



顾及相邻点序号差的路面点云自动提取方法研究

摘要

现阶段车载点云道路提取的研究主要为有规则路坎的结构化道路,而在现实中有些道路两侧是草地,结构化道路的提取方法不再适用.针对此问题,本文提出一种融合移动窗口高差和相邻点序号差的路面自动提取方法.首先利用相邻点间距实现扫描线的提取,接着根据移动窗口高差和相邻点序号差提取道路边界点,并采用 RANSAC (RANdom SAmple Consensus, 随机抽样一致) 算法对道路边界点进行拟合,在此基础上,根据线性规划原理和滤波处理提取路面点云,以两组道路数据进行实验分析,路面提取的完整率分别为 99.79% 和 99.52%, 正确率分别为 99.91% 和 99.62%, 提取质量分别为 99.70% 和 99.15%. 实验结果表明,该方法能够同时实现结构化道路路面和路边为草地的非结构化道路路面的有效提取.

关键词

车载点云; 路面提取; 非结构化道路; 扫描线提取; 移动窗口法; 相邻点序号差

中图分类号 TN249; TP391.4; P225.2

文献标志码 A

收稿日期 2021-10-29

资助项目 国家自然科学基金(41801379)

作者简介

马茜茜,女,硕士生,主要研究方向是点云数据处理.mxr2019@hhu.edu.cn

沈月千(通信作者),男,博士,副教授,研究方向是三维点云理解与应用.y.shen_lidar@hhu.edu.cn

0 引言

精确道路三维信息在高精度地图构建、道路信息维护及城市三维可视化等方面具有重要作用^[1-2].传统道路信息的获取主要通过人工测量进行,作业周期长、效率低^[3],存在一定交通安全隐患,且获取的数据主要为道路二维信息^[4],已经无法满足城市建设和管理的需要^[5].而车载激光扫描系统的出现为道路三维信息的获取提供了一种新的途径,具有速度快、精度高、密度大、非接触、灵活性强等优点^[6-7].然而,由于道路环境复杂以及遮挡等因素,如何从车载点云中快速、准确地提取道路点云依然是一个亟待深入研究的问题.

现有研究中,文献[8]将车载点云数据利用统计学方法生成高度直方图,通过设置高度阈值提取路面点云;文献[9]在文献[8]的基础上,根据道路先验信息对道路提取结果进行优化.此类方法将三维点云信息降维表示,丢失其特有的空间分布信息,同时提取结果依赖于高度阈值的设定,只适用于简单规则的道路环境.文献[10]根据路面法向量的分布特征,利用迭代模糊聚类算法对路面点云进行提取;文献[11]利用高度差异对点云数据进行 KNN 聚类,并根据路坎参数对提取结果进行优化.此类算法运行效率较低且容易出现分割问题.文献[12]使用深度学习方法对图像进行语义分割,并将语义化的图像与点云数据融合进行粗分类,之后通过霍夫变换和区域生长方法对点云数据进行细分类,最终精确提取道路点云,但该类方法的语义分割结果受二三维数据融合质量影响较大;文献[13]构造一种端到端深度学习网络,能够对城市大场景点云数据进行高效准确的语义标识,但道路等实体目标的提取效果还需要进一步验证;文献[14]以扫描线为单位对点云数据进行处理,首先利用移动窗口高差对扫描线进行滤波,得到道路区域点云,然后根据高差、点密度和累计坡度三个特征指标进行路坎点的提取,最后通过优化和跟踪手段提取道路边界;文献[15]在文献[14]的基础上建立双向扫描线索引,根据扫描线上不同地物目标的空间分布特征,采用移动动态窗口分类法提取路面和路边点云.此类方法往往需要顾及多个特征因子,且要求道路具有较为规则的路坎,而在现实情况中,有些道路两侧是草地,不存在路坎,以往利用路坎特征的道路提取方法不再适用.针对上述问题,本文引入相邻点序号差这一特征,提出一种融合移动窗口高差和相邻点序号差的道路自动提取方法,不仅实现了有规则路坎的结构化

