

文章编号:1001-5078(2026)02-0245-05

· 红外技术及应用 ·

基于红外图像特征分割的点云目标识别系统

于洋, 李居尚

(长春电子科技学院 电子工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 为了提高目标识别正确率和改善目标点云的三维重建效果, 设计了基于红外图像特征分割的点云目标识别系统, 提出了基于红外图像特征分割的目标边界约束算法。利用红外图像同质性构建目标区域最优分形面积函数。构造了红外图像对激光雷达投影区域的映射比率函数, 完成了对目标点云最优边界的提取。在包含建筑物及树木等背景的测试环境中, 以小型轿车为实验目标, 在三种不同测试条件下对比了包围盒算法与本算法之间的测试效果。实验结果显示, 本算法重建的目标点云边界更清晰, 点云总量更精炼。在三种不同测试条件下, 包围盒算法的正确率分别为 95.2%、82.4% 和 78.5%, 而本算法的分别为 95.5%、94.2% 和 90.1%。并且目标点云的总量与检出速度均优于包围盒算法。系统在实际复杂情况下的识别正确率与速度均有一定提升。

关键词: 目标识别; 红外图像特征分割; 边界约束; 分形参数

中图分类号: TP391; TN958.98 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2026.02.014

Point cloud target recognition system based on infrared boundary constraints

YU Yang, LI Ju-shang

(School of Electrical and Electronic Engineering, Changchun College of Electronic Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: To enhance the accuracy of target recognition and improve the 3D reconstruction quality of target point clouds, a point cloud target recognition system based on infrared image feature segmentation is designed, and a target boundary constraint algorithm based on infrared image feature segmentation is proposed. Firstly, the optimal fractal area function for the target area is constructed using infrared image homogeneity and a mapping ratio function of infrared images and the LiDAR projection area is established, enabling the extraction of the optimal boundary of the target point cloud. In a testing environment that includes backgrounds such as buildings and trees, a small car is used as the experimental target to compare the testing performance between the bounding box algorithm and the proposed algorithm under three different testing conditions. Experimental results show that the target point cloud boundary reconstructed by this algorithm is clearer and the total amount of point cloud is more refined. Under the three different testing conditions, the accuracy of the bounding box algorithm is 95.2%, 82.4%, and 78.5%, respectively, while the accuracy of this algorithm is 95.5%, 94.2%, and 90.1%, respectively. Additionally, both the total point cloud quantity and detection speed of the proposed algorithm are superior to those of the bounding box algorithm. The system's recognition accuracy and speed are both improved to some extent under complex real-world scenarios.

Keywords: target recognition; infrared image feature segmentation; boundary constraints; fractal parameters

基金项目: 吉林省教育厅科学技术研究项目 (No. JJKH20230815KJ); 吉林省高教科研课题项目 (No. JGJX2023D759); 吉林省教育科学规划课题项目 (No. GH23357) 资助。

作者简介: 于洋 (1994 -), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 数字信号处理, 模式识别等。E-mail: 17824914561@163.com

通讯作者: 李居尚 (1984 -), 女, 博士, 教授, 研究方向: 数字电子技术、传感器技术等。E-mail: lijushang1984@163.com

收稿日期: 2025-04-27

1 引言

激光雷达可以准确地获取待测目标的三维结构特征,但是其附近如果存在相邻甚至遮挡等干扰物时,会大大降低目标的三维重建效果^[1]。研究降低环境干扰,提高目标识别概率的目标识别技术具有重要意义。背景环境中的杂散点往往不具备规则的边界外形,所以很难单纯地通过点云之间的几何关系进行识别^[2]。为了提高识别率,采用组合分析方法成为了研究热点^[3]。

