

自动绘制室内平面图的点云向量追踪算法

蔡来良, 宋德云, 胡青峰, 魏峰远, 舒前进

引用本文:

蔡来良, 宋德云, 胡青峰, 等. 自动绘制室内平面图的点云向量追踪算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(9): 1404–1411.
CAI Lai-liang, SONG De-yun, HU Qing-feng, et al. A Point Cloud Vector Tracing Algorithm for Automatic Drawing of Interior Plan[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(9): 1404–1411.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[复杂建筑平面图纸的空间布局融合对偶识别方法](#)

Dual Recognition Method of Spatial Layout Fusion for Complex Architectural Plan Drawings

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(9): 1354–1361 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20210323>

[利用细化空间分隔法的房间细部级室内导航元素提取](#)

Indoor Navigation Elements Extraction of Room Fineness Using Refining Space Separator Method

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(2): 221–229 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190223>

[激光雷达点云树木建模研究进展与展望](#)

Progress and Prospect of LiDAR Point Clouds to 3D Tree Models

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(2): 203–220 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190275>

[矢量居民地多边形多级图划分聚类方法](#)

A Multi-level Graph Partition Clustering Method of Vector Residential Area Polygon

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(1): 19–29 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190358>

[利用方向相位特征进行多源遥感影像匹配](#)

A Multi-source Remote Sensing Image Matching Method Using Directional Phase Feature

武汉大学学报·信息科学版. 2020, 45(4): 488–494 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20180445>



自动绘制室内平面图的点云向量追踪算法

蔡来良¹ 宋德云¹ 胡青峰¹ 魏峰远¹ 舒前进²

1 河南理工大学测绘与国土信息工程学院,河南 焦作,454000

2 中国矿业大学力学与土木工程学院,江苏 徐州,221116

摘要:根据建筑物室内墙壁的空间姿态特征,建立了一种自动绘制室内平面图的点云向量追踪算法。首先截取一定厚度的室内墙体点云并将其投影至水平面,在投影平面上建立正方形网格,对投影后的平面点进行分割管理,并通过八邻域算法对网格内点云进行聚类。然后采用网格重心法对聚类后的点云数据进行抽稀,并根据邻域内点间距与连线向量夹角大小对抽稀后的点进行追踪排序,建立追踪方向的向量序列,结合向量序列中相邻值夹角的突变情况完成不同墙面的点云分割。最后采用最小二乘算法对分割得到的相同墙面点云进行直线拟合,求取相邻墙体直线的交点,建立房屋墙体平面投影线段及其空间连接关系,依序输出墙体投影线段,完成房屋平面图的绘制并导出DXF格式数据交换文件。通过对某小区建筑物室内扫描数据的分析,对所提算法进行验证,结果表明所提算法可准确快速地对室内三维激光扫描点云进行分析处理,并完成室内建筑物平面图的绘制。

关键词:三维扫描;室内平面图;向量追踪;点云聚类;点云抽稀;点云分割

中图分类号:P237

文献标志码:A

近年来,随着城市建筑的发展,室内定位、室内导航以及对大型室内场所的智能化管理需求在不断增长。室内机器人研发处于快速发展阶段,室内平面地图不仅是机器人定位以及进行全局路径规划的基础^[1-2],也是房产测绘以及一系列室内智能化服务的基础。三维激光扫描技术可快速准确地获取室内空间信息,是继GPS之后测绘技术的又一项新的突破^[3]。该技术在智慧城市和基础测绘领域发挥越来越重要的作用^[4]。经过多年的发展,三维激光扫描硬件在稳定性、精度、易操作性等方面有了很大的进步,但是对观测数据的处理算法及软件的开发还有待完善^[5]。目前采用激光点云数据进行室内平面图的绘制应用中,墙面的点云分割结果对平面图的绘制精度有重要影响^[6]。目前较常用的分割算法有多种,主要分为序贯算法和递归算法两类^[7]。序贯算法主要包括点距离法(point distance based method, PDBM)^[8-9]、边连续法(successive edge following, SEF)^[10]以及线追踪法(line tracking, LT)^[8,10-11]。递归算法主要包括分割合并法(split and merge fuzzy, SMF)^[10-11]和分段迭代拟合法(iterative

end point fit, IEPF)^[10,12],这两种算法处理点云数据时易受噪点的影响。除此之外还有Hough变换(Hough transform, HT)算法,HT算法分割直线时不能确定直线端点,会检测出虚假直线以及额外画出对称直线^[13],且时间复杂度较大,难以识别较短直线^[14]。文献[15]采用法向量来对墙壁进行分割并绘制平面图,可有效抑制室内LiDAR点云数据的噪声,但难以对门与窗进行识别。本文考虑了建筑物室内墙壁之间的空间形态特征,提出了一种基于点云向量追踪的室内平面图自动绘制算法,并采用实例验证了所提算法的有效性。

