

DOI:10.13203/j.whugis.20140959



文章编号:1671-8860(2017)02-0250-07

一种车载激光点云数据中道路自动提取方法

刘如飞¹ 卢秀山^{1,2} 岳国伟¹ 田茂义¹

¹ 山东科技大学测绘科学与工程学院, 山东 青岛, 266590

² 山东科技大学海洋工程研究院, 山东 青岛, 266590

摘要:针对车载移动测量系统数据采集特点,构建车载激光点云扫描线索引,提出了一种基于扫描线索引的道路路面与路边点云稳健分类法。首先通过分析扫描线上不同地物剖面的空间分布特征,进行剖面激光点生长聚类,形成完整的地物剖面目标点集;然后根据点集的几何特征因子判断点集类型;最后利用相邻多条扫描线上路边点分布规律进行去噪。对车载移动测量系统获取的两份点云数据进行实验,路面与路边提取的平均完整率分别为94.4%、86%,平均准确率分别为98.9%、99.1%。实验分析表明,该方法能有效减少粗糙路面点的错误分类,适应不同的道路路边条件,降低独立地物对路边提取的干扰。

关键词:车载激光;道路提取;扫描线索引;移动动态窗口

中图法分类号:P208; P237 **文献标志码:**A

高精度、准确、现势性强的道路三维信息对于道路维护、交通管理、城市规划等具有重要的作用^[1]。目前,基础道路信息主要通过传统人工测量方法获得,更新难度大,周期长,已经无法满足城市建设和管理的需求^[2,3]。车载移动测量系统作为一种先进的测量手段,具有快速、实时、动态、主动、高密度、高精度及不与测量物接触等特点^[4,5]。系统在不影响交通情况下能快速获取道路及两侧三维点云数据,但如何从不同道路环境的点云中快速、准确提取道路路面与路边点仍然是一个难点。

现有研究中,文献[6]提出利用投影点密度进行距离图像分割,通过分析不同地物的投影点密度(DOPP)差异进行分类;文献[7]将点云生成具有高程信息的特征图像,利用扫描剖面方向上的高程和梯度差异提取路缘石点云;文献[8]提出利用点云空间特征向量进行聚类分析,通过计算法线方向和特征值进行人行道、路面、路边等分类;文献[9]通过检测地形表面小的高度跳跃点进行道路路缘石位置检测,分别对机载和车载的道路点云数据进行处理分析;文献[10]通过统计扫描线上点云高程直方图进行路面点云的提取;文献

[11]利用聚类分析的方法先将离散的点云排列为扫描线,然后将每一条扫描线中近似的水平直线作为路面点云;文献[12]提出运用近似平面约束法、有序最小二乘坡度估计法和多尺度窗口迭代分析法进行高速公路初始路面种子点提取,然后基于局部坡度滤波方法提取所有的路面点;文献[13]提出基于扫描线进行多窗口移动滤波,主要考虑窗口点云的高度差异、扫描点密度以及累计坡度三个参数。目前车载点云数据中道路提取存在如下问题:①车载移动测量系统记录的有效信息未被挖掘应用;②基于格网的数据处理方法在格网化时,降低了数据精度和分辨率;③点云空间特征聚类计算量大,分类效率低;④扫描线分类法通常以扫描线相邻点高差或坡度阈值进行路面与路边提取,容易受到路面粗糙度、路缘石形状和其他独立地物的影响,受固定阈值影响大,提取的路边噪声点多,后续去噪难度大。

实际道路环境中,道路路面情况复杂,不同道路的路面损坏情况差异大;路面车辆、行人干扰多;对于存在路缘石的路边,不同道路路缘石的高度、倾斜角度差异大;部分道路直接紧邻边沟或绿地,没有路缘石。本文通过研究道路路面与路边点云数据空间分布规律,引入空间数据统计分析

收稿日期:2015-09-09

项目资助:国家重大仪器设备开发专项(2013YQ120343);海岛(礁)测绘技术国家测绘地理信息局重点实验室项目;山东科技大学人才引进科研启动基金项目资助(2016RCJJ004)。