1 河海大学 地球科学与工程学院,南京,211100

道路的完整、准确的提取,也实现了路边为草地(本文统称为伪路坎)的非结构化道路完整、准确的提取。

1 路面点云自动提取方法

本文所提方法的具体流程如图1所示。

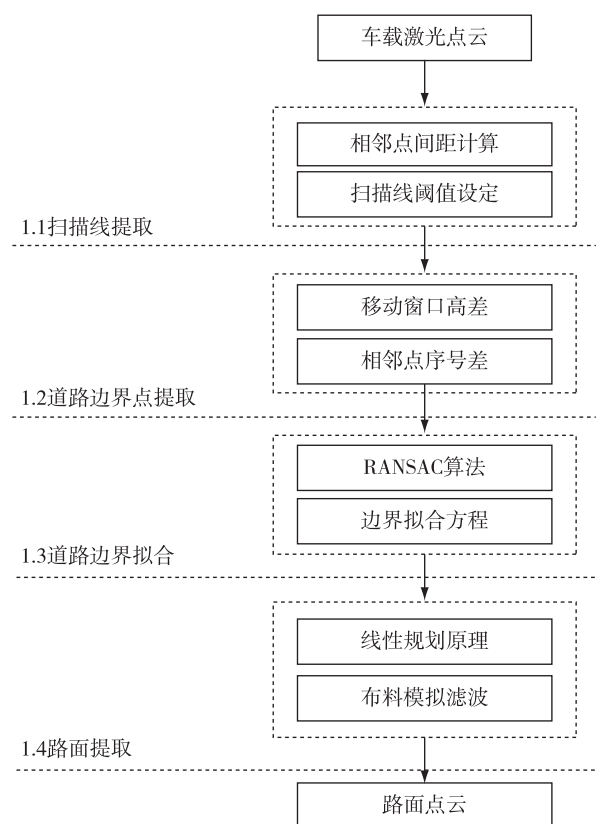


图1 路面点云提取流程

Fig. 1 Road surface point cloud extraction process

1.1 扫描线提取

首先对点云数据进行布料模拟滤波^[16](Cloth Simulation Filtering, CSF)处理,滤除建筑物、树木、车辆等非地面点云,得到主要包含道路、路边草地以及周围人行道等连续分布且高程变化不大的地面点云。然后基于滤波后的点云数据提取扫描线,扫描线的提取方法包括基于扫描角度差、基于GPS时间差、基于相邻点间距跳跃等^[17]。若车载点云数据中记录了扫描角度和GPS时间,则可用前两种方法,否则可以使用第三种方法。由于本文所用的点云数据没有扫描角度和GPS时间信息,故借鉴第三种方法(基于相邻点间距跳跃)的思想,设计了本文扫描线的提取方法。

车载激光扫描点云的每个数据点是按激光脚点

马茜茜,等.顾及相邻点序号差的路面点云自动提取方法研究.

返回顺序连续排列的,相邻两个点云序号相差1,当扫描至天空视场角时无激光脚点返回,这样会导致前一条扫描线的最后一点与后一条扫描线的第一点之间的距离产生显著突变,记该突变距离为 L_d 。设相邻两个点云的平面坐标分别为 $P_{i-1}(X_{i-1}, Y_{i-1})$ 和 $P_i(X_i, Y_i)$,下标 i 为点云的返回序号,则相邻点间平面距离:

$$L_i = \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2}.$$

通过设置阈值 L_d ,求出满足 $L_i > L_d$ 的点序号 $(k, k+1)$ (其中 k 为前一条扫描线的最后一点序号, $k+1$ 为后一条扫描线的第一点序号),最后加入原始点云首点序号1和末点序号 N ,这样就能得到每条扫描线上的首末点对序号。比如若只有两条扫描线,则第一条扫描线的首末点对序号为 $(1, k)$,最后一条扫描线的首末点对序号为 $(k+1, N)$ 。最后通过搜索点对序号之间的点云进而提取每条扫描线。考虑到原始点云数据由于分割可能存在不完整的扫描路径,不利于后续道路的提取研究,同时一些噪声点的干扰可能导致某些扫描线中只包含少量杂点,因此通过统计各条扫描线上的点数分布情况,将集中分布的扫描线点数最小值和最大值分别作为阈值边界 $num1$ 和 $num2$,删除点数在阈值边界范围之外的扫描线,保留点数在阈值边界范围以内的扫描线,从而得到最终的扫描线点云。

1.2 道路边界点提取

以上一节提取的单条扫描线为单位,首先利用移动窗口高差法识别出路坎点和伪路坎点,然后根据相邻点序号差的最大值提取出道路边界点。具体步骤如下:

1) 路坎点和伪路坎点的提取

首先根据道路的实际情况确定路坎或伪路坎提取阈值 h_{curb} 和移动窗口点数 n 。对于一般路面,扫描线上局部路面点云高差 $h_{pavement}$ 较小,将略大于局部路面点云高差 $h_{pavement}$ 的值作为伪路坎提取阈值 h_{curb} ;而窗口点数 n 的确定则要同时考虑路面点云和伪路坎点云,使得 n 个点云确定的窗口高差 h (窗口内高程最高点与最低点之差)既能保护路面点云不被识别出来,同时能够将与路面有显著高差的路坎点或伪路坎点云提取出来。让窗口在扫描线上移动,求取每个窗口高差大小,将窗口中满足 $h > h_{curb}$ 的第一点序号进行存储。对每条扫描线都进行上述处理,得到所有路坎点或伪路坎点的索引号,进而提取得到所有的路坎点或伪路坎点。

