

# 基于车载 LiDAR 点云的地物分类方法的研究

邵 帅, 刘春晓, 周光耀, 井文胜

( 山东科技大学 测绘科学与工程学院 山东 青岛 266590 )

**摘 要:** 基于点云分类常用的近邻聚类法和物体表面分割等方法, 本文提出了一种基于最大网格密度的近邻聚类的方法。该方法首先对原始点云进行低点提取, 设置格网的大小, 在此基础上对点云数据进行去噪并进行主成分分析, 再对点云空间进行均匀格网化, 使具有最大密度的格网为聚类中心, 加入高程、强度以及法向量等特征对分割后的点云实现了不同地物的分类, 提高了运算效率, 降低了错分率。

**关键词:** 车载 LiDAR; 聚类; 主成分; 强度; 分类

中图分类号: P237 文献标识码: A 文章编号: 1672-5867(2017)02-0198-04

## Research on Classification Method of Vehicle LiDAR Point Cloud

SHAO Shuai, LIU Chun-xiao, ZHOU Guang-yao, JING Wen-sheng

( College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China )

**Abstract:** Combining the nearest neighbor clustering algorithm and object surface segmentation method, this paper proposes a new method which combines the nearest neighbor clustering algorithm based on the maximum grid density. Firstly, we should have low point extraction of the original point cloud, set the grid size, based on the point cloud data of denoising and the principle components analysis, then uniform grid point cloud space, maximum density of grid clustering center is introduced, add height, strength and the method of vector feature for segmentation of point cloud to achieve the classification of different features, and improve the efficiency of operations and reduces the error rate.

**Key words:** vehicle LiDAR; cluster; principle components; intensity; classification

## 0 引 言

车载移动测量 (Vehicle-Borne Mobile Mapping Systems) 亦称车载 LiDAR, 是以车辆作为搭载平台的, 集成了定位定向系统, 即“POS”系统 (包括获取高精度动态信息的 GNSS、提供定位定姿信息的 IMU 测量单元等组件), 获取地物表面信息的三维激光扫描仪、提供高倍率影像数据的全景相机或者 CCD 相机等各种组件以及各种传感器集成技术的测量系统。车载 LiDAR 能快速、高精度地获取道路、建筑物等城市地物的空间信息<sup>[1-3]</sup>, 使它成为一种全新的、独立的测量方式, 也被称之为测绘技术的一次伟大革命, 并为地理空间信息数据的采集与更新指出了一条高效的捷径, 逐渐成为三维城市信息更新与有效监测城市建筑群以及促进城市旅游发展的重要手段之一<sup>[4-6]</sup>。随着移动测量技术的发展、传感器性价比的提高、自动处理技术的完善, 车载移动测量技术将会在导航数据采集和地图更新中发挥越来越大的作用。但是, 由于车载 LiDAR 能获得海量的离散点云, 所以我们需要做

的工作就是如何快速准确地从大量离散点云中提取到所需的信息。然而, 相对于其硬件的快速发展, 针对车载 LiDAR 点云数据的处理还处于初始阶段, 而对车载 LiDAR 的离散点云进行分割, 是提取目标信息的重要前提, 也是当前 LiDAR 领域的研究热点。

目前, 针对点云数据的分类研究很多, 然而, 早期的研究多以影像信息为主进行特征提取和分类, 但激光点云数据仅仅作辅助信息。随着 LiDAR 技术的不断成熟, 基于点云数据的分类研究才开始逐渐增多。Manandhar 等提出了根据断面扫描点的点位空间分布特征 (几何特征、分散程度和密度信息) 将激光扫描点云数据分成不同类的算法, 但该算法对混合排列点的识别较为困难, 不适用于城市复杂场景下点云数据的分类<sup>[7]</sup>。Abu-hadrous 等将点云分别在 Z 轴、Y 轴方向上进行投影, 通过分析断面直方图的方法来实现目标分类, 但此方法需要利用扫描数据的断面信息, 难以处理散乱的点云<sup>[8]</sup>。史文中等提出了利用投影点密度进行距离图像分割的方法, 为点云数据的处理研究提供了新方向, 但是由于距离