第一作者:刘如飞,博士,讲师,主要研究方向为车载激光扫描数据处理、近景摄影测量、3S技术集成与应用。liurufei_2007@126.com

通讯作者:岳国伟,博士,讲师。flashygw@163.com

中的主成分与聚类分析思想,设计了一种基于扫描线的移动动态窗口分类方法,实现不同道路环境下路面与路边自动提取。

1 路面与路边点云自动提取

首先,根据车载移动测量系统记录的激光点反射角度建立双向扫描线索引;然后,依据扫描线上不同地物目标点云的空间分布特征,采用移动动态窗口分类法分类路面和路边点;最后,对路边点进行聚类去噪,保留真实路边点。数据处理流程如图 1。

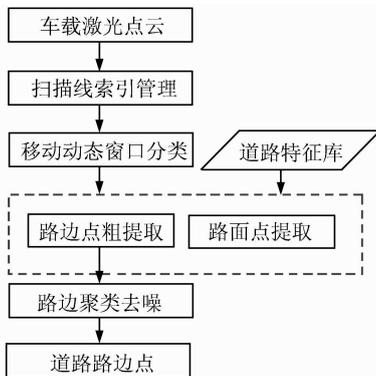


图 1 数据处理流程图

Fig. 1 Flow Chart of Data Processing

1.1 扫描线索引与空间规律

车载移动测量系统在数据采集过程中记录了激光点的扫描角度、扫描时间等信息,根据相邻两个扫描点的时间差或角度差可以将原始离散点云数据分割为一系列按照时间排序的扫描线,文献[13]对扫描线索引生成做了详细描述,在此基础上,建立适合本文算法的双向扫描线索引。具体流程如下。

1) 根据式(1)计算相邻两个扫描点的角度差,设置扫描仪扫描角度范围的 1/2 作为分割阈值 $\Delta\theta$,把原始数据中的扫描点分割为一系列按照时间排序的二维扫描线,扫描线上的激光点按照角度大小顺序排列。

$$(\theta_{n+1} - \theta_n) > \Delta\theta \quad (1)$$

式中, θ_n 、 θ_{n+1} 为相邻激光点的扫描角度值; $\Delta\theta$ 为分割阈值。

2) 根据扫描仪的安装位置,确定测量车行驶轨迹位置的激光点扫描角度,本文称之为“角度分割点”,由于该点可能为噪声点,需要根据扫描仪到路面实际距离判断是否为路面点,如果为噪声点,继续判断该点的相邻点,直到搜索到路面点,作为角度分割点。如图 2 所示,将每条扫描线从

角度分割点分开,建立双向扫描线索引。

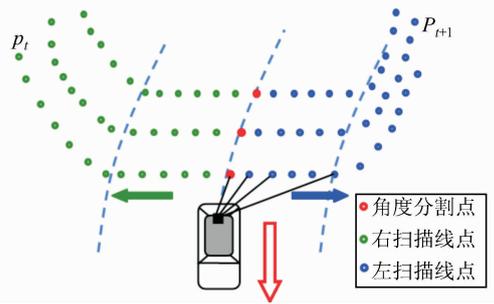


图 2 双向扫描线索引示意图

Fig. 2 Diagram of Two Direction Scan Line Index

进一步分析发现,单条和相邻多条扫描线上激光点云分布具有连续性和空间一致性,分布特征如下。

1) 单条扫描线上,平滑路面上相邻点高程稳定,高差较小,水平投影距离从中间向两侧逐渐增加;对于粗糙路面,相邻点高差变化大,坡度不稳定;路缘石、台阶及其他立面地物激光点(如汽车侧面)的高程变化大,相邻点水平投影距离小;

2) 相邻扫描线上相同角度激光点若为同一规则地物上的点,则激光点的高程和距离角度分割点水平距离均相近;不规则地物或不同地物对象表面点的高程与水平距离变化较大。

1.2 移动动态窗口分类

道路路面粗糙度、路缘石高度与倾斜角度均不同,地物环境差异大,传统基于扫描线的分类方法通常仅考虑了扫描线上相邻点空间关系,本文引入面向对象分类思想,通过判断地物对象聚类点集合的类型实现点云分类。算法首先根据扫描线上相邻点空间关系进行激光点生长聚类,形成完整的地物目标点集窗口;然后,根据窗口内点集的几何特征因子判断点集类型(路面点、路边点或独立地物点);按照双向扫描线索引从角度分割点向两侧进行移动动态窗口分类,直到发现非路面点;最后,根据行驶方向上路边点空间分布关系,采用扫描角度与距离一致性原则进行去噪。

