多项式拟合的方法获取曲率张量、曲率衍生继而提取特征线,该方法对散乱点云的特征提取具有指导意义;Hsu^[11]采用基于三角网格的提取算法,由距离和曲率信息构成的函数值来引导最优路径搜索。刘胜兰等人^[12]采取“基于边”的方法来提取特征线,其方法不适用于大曲面点云特征的提取。基于点的特征提取方法,比较有代表性的有Gumhold等人^[13]提出的直接散乱点云提取特征法和Pauly等人^[14]采用的多尺度特征提取方法,通过定义不同尺度因子,实现了特征提取。Bucksch^[15]提出了一种基于八叉树的折叠融合算法,通过构建八叉树提取点云的骨架线,该方法需要首先使用八叉树建立点云的拓扑关系。胡鑫等人^[16]提出一种基于图像法的曲率求解方法,利用点云求解法矢和曲率,根据曲率极值点来得到边界点,该方法对海量点云数据曲率计算效率较低。

近年来,点云的属性信息得到了学者们的重视,Johnson和Kang^[17]首先基于点云的颜色信息实现了多视点云的配准,但该方法只适用于色差较大的点云数据;George和George^[18]讨论了不同滤波算法在点云数据分类中的应用效果,分析了不同滤波算法的效率和特点;蒋晶珏等人^[19]基于分类的滤波算法对LIDAR点云数据进行处理,生成了复杂城市区域的DEM模型,但是该方法对点云数据的滤波精度有

待进一步提高。

根据点云的色彩和回光强度信息,提出一种平面靶的快速提取算法用于精确确定靶点云的靶心坐标。首先根据光谱欧氏距离函数对点云进行分类,对分类后的点云进行色彩重采样以提高同类点云的色彩一致性;然后根据色彩信息确定平面靶的位置,并结合几何坐标信息和色彩信息对圆形靶心区域进行提取,并通过面积测定确定圆形靶心区域提取的有效性;最终通过点云的回光强度信息确定圆形靶心区域的靶心坐标,同时通过实例证明了本文方法的可行性和精确性。

1 方法原理

1.1 基于颜色信息的点云分类

利用点云的真彩色信息进行初始分割,通过判断其他点与种子点的光谱距离来判断是否在给定的阈值内实现区域生长。其中,通过计算点云的最小包围盒,选取最邻近包围盒中心的点作为种子点。光谱距离的度量方法有很多种,本文采用欧氏距离来逐点判断色彩的相似程度。光谱欧氏距离函数定义为

$$d(p_j, o_i) = \sqrt{(r_{p_j} - r_{o_i})^2 + (g_{p_j} - g_{o_i})^2 + (b_{p_j} - b_{o_i})^2} \quad (1)$$

式中, p_j 表示第 j 个点, o_i 表示第 i 个种子点, $(r_{p_j}, g_{p_j}, b_{p_j})$ 和 $(r_{o_i}, g_{o_i}, b_{o_i})$ 分别表示 p_j 和种子点 o_i 的三通道 RGB 信息。

对每个点计算其与种子点的光谱距离后,与事先给定的阈值比较,如果小于阈值,表示该点与种子点的颜色相似度高,应该纳入该种子点所在区域。反之,如果该点与所有种子点的距离值都比较大而无法归于任何一个区域,则标记该点为新的种子点,开始下一个点的判断。其算法描述如图 1 所示。

1.2 点云色彩信息重采样

实际获取的点云数据的 RGB 值通过映射影像获取,由于点云空间坐标不是规格的像素坐标,需要对点云的色彩信息进行重采样。对同类色彩属性的点云进行 K 邻域搜索,然后根据点的 K 近邻点进行色彩信息重采样,点 $p(x, y, z, R, G, B)$ 的 RGB 重采样为

$$\begin{cases} R = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} \\ G = \frac{\sum_{i=1}^k G_i}{k} \\ B = \frac{\sum_{i=1}^k B_i}{k} \end{cases} \quad (2)$$