收稿日期: 2016-03-15

作者简介: 邵 帅 (1992-) 男, 河南商丘人, 大地测量与测量工程专业硕士研究生, 主要研究方向为现代测量数据处理及其应用。

图像是离散的坐标点阵列,没有表达目标的边界特征以及拓扑关系,所以到目前为止还没有比较成熟的距离图像分割的方法<sup>[9]</sup>。杨必胜、魏征等通过将规则网格投影,分析网格内部点云的空间分布特征,确定了激光扫描点的特征权重系数,从而生成点云的特征图像,并采用一系列手段实现了目标的分类与提取,但是该方法也有一定的不足:对于大范围多目标的建筑物的提取有较大难度<sup>[10]</sup>。谭贡等提出了先使用高程与邻近点斜率关系提取出路面,然后使用网格化与区域分割的方法将激光数据划分为独立实体,并以实体的空间形状特征进行地物分类<sup>[11]</sup>。李婷、詹庆明等提出了主成分分析(简称“PCA”)的点云分类方法,在提取多种街区地物点云数据几何特征和总结地物对象特征知识规则的基础上,根据选取的主特征设计一套层次式的分类方法,但分类结果的精度不高<sup>[12]</sup>。对于上述的问题,本文在研究了基于空间特征的近邻聚类以及主成分分析方法的基础上,提出了一种基于最大网格密度的近邻聚类的点云分类方法。

## 1 点云分类方法

### 1.1 基于最大网格密度的近邻聚类的分类方法

文中采用的基于最大网格密度的近邻聚类的分割方法,主要包括近邻聚类的分割方法以及主成分分析方法。近邻聚类的分割方法是源于物体表面生长的方法。表面生长的含义是:从点云数据中选定特征明显的点作为种子点,并从种子点开始,判定其周围的点是否满足预先定义的判定标准。若数据点符合判定标准,则并入与种子点同类的区域中,并作为继续增生的种子点,直至种子点邻域内不存在相似特征点为止。因此,这种自下而上的方法关键就在于种子点的选择及表面区域的增长。①种子点的选择:种子点的选择是区域生长过程的关键前提。种子区域是以种子点为中心,并依赖种子点的周围点而存在。种子点的选择对最后分割结果的影响很大,如果种子点选择不当,将使整个分割过程的判断依据失真,最终得出错误的分割结果。②表面区域的增长:确定了种子点后,预先设定判断标准,利用迭代的方法判定出与种子点属于同一类的邻域点。当没有更多的邻近点可添加时,就为该区域拟合一个新的区域并更新此区域点的邻域点,在清除了该区域点的基础上,从种子区域重新增长,一旦满足终止准则,则终止迭代过程。③主成分分析的方法:主成分分析(Principal Component Analysis, PCA),是将多个变量通过线性变换以选出较少个数重要变量的一种多元统计分析方法。主要和聚类分析等方法共同对大量的变量数据分析来达到降低数据维数的目的,从而进一步实现数据的分类。

### 1.2 分类方法中的主要理论

#### 1) 均匀网格化原理

基于最大网格密度的近邻聚类分割算法是在对点云数据进行网格均匀化的基础上完成的。令车载 LiDAR 点云数据整个区域的 XYZ 最大/最小值分别为  $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$ 、

$Y_{\min}$ 、 $Y_{\max}$ 、 $Z_{\min}$ 、 $Z_{\max}$ ,将点云区域划分为  $U \times V \times W$  的网格,且网格间隔为  $\Delta X \times \Delta Y \times \Delta Z$ ,那么

$$\left. \begin{aligned} U &= (X_{\max} - X_{\min}) / \Delta X \\ V &= (Y_{\max} - Y_{\min}) / \Delta Y \\ W &= (Z_{\max} - Z_{\min}) / \Delta Z \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

