

# 车载激光点云斑马线提取方法研究

王耀<sup>1</sup>, 赵静<sup>2</sup>, 周琳<sup>3</sup>

(1. 江苏建筑职业技术学院, 江苏 徐州 221116; 2. 日照市自然资源和规划局,  
山东 日照 276800; 3. 徐州工业职业技术学院, 江苏 徐州 221140)

**摘要:** 针对城市道路斑马线测量困难、既有基于点云数据识别提取斑马线方法存在较多弊端的问题, 以车载激光扫描点云数据为基础, 利用车载扫描系统点云扫描线对斑马线角点提取算法进行优化设计, 通过 OTSU 算法分离斑马线点云, 分别采用“扫描线数量-水平距离”频率分布直方图、移动判别窗口, 结合 RANSAC 算法对斑马线长短边进行提取作业, 通过斑马线长短边几何关系对斑马线角点坐标进行精确提取, 依托实际工程项目对算法提取准确性进行分析验证, 将斑马线角点提取结果与人工实测数据进行对比分析, 通过中误差和距离均方根误差综合验证了斑马线角点提取算法的可靠性, 为城市运营道路斑马线、标示线等道路特征线快速采集更新提供了新型技术方法。

**关键词:** 点云数据; 斑马线角点; 直线拟合; 扫描线

中图分类号: P208 文献标志码: A 文章编号: 1674-8646(2024)04-0062-04

## Research on Zebra Crossing Extraction Method of Vehicle-mounted Laser Point Cloud

Wang Yao<sup>1</sup>, Zhao Jing<sup>2</sup>, Zhou Lin<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Polytechnic of Architecture, Xuzhou 221116, China; 2. Rizhao Bureau of Natural Resources and Planning, Rizhao 276800, China; 3. Xuzhou College of Industry and Technology, Xuzhou 221140, China)

**Abstract:** In view of the difficulties in urban road zebra crossing measurement and the drawbacks of existing point cloud data identification and extraction methods, the study optimizes the zebra crossing corner extraction algorithm based on the vehicle-mounted laser scanning point cloud data, and uses the vehicle-mounted scanning system point cloud scanning line to separate the zebra crossing point cloud with OTSU algorithm. The frequency distribution histogram of “number of scanning lines-horizontal distance” and moving discrimination window are respectively used to extract the short and short edges of zebra crossings combined with RANSAC algorithm. Finally, the corner coordinates of zebra crossings are precisely extracted based on the geometric relationship between the short and long edges of zebra crossings, and the accuracy of algorithm extraction is analyzed and verified by actual engineering projects. By comparing and analyzing the results of zebra crossing corner extraction with the measured data, the reliability of the zebra crossing corner extraction algorithm is comprehensively verified through the mean error and distance root mean square error, which provides a new technical method for the rapid acquisition and updating of road feature lines, such as zebra crossing and marking lines on urban operating roads.

**Key words:** Point cloud data; Zebra crossing corners; Linear fitting; Scanning line

## 0 引言

城市道路规划测量是城市路网建设的基础工作, 斑马线作为城市道路的重要组成部分, 需对其空间位置信息进行准确采集<sup>[1]</sup>。由于城市道路纵横分布, 斑马线数量较多, 若采用传统的 RTK、全站仪测绘方法会使工作量大大增加, 难以实现城市管网数据的快速生产更新。激光扫描技术的快速发展为城市道路测量

提供了便捷高效的技术方法。以测量车为载体, 搭载扫描仪、GNSS 接收机、惯性测量单元、工业相机等设备<sup>[2]</sup>, 实时动态采集高密度城市道路点云, 数据获取更为便捷, 数据精度较为可靠, 保障了城市道路测量的安全作业, 为公路养护及规划管理提供了海量数据支撑<sup>[3]</sup>, 故以城市道路点云数据为基础对斑马线自动识别提取方法进行研究具有重要的应用价值。