1.2.1 点集合生长聚类

点集合聚类生长因子包括相邻点高差和相邻点水平距离因子。道路路面与路边环境主要包括路面、路缘石(一般高度为 10~20 cm)、绿地和独立地物(垃圾桶、广告牌和汽车等),由于扫描距离和角度差异,扫描线上不同目标的完整点集合数量不同,即需要通过聚类生长动态调整窗口大小。如图 3,待生长点坐标为 $P_k(x_k, y_k, z_k)$,角度分割点 $P_0(x_0, y_0, z_0)$,相邻点高差 $h_k = Z_k - Z_{k-1}$,水平距离 $d_k = \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2}$ 。

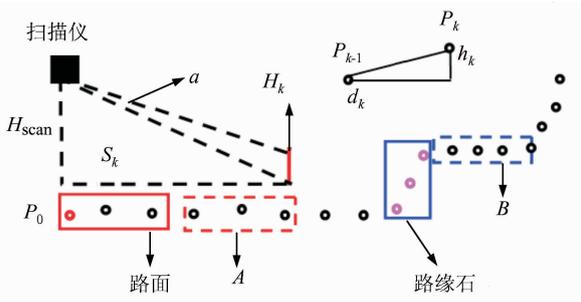


图3 扫描线点生长示意图

Fig. 3 Diagram of Point Growth of Scanning Line

1) 聚类生长参数估计。将扫描线上不同目标剖面点云抽象为水平、倾斜、垂直和不规则4种基础形态。如图3所示,根据扫描仪的角度分辨率 a 、目标点距离角度分割点的距离 S_k 和扫描仪高度 H_{scan} ,估算扫描线上目标点 P_k 位置的相邻点的最大水平投影距离 D_k 和最大垂直立面高差 H_k ;根据几何关系分析,倾斜形态位置的相邻点水平投影距离小于 D_k ,高差小于 H_k ;不规则形态位置则与 D_k 和 H_k 偏差较大。以角度分割点向两侧一定范围内相邻点的高差均值表示路面粗糙度 H_R 。本文设定目标点集窗口初始为3个点。计算初始窗口内相邻点最大高差 $\Delta h = \max(Z_1 - Z_2, Z_2 - Z_3)$,窗口水平投影距离 $\Delta d = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2}$ 。

2) 点集合生长。

(1) 当初始窗口内高差 Δh 小于路面粗糙度 H_R ,且窗口水平距离 Δd 与 $2D_k$ 相近,不需要点生长,直接以初始3个点作为目标点集合;

(2) 当满足式(2)时,即 Δh 大于 H_R 且小于 $2H_R$,窗口水平距离 Δd 与 $2D_k$ 相近,判定为疑似粗糙路面点,需要进行扫描点聚类生长。当生长到图3中虚线框A位置时,待生长点 P_k 与 P_{k-1} 满足式(3),即高差 h_k 稳定且较小,距离 d_k 与 D_k 相近,则停止生长;

$$\begin{cases} \Delta h > H_R, \Delta h < 2H_R \\ \Delta d \cong 2D_k \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} h_k \cong h_{k-1}, h_k < H_k \\ d_k \cong D_k \end{cases} \quad (3)$$

3) 对于路缘石或独立地物,虽然不同道路路缘石的高度形状差异较大,但均与路面存在明显高差,路缘石的顶部较平坦。即当满足 Δh 大于 $2H_R$,窗口水平距离 Δd 小于 $2D_k$,需要进行扫描点聚类生长,当生长到图3中虚线框B位置时(即路缘石情况),若待生长点 P_k 与 P_{k-1} 满足式(3),则停止生长;否则继续生长直到 h_k 大于 H_k ,

距离 d_k 大于 D_k ;

4) 对于其他无路缘石路边点(如绿地、边沟),当相邻点高差 h_k 变化较大或者距离 d_k 相差较大时,即满足式(4),停止生长。

$$\begin{cases} \text{abs}(h_k - h_{k-1}) > H_k \\ \text{abs}(d_k - d_{k-1}) > D_k \end{cases} \quad (4)$$

1.2.2 几何特征分析

在窗口点集生长完成之后,根据窗口点集的高度差异、水平投影距离两种几何特征因子确定点集类型。

1) 窗口高程差异因子

扫描线上路面、路缘石、绿地和立面地物的窗口高差存在明显不同,如图4所示。当窗口移动到 $P_2 \sim P_4$ 点时,路面点高差小于绿地点;点生长后,两者小于路缘石和立面地物高差;为进一步区分路缘石和立面地物,进行点生长,其中粉色线 $P_3 \sim P_5$ 为路缘石侧面点,当生长到 P_7 时,从图中发现两者的窗口高差发生变化,当将窗口生长至 P_8 时,差值更大。依据这一规律,即可分类出路缘石点。