对于这个  $U \times V \times W$  的网格而言,通过统计得到每个单元网格内点的个数,即得到每一单元网格的密度  $DoPC$ 。

#### 2) 种子点和种子网格定义

将点云区域进行均匀网格化后,在整个区域内,总有一些点的分布相对比较集中,且周围围绕较多的点,这样的点能够更好地反映出某一样本的几何特征,我们把这些具有代表性的点称为种子点。再经过分析统计后,得出每个单元网格内密度大小  $DoPC$  值,当密度  $DoPC$  值大于指定阈值  $\min$  的时候,我们把这样的单元网格称为种子网格,均匀网格化后落入种子网格内的点就是种子点。

#### 3) 种子点聚类原理

最近邻聚类法的前提是需要一个初始聚类中心,因为没有一定的条件约束性,选取出的初始聚类中心往往具有很大的随机性,这就导致最终聚类结果产生差异。为了提高最近邻聚类的准确性,需要提供一强制性条件,选择出初始聚类中心,这里将密度最大种子网格中的种子点作为初始聚类中心。空间点聚类的基础:将密度最大的种子网格中的所有点归为同一类。这样,对于其他选出的种子网格中的种子点,我们就可以继续利用近邻聚类法,把到密度最大的网格的距离小于阈值  $T$  的点归为一类。

#### 4) 非种子点聚类原理

非种子点是在种子点完成之后进行聚类,由于非种子点是点云中的少部分点,不能够反映目标具体的几何位置,非种子点中也包含噪点,采用判别分析的思想:只要找出离其最近的那个种子点并计算距离,若距离小于阈值,则将其归入此种子点所属类中;否则,判为噪点。

#### 5) 主成分分析原理

主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)是将多个变量通过线性变换以选出较少个数的重要变量的一种多元统计分析方法。又称主分量分析。主要用于减少数据集的维数,同时保持数据集中的对方差贡献最大的特征。主要可用于点云数据的特征分析以提高点云数据分类的精确率。

### 1.3 点云分类方法的主要步骤

1) 对原始点云数据进行去噪、滤波,分离出地面点,简化了点云数据量,减少数据的冗余;

2) 对分离后的点云数据进行主成分分析(“PCA”),包括因子分析和聚类分析等常用的方法,通过该方法可以滤除掉一些噪点或其他属性的点;

3) 主成分分析后的 LiDAR 点云数据根据其空间分布进行均匀网格化,并统计每个单元网格中的点云密度  $DoPC$ ;

4) 设置最小格网密度阈值  $\min$  ,选择出种子网格与种子点 ,并记种子点的集合为  $Q$  ;

5) 种子网格中选择出  $DoPC$  值最大的网格 ,并且认为此网格中的点属于同一个类 ,将这些点聚类 ,令其归入点集  $\varepsilon_1$  ;

6) 观察所有剩余的种子点 ,如果对于一种子点  $p$  ,存在  $\varepsilon_1$  中的一个点  $q$  ,使  $p$  与  $q$  之间的距离小于阈值 ,则将  $p$  归类入点集  $\varepsilon_1$  中 ,即  $p \in \varepsilon_1$  ;

7) 点集  $Q_1 = Q - \varepsilon_1$  中继续选择出密度最大的网格 ,按照步骤 4)、5) 形成新的点集 ,直至所有种子点都已划分到某一点集中 ,终止迭代。

### 1.4 点云的识别

在分析点云块的基础上 ,结合实际地物空间分布的差异性 ,选择用强度及高程作为主特征来实现点云块的识别与分类。这里定义绝对高程为点云块内所有点高程的平均值 ;相对高程为点云块内最高点高程与最低点高程的差值。本文旨在分离出地面、建筑物以及植被等几种主要地物 ,并且区分出建筑物中掺杂的其他属性的点。各地物所表现出的高程特征见表 1。