式中, (R_i, G_i, B_i) 代表 p_i 点的颜色信息, k 为近邻域点数。

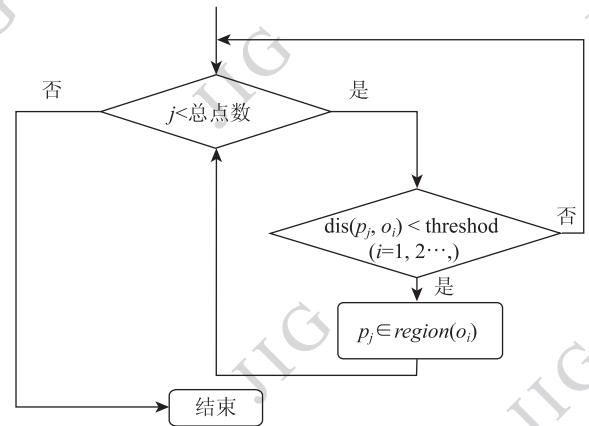


图 1 分类算法描述

Fig. 1 Classification algorithm description

1.3 基于 RGB 属性的点云过滤

平面靶的设计一般采用色差较大的颜色区分靶心圆形区域和四周边框区域。目前应用比较广泛的色彩搭配一般为蓝色边框区域和白色靶心区域或者灰色边框区域和白色靶心区域。通过基于色彩的点云分类和重采样可以明确区分不同色彩的点云。根据 RGB 属性值进行靶心区域点云定位方法步骤如下:

- 1) 根据分类结果确定靶靶边框区域,计算边框区域点云的最小包围盒获取最大点与最小点坐标。
- 2) 计算最大、最小点坐标边框区域的边长并与设计边长比较,满足给定阈值范围则认为该区域为正确的靶靶点云;否则认为该区域为伪靶靶区,予以删除。

3) 根据边框的最大最小点坐标同时以重采样后的色彩信息为过滤条件,提取圆形靶心区域点云。

4) 对提取后的圆形靶心区域点云进行三角剖分,计算其面积并与设计面积比较,满足给定阈值范围则认为该区域为正确的圆形靶心区,否则予以

删除。

5) 循环以上操作, 直至搜索完所有圆形目标靶心区点云。

1.4 基于回光强度的靶心确定

准确地获取平面标靶的靶心坐标对基于平面标靶的配准以及扫描仪的检校发挥着重要的作用。对于密度均匀或点间距小于 5 mm (采集分辨率大于 1/4) 的平面点云数据可近似为一幅空间数字影像, 根据数字影像的采样定律, 通过点云的回光强度值计算邻域中心的靶心坐标 $p_o(x_o, y_o, z_o)$, 即

$$\begin{cases} x_o = \frac{\sum_{i=1}^n E_i x_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \\ y_o = \frac{\sum_{i=1}^n E_i y_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \\ z_o = \frac{\sum_{i=1}^n E_i z_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \end{cases} \quad (3)$$

式中, (x_i, y_i, z_i) 为圆形靶心区域点云, E_i 表示第 i 点的回光强度。

2 实例分析

为了分析本文方法的可行性和精确性。采用徕卡 HDS6000 扫描平面标靶。在黄色平板上粘贴平面标靶, 靶心区域直径 0.15 m, 色彩为白色; 边框区域为矩形, 长度为 $0.21 \times 0.25 \text{ m}^2$, 色彩为深灰色。平板颜色为黄色。实验所用平板及标靶如图 2 所示。设计两组实验: 第 1 组实验采用本文方法提取给定距离处的平面标靶靶心坐标, 并与手工提取的靶心坐标进行分析比较; 第 2 组实验通过在墙面布设多个平面靶标, 分析提取的靶心精度。

2.1 给定距离处的平面标靶靶心提取精度

2.1.1 靶心坐标提取

在距离扫描仪 15 m 处放置实验平板, 设定扫描区域针对平板进行扫描。实验场景如图 3 所示。扫描仪采用逐行扫描的方式扫描平板。



图 2 实验平板及平面标靶

Fig. 2 Experimental plane and flat target

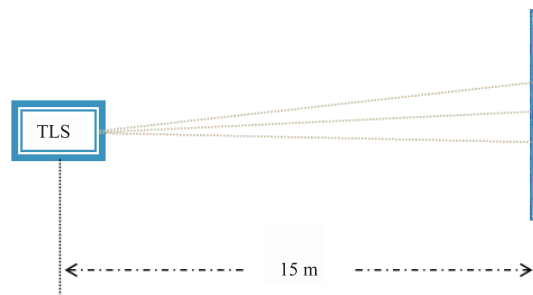


图 3 实验场景

Fig. 3 The experiment spot

扫描获取的每行数据含有 7 列数值, 前 3 列为点的空间坐标值 x, y, z , 第 4 列为回光强度值, 后 3 列是点的色彩 R, G, B 值。

首先获取任意一点处的 RGB 值作为输入值, 采用光谱欧氏距离函数计算其他点到该点的光谱欧氏距离, 设置光谱欧氏距离阈值为 10, 对颜色相近点进行选择分类。根据上述算法原则循环分析, 直至完成所有点群分类。分类后的原始点云如图 4 所示。从图 4 可以看出, 对于色彩差异比较大的对象, 通过采用光谱欧氏距离函数可以对其进行准确分类。