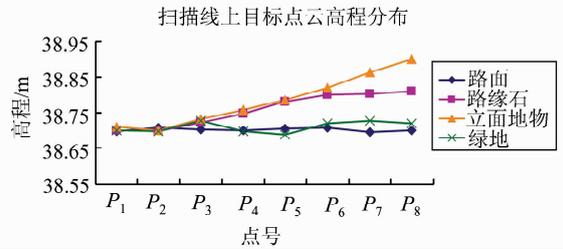


图4 扫描线不同地物剖面点高程分布

Fig. 4 Elevation Distribution of Different Object Profile Points

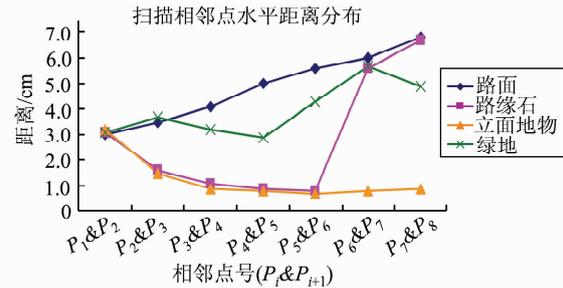


图5 扫描线不同地物剖面点水平投影距离分布

Fig. 5 Horizontal Distance Distribution of Different Object Profile Points

2) 窗口水平投影距离因子

图5为扫描线上相邻两点的水平投影距离变化情况,蓝色线为路面点 $P_1 \sim P_8$ 的相邻点水平投影距离,随着与角度分割点距离的增加,相邻点水平距离也逐步增加;绿色线为绿地表面,水平投影距离波动变化;红色与黄色线上, P_2 点为路缘

石或地物立面上的底部边缘点, P_2 和 P_3 水平投影距离变小, 当到 P_6 和 P_7 时, 由于路缘石上面通常为人行道或草地地面, 其水平投影距离差值将明显大于立面地物。

1.2.3 窗口移动判断

窗口移动判断过程如图 6 所示。由窗口点集类型确定窗口内第一点 P_k 是否为路面点, 若为路面点则移动窗口, 从 P_{k+1} 开始构建新的窗口, 重复上述过程。当检测到粗糙度大的路面点, 如图中紫色点, 需按条件进行点生长聚类和几何特征因子判断, 若为路面点则继续移动窗口直到检测到非路面点, 根据两种几何特征因子进一步判定是路缘石点、绿地边缘点或立面地物点等, 保留路缘石和绿地位置边界点。

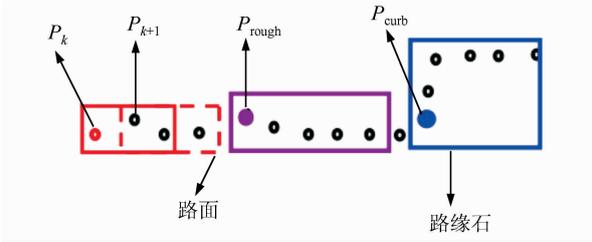


图 6 窗口移动示意图

Fig. 6 Diagram of Window Moving

根据窗口高差与水平投影距离因子确定分类准则: 路面点符合式(5); 路缘石路边点符合式(6); 绿地路边点符合式(7)。

$$\begin{cases} h_w \leq 2H_R \\ d_w \cong (n-1)D_k \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} h_w \cong \frac{(n-1)}{2}H_k \\ d_w < \frac{(n-1)}{2}D_k \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} 2H_R < h_w < \frac{(n-1)}{2}H_k \\ \frac{(n-1)}{2}D_k < d_w < (n-1)D_k \end{cases} \quad (7)$$

式(5)~式(7)中, h_w 为窗口高差, d_w 为窗口水平投影距离, n 为窗口点数, D_k 为相邻点的水平投影距离, H_k 为相邻点立面投影高差, H_R 为路面粗糙度。