基于点云数据识别提取斑马线的方法较多, 主要包括以下几类: ①图像检测法: 利用数字图像处理技术对扫描影像进行分析处理, 分离斑马线像元, 实现斑马线快速定位。但由于扫描影像分辨率有限, 斑马线识别提取精度相对偏低<sup>[4]</sup>。②点云检测法: 以斑马线形

收稿日期: 2023-10-12

作者简介: 王耀(1992-), 男, 博士在读, 助教。研究方向: 三维建模、点云处理。

态特征为基础,在点云模型中匹配对应特征点云,从而实现斑马线的识别提取,提取精度较高,但需要投入较多人力物力,自动程度相对较弱。③机器学习法:以人工智能算法为基础,借助机器学习技术,对符合斑马线特征的区域进行自动识别检测,速度较快。但由于存在其他地物点云影像,斑马线提取结果精度相对较低<sup>[5]</sup>,尤其是运营期车辆、人员等干扰因素较多,在一定程度上降低了斑马线的提取精度。

本研究针对基于扫描点云斑马线提取方法存在的缺陷,以车载扫描系统点云扫描线为基础,对斑马线角点进行提取研究,对算法原理及流程逻辑进行分析,设计相关实验,对算法可靠性进行综合验证,为城市道路斑马线角点坐标快速准确地提取提供便捷高效的解决方案。

## 1 斑马线角点提取算法

车载三维激光扫描系统获取的道路数据是离散点云数据,具有高密度、高精度等特征,以车载扫描系统点云扫描线为基础,提取城市道路斑马线边缘点,利用随机抽样一致性(RANSAC)算法拟合斑马线长短边,进行斑马线角点坐标数据提取,流程如图1所示。

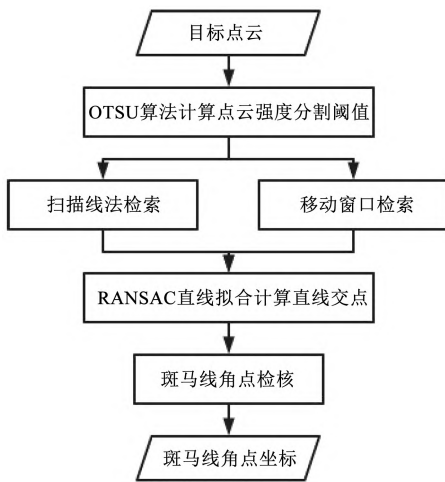


图1 斑马线角点坐标提取算法流程

Fig.1 Algorithm flow of zebra crossing corner coordinates extraction

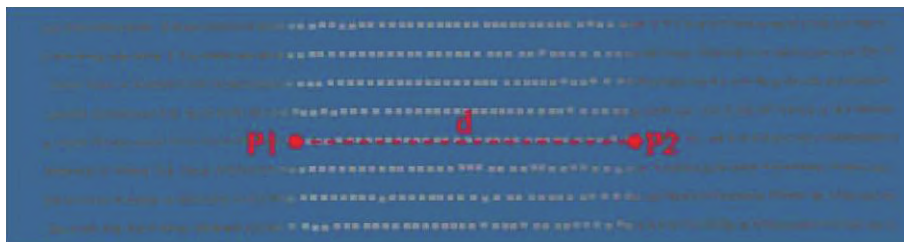


图2 扫描线两端斑马线点云水平距离

Fig.2 Horizontal distance of zebra crossing point cloud at both ends of scanning line

假定水平距离  $d$  取值区间为  $[d_{\min}, d_{\max}]$ , 其划分为多个小区间,对各个小区间内的扫描线数量进行统

### 1.1 目标点云二值化处理

车载激光扫描获取的点云数据量较大,包含较多地物类型,需进行目标点云提取,仅保留斑马线所在区域的点云数据。此时目标点云体量大大降低,但依然包含非斑马线点云数据,需进一步分析提取<sup>[6]</sup>。通过综合调研分析,以数字图像处理中的大津算法(OTSU)为基础,提取斑马线点云。