组合识别方法包含立体视觉组合识别、可见光图像组合识别和红外图像组合识别。立体视觉组合识别是根据在不同视角下目标的立体视觉具有不同特征,从而根据其特征对点云进行分类的。Sochor^[4]根据已知汽车类型不同视角的几何形态创建点云特征,提高目标识别率至 79%。LIU Z^[5]利用 Smoke 算法预测目标点云范围,使点云获取速度提升超 50%。Dubska^[6]通过三维包围盒为测试目标设置立体视觉空间限制单元,抑制了杂散点,精度提升了 40% 以上。立体视觉组合方法的优点是点云数据处理兼容性好,去杂散点效果好,缺点是需要有目标不同视场的先验数据。可见光图像组合识别是先通过目标区域可见光图像滤波提取目标位置,在完成对应区域内的点云识别。Kumar^[7]由可见光灰度强度值进行分类,目标区域点云识别概率提升了 35%。薛培林^[8]将可见光映射位置用于点云数据提取,可以同时获取 3 个独立目标的点云数据。可见光图像组合方法的优点是无需先验经验,区域识别精度高,但易受到遮蔽等干扰造成较大的误判。红外图像组合识别是利用红外图像限定目标点云提取范围。VORA^[9]采用红外图像分割的方式细化了目标的区域范围,提高了目标识别效率。全选悦^[10]将激光与红外相融合,目标识别精度优于 95%,对小汽车的目标识别精度优于 99%。战荫泽^[11]把红外特征用于目标点云提取,使识别率优于 90% 的同时误检率低于 5%。夏琰^[12]将红外图像用于点云提取,降低了杂散点对目标识别的干扰。红外图像组合方法的优点是无需先验数据、不易受遮蔽干扰、对环境光不敏感,但边界精度略低。

针对红外图像边界精度低的问题,本文提出了一种基于特征分割的点云目标识别算法,利用红外图像边缘梯度规律提高边界区分度,提升目标识别正确率。

2 系统设计

系统由红外图像采集单元[(1)区域]、激光雷

达单元[(2)区域]和处理单元组成[(3)区域],如图 1 所示。

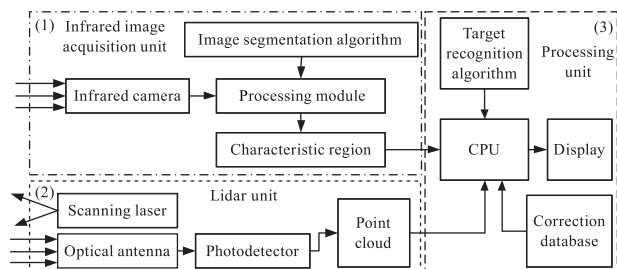


图 1 基于红外图像特征分割的点云识别系统

Fig. 1 Point cloud recognition system based on infrared image feature segmentation

图中,系统由三个部分组成。红外图像采集单元包括红外相机和图像处理模块。在该模块中对红外图像进行滤波降噪和根据其图像特征的图像分割,图像分割为后期点云区域映射提供了依据。激光雷达单元包括扫描激光器、光学天线、光电探测器和点云数据滤波模块。光学天线由聚集整形透镜组成,收集由目标反射的信号光,光电传感器将其变化为电信号并完成三维点云的重建。处理单元包括处理器和显示模块构成。将红外图像分割后的特征区域作为边界条件,对激光雷达单元获得的目标区域内点云进行约束,从而消除杂散点对目标重建的干扰。为了提高目标重建的质量,重建过程中引入校正数据库,完成对重新补偿参数的修正。

3 理论依据与算法设计

3.1 红外图像的特征分割

采用红外图像识别的优点是可在黑暗环境中测试,同时对表浅遮蔽具有较好的穿透测试能力。其基本原理是在自然界中的大部分自然纹理表面在一定尺度内是符合各向同性关系的,不同表面对同一束红外光的反射效果会因其自然纹理的差异而不同^[13]。对于红外图像而言,其分形维数 D 对应的目标面积可表示为:

$$A_\gamma = k\gamma^{2-D} \quad (1)$$

其中, k 为权重系数, D 为分形维数, γ 为尺度。理想的分形平面的分形维数是 2, 则 k 为其曲面的表面积, 故该权重系数可表示为:

$$k = \frac{A_{\gamma_2} - A_{\gamma_1}}{\gamma_2^{2-D} - \gamma_1^{2-D}} \quad (2)$$