1.2.4 路边点去噪

经过上述算法处理, 大部分属于栏杆、墙、汽车的伪路边点在初次分类中被去除, 但还会包含少量离散分布的伪路边点。如图 7, 根据相邻多条扫描线的路边点分布特征设定 3 个聚类因子: 行驶方向相邻两个路边点的水平投影距离 D , 扫描角度 θ , 角度分割点的水平距离 S 。依据 θ 与 S 一致性和距离 D 较小原则进行路边点聚类, 通过判断聚类点集特征去噪, 步骤如下。

1) 计算聚类因子。根据扫描线索引, 获得每

一条扫描线的角度分割点和疑似路边点, 计算相邻路边点的 θ 和 S 的差值, 同时计算两点之间的水平投影距离 D ;

2) 路边点聚类。根据扫描频率和行驶速度确定扫描线间距 D_{line} , 若两个点的 θ 和 S 差值较小, D 小于 $2 \times D_{line}$, 则归为一组连续路边点, 继续判断下一个点; 当角度差值大于 $\Delta\theta$, 距离差值大于 ΔS , 或者 D 大于阈值时停止聚类。根据一般道路弯道设计要求确定 $\Delta\theta$ 和 ΔS 。然后以停止的路边点为起点, 开始新的点聚类生长;

3) 去噪。确定聚类点集路边长度阈值 L_{line} , 根据 $L_{line} = D_{line} \times (\text{num} - 1)$ 计算点集数量阈值 num ; 由于非路边点集的点数较少, 当点集数量小于阈值 num 时去除。

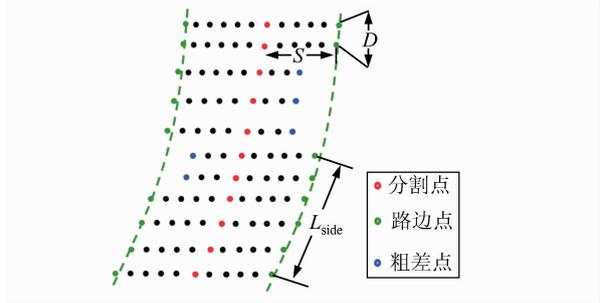


图 7 路边点去噪

Fig. 7 Roadside Point Devoicing

2 实验与分析

2.1 实验数据

本文利用 C++ 实现了 §1 中算法, 采用车载移动测量系统提供的两处比较典型的道路点云数据进行实验, 路段 1 为城市主干道, 路面点云密度 300 个/ m^2 , 道路长度 1.5 km, 宽度 12 m, 包含大型公交车、轿车、行人等大量干扰目标, 路面较平整, 路缘石分布规则。路段 2 为高速公路, 路面点云密度 200 个/ m^2 , 道路长度 2 km, 宽度 15 m, 路面粗糙, 行驶方向左侧为倾斜路缘石, 右侧路边位置为绿地和边沟。两段道路剖面形态如图 8 所示。

2.2 实验过程与结果对比

实验中激光扫描仪的扫描点角度分辨率为 0.5° , 角度范围为 $-5^\circ \sim 185^\circ$, 根据扫描仪安装位置, 确定双向扫描线的分割角度为 90° , 生成左右两侧以角度分割点为起点的双向扫描线索引。在数据处理时, 根据 §1.2.1 聚类生长参数估计方法, 自动计算每条扫描线路面粗糙度阈值 H_R 和每个激光点对应的理论 D_k 和 H_k 。

路段 1 为街区主干道, 路缘石高度小于 0.2

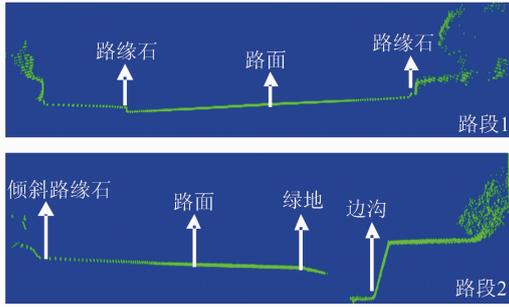


图8 路段1与路段2道路剖面

Fig. 8 Road Profile of Road One and Road Two

m,路面从中间到两边相邻点水平距离 D_k 从 0.035 m 逐渐增加到 0.15 m。计算扫描线上路边位置点的 D_k 和 H_k 阈值约为 0.15 m 和 0.04 m,路面粗糙度 H_R 约为 0.03 m。由于路面较平整,路缘石分布规则,以式(3)作为点集合聚类判断条件,以式(6)识别路边点。在路边点去噪时,设置扫描角度差值为 1.5° 和距离差值为 0.1 m,点集长度阈值为 1m,扫描线间距 0.08 m,确定点集数量阈值 num 为 12。