由于不同扫描系统点云强度值存在一定差异,需对其进行归一化处理,将点云回波反射强度值归一化至  $0 \sim 255$ ,计算过程如式(1)所示。

$$K_i = 255 \times \frac{I_i - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (1)$$

式中,  $K_i$  为归一化强度值,  $I_i$  为车载扫描系统点云原始强度值,  $I_{\max}$ 、 $I_{\min}$  分别为点云回波反射强度最大和最小值。

遍历 255 个归一化强度区间各自所对应的强度值  $t$ , 将其作为临时分割阈值,对目标点云进行分类,将归一化强度值小于  $t$  的点云划为一类,统计数量  $N_0$ , 大于  $t$  的点云划为一类,统计数量  $N_1$ 。利用 OTSU 算法对两部分点云集合数量占比  $\omega_0$ 、 $\omega_1$  进行统计计算,计算其平均归一化强度值  $\delta_1$ 、 $\delta_2$  及类间方差  $g$ 。计算过程如式(2)所示。

$$\delta = \omega_0 \cdot \delta_0 + \omega_1 \cdot \delta_1 \quad (2)$$

$$g = \omega_0 \cdot (\delta - \delta_0)^2 + \omega_1 \cdot (\delta - \delta_1)^2$$

最大值  $g$  对应的分割阈值  $t$  即为所需的最优二值化分割阈值  $T$ , 由于斑马线的制作材料普遍为油漆,点云强度值一般较大,因此可将回波反射强度值大于  $T$  的点云视为斑马线点云,其他则为非斑马线点云,从而完成斑马线点云提取。

### 1.2 斑马线长边采集

对车载扫描系统点云扫描线  $id$  索引进行遍历,基于  $X/Y$  坐标对同一扫描线上的点云按照从小到大进行排序,以距离最远的 2 个点云  $P_1(x_1, y_1, z_1)$  和  $P_2(x_2, y_2, z_2)$  坐标为基础,计算水平距离  $d$ , 如图2所示。若扫描线上斑马线点云数量为 0 或 1, 则  $d=0$ 。

计分析,获取“扫描线数量-水平距离”频率分布直方图,如图3所示。

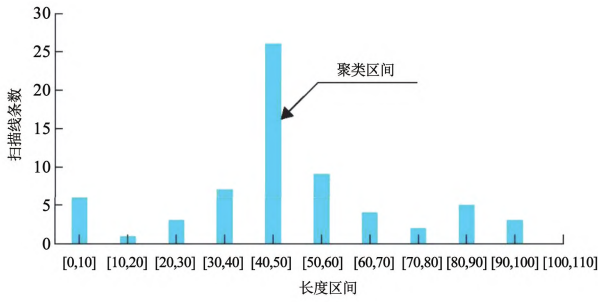


图3 “扫描线数量-水平距离”频率分布直方图

Fig. 3 Frequency distribution histogram of “number of scanning lines-horizontal distance”

由图3可知,水平距离  $d$  在  $[40,50]$  长度区间呈紧密聚集分布状态,则该区间内扫描线两端斑马线点云与斑马线长边存在较大关联,但由于存在噪声点影响,无法直接对其进行直线拟合。为确保斑马线提取结果的准确性,采用迭代 RANSAC 直线拟合算法进行目标点拟合,拟合原理为:假定待拟合的原始点集为  $P_i\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ , 对其进行一次拟合处理,对集合内点云到拟合直线的距离  $h_i$  进行计算统计,将小于设定阈值的点位保留,生成新的点云集合  $P_i\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  ( $n < m$ )。对新点云集合重复以上操作,直到集合内所有点为到拟合直线的距离均小于设定阈值时结束拟合<sup>[7]</sup>,此时可获得到斑马线长边较为精确的直线方程  $SL_1$ 、 $SL_2$ 。

### 1.3 斑马线短边采集

斑马线短边采集与长边采集有一定差异,具体操作流程如下:

以斑马线长边为限制标准,新建包含  $k$  ( $5 \leq k \leq 8$ ) 条相邻扫描线的移动判别窗口,沿扫描线索引 id 由小到大方向移动,统计分析对移动窗口内扫描线点云数量,将被斑马线长边截取部分的点云数量设为  $n$ ,其内斑马线点云数量设为  $m$  ( $m < n$ ),统计分析  $m$  所占比例  $\omega_i$ ,如式(3)所示。

$$\omega_i = \frac{m_i}{n_i} \times 100\%, i \in [1, k] \quad (3)$$

$\omega_i$  取值区间为  $(0, 1)$ , 其数值大小与被斑马线长边的扫描面部分的斑马线点云数量多少呈正相关关系。当  $\omega_i$  最大值与最小值之差趋近于 1 时,则移动判别窗口位于斑马线的短边边缘区域。如图4所示,  $\omega_i$  数值大小随移动窗口内扫描线编号 id 的增大呈单调递增或单调递减趋势<sup>[8]</sup>, 故采用三次多项式曲线拟合算法对移动窗口内斑马线点云进行拟合处理,如式(4)所示。

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (4)$$

对  $f(x)$  进行二阶求导,令  $f''(x) = 0$ , 获取拐点横

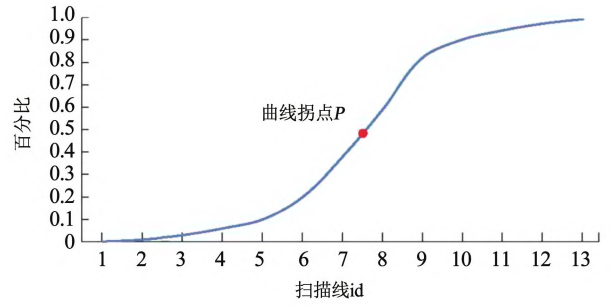


图4 三次多项式曲线拟合结果

Fig. 4 Results of cubic polynomial curve fitting

坐标  $x_0$ , 对  $x_0$  进行取整处理,结果即为短边边缘区域扫描线索引 id,如式(5)所示。

$$id = \left\lfloor -\frac{a_2}{3a_3} \right\rfloor \quad (5)$$

采用移动判别窗口进行遍历完成后,即可获得斑马线短边边缘位置的扫描线,采用 RANSAC 算法对扫描线上点云进行直线拟合处理,即可获得城市道路斑马线短边直线方程  $L_1$ 、 $L_2$ 。

### 1.4 角点坐标提取

车载扫描系统获取的扫描线与斑马线前进方向并非完全垂直,因此解析到的斑马线短边直线  $L_1$ 、 $L_2$  与实际斑马线短边存在不完全重合现象,需进一步对计算获得的斑马线长短边几何关系进行分析研究。

如图5所示,经计算获得的斑马线长短边  $SL_1$ 、 $SL_2$ 、 $L_1$ 、 $L_2$  存在 4 个交点,分别为  $P_1(x_1, y_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2)$ 、 $P_3(x_3, y_3)$ 、 $P_4(x_4, y_4)$ ,  $P_{12}(\frac{x_1+x_2}{2}, \frac{y_1+y_2}{2})$ 、 $P_{34}(\frac{x_3+x_4}{2}, \frac{y_3+y_4}{2})$  分别为  $P_1P_2$  和  $P_3P_4$  中点坐标,过  $P_{12}$  和  $P_{34}$  作垂直于斑马线长边的直线  $SS_1$ 、 $SS_2$ , 与斑马线长边交点  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  即为所需的斑马线角点。

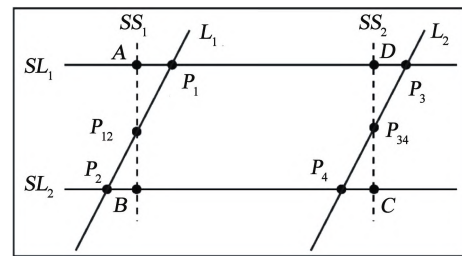


图5 斑马线长短边几何关系

Fig. 5 Geometric relationship between the long and short edges of zebra crossings