如果图像中存在非原有自然纹理的目标时, k 不再是常数, 其成为 γ 的函数。其表征了尺度变化下的曲面面积, 则其相当于一个分形参数。

设红外图像对应的灰度图像为 $g(i, j)$, 根据覆

盖理论^[14],其上表面积 $u_\gamma(i,j)$ 与下表面积 $b_\gamma(i,j)$ 可表示为:

$$\begin{cases} u_\gamma(i,j) = \max\{u_{\gamma-1}(i,j) + 1, \\ \max_{|(m,n)-(i,j)| \leq l} u_{\gamma-1}(m,n)\} \\ b_\gamma(i,j) = \min\{b_{\gamma-1}(i,j) + 1, \\ \min_{|(m,n)-(i,j)| \leq l} b_{\gamma-1}(m,n)\} \end{cases} \quad (3)$$

其中, l 为点 (i,j) 和 (m,n) 的距离。所以分形面积最终可表示为:

$$A_\gamma = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{i,j} [u_\gamma(i,j) - b_\gamma(i,j)] - \sum_{i,j} [u_{\gamma-1}(i,j) - b_{\gamma-1}(i,j)] \right\} \quad (4)$$

根据(4)式,分形面积可以被不同的尺度所表征,故通过最小二乘拟合获得的截距可求出分形面积的特征 k 。

3.2 基于特征分割的边界约束

在完成边界约束前,需要统一红外成像单元与激光雷达单元的世界坐标系。因为设备安装时将红外成像单元的焦平面与激光雷达光电探测器的焦平面放置于同一平面,则两组数据之间仅需一个固定位置的平移校正量即可完成两个世界坐标系的对齐。设该平面到目标的距离为 d ,则在红外图像中,目标的视场夹角为 θ_x 和 θ_y ,视距为 L_x 和 L_y ,而激光雷达在该平面投影的视场夹角为 ϕ_x 和 ϕ_y ,视距为 D_x 和 D_y ,则距离分辨率^[15]可表示为:

$$\begin{cases} \Delta d_{\text{IR}} = 2d \sqrt{\frac{\sin^2(\theta_x/2)}{L_x^2} + \frac{\sin^2(\theta_y/2)}{L_y^2}} \\ \Delta d_{\text{Lidar}} = 2d \sqrt{\frac{\sin^2(\phi_x/2)}{D_x^2} + \frac{\sin^2(\phi_y/2)}{D_y^2}} \end{cases} \quad (5)$$

构造红外图像对激光雷达投影区域的映射比率函数:

$$f(x,y) = \frac{\Delta d_{\text{Lidar}}(x,y)}{\Delta d_{\text{IR}}(x,y)} \quad (6)$$

根据映射比率函数的值作为边界约束条件,当 $f(x,y) < 1$ 时,说明点云映射区域在目标红外图像区域内,保留该点数据。反之,当 $f(x,y) > 1$ 时,说明点云映射区域已超出了目标的红外边界,即该点为杂散点,剔除该测试点。

4 算法步骤与实现

根据目标表面同质性确定红外图像的特征分割依据,基于不同尺度构建表征目标区域的分形面积,由此实现红外图像中目标的边界增强。将增强后的目标视场夹角与视距作为激光雷达点云映射面视场

夹角与视距的边界条件,滤除杂散点及提高目标点云重建速度(图2)。算法步骤:

(1)获取目标区域红外图像 $g(x,y)$,获取目标区域的点云 $P(x',y',z')$,完成这两个世界坐标系的对齐,使 $P(x',y',z')$ 转化为 $P(x,y,z)$;

(2)通过分形理论对红外图像进行同质性图像分割,计算 $u_\gamma(i,j)$ 与 $b_\gamma(i,j)$ 获得目标的分型面积 A_γ 。计算得到 θ_x, θ_y, L_x 和 L_y ;

(3)通过最小二乘拟合获得的截距,计算基于测试数据的特征 k ;