1 室内点云获取与平面图绘制

由于装修后的房屋内置不同风格的家具,点云分布规律比较复杂,本文暂不讨论此情况,仅以未装修的房屋为研究对象。建筑物室内点云平面数据提取与平面图绘制的流程如图1所示。

1.1 点云数据预处理

本文采用地面三维激光扫描仪对数据进行

收稿日期:2020-10-26

项目资助:国家自然科学基金(41701597,U1810203);中国博士后科学基金(2018M642746)。

第一作者:蔡来良,博士,副教授,主要从事开采沉陷、点云处理方面的教学研究工作。cll@hpu.edu.cn

通讯作者:宋德云,硕士。643823940@qq.com

采集。采用多个站点对室内数据进行扫描后,通过点云配准^[16-17]、去噪等步骤获得室内整体点云数据,分别于不同高度对室内点云数据进行分层截面投影与分割,并进行抽稀运算,为向量追踪算法的实施奠定基础。

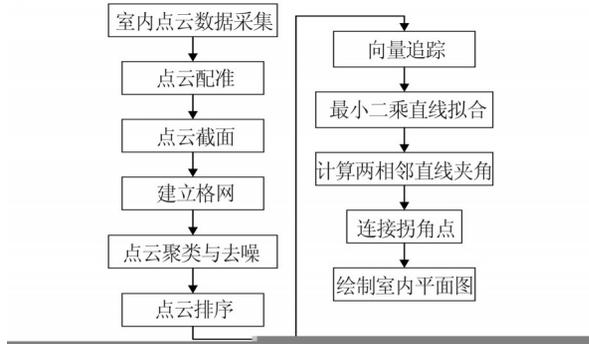


图1 建筑物室内平面图绘制流程图

Fig.1 Flowchart of Building Interior Plan Drawing

1.1.1 点云水平截面投影与分割

根据建筑物的结构截取房屋上、中、下三个不同高度的点云数据,将截取的点云投影至水平面,然后进行聚类分割运算,图2为点云投影示意图。

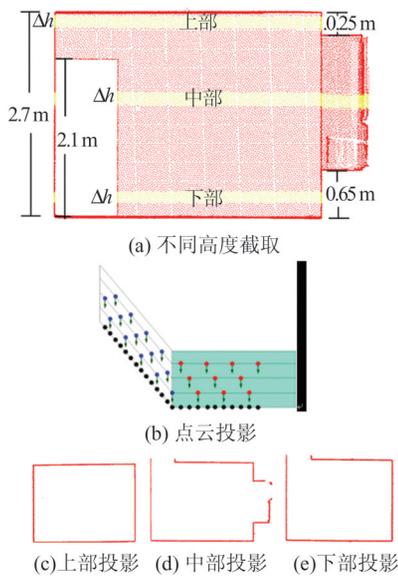


图2 点云投影示意图

Fig.2 Diagrams of Point Cloud Projection

窗户、门以及一些狭窄扫描盲区与遮挡的位置会造成部分墙壁点云缺失,水平截面投影后的点云数据在这些位置出现间断。为保证向量追踪算法的顺利运算,对水平截面投影后的点云数据进行聚类运算。

本文采用基于格网的八邻域^[18-19]聚类算法对投影后点云数据进行聚类运算,如图3所示。首

先对水平截面投影后的点云建立正方形格网,根据每个点的相应位置将其分配至网格中,然后根据八邻域算法对点云进行聚类计算。

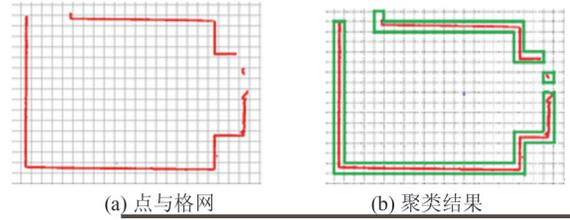


图3 基于八邻域的点云聚类

Fig.3 Point Cloud Clustering Based on Eight Neighborhood

1.1.2 点云抽稀

经水平截面投影后的点之间的间距过小会造成相邻点间连线的夹角值变化较大,不利于向量追踪算法运算。为提高本文向量追踪算法的计算效率,需对点云进行抽稀运算。如图4所示,本文采用空间格网重心法对点云进行抽稀运算。首先建立正方形格网,然后计算每个网格内激光扫描点的重心点,用重心点替代网格中的扫描点,达到抽稀效果。网格内点的重心点 (X_z, Y_z) 的计算式为:

$$\begin{cases} X_z = \sum_{i=1}^n x_i/n \\ Y_z = \sum_{i=1}^n y_i/n \end{cases} \quad (1)$$

式中, (x_i, y_i) 为网格内第*i*个激光扫描点的平面位置坐标;*n*为网格内激光扫描点的个数。

三维激光扫描仪获取点云时存在一定的系统误差与某些墙体表面存在的微小凹凸结构,使得墙面的点云数据会存在一定点位误差。点位误差用 Δl 表示,根据误差传播定律可以得到存在*m*个点的网格内重心点的误差为 $\Delta l/\sqrt{m}$ 。采用空间格网重心法对点云进行抽稀运算,不仅减少冗余数据,而且提高了点位的精度,使得点的空间分布更加均匀,利于后续计算的进行。

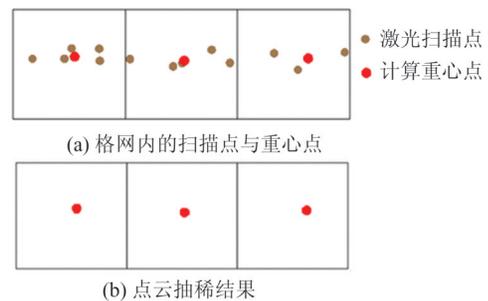


图4 点云抽稀示意图

Fig.4 Diagram of Point Cloud Extraction

1.2 基于点云向量的追踪算法

1.2.1 基于向量夹角与距离的点云追踪排序

离散无序的点云不能够显式表达室内结构以及墙壁之间的空间拓扑关系。通过分析可知,在墙面的延伸方向上,相邻点位方位角差异较小。根据相邻点距离及点与点构成的向量间夹角值大小对无序的点云进行追踪排序运算,具体步骤如图5所示。

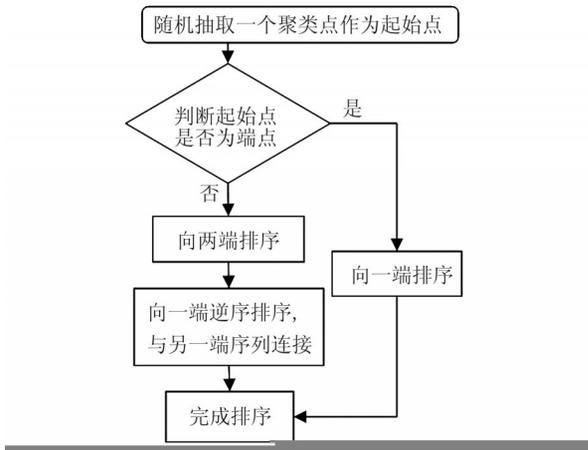


图5 点云排序流程图

Fig.5 Flowchart of Point Cloud Sorting

点云排序具体步骤如下:

1)判断起始点在聚类单元中的位置。抽样计算后,以一个聚类单元为例,随机抽取其中一个起始点A,搜索距离A最近的点C。设置查询半径为 r (r 取值2倍格网边长),查询A周围距离小于 r 的其他点,与A建立以A为起点的向量,并计算这些向量与AC的夹角,取最大值 α 。以 45° 为阈值,若 $\alpha < 45^\circ$,则A为聚类部分的端点;若 $\alpha > 45^\circ$,则点A为中部点。如图6(a)所示,AC与AD组成夹角为 4° ,小于阈值,判断点A为端点。如图6(b)所示,P为随机抽取点,D为P最邻近点,PD与PS组成的夹角值最大,为 172° ,大于阈值,判断点P为中部点。

2)运行以起始点为端点的向量追踪算法。如图6(c)所示,以AC作为初始参考向量,将点A存入序列并从该聚类单元中移除,获取点C周围与其距离小于 r 的点集,各点与C分别建立以C为起点的向量,计算这些向量与参考向量AC的夹角,取夹角最小者。其中CP与AC的夹角值最小,将点C存入序列并从该聚类单元中移除,并以CP作为下一步追踪的参考向量。如图6(d)所示,获取点P周围距离小于 r 的点集,分别建立以P为起点的向量,并计算该向量与CP的夹角,其中PS与CP的夹角值最小。选择PS为下次追踪