## 2 实验验证

为了对基于点云扫描线的斑马线角点坐标提取算法的准确性及可靠性进行分析验证,以某城市规划道路竣工测量项目为研究对象,选择某一路段车载扫描



系统点云数据进行算法准确性研究,采用人工测量方法对斑马线角点进行测量作业,与算法提取结果进行对比分析,通过中误差  $\sigma$  和距离均方根误差 DRMS 全

方位评估算法提取结果的可靠性。实验区域点云数据如图 6(a) 所示,图 6(b) 为框选出的待处理点云。

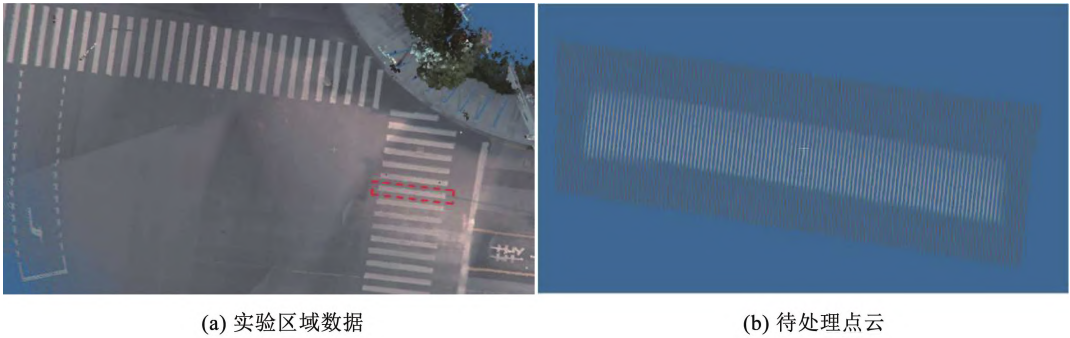


图 6 车载扫描系统点云数据

Fig. 6 Point cloud data of vehicle scanning system

以框选出的待处理点云为例进行算法提取过程分析,其中包含了斑马线点云和非斑马线点云。采用 OTSU 算法提取斑马线点云,结果如图 7(a) 所示,可以看出,斑马线点云分离效果相对较好。对斑马线长边进行拟合计算,如图 7(b) 所示,通过直方图统计分析较好地剔除了车载系统无效扫描线,最大程度保留了长边点云,利用 RANSAC 直线拟合算法拟合效果相对较好。斑马线短边边缘区域扫描线提取结果如图 7

(c) 所示,由于原始点云中的斑马线短边边界模糊不显著,很难直接对其提取作业,采用移动判别窗口分析斑马线点云在扫描线上的数量占比,设置判别条件,能够准确高效提取短边边缘区域扫描线。进行斑马线角点坐标提取,如图 7(d) 所示,可以明显看出提取到的角点与实际斑马线角点重合度较高,提取结果具有较高的可靠性。