表 1 不同地物的高程表现特征

Tab.1 Elevation performance characteristics of different features

地物种类	绝对高程	相对高程
道路、地面	最低	很小 ,趋近于 0
植被	介于地面与建筑物之间	比较小 ,其值介于道路与建筑物之间
建筑物	最高	很大

结合表 1 中所选取的主特征以及参考各地物的强度信息 ,设计的分类流程如图 1 所示。

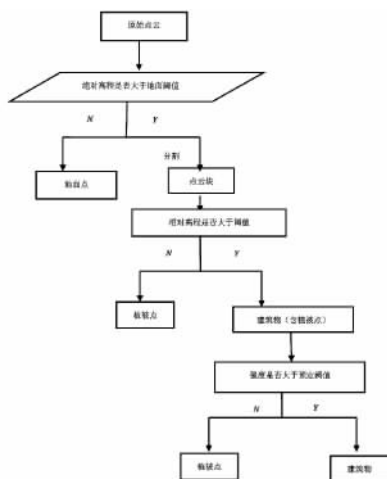


图 1 点云分类流程

Fig.1 Point cloud classification process

## 2 实例分析

本文采用某单位一栋建筑物的一个立面一侧的点云

数据 ,如图 2(a) 所示。该数据包括建筑物、地面以及低等植被(花草、树木等)等典型地物 ,采用该数据对实验结果分析具有很好的代表性。加入强度信息后的点云数据则如图 2(b) 所示。不同地物具有不同的反射介质表面 ,自然地物表面(如植被)对激光的反射能力要强于人工地物(如沥青和混凝土)介质表面对激光的反射能力 ,高反射率介质对应强激光反射信号。同一种介质表面 ,也会因为激光发射点到反射点间的距离、反射方位、介质成分和密度的不同导致其反射率不同 ,从而具有不同的反射强度信息。通过图 2(b) 可知 ,靠近路面或者测量车的低等植被(主要是树木)和地面(或者称道路)的反射强度很大 ,而距离较远的建筑物以及被遮挡的建筑物与地面夹角处的反射强度很小且不易看清 ,这些原因也在一定的程度上造成了该处点云的属性很难区分开来。

实验结果。通过海达公司的点云处理软件 HD\_3LS\_SCENE 加载经过处理的点云数据。在打开的扫描点云影像中 ,对 2(a) 图进行相关参数设置 ,如设置格网的大小等后 ,得到各类地物的分类图则如图 2(c) 所示。图 2(d) 是对图 2(b) 进行处理后的点云分类显示图。处理过程的精度评价见表 2。

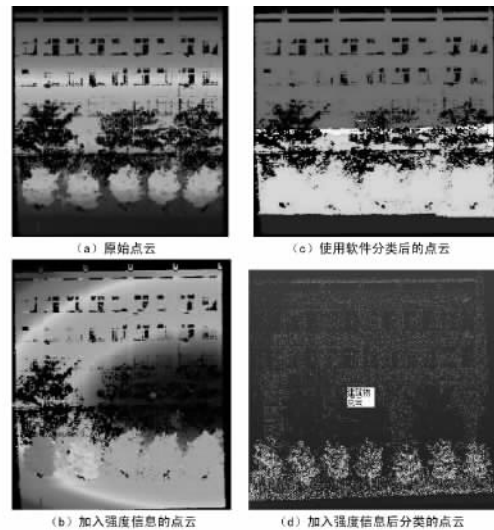


图 2 处理过程中的各个点云图

Fig.2 All points in the processing process

表 2 精度评价

Tab.2 Accuracy evaluation

地物类别	本文算法	手动分类	精度
建筑物的点数	515 418	488 630	4%
植被的点数	293 260	360 921	-6.5%
道路、地面的点数	639 31	955 33	-3.2%
总计:	925 420	945 084	

从表 2 中可以看出:①道路、地面的分类精度为 -3.2% ,植被的分类精度为 -6.5% ,建筑物的分类精度为 4% ,说明地面、植被、建筑物的分类效果具有较高的精度 ,能够达到分类的目的;②本文算法中有一定数量的未

分类点,这些点多为噪点。

### 3 结束语

本文通过混杂着建筑物、地面点以及低等植被的散乱点云的实验,提出了一种基于最大网格密度的近邻聚类方法。该方法首先对原始点云进行低点提取,设置网格的大小,在此基础上对点云数据进行滤波、去噪并进行主成分分析,再对点云空间进行均匀网格化,使具有最大密度的网格为聚类中心,加入距离公式来实现层次式的聚类分析;然后使用高程、强度以及法向量等特征来对分割后的点云块进行不同地物的识别,并取得了不错的分类结果。实验分析表明,该方法能较好地地区分出地面点、植被、建筑物,对场景简单的城市道路尤为适用。