的参考向量,以此类推,追踪到聚类单元结束点为止。

3)运行以起始点为中点的向量追踪算法。如图6(b)所示,分别以PD、PS为初始参考向量向两端进行追踪运算。运算完成后,因两部分排序的方向相反,对其中一部分进行逆序排列后与另一列数据连接,完成运算。

4)对每一个聚类单元进行上述运算,直到所有聚类单元的排序运算结束。

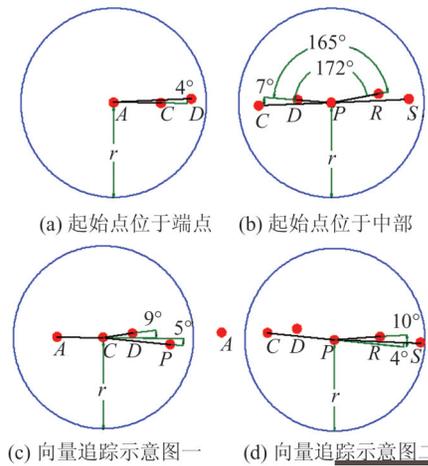


图6 点云排序示意图

Fig.6 Diagram of Point Cloud Sorting

1.2.2 基于向量夹角的墙壁点云分割

不同墙壁点云分割,可根据室内建筑中墙壁之间的空间关系来开展,如两相交墙壁相互垂直,在墙壁拐角处相邻向量间夹角值会有较大变化。根据这一特点,对排序后的点云设置向量夹角阈值,实现每个墙壁的点云分割。基于向量夹角的墙壁点云分割流程见图7。对排序后的点依次计算相邻点组成的向量值,统计相邻两向量的

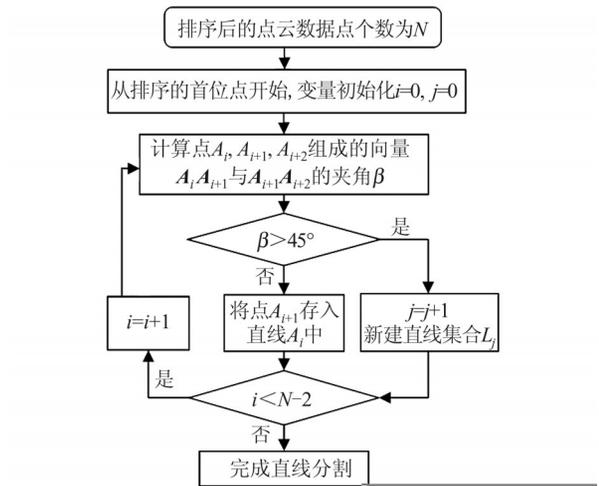


图7 点云分割流程图

Fig.7 Flowchart of Point Cloud Segmentation

夹角,用户可根据房屋转角类型输入阈值,默认取 45°。将相邻向量夹角小于阈值的点作为同一条直线点进行存储,夹角值大于阈值则新建直线集合对点进行存储,以此完成不同墙壁点云分割。相交墙壁的点云分割并求交点如图 8 所示。

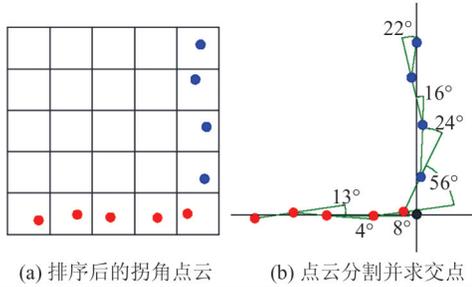


图 8 点云分割并求交点

Fig.8 Segmentation and Intersection of Point Clouds

1.2.3 拟合墙壁位置并获取拐角点

根据向量间夹角阈值完成各个墙面点云数据分割后,采用最小二乘算法进行直线拟合,获得墙壁投影线的直线方程 $Y = kX + b$,该墙壁的扫描投影点 (X_i, Y_i) 垂直投影到墙壁所在的直线位置误差为: $e_i = Y_i - kX_i - b$ 。令该墙壁点误差的平方和为 Q :

$$Q = \sum_{i=1}^N e_i^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - kX_i - b)^2 \quad (2)$$