路段2为高速公路,左侧路缘石与路面呈 60° 夹角,高度小于 0.15 m,路面从中间到两边相邻点水平投影距离 D_k 从 0.035 m 逐渐增加到 0.2 m,计算路边位置点的 D_k 和 H_k 阈值分别约为 0.2 m 和 0.06 m,路面粗糙度 H_R 约为 0.04 m。由于路面粗糙,右侧路边无路缘石,以式(4)作为点集合聚类判断条件,以式(7)识别路边点。在路边点聚类去噪时,设置扫描角度差值为 1.5° 和距离差值为 0.2 m,点集长度阈值为 2 m,扫描线间距 0.1 m,确定点集数量阈值 num 为 20。

实验分析中将路边点、路面点和原始数据进行叠加显示。同时与扫描线高差斜率法(设置扫描线上相邻点的高差阈值为 0.05,斜率阈值为 1)提取结果进行对比。

图9为主干道路面、路边结果与原始数据叠合显示及与高差斜率法对比图。在初次分类后,采用相同的路边聚类去噪方法处理。由于路边停放多辆公交车和小轿车,导致路缘石部分遮挡较严重。通过与高差斜率法提取的结果进行目视对比,发现本文方法能有效去除路面上不同干扰目标粗差点,保留准确的路边点,以图9(1)与图9(A)对比为例,本方法能有效去除路边整齐排列的多辆公交车侧面底部干扰点,而传统方法在初次滤波时未能去除连续规则分布的干扰点,在后期去噪时,由于公交车侧面底部干扰点集形态符合路边条件,无法有效去除。

图9中的红色虚线框内存在路边点错误分类,这主要是因为此处路面车辆处于与测量车并行的运动状态或位于情况较复杂的路口交汇处,地物粗差点形态与实际路缘石较相似,根据几何特征因子不易判断,从图中可以看出一般此类粗差点集较小,可在路边去噪时适当增大路边长度阈值进行过滤。

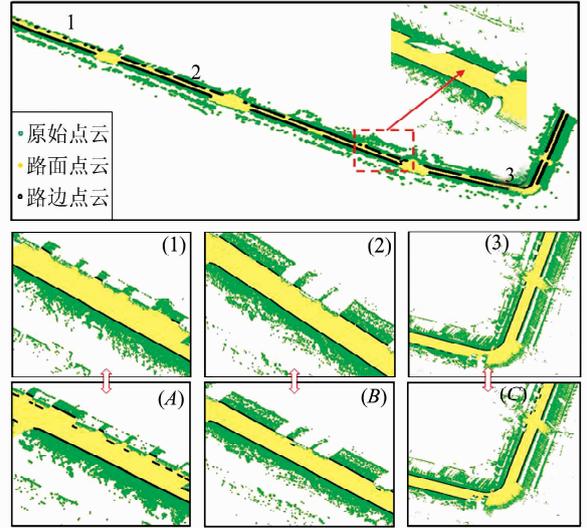


图9 路段1结果与高差斜率法对比显示
Fig. 9 Result Display and Comparison with the Elevation and Slope Method of Road One

图10为高速公路路面、路边分类结果与地面数据叠合显示,同时与高差斜率法进行对比。为直观体现算法在倾斜路缘石和绿地边缘位置的分类效果,路边初次分类结果未进行去噪处理。图10(1)、图10(2)为局部放大图,两侧不同条件下提取的路边轮廓比较清晰,由于路右侧为绿地,路边点排列没有左侧路缘石路边整齐,同时由于路边部分绿地较平整,造成一些绿地点错误分类为路面点。通过与高差斜率法提取的相应结果图10(A)、图10(B)进行目视对比,发现本文方法能较好地适应不同粗糙度的路面,能够搜索不同路缘石形状或绿地相邻的路边点。以图10(1)与图10(A)对比为例,由于道路路面粗糙,相邻两点的高差与斜率不稳定,出现随机跳跃,若只采用单一高程或斜率阈值难以提取完整路面点。

2.3 结果评估与分析

在实验中,借鉴文献[13]的评估方法,对算法提取路面与路边的数据质量进行评估,主要包括完整率分析和准确率分析。

路面完整率(PIR)定义为 $CP/RP100\%$,RP表示实际路面面积,CP表示正确提取的路面面积;路边完整率(SIR)定义为 $CS/RS100\%$,RS表示实际