2) 道路边界点的提取

路坎点和伪路坎点提取之后,考虑路坎或伪路坎的空间分布特征和扫描线上点云排列的顺序性,求出同一条扫描线上的相邻路坎点或伪路坎点的序号之差,将差值最大的点对提取出来.因移动窗口在扫描线上单向滑动,且取移动窗口中满足 $h > h_{\text{curb}}$ 的第一点作为路坎点或伪路坎点,故需要结合路坎或伪路坎处相邻扫描点的平均高差,确定上述提取出的点对序号分别需要增加的点数 m_1 和 m_2 ,然后将第一点对应的序号加上 m_1 ,将第二点对应的序号和 m_2 ,得到新的点对,最后将所得新的点对作为最终的道路边界点.比如若路坎或伪路坎处相邻扫描点平均高差为 10 cm,窗口内点数 n 为 5 个,路坎或伪路坎提取阈值 h_{curb} 为 3 cm,则此处路坎或伪路坎上只要有的一个点云在移动窗口内,就能够满足提取条件,此时 m_1 取 1, m_2 取 4,即点对中第一点序号加上 1,第二点序号加上 4.对每条扫描线都进行上述处理,得到所有路边点的索引号,进而提取得到所有的道路边界点.

1.3 道路边界拟合

提取的道路边界点是一些离散的点,需要对其进行矢量拟合.因车辆等地物的遮挡以及草地边缘的不规则性,这些边界点中难免存在噪声.考虑 RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS, 随机抽样一致) 算法能够在包含噪声点的数据集中通过迭代计算自适应寻找给定模型的最优解,将数据点分为内点和外点,只对允许误差范围内的内点进行拟合,故使用该算法对提取的道路边界点进行拟合,求得左右边界的平面拟合方程.

1.4 道路提取

上一节已经获得道路边界的拟合方程,将它们

分别记为 $L(x, y) = 0$ 和 $R(x, y) = 0$, 其中 $L(x, y) = 0$ 为道路左边界一般式方程, $R(x, y) = 0$ 为道路右边界一般式方程.路面点云位于左右边界方程所确定的曲线(直线)之间,根据线性规划原理,若满足式(1)则提取出路面点云.但此时提取的路面点云还包含车辆下部和车轮等噪声点,最后再次利用布料模拟滤波算法,将这些高出路面的噪声点去除,从而得到最终的路面点云.

$$\begin{cases} L(x, y) \geq 0, \\ R(x, y) \leq 0. \end{cases} \quad (1)$$

2 实验结果及分析

2.1 实验数据

本文利用 MATLAB 编程语言实现了第一章中的算法,采用车载移动测量系统提供的两组道路数据进行实验.数据 1 是有规则路坎的结构化道路,路面平均点云密度 1 000 个/ m^2 ,扫描线上平均点间距 3 cm,道路长约 80 m,路宽约 10 m,包含树木、路灯、车辆等干扰目标,路面有裂纹;数据 2 是路边为草地的非结构化道路,路面平均点云密度 300 个/ m^2 ,扫描线上平均点间距 6 cm,道路长约 40 m,路宽约 23 m,包含建筑物、树木、电线杆、横杆等干扰目标,路面较为平整光滑.实验数据如图 2 所示.

2.2 实验过程和结果

首先对原始点云数据进行布料模拟滤波,设置布料网格尺寸为 2 cm,最大迭代次数为 500,分类阈值为 0.5 m,将建筑物、电线杆、树木、路灯和车辆等较高的地物滤除,保留高程变化不大的道路区域,滤波后的结果如图 3 所示.

接着,基于滤波后的道路区域点云数据根据上文 1.1 节所述算法进行扫描线提取.数据 1 道路平均

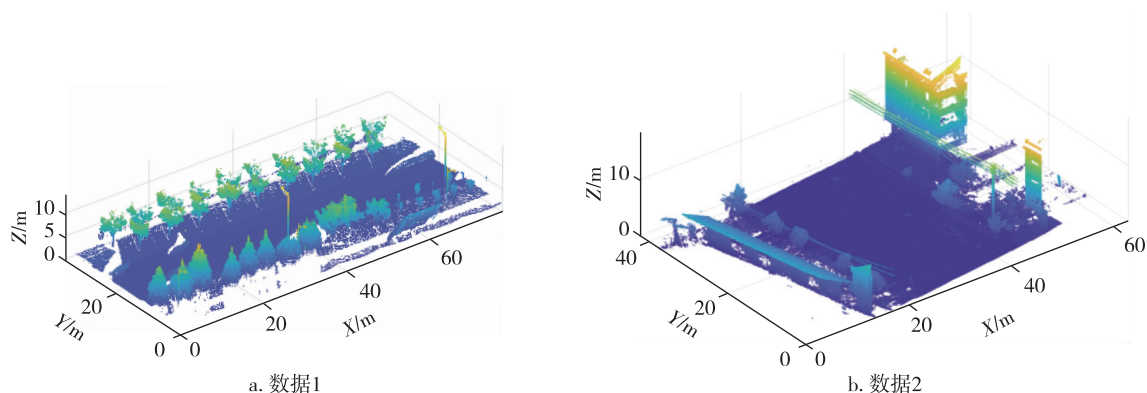


图 2 原始点云数据

Fig. 2 Original point clouds of data 1 (a) and data 2 (b)