取合适的斜率值 k 与截距值 b 使 Q 值最小,即对 Q 求极值,计算式为:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial k} = 2 \sum_{i=1}^N (Y_i - kX_i - b)(-X_i) \\ \frac{\partial Q}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^N (Y_i - kX_i - b)(-1) \end{cases} \quad (3)$$

当 $\frac{\partial Q}{\partial k} = 0, \frac{\partial Q}{\partial b} = 0$ 时,求得:

$$\begin{cases} k = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_i Y_i) - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2 \sum_{i=1}^N Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N (X_i Y_i)}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \end{cases} \quad (4)$$

根据最小二乘算法拟合得到的直线方程,以相邻两墙壁所在位置的直线方程计算交点。如图 8(b) 所示,该交点即为室内地图中墙壁的拐角点 (X, Y) , 满足计算式:

$$\begin{cases} Y = k_1 X + b_1 \\ Y = k_2 X + b_2 \end{cases} \quad (5)$$

可得:

$$\begin{cases} X = (b_2 - b_1) / (k_1 - k_2) \\ Y = (k_2 b_1 - k_1 b_2) / (k_2 - k_1) \end{cases} \quad (6)$$

式中, k_1, b_1, k_2, b_2 分别为拟合求取的相交墙壁直线方程系数。

扫描推拉窗时,由于内外窗户不在同一平面,导致点云出现分离错层,即该部分窗户生成点云在直线拟合时分割为两条直线,如图 9 所示。本文对相邻两条直线的夹角设置经验阈值,对于夹角小于阈值的两条直线,取直线排序中前一条直线点序列终点与后一条直线点序列起点作为窗户拐角点。

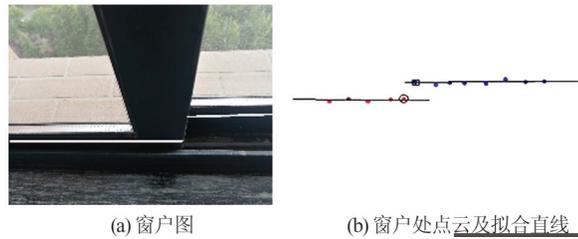


图 9 窗户拐角示意图

Fig.9 Diagram of Tiny Corner

1.2.4 门窗识别及平面图的绘制

将端点与拐角点依序采用直线连接完成一个聚类单元的平面图。对所有聚类单元点云进行处理,获得建筑物室内平面图,如图 10 所示。

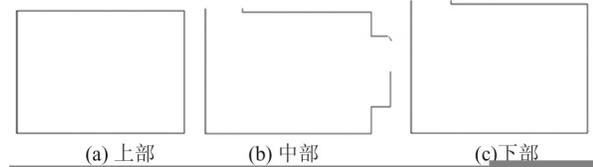


图 10 室内平面图绘制结果

Fig.10 Results of Interior Plan Drawing

以上部平面图为参考,对每个墙壁寻找上层与下层对应位置出现的拐点并计算拐点间距。在建筑物中的门与窗的识别中,门与窗一般有固定的大小,可根据建筑物实际情况设置最小距离,若拐点间距小于最小间距则判断为非门窗位置,若符合阈值范围则进行进一步判断识别。室内点云数据中门与窗的识别流程如图 11 所示。

2 实例分析

2.1 算法实现与点云聚类

本文使用 Riegl-VZ1000 三维激光扫描仪获取数据,单次扫描精度为 5 mm/100 m。以 Visual Studio 2010 为开发平台,结合 C# 语言与 OpenGL 图形库,实现了室内建筑物平面图的自动绘制。