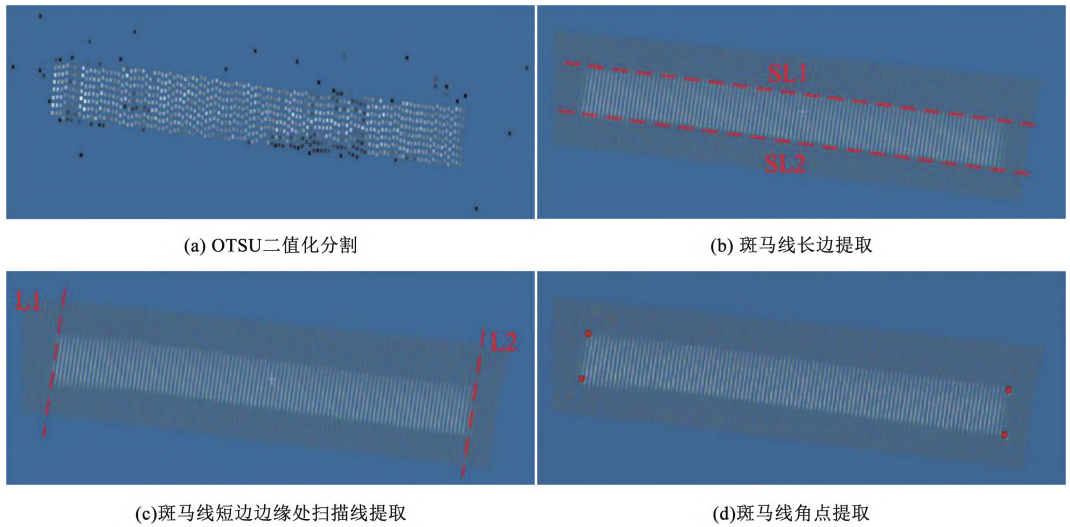


图 7 斑马线角点提取

Fig. 7 Extraction of zebra crossing corner points

为了对提取的斑马线角点坐标准确性进行综合评估,通过人工测量方法随机选择了 10 个斑马线角点进行实地测量,与算法提取结果进行对比分析。结果表明,选择的 10 个检核点中,除 6 号检核点点位中误差较大外,其他检核点点位中误差均在 4.0 cm 以内,距离均方根误差为 3.7 cm。经分析可知,6 号检核点斑马线磨损较为严重,已出现油漆缺失现象,导致算法提取结果存在较大误差,其他斑马线现状较为良好,斑马线角点算法提取结果较为准确,验证了基于点云扫描

线的斑马线角点坐标提取算法的准确性及可靠性。

### 3 结论

斑马线作为城市道路特征线的重要组成部分,其空间位置信息的快速获取对城市道路规划测量有着重要意义。以车载激光扫描点云数据为基础,对现有斑马线提取算法的不足进行分析,利用车载扫描系统点云扫描线对斑马线角点提取算法进行优化设计,采用  
(下转第 69 页)

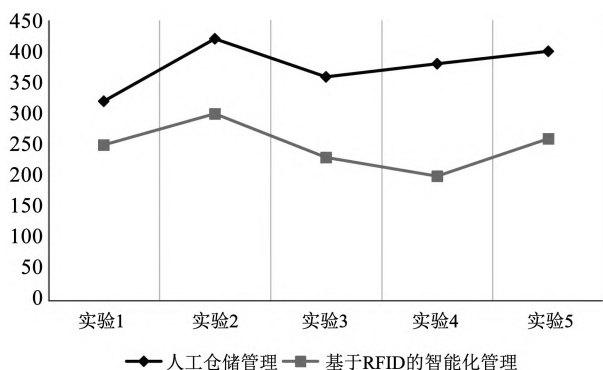


图6 仿真数据的出入库结束时间

Fig. 6 End time of import and export of simulation data

## 4 展望

探讨了利用 RFID 技术实现仓储管理的自动化与智能化,通过对现有仓储管理系统的改造与升级,实现 RFID 系统集成,提高仓储管理效率、精确性及可靠性,为物流行业带来巨大的价值及竞争优势,为基于 RFID 的仓储自动化与智能化技术提供了一种系统方法和框架。RFID 技术将在仓储管理领域发挥更加重要的作用,为物流行业带来更高效、智能和可持续的解决方案。

未来,RFID 技术与 5G 的融合将推动智能仓储的进一步发展。5G 的高带宽和低延迟特性将使 RFID 系统实时传输大量数据,支持智能仓储的实时监控和反应,可更准确地跟踪库存,实现库存的即时更新及高效的出入库管理。RFID 与人工智能(AI)的结合将加速智能仓储的发展。将 RFID 数据与 AI 算法相结合可实现自动化库存管理、路径规划及预测性维护,仓库