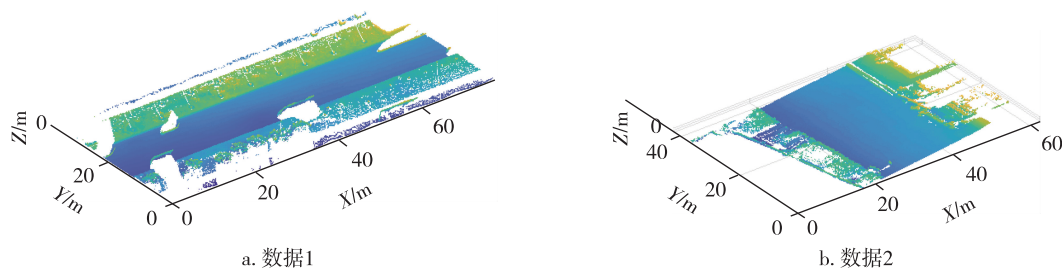


图3 滤波后的点云

Fig. 3 Point clouds filtered from data 1 (a) and data 2 (b)

宽度为 10 m, 设置阈值 L_d 为 15 m; 数据 2 道路平均宽度为 23 m, 设置阈值 L_d 为 25 m. 考虑实验点云中含有一部分不完整的扫描路径和一些噪声点, 对各条扫描线所含点数进行统计, 确定单条扫描线点数阈值边界, 直方图分布如图 4 所示. 由直方图可知, 数据 1 中单条扫描线点数集中在 270~360 之间, 数据 2 中单条扫描线点数集中在 450~570 之间, 故数据 1 中阈值边界 num1 和 num2 分别取 270 和 360, 数据 2 中阈值边界 num1 和 num2 分别取 450 和 570. 将数据 1 中点数小于 270 和大于 360 的扫描线删除, 将数据 2 中点数小于 450 和大于 570 的扫描线

删除, 最终提取的扫描线如图 5 所示. 为了便于观察, 数据 1 每隔 50 条扫描线抽取一条用不同颜色进行显示, 数据 2 每隔 20 条扫描线抽取一条用不同颜色进行显示.

然后, 基于提取的扫描线点云根据上文 1.2 节所述算法进行道路边界点提取. 根据道路实际情况将路坎和伪路坎最低高度阈值 h_{curb} 设为 3 cm. 为了保护路面点云不被识别出来, 同时较好地识别出伪路坎点云, 本文取窗口点数 n 值为 5, 进而提取出路坎点和伪路坎点云. 在此基础上, 求每条扫描线上相邻两个路坎点或者伪路坎点的序号之差, 得到序号

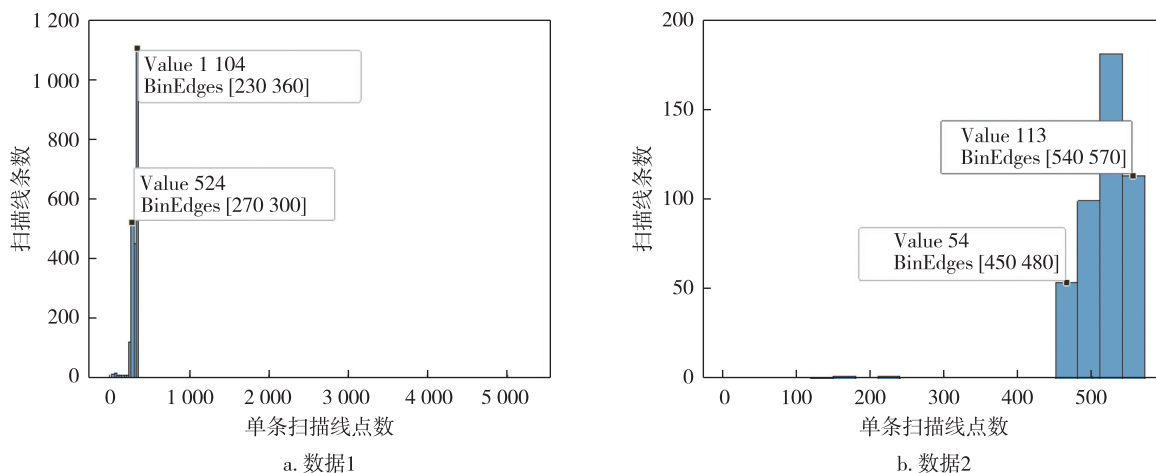


图4 各条扫描线所含点数分布直方图

Fig. 4 Histogram of the distribution of points contained in each scan line from data 1 (a) and data 2 (b)