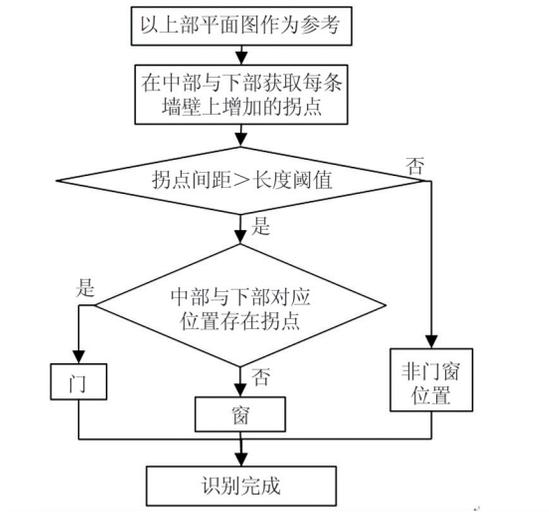


图11 门与窗户识别流程图

Fig.11 Flowchart of Door and Window Identification

以某小区一个未装修的居民住房为研究区域,设置11个扫描站对室内各个结构进行充分扫描,扫描完成后对各个站点数据进行粗拼接和精细拼接,获得室内点云数据。考虑室内窗户的安装位置以及门与屋顶高度等因素,分别截取高度为0.1~0.2 m、1.45~1.55 m、2.55~2.65 m的点云数据,将下、中、上三部分点云分别投影至水平面,结果如图12所示。

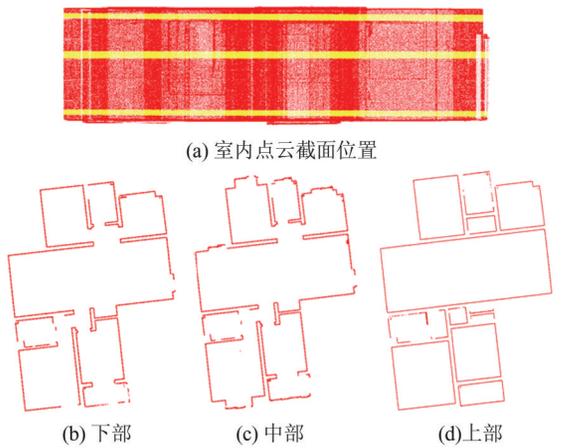


图12 室内点云的截面与投影

Fig.12 Cross-Section and Projection of Indoor Point Cloud

由于该室内最短墙壁长约为10 cm,点云平均间隔为1.2 cm,组成一条墙壁的直线最少需要两个点,因此将格网的长度 d 设置为5 cm,对投影后的点通过基于格网的八邻域聚类算法进行聚类计算。聚类计算完成后根据点云密度,将聚类点数小于5的点集判断为非墙壁点,进行删除。投影后的扫描点聚类结果如图13所示,每一个聚类部分称为一个聚类单元,对每一个聚类单元用包围盒进行表示,计算后得到8个主要聚类单元。

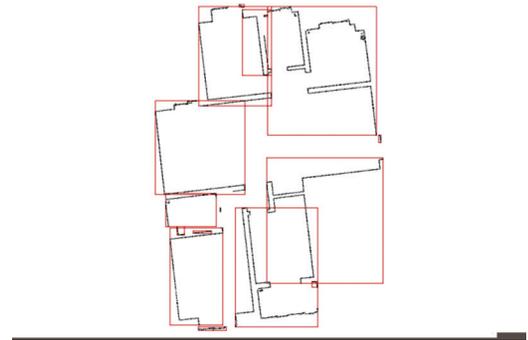


图13 点云聚类单元

Fig.13 Point Cloud Clustering Units

2.2 向量追踪算法实施与对比

以室内投影点的一个聚类单元为例,分别采用IEPF算法、HT算法和向量追踪算法对墙体点云进行处理,结果见图14。由图14可以看出,本文的向量追踪算法能够较好地保存原始数据的几何形态,完成平面图的绘制。

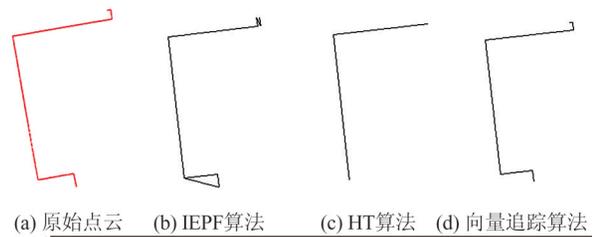


图14 不同算法对墙体点云的处理结果对比

Fig.14 Processing Results of Wall Point Clouds by Different Algorithms

采用向量追踪算法计算时,点云排序的搜索半径 r 设置为10 cm,分割角度阈值设置为 45° 。采用文献[20]中的分析方法,通过精度、召回率和F1综合评价系数3个指标对绘图结果进行对比分析,不同算法绘图效果对比见表1。由表1可以看出,本文的向量追踪算法各项指标参数均优于其他两种对比算法。

表1 不同算法绘图效果对比

Tab.1 Results Comparison of Different Algorithms

算法	精度/%	召回率/%	F1综合评价系数
IEPF算法	95