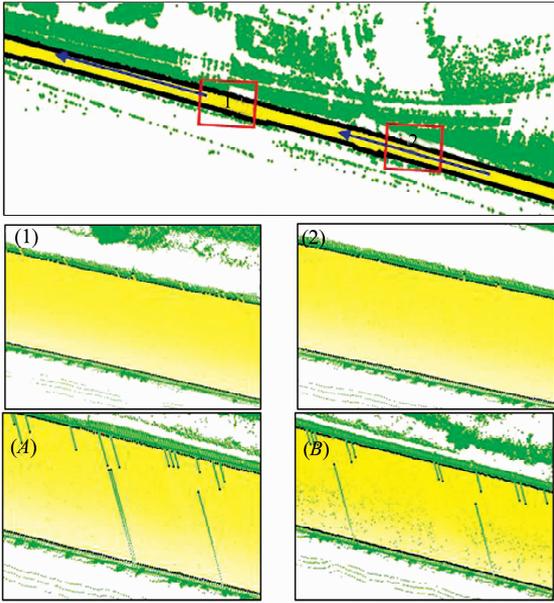


图 10 路段 2 结果与高差斜率法对比显示

Fig. 10 Result Display and Comparison with the Elevation and Slope Method of Road Two

路边长度,CS 表示正确提取的路边长度。通过人

工测量获得实际路面面积和路边长度。

路面准确率 (PAR) 定义为 $TP/(TP + FP)$ 100%,粗差率 (PER) 定义为 $FP/(TP + FP)$ 100%,其中 TP 表示提取正确的路面点面积,FP 表示路面粗差点面积。路边准确率(SAR)定义为 $TS/(TS+FS)$ 100%,粗差率 (SER) 定义为 $FS/(TS+FS)$ 100%,其中 TS 表示提取正确的路边点长度,FS 表示路边粗差点长度。

通过两份激光扫描点云数据进行实验,路段 1 共 40 余辆车,其中 25 辆公交车,其路面与路边完整率大于 91.2%、81.3%,准确率大于 99.5%、99.7%;路段 2 的路边由倾斜路缘石和绿地构成,本文方法提取了更加完整的路面与路边,完整率达到 97.5%、90.6%,由于路段 1 路面车辆较多,造成路面和路边完整率降低。与扫描线高差斜率法相比,本文方法有效降低车辆、行人、植被等干扰物影响,能够较好地适应不同道路环境,路边提取准确率有明显提高,达到 98.5% 以上,粗差率显著降低;路面提取准确率达到 98% 以上,粗差率降低。

表 1 路面与路边完整率分析

Tab. 1 Integrity Rate Analysis of Pavement and Side

路段	路面			路边		
	RP/m ²	CP/m ²	PIR/%	RS/m	CS/m	SIR/%
路段 1	17 555.9	16 007.6	91.2	2 499.1	2 032.2	81.3
路段 2	20 015.3	19 507.4	97.5	4 009.4	3 632.6	90.6

表 2 路面与路边准确率分析与对比

Tab. 2 Accuracy Analysis and Comparison of Pavement and Side

处理算法		路面				路边			
		TP/m ²	FP/m ²	PAR/%	PER/%	TS/m	FS/m	SAR/%	SER/%
高差斜率法	路段 1	16 039.3	186.6	98.8	1.2	2 057.7	186.9	91.7	8.3
	路段 2	17 554.3	362.5	98.0	2.0	3 045.5	256.3	92.2	7.8
本文方法	路段 1	16 007.6	81.6	99.5	0.5	2 032.2	5.6	99.7	0.3
	路段 2	19 507.4	340.5	98.3	1.7	3 632.6	54.6	98.5	1.5

造度和不同路边条件下的道路点云分类提取问题。

3 结 语

本文以车载激光扫描点云数据为研究对象,提出一种不同道路环境下的路面与路边点云数据自动提取方法,算法主要参数均通过实时计算获得,具有较高的自适应能力。在两份实验数据中,分别将路面、路边分类点云与原始点云进行叠加显示,定性评价提取结果的准确性;定量评价路面提取平均完整率和准确率分别为 94.4% 和 98.9%,路边分别为 86% 和 99.1%。实验结果表明,无论从定性还是定量指标评价,本文方法能够从不同道路环境的车载激光点云数据中提取出路面及路边点,解决了传统方法难以处理不同路面粗