为了进一步提高同类点云的光谱特征, 需要对分类后的点云进行色彩重采样。采用八叉树对同类

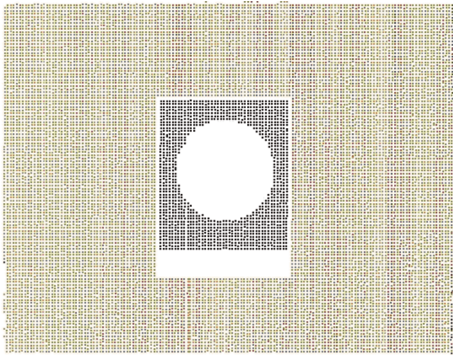


图 4 点云分类

Fig. 4 Point cloud classification

点云进行 K 近邻域搜索, 获取每个点的 K 近邻, 然后根据式(2)对点进行色彩重采样, 图 5 所示为根据点云的几何坐标采用八叉树对其进行 K 近邻搜索以及色彩重采样后的点云。

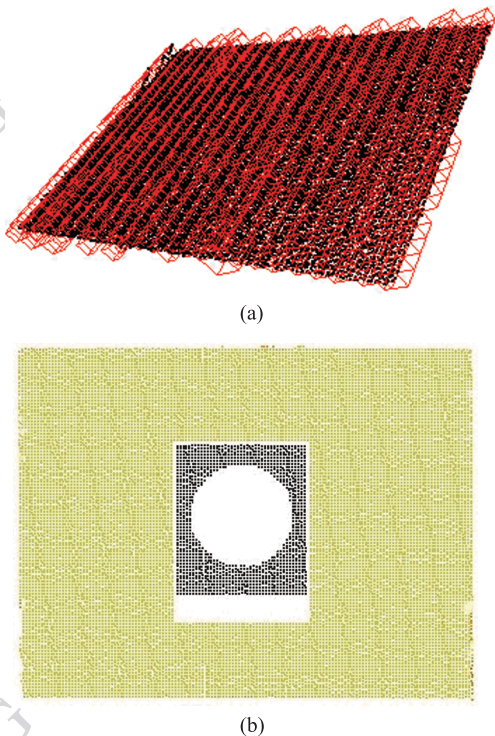


图 5 八叉树组织点云及色彩重采样

Fig. 5 Point cloud organized by Octree and color resampling

根据分类后点云的 RGB 值确定平面标靶的边框点云, 并根据色彩与坐标的映射关系获取边框点云的最大点与最小点坐标作为圆形区域的过滤边界值。具有圆形区域的几何边界值, 再结合区域内点的 RGB 值过滤掉边框点, 提取圆形区域点, 同时根据三角剖分后的面积计算, 确定最终的圆形靶心区域。图 6 所示为过滤后的圆形区域点云。

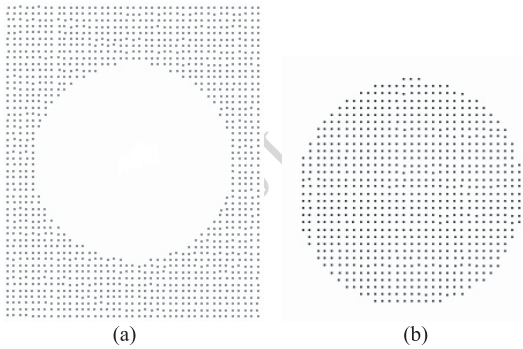


图 6 圆形区域点云提取

Fig. 6 The extraction of point cloud of the circle area

针对提取后的圆形区域点云, 根据式(3)计算区域的中心位置。

2. 1. 2 精度分析

为了分析比较本文方法的精度, 分别采用手工提取以及全站仪测量标靶靶心的方法, 将点云转换到全站仪全局坐标系下比较分析精度。表 1 所示为不同方法的提取精度分析。

表 1 不同方法的提取精度比较

方法	靶心坐标/m			偏差/mm		
	x	y	z	Δx	Δy	Δz
全站仪	-13.815	5.848	-1.143	0	0	0
手工提取	-13.812	5.839	-1.136	3	-9	-7
本文	-13.816	5.847	-1.140	1	-1	-3