此外,在实验过程中也发现了该方法的不足之处:①算法的运行速度较慢,因为初始网格越小、点数越多,分类精度越高,但算法运行效率越低;②每一次都需要事先进行参数的估算,以便得到可靠的分类结果。因此,下一步研究将重点放在算法的优化中,以实现点云分类效率与精度的提高。

### 参考文献:

- [1] 魏征,董震,李清泉,等. 车载 LiDAR 点云中建筑物立面位置边界的自动提取[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2012,37(11):1311-1315.
- [2] 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.
- [3] 吴宾,余柏蓓,岳文辉,等. 一种基于车载激光扫描点云数据的单株行道树信息提取方法[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2013(2):38-49.

- [4] 冯义从,岑敏仪,杨晓芸,等. 基于 3D 网格与哈希表的车载 LiDAR 点云八叉树索引[J]. 测绘科学,2014,39(6):104-107.
- [5] 韦江霞. 面向快速建模的车载激光点云的城市典型地物分类方法研究[D]. 北京:首都师范大学,2014.
- [6] 黄磊,卢秀山,梁勇. 基于激光扫描回光强度的建筑物立面信息提取与分类[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2009,34(2):195.
- [7] Manandhar D, Shibasaki R. Vehicle-borne Laser Mapping System (VLMS) - a new observation system for 3-D mapping of urban areas[C] // Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, IEEE/ISPRS Joint Workshop 2001. IEEE, 2001: 5-9.
- [8] Abuhadrous I, Ammoun S, Nashashibi F, et al. Digitizing and 3D modeling of urban environments and roads using vehicle-borne laser scanner system[C] // Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2004, 1: 76-81.
- [9] 史文中,李必军,李清泉. 基于投影点密度的车载激光扫描距离图像分割方法[J]. 测绘学报,2005,34(2):95-100.
- [10] 杨必胜,魏征,李清泉,等. 面向车载激光扫描点云快速分类的点云特征图像生成方法[J]. 测绘学报,2010,39(5):540-545.
- [11] 谭贵. 基于车载激光扫描数据的城市典型地物分类方法研究[D]. 北京:首都师范大学,2011.
- [12] 李婷,詹庆明,喻亮. 基于地物特征提取的车载激光点云数据分类方法[J]. 国土资源遥感,2012,24(1):17-21.

[编辑: 栾丽杰]

(上接第 197 页)

信息成果的坐标转换。成果转换工作应在 2014 年底前完成。《广东省国土资源厅关于加紧完成 2000 国家大地坐标系转换关系的通知》明确要求:加快市、县级成果向 CGCS2000 转换,确保市、县级成果转换工作在 2017 年年底前完成。由此可见,建设 2000 国家大地坐标系与地区历史坐标系之间的转换关系,进而统一测绘基准体系,是各地测绘部门推进测绘地理信息工作的紧迫任务,是建设智慧城市的重要举措。

### 参考文献:

- [1] 国家测绘局测绘标准化研究所,国家基础地理信息中心,国家测绘局第一大地测量队,等. GB 22021-2008 国家大地测量基本技术规定[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [2] 国家测绘局测绘标准化研究所,国家测绘局第一大地测量队,国家基础地理信息中心. GB/T 18314-2009 全球

定位系统(GPS)测量规范[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

- [3] 浙江省测绘局,国家测绘局重庆测绘院. GH/T 2009-2010 全球定位系统实时动态测量(RTK)技术规范[S]. 北京:测绘出版社,2010.
- [4] 国家测绘地理信息局. 2000 国家大地坐标系推广使用技术指南(测办函(2013)66号)[G]. 北京:国家测绘地理信息局,2013.
- [5] 中国测绘科学研究院. 现有测绘成果转换到 2000 国家大地坐标系技术指南(国测国字(2008)24号)[G]. 北京:中国测绘科学研究院,2008.
- [6] 中国测绘科学研究院. 大地测量控制点坐标转换技术规程(测办函(2013)66号)[G]. 北京:中国测绘科学研究院,2013.

[编辑: 任亚茹]