将更智能化,自动适应不断变化的需求,提高库存管理效率及准确性。RFID 技术的小型化和集成将使智能仓储更具灵活性。RFID 芯片和天线的尺寸将继续减小,可轻松嵌入各种货架、货物及设备中,这将促进智能仓储系统的部署,使其更容易适应各种仓库环境和物品类型。RFID 技术还将在物品追踪与定位方面发挥关键作用,仓库管理人员可利用 RFID 实时跟踪物品位置,提高物品定位及检索效率,将 RFID 标签附加到设备上,实现设备的智能定位及导航,减少操作错误和设备损坏风险。随着 RFID 技术在智能仓储中的广泛应用,人们也将更加重视安全和隐私保护。未来要着重提高 RFID 系统的安全性,包括数据加密、访问控制及身份验证,确保仓库数据的保密性和完整性。RFID 技术在智能仓储领域中的应用将继续推动仓储自动化与智能化发展,使仓库更加智能、高效、灵活,为供应链管理提供更多的可能性,实现智能仓储的全面优化。

### 参考文献:

- [1] 蔺赞. RFID 技术在饲料物流仓储中的应用研究[J]. 中国饲料, 2022(01): 139-142.
- [2] 杨永永. 基于 RFID 技术的数字化仓储的研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2017.
- [3] 熊永斌. 基于 RFID 的智能化仓储数据优化及管理方法研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2020.
- [4] 许航. 基于 RFID 的智能仓储系统设计及性能评估[J]. 自动化仪表, 2023, 44(02): 44-47.
- [5] 曾庆煌, 廖清杨, 冯景韬. 基于 RFID 的仓储设备管理系统的设计[J]. 数码世界, 2017(11): 416.

(上接第 65 页)

OTSU 算法对点云强度二值化分割阈值进行计算,分离斑马线点云,通过“扫描线数量-水平距离”频率分布直方图剔除无效扫描线,保留斑马线长边点云并进行直线拟合计算,提取斑马线长边,以移动判别窗口设置判别条件,结合 RANSAC 算法,实现斑马线短边直线拟合,针对车载扫描系统扫描线与斑马线前进方向不一定完全垂直的问题,利用空间几何特征对斑马线角点进行精准提取,以实际工程项目对基于点云扫描线的斑马线角点坐标提取算法的准确性及可靠性进行分析验证。结果表明,此方法与人工现场实测数据成果差异较小,斑马线角点空间坐标提取精度较高,为城市复杂道路环境下斑马线快速测量作业提供了可靠的解决方案。

### 参考文献:

- [1] 付阳阳, 陶建军, 王夏黎, 等. 基于改进 SegNet 模型的斑马线检测方法研究[J]. 公路交通科技, 2022, 39(04): 117-122, 149.
- [2] 陈宁, 洪丰, 白冰. 基于边缘特征和霍夫变换的斑马线识别方法[J]. 浙江科技学院学报, 2019, 31(06): 476-483.
- [3] 周豹, 李振伟, 李彦玥, 等. 不均匀光照下斑马线的处理与识别[J]. 电子设计工程, 2020, 28(21): 168-172.
- [4] 黄生鹏, 柳海南, 周克帅, 等. 基于改进 Unet 的斑马线分割[J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(11): 61-64, 69.
- [5] 张婉莹, 佟喜峰. 高分辨率遥感影像的斑马线检测与识别算法[J]. 绥化学院学报, 2022, 42(09): 152-155.
- [6] 田润, 魏志刚, 刘明铮. 基于深度学习的交通标志识别方法研究[J]. 数字技术与应用, 2019, 37(02): 81-82.
- [7] 方莉娜, 黄志文, 罗海峰, 等. 结合 SVM 与图匹配的车载激光点云道路标线识别[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(07): 994-1008.
- [8] 陈朝阳, 王泽松, 陆佳辰, 等. 基于 Faster R-CNN 的斑马线识别[J]. 科学技术创新, 2021(02): 82-83.