(4)将目标区域的点云映射红外像平面,计算得到 ϕ_x, ϕ_y, D_x 和 D_y ;

(5)构造映射比率函数 $f(x,y)$,根据比率阈值对所有点进行遍历,完成对目标点云的滤波,最终重建目标点云图像。

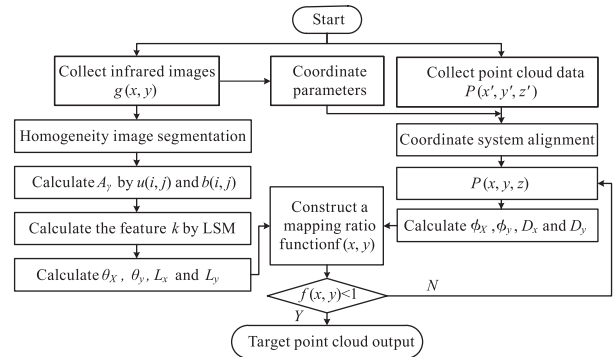


图2 基于红外特征分割的点云识别算法流程图

Fig.2 Flowchart of point cloud recognition algorithm based on infrared feature segmentation

5 实验

5.1 红外特征提取

测试目标选择小型轿车,测试环境中包含建筑物及树木等复杂背景,测试目标附近存在少量遮挡物。测试实景采用 SOPHIA 型 CCD 工业相机采集,如图3(a)所示。红外图像由 FOTRIC 公司的 410 型红外热像仪采集,其得到的伪彩色图像如图3(b)所示。该热像仪的热灵敏度为 $48.5 \text{ mk}/0.1^\circ\text{C}$,有效视场为 $26^\circ \times 20^\circ$,温度测试区间为 $-15^\circ \sim 540^\circ$ 。对其测试数据进行滤波降噪后转化为灰度图像,如图3(c)所示。

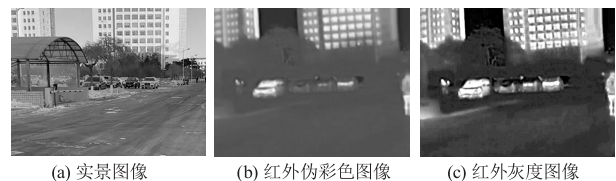


图3 测试目标的红外图像获取

Fig.3 Infrared image acquisition of test target

如图 3(a) 所示,测试目标车辆的背景中含有建筑物和树木及积雪等,背景相对复杂。同时,目标车辆的前方有一棵树遮挡了少量车辆的可视区域。如果仅通过可见光图像采集目标区域为点云数据处理提供位置约束,必然会受到前方遮挡物及后方背景等干扰。因为可见光图像中存在遮挡区域、背景相似区域等问题。故采用红外热像仪获取目标区域的红外伪彩色图像,如图 3(b) 所示,可以直观地看出车前的树木遮挡机会没有影响了。但红外图像的边缘相对模糊,会对点云边界提取造成一定难度,故对红外图像进行图像分割后,再依据其截距特征实现边缘增强,从而得到其边界增强后的红外灰度图像,如图 3(c) 所示。

5.2 基于红外边界约束的目标点云重建

实验选用 RPLIDAR S2P 型激光雷达获取目标区域点云,最大测量半径为 50.0 m,扫描频率 10 Hz,距离精度 30 mm,角分辨率 0.1125°。分别采用传统点云包围盒算法与红外图像特征分割算法作为目标点云的边界约束条件,目标点云的三维图像重建结果如图 4 所示。

如图 4(a) 所示,采用包围盒算法得到的目标三维重构点云图像虽然能够看到目标外形,但是其边缘噪点非常多,尤其是外轮廓上的噪点,并且车的前梁点云范围比实际范围要大。分析认为包围盒算法本身是基于目标轮廓构建的点云选取截止区域,而包围盒的参数并不能根据所测目标的具体外形而自适应调节,所以目标边缘的噪点难以滤除。相比之下,图 4(b) 采用红外图像特征分割算法的边缘可以通过图像增强等手段优化,从而根据实际目标外形