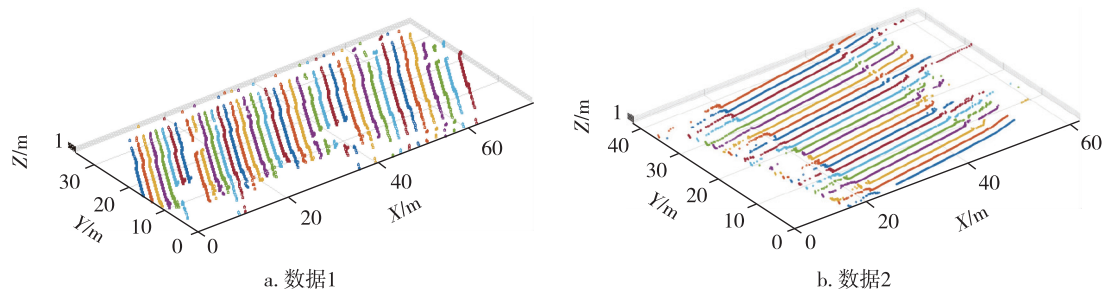


图5 扫描线点云

Fig. 5 Scan line point clouds from data 1 (a) and data 2 (b)

差最大的点对. 由于数据 1 路坎处相邻点平均高差约为 5 cm, 移动窗口包含路坎上 1 个点与路面上 4 个点即可将路坎点识别出, 故将点对第一点对应的序号增加 1, 第二点对应的序号增加 4; 同理, 由于数据 2 伪路坎处相邻点平均高差约为 2 cm, 移动窗口包含伪路坎上 2 个点与路面上 3 个点即可将路坎点识别出, 故将点对第一点对应的序号增加 2, 第二点对应的序号增加 3, 将所得新的点对提取出来作为道路边界点, 结果如图 6 所示.

因两组试验数据均为直线道路, 且长度不超过 100 m, 故将其两条边界当作直线处理. 用 RANSAC 算法对道路边界点进行平面拟合, 得到左右道路边界的拟合方程, 式(2)和式(3)为数据 1 中两条道路边界的拟合方程, 式(4)和式(5)为数据 2 中两条道路边界的拟合方程. 根据线性规划原理, 数据 1 中路面点云由式(2)所确定的直线与式(3)所确定的直线之间的点云组成, 数据 2 中路面点云由式(4)所确定的直线与式(5)所确定的直线之间的点云组成, 故满足式(6)的点云即为数据 1 中的路面点云, 满足式(7)的点云即为数据 2 中的路面点云. 最后利用布料模拟滤波算法对提取的路面点云进行处理, 设置布料网格尺寸为 2 cm, 最大迭代次数为 500, 分类阈值为 0.1 m, 将高出地面的车辆下部和轮胎等噪声点滤除, 得到最终的道路点云, 结果如图 7 中红色区域所示.

$$-0.1074x - y + 12.1816 = 0, \quad (2)$$

$$-0.0079x - y + 24.0763 = 0, \quad (3)$$

$$-9.4031x - y + 214.7259 = 0, \quad (4)$$

$$-16.1628x - y + 743.8517 = 0, \quad (5)$$

$$\begin{cases} -0.0074x - y + 12.1816 \leq 0, \\ -0.0079x - y + 24.0763 \geq 0, \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} -9.4031x - y + 214.7259 \leq 0, \\ -16.1628x - y + 743.8517 \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

2.3 实验结果分析

首先从定性角度进行分析, 将本文算法提取的路面与滤波后点云进行叠加显示, 观察两组数据的提取效果, 分别如图 8 和图 9 所示. 由图 8 可知本文算法对于有规则路坎的结构化道路路面可以取得很好的提取效果, 提取的路面边界与实际边界位置偏差非常小. 由图 9 可知本文算法对于路边为草地的非结构化道路也可以取得不错的提取效果. 因数据 2 中道路两侧不是规则路坎, 而是高度不规则的草地, 故伪路坎处相邻点高差差异较大, 导致不同扫描线上的移动窗口在此处识别的伪路坎点个数不同, 使得一些伪路坎点被错误识别成路面点并被提取出来. 另外, 因为道路右边界有一段不是草地, 而是楼房与道路连接处的平地 (如图 10 黄色方框中所示), 此处识别出来的点是横杆上的点, 而非道路边界点, 因此右边界有一处平面没有被当成路面提取出来是正确的, 一定程度上验证了 RANSAC 算法在道路边界拟合上的可靠性.

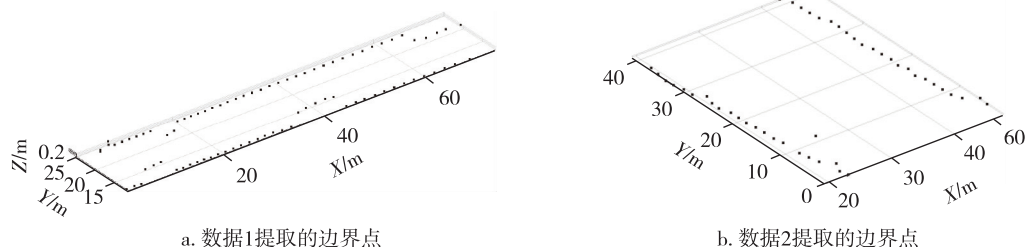


图 6 提取的道路边界点

Fig. 6 Road boundary points extracted from data 1 (a) and data 2 (b)