从表 1 可以看出, 以全站仪测量的数据为参考, 本文方法的靶心坐标提取精度要高于常用的手工提取的精度, 本文方法的点位中误差为 3.31 mm, 采用手工提取靶心的点位中误差为 11.78 mm。本文方法的提取精度明显高于手工提取靶心的精度, 且采用本文方法可以实现平面标靶靶心坐标的自动化提取, 效率较高。

2. 2 墙面标靶提取精度分析

2. 2. 1 墙面标靶提取

由于在实际应用中, 一般布设多个 (≥ 3) 标靶对点云进行配准或者精度分析。本文设计第 2 个实验用于分析提取多个平面标靶靶心的精度。如图 7 所示为在某墙面布设 3 个标靶, 根据到扫描仪的距离从近到远依次标号为 1、2、3 号标靶。采用本文方法对靶心坐标进行提取, 同时和全站仪测量以及手

工提取的精度进行分析比较。

图 8 所示为采用本文方法提取的 3 个标靶的圆形靶心。可以看出,随着距离的增加,圆形区域的点云密度不断降低。



图 7 墙面标靶

Fig. 7 Flat targets on the wall

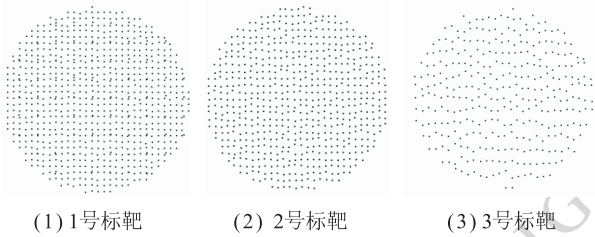


图 8 本文算法提取圆形靶心区域点云

Fig. 8 The extraction of point cloud of the circle area by the proposed method

2.2.2 精度分析

将点云转换到全站仪坐标系下比较分析 3 种方法的靶心提取精度,表 2 所示为 3 种方法的靶心坐标提取。表 3 为以全站仪测量的靶心坐标数据为参考,分析比较本文方法和基于软件的手工提取精度。

表 2 3 种方法的靶心坐标提取

Table 2 Target center extraction of three method

方法	1 号靶心/m			2 号靶心/m			3 号靶心/m		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
全站仪	4.936	0.963	-0.161	9.856	1.822	-0.145	14.740	14.745	-0.104
手工提取	4.935	0.962	-0.164	9.853	1.827	-0.140	14.745	14.734	-0.112
本文	4.936	0.964	-0.162	9.855	1.824	-0.148	14.742	14.742	-0.101

表 3 靶心坐标提取精度比较

Table 3 Accuracy comparison of target center coordinate

方法	1 号靶心/mm			2 号靶心/mm			3 号靶心/mm		
	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
手工提取	-1	-1	-3	-3	5	5	5	-11	-8
本文	0	1	-1	-1	2	-3	2	-3	3

从表 3 可以看出,本文方法提取的靶心坐标精度与采用高精度全站仪测量的精度接近,高于手工提取的精度。其中 3 号标靶距离扫描仪约 15 m,采用手工提取的点云中误差为 14.49 mm,本文方法的点云误差为 4.69 mm;2 号标靶距离扫描仪约 10 m,手工提取的点云中误差为 7.68 mm,本文方法的点云中误差为 3.74 mm;1 号标靶距离扫描仪约 5 m,手工提取的点云中误差为 3.31 mm,本文方法的点云中误差为 1.41 mm。由于扫描距离的不断增大,点云密度越来越稀疏;同时由于入射角度的不断增大,靶心区域由圆形变化为椭圆形,按手工提取的方法随着密度和形状的变化精度越来越差。而本文

方法随着密度和形状的变化依然可以保持提取的精度,方法比较稳健可行。

3 结 论

直接基于点云的几何坐标进行平面特征的提取效率低,基于点云的色彩和强度信息可以更高效地应用到点云的特征提取中。在扫描仪的检校以及点云数据的配准中,平面标靶发挥着重要的作用。通过点云的色彩和强度自动化确定标靶靶心坐标具有重要意义。本文通过研究点云的色彩和强度信息,提出了一种自动化提取平面标靶靶心坐标的方法,可以有效地提高平面标靶靶心的提取精度。本文方法适用于点云配准过程中平面标靶的自动提取以及点云精度与质量分析。取得的成果主要有:

1)根据点云的色彩信息,采用光谱欧氏距离函数对点云进行分类,同时对分类后的点群进行色彩重采样,提高分类后点云色彩的强度,减少同类点云的色彩差。

2) 根据点云的色彩值进行点云的过滤以及目标区域的提取, 同时对提取后的目标区域进行面积测定, 确定为有效的目标区域。

3) 采用点的回光强度值, 计算目标区域的中心位置, 提高了平面靶心坐标提取的精度, 其中 5 m 处的靶心提取精度可以优于 2 mm; 10 m 处的提取精度可以优于 4 mm; 15 m 处的点位提取精度可以优于 5 mm。

进一步研究的方向为:

1) 通过研究规则建筑点云中的门窗等几何特性, 结合点云的属性信息(色彩和回光强度)对其进行提取;

2) 研究建筑点云中边角区域的回光强度特点, 根据回光强度的强弱以及色差的大小, 对建筑点云的边角特征进行提取。

参考文献 (References)

- [1] Woo H, Kang E, Wang S Y, et al. A new segmentation method for point cloud Data[J]. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2002, 42(2): 167-178.
- [2] Fan T, Medioni G, Nevatia R. Segmented description of 3-D surface [J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1987, 3(6): 527-538.
- [3] Chen Y H, Liu C Y. Robust segmentation of CMM data based on NURBS [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1997, 13: 530-534.
- [4] Yang M, Lee E. Segmentation of measured point data using a parametric quadric surface approximation [J]. *Computer Aided Design*, 1999, 31: 449-457.
- [5] Ke Y L, Fan S Q. Research on direct extraction of boundary from point clouds [J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2004, 40(9): 117-120. [柯映林, 范树迁. 基于点云的边界特征直接提取技术[J]. *机械工程学报*, 2004, 40(9): 117-120.]
- [6] Wan Y C, Xu J Z, Lai X D, et al. Filtering of LIDAR points clouds based on multi-resolution directional prediction [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(11): 1011-1015. [万幼川, 徐景中, 赖旭东, 等. 基于多分辨率方向预测的 LIDAR 点云滤波方法[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2007, 32(11): 1011-1015.]
- [7] Wu H B, Liu C. Point segmentation and edge detection of LIDAR data based on the mathematical morphology [J]. *Remote Sensing Information*, 2008, (4): 27-32. [吴杭彬, 刘春. 基于数学形态学的 LIDAR 数据分割和边缘提取[J]. *遥感信息*, 2008, (4): 27-32.]
- [8] Mencl R, Muller H. A Graph-based approach to surface reconstruction [J]. *Computer Graphics Forum*, 1995: 445-456.
- [9] Dey T K, Giesen J. Detecting under sampling in surface reconstruction [C]//The 17th ACM Symposium Computational Geometry, 2001: 257-263.
- [10] Yoshizawa S, Belyaev A, Yokota H, et al. Fast, robust, and faithful methods for detecting crest lines on meshes [J]. *Computer Aided Geometric Design*, 2008, 25(8): 545-560.
- [11] Hsu S H, Lai J Y. Extraction of geodesic and feature lines on triangular meshes [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, 42(9): 940-954.
- [12] Liu S L, Zhou R R, Zhang L Y. Feature line extraction from triangular mesh model [J]. *Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics*, 2003, 15(4): 444-453. [刘胜兰, 周儒荣, 张丽艳. 三角网格模型的特征线提取[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2003, 15(4): 444-453.]
- [13] Gumhold S, Wang X, McLeod R. Feature extraction from point clouds [C]// *Proceedings of the 10th International Meshing Roundtable*. Newport Beach, California: Springer, 2001: 293-305.
- [14] Pauly M, Keiser R, Gross M. Multi-scale feature extraction on point-sampled surfaces [J]. *Computer Graphics Forum*, 2003, 22(3): 281-289.
- [15] Bucksch A, Lindenberg R. CAMPINO——a skeletonization method for point cloud processing [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2008(63): 115-117.
- [16] Hu X, Xi J T, Jin Y. Image-Based edge automatic extraction of point data [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2002, 36(8): 1118-1120. [胡鑫, 习俊通, 金烨. 基于图像法的点云数据边界自动提取[J]. *上海交通大学学报*, 2002, 36(8): 1118-1120.]
- [17] Johnson A, Kang S. Registration and integration of textured 3-D data [C]// *International Conf on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling Proceedings*. Ottawa, Ontario, Canada: IEEE Computer Society, 1997: 234-241.
- [18] George S, George V. Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2004, 59: 85-101.
- [19] Jiang J J, Zhang Z X, Ming Y. Filtering of Lidar point clouds for complex cityscapes [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(5): 402-405. [蒋晶晶, 张祖勋, 明英. 复杂城市环境的机载 LIDAR 点云滤波[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2007, 32(5): 402-405.]