表 1 两种算法测试效果对比

Tab. 1 Comparison of testing effects of two algorithms

Condition	Bounding box algorithm			Our algorithm		
	Recognition accuracy/%	Point cloud quantity	Detection time/s	Recognition accuracy/%	Point cloud quantity	Detection time/s
C1	95.2	13580	3.92	95.5	10250	3.18
C2	82.4	15240	4.38	94.2	10870	3.24
C3	78.5	10590	4.04	90.1	8350	2.93

对比表 1 中的三种测试情况,当目标在开阔环境中,包围盒算法的正确率与本算法基本一致,都在 95% 以上。其点云总量明显多于本算法,这是由于包围盒的边界不能够完全贴合测试目标,所以会使在目标边缘附近的噪点被作为目标点,这个问题在 C2 的情况下更明显,因为其与树木接近,树叶等杂散点更容易进入包围盒范围。由于 C2 情况下存在

边缘滤除边缘噪点。同时,由于有红外映射区间限制,点云扫描总量也会有所下降。

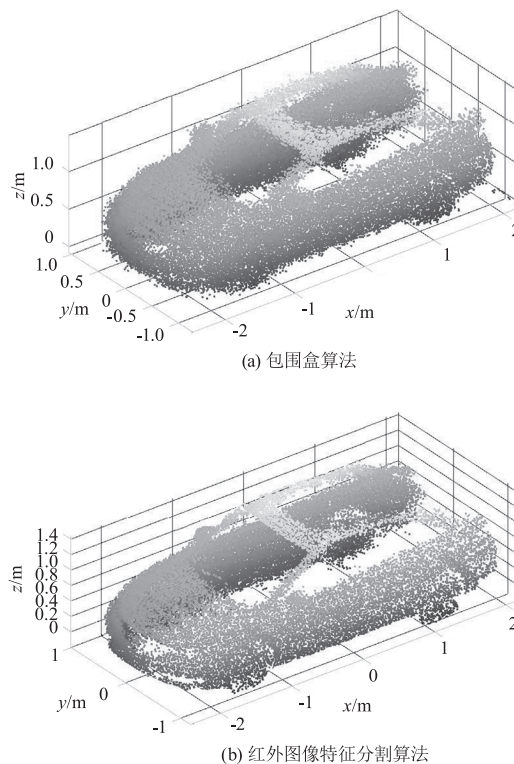


图 4 目标点云重建对比测试

Fig. 4 Comparison test of target point cloud reconstruction

5.3 目标识别正确率与检出速度

测试时设置三种测试场景,情况 1 为将目标车辆停于开阔地(C1)、情况 2 为将目标车辆停于一棵树后(C2)、情况 3 为将目标车辆停于其它类型车辆旁(C3)。采用两种算法分别对目标进行识别,识别正确率与检出速度如图 5 所示。

遮挡,则包围盒中会出现较多非目标点,从而导致目标识别概率下降。相比之下,本算法由于红外特征边界会贴合目标形成约束特征,故其点云总量增加量很小,故其识别正确率仍能达到 94% 以上。在 C3 情况下,由于出现了与相似目标的干扰项,包围盒算法会出现将相似大小伪目标误认为是待测目标的情况,因为其包围盒尺寸十分接近。而本算法中

由于不同类型车辆的外形轮廓差异明显,故其识别正确率仅略有下降,仍能保持在90%以上。从点云数据总量与测试时间上看,本算法均优于包围盒算法,说明在实际存在复杂背景等环境中,采用本算法可以更好地完成目标识别与三维重建。

6 结论

本文针对复杂环境下目标点云重建后边缘噪点多,目标识别正确率低的问题,提出了一种基于红外图像特征分割的目标边界约束算法。通过红外图像特征分割提高红外目标边缘的区分度,通过映射函数对目标点云区域进行边界约束,从而提升目标三维重建效果。实验结果验证了本算法的可行性,其在实际复杂环境中具有更高的应用价值。

参考文献:

- [1] Dlesk A, Vach K, Pavelka K. Photogrammetric co-processing of thermal infrared images and RGB images[J]. *Sensors*, 2022, 22(4):1655.
- [2] Pantoja-Rosero B G, Achanta R, Kozinski M, et al. Generating LOD3 building models from structure-from-motion and semantic segmentation[J]. *Automation in Construction*, 2022, 141:104430.
- [3] Yang F, Zhou H, Wang Y. Laser radar image recognition technology based on data mining[J]. *Laser Journal*, 2016, 37(7):39-42. (in Chinese)
杨帆,周华,王嫣.基于数据挖掘的激光雷达图像识别技术[J]. *激光杂志*, 2016, 37(7):39-42.
- [4] Sochor J, Spaňhel J, Herout A. BoxCars: improving Fine-Grained recognition of vehicles using 3-D bounding boxes in traffic surveillance[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2019, 20(1):97-108.
- [5] Liu Z C, Wu Z Z, Tóth R. SMOKE: single-stage monocular 3D object detection via keypoint estimation[C]//2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). Piscataway, NJ: IEEE, 2020:4289-4298.
- [6] Dubská M, Herout A, Juránek R, et al. Fully automatic roadside camera calibration for traffic surveillance[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, 16(3):1162-1171.
- [7] Kumar Das A, Sil J. An efficient classifier design integrating rough set and set oriented database operations[J]. *Applied Soft Computing*, 2011, 11(2):2279-2285.
- [8] Xue P L, Wu Y, Yin G D, et al. Real-time target recognition for urban autonomous vehicles based on information fusion[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2020, 56(12):165-173. (in Chinese)
薛培林,吴愿,殷国栋,等.基于信息融合的城市自主车辆实时目标识别[J]. *机械工程学报*, 2020, 56(12):165-173.
- [9] Vora S, Lang A H, Helou B, et al. PointPainting: sequential fusion for 3D object detection[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Seattle: CVF, 2020:4604-4612.
- [10] Tong X Y, Wu R, Yang X F, et al. Fusion target recognition method of infrared and laser[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2018, 47(5):526003. (in Chinese)
全选悦,吴冉,杨新锋,等.红外与激光融合目标识别方法[J]. *红外与激光工程*, 2018, 47(5):526003.
- [11] Zhan Y Z, Zhang L D, Qin Y. Vehicle target recognition algorithm based on fusion of Lidar and infrared image[J]. *Laser & Infrared*, 2021, 51(9):1238-1242. (in Chinese)
战荫泽,张立东,秦颖.基于激光雷达与红外图像融合的车辆目标识别算法[J]. *激光与红外*, 2021, 51(9):1238-1242.
- [12] Xia Y. Research on 3D target recognition algorithm based on infrared features[J]. *Infrared Technology*, 2022, 44(11):1161-1166. (in Chinese)
夏琰.基于红外特征的三维目标识别算法研究[J]. *红外技术*, 2022, 44(11):1161-1166.
- [13] Liu Y, Cai Y, Rong N T, et al. Calibration between sparse LIDAR and visible/infrared imaging systems[J]. *Infrared Technology*, 2022, 44(12):1264-1272. (in Chinese)
刘宇,蔡毅,戎宁涛,等.稀疏激光雷达与可见光/红外成像系统的标定方法[J]. *红外技术*, 2022, 44(12):1264-1272.
- [14] Zhang Y H, Xu B R, Zhu J J, et al. 3D temperature model reconstruction based on fusion of visible and thermal images[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2022, 43(2):256-263. (in Chinese)
张远辉,徐栢锐,朱俊江,等.可见光与热像融合的三维温度模型重建[J]. *计量学报*, 2022, 43(2):256-263.
- [15] Yang Y L, Xu C. Fusion reconstruction method for 3D temperature fields on the human body surface[J]. *Infrared Technology*, 2022, 44(1):33-40. (in Chinese)
杨炎龙,徐超.一种人体体表三维温度场的融合重建方法[J]. *红外技术*, 2022, 44(1):33-40.