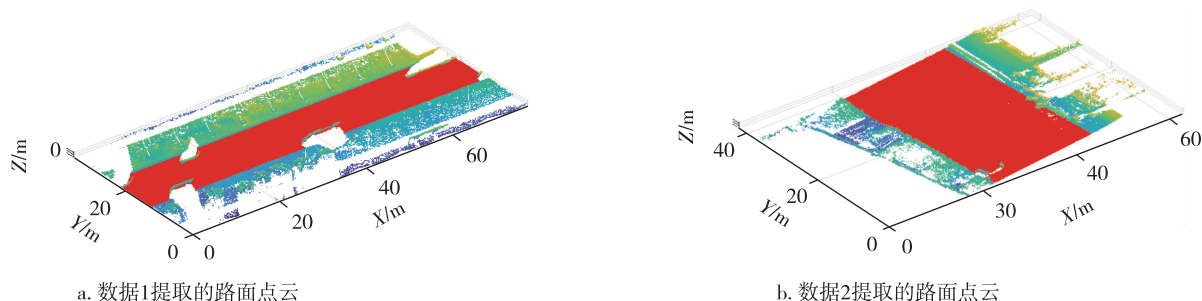


图 7 提取的路面点云 (红色区域)

Fig. 7 Road surface (red area) point clouds extracted from data 1 (a) and data 2 (b)

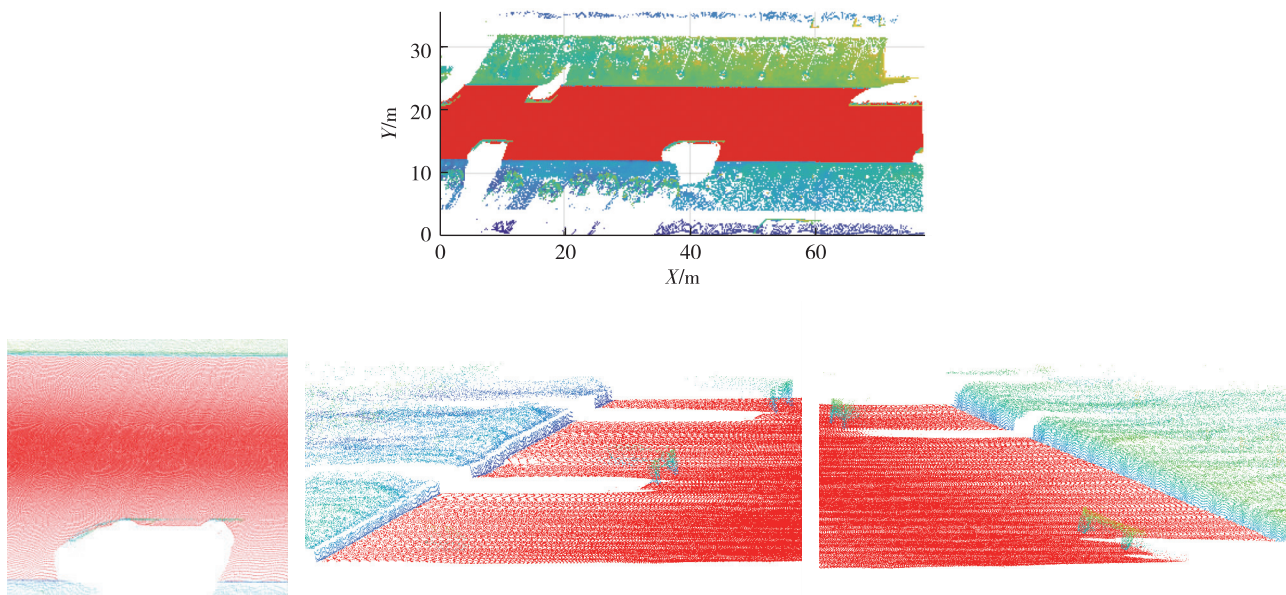


图8 数据1提取的路面(红色区域)与滤波点云叠加图及其不同角度放大图

Fig. 8 Overlay of the extracted road surface (red area) and the filtered point cloud of data 1 and its enlargements at different angles