参 考 文 献

[1] Pu S, Rutzinger M, Vosselman G, et al. Recognizing Basic Structures from Mobile Laser Scanning Data for Road Inventory Studies[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2011,66(6): S28-S39

[2] Li J. Automated Extraction of Street-scene Objects from Mobile Lidar Point Clouds [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2012,33(18):5 839-5 861

[3] Boyko A, Funkhouser T. Extracting Roads from Dense Point Clouds in Large Scale Urban Environment[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2011,66(6): S2-S12

- [4] Chen Y Z, Zhao H J, Shibasaki R. A Mobile System Combining Laser Scanners and Cameras for Urban Spatial Objects Extraction[C]. Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Hong Kong, China, 2007
- [5] Barber D, Mills J, Smith-Voysey S. Geometric Validation of a Ground-based Mobile Laser Scanning System[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2008, 63(1): 128-141
- [6] Shi Wenzhong, Li Bijun, Li Qingquan. A Method for Segmentation of Range Image Captured by Vehicle-borne Laserscanning Based on the Density of Projected Points [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2005, 34(2): 95-100 (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)
- [7] Jaakkola A, Hyypää J, Hyypää H, et al. Retrieval Algorithms for Road Surface Modelling Using Laser-based Mobile Mapping [J]. *Sensors*, 2008, 8(9): 5 238-5 249
- [8] El-Halawany S, Moussa A, Lichti D D, et al. Detection of Road Curb from Mobile Terrestrial Laser Scanner Point Cloud [C]. ISPRS Calgary 2011 Workshop, Calgary, Canada, 2011
- [9] Zhou L, Vosselman G. Mapping Curbstones in Airborne and Mobile Laser Scanning Data[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2012, 18(1): 293-304
- [10] Dinesh M, Ryosuke S. Auto-extraction of Urban Features from Vehicle-Borne Laser Data. Symposium on Geospatial Theory [C]. Processing and Applications, Ottawa, Canada, 2002
- [11] Yuan X, Zhao C X, Cai Y F, et al. Road-Surface Abstraction Using Ladar Sensing[C]. 2008 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Vietnam, 2008
- [12] Liu Rufe, Tian Maoyi, Xu Junyi. Expressway Road surface Point filtering of Mobile Laser Scanning Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(6): 751-755 (刘如飞, 田茂义, 许君一. 车载激光扫描数据中高速公路路面点滤波[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(6): 751-755)
- [13] Fang Lina, Yang Bisheng. Automated Extracting Structural Roads from Mobile Laser Scanning Point Clouds[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2013, 42(2): 260-267 (方莉娜, 杨必胜. 车载激光扫描数据的结构化道路自动提取方法[J]. 测绘学报, 2013, 42(2): 260-267)

An Automatic Extraction Method of Road from Vehicle-Borne Laser Scanning Point Clouds

LIU Rufe¹ LU Xiushan^{1,2} YUE Guowei¹ TIAN Maoyi¹

¹ Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China

² Institute of Ocean Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China

Abstract: Laser scanning lines index are built from original vehicle-borne laser scanning data. An classification method for automatic extraction of road pavement and side is proposed. Firstly, through the analysis of the spatial distribution characteristics of different objects in scanning lines, a clustering of objects profile points are applied. Then, according to the geometric features of the point set, the type of point set is determined. Finally, the distribution of the edge points of the adjacent multiple scanning lines is used to de-noise. Two point cloud data provided by Vehicle Survey System are used in the experiment. The average integrity rate of road pavement and side extraction are 94.4%, 86%, the average accuracy rate are 98.9%, 99.1%. The experiment shows that this method can effectively decrease the error classification of pavement points, reduce the objects interference to the roadside extraction, and adapt to different road conditions of urban street.

Key words: vehicle-borne laser; road extraction; scanning line index; moving dynamic window

First author: LIU Rufe, PhD, specializes in mobile laser scanning data processing, aerial image processing and integration of 3S technology and application. E-mail: liurufe_2007@126.com

Corresponding author: YUE Guowei, PhD, lecturer. E-mail: flashygw@163.com

Foundation support: The National Key Scientific Instrument and Equipment Development Projects, No. 2013YQ120343; the Key Laboratory of Surveying and Mapping Technology on Island and Reef, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation; Scientific Research Foundation of Shandong University of Science and Technology for Recruited Talents, No. 2016RCJJ004.