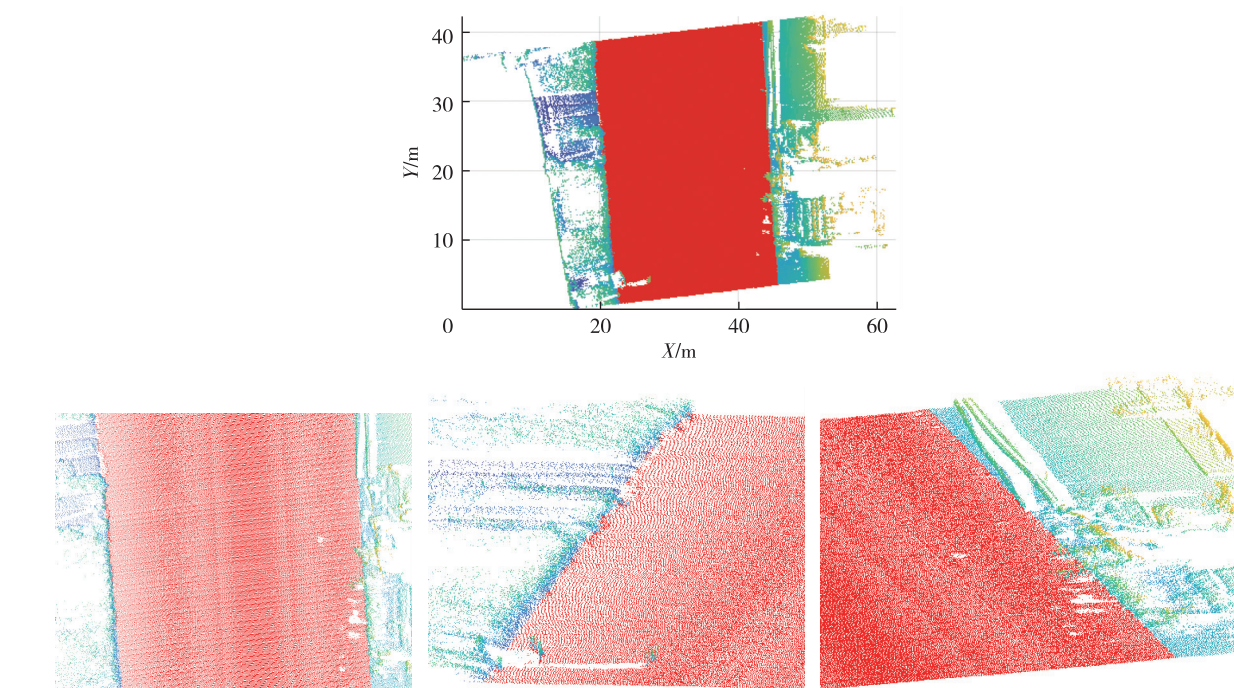


图9 数据2提取的路面(红色区域)与滤波点云叠加图及其不同角度放大图

Fig. 9 Overlay of the extracted road surface (red area) and the filtered point cloud of data 2 and its enlargements at different angles

然后进行定量分析,借鉴文献[15]的方法,采用准确率(Correctness)、完整率(Completeness)和提取质量(Quality)对本文方法的提取效果进行综合评价.完整率的计算公式为 $Completeness = TP / (TP + FN)$,正确率的计算公式为 $Correctness = TP / (TP + FP)$,提取质量的计算公式为 $Quality = TP / (TP + FP + FN)$,其中 TP 表示正确提取的路面点个数,FP 表示错误提取的路面点个数(即不是路面点却被当成路面点提取出来),FN 表示漏提取的路面点个数,统计结果如表1所示.由表1可知,对于两组数据本文算法提取的路面完整率、准确率和提取质量都在99%以上,算法处理时间分别为2.23 min和1.02 min.

然后进行定量分析,借鉴文献[15]的方法,采用准确率(Correctness)、完整率(Completeness)和提取质量(Quality)对本文方法的提取效果进行综合评价.完整率的计算公式为 $Completeness = TP / (TP + FN)$,正确率的计算公式为 $Correctness = TP / (TP + FP)$,提取质量的计算公式为 $Quality = TP / (TP + FP + FN)$,其中 TP 表示正确提取的路面点个数,FP 表示错误提取的路面点个数(即不是路面点却被当成路面点提取出来),FN 表示漏提取的路面点个数,统计结果如表1所示.由表1可知,对于两组数据本文算法提取的路面完整率、准确率和提取质量都在99%以上,算法处理时间分别为2.23 min和1.02 min.

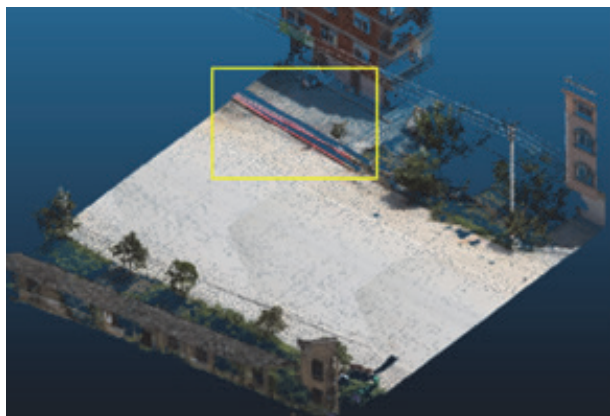


图 10 边界非草地路段
Fig. 10 Non-grass section of the border

路面的提取均能够取得很好的效果。

3 结束语

本文以车载激光扫描点云数据为研究对象,提出一种融合移动窗口高差和相邻点序号差的路面自动提取方法.通过将提取结果与滤波后点云进行叠加显示,定性评价路面的提取效果.定量评价结构化道路路面和非结构化道路路面提取的完整率、正确率和质量均在 99% 以上,算法运行时间分别为 2.23 min 和 1.02 min.定性和定量实验结果表明,本文算法能够同时实现结构化道路路面点云和非结构化道路路面点云的完整、准确提取,解决了路边为草地的非结构化道路自动提取问题。

可见,本文算法对结构化道路路面和非结构化道路

表 1 路面提取结果定量评价

Table 1 Quantitative evaluation of road surface extraction results

数据	TP	FP	FN	本文算法			
				完整率/%	正确率/%	提取质量/%	时间/min
数据 1	595 999	535	1 260	99.79	99.91	99.70	2.23
数据 2	181 161	685	873	99.52	99.62	99.15	1.02

参考文献

References

- [1] 李赞.基于车载激光点云的杆状交通设施提取与分类研究[D].武汉:武汉大学,2018
LI Zan.A study of pole-like traffic facilities extraction and classification based on mobile laser point clouds[D].Wuhan:Wuhan University,2018
- [2] 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
- [3] Yang B S,Wei Z,Li Q Q,et al.Automated extraction of street-scene objects from mobile lidar point clouds[J].International Journal of Remote Sensing,2012,33(18):5839-5861
- [4] Clode S,Rottensteiner F,Kootsookos P,et al.Detection and vectorization of roads from lidar data[J].Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,2007,73(5):517-535
- [5] 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
- [6] Chen Y Z,Zhao H J,Shibasaki R.A mobile system combining laser scanners and cameras for urban spatial objects extraction[C]//2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics.August 19-22,2007,Hong Kong,China.IEEE,2007:1729-1733
- [7] 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
- [8] Manandhar D,Shibasaki R.Auto-extraction of urban features from vehicle-borne laser data[J].International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences,2002,34(4):650-655
- [9] Abuhadrous I,Ammoun S,Nashashibi F,et al.Digitizing and 3D modeling of urban environments and roads using vehicle-borne laser scanner system[C]//2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat.No.04CH37566).September 28-October 2,2004,Sendai,Japan.IEEE,2004:76-81
- [10] 闫利,张毅.基于法向量模糊聚类的道路点云数据滤波[J].武汉大学学报·信息科学版,2007,32(12):1119-1122
YAN Li,ZHANG Yi.Road points cloud filtering based on fuzzy clustering of normal vectors[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2007,32(12):1119-1122
- [11] Zhou L,Vosselman G.Mapping curbstones in airborne and mobile laser scanning data[J].International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2012,18:293-304
- [12] 于博,张军军,李春庚,等.图像语义分割辅助的车载激光点云道路提取方法[J].国土资源遥感,2020,32(1):66-74
YU Bo,ZHANG Junjun,LI Chungeng,et al.Automated

- extraction of roads from mobile laser scanning point clouds by image semantic segmentation [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2020, 32(1): 66-74
- [13] 杨必胜, 韩旭, 董震. 适用于城市场景大规模点云语义标识的深度学习网络[J]. 测绘学报, 2021, 50(8): 1059-1067
YANG Bisheng, HAN Xu, DONG Zhen. A deep learning network for semantic labeling of large-scale urban point clouds [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2021, 50(8): 1059-1067
- [14] 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
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
- [15] 胡啸. 基于车载激光扫描数据的道路要素提取方法研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019
HU Xiao. Research on road element extraction method of vehicle-borne laser scanning data [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019
- [16] Zhang W M, Qi J B, Wan P, et al. An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation [J]. Remote Sensing, 2016, 8(6): 501
- [17] 姚连璧, 秦长才, 张邵华, 等. 车载激光点云的道路标线提取及语义关联[J]. 测绘学报, 2020, 49(4): 480-488
YAO Lianbi, QIN Changcai, ZHANG Shaohua, et al. Road marking extraction and semantic correlation based on vehicle-borne laser point cloud [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2020, 49(4): 480-488

Automatic extraction of road surface point cloud considering the difference of neighboring point serial numbers

MA Xirui¹ SHEN Yueqian¹ HUANG Teng¹

¹ School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100

Abstract At present, the research of road extraction using vehicle-borne point cloud mainly focuses on structured roads with regular road cuts. However, some roads in reality are flanked by grass, and the extraction method of structured roads is no longer applicable. To address this problem, an automatic road surface extraction method integrating the moving window height difference and neighboring point serial number difference is proposed. First, the adjacent point space is used to realize the extraction of scan lines, and the road boundary points are extracted according to the moving window height difference as well as the adjacent point serial number difference. Next, the road boundary points are fitted with RANSAC algorithm. Afterwards, the road surface point cloud is extracted according to the linear programming principle and filter processing. Finally, two sets of road data are used to test the proposed method. The completeness of road surface extraction is 99.79% and 99.52%, the correctness is 99.91% and 99.62%, and the quality is 99.70% and 99.15%, for the two datasets respectively. The experimental results show that the proposed method is applicable for road surface extraction of structured road and unstructured road with grass on the roadside.

Key words vehicle-borne point cloud; road surface extraction; unstructured road; scan line extraction; moving window method; adjacent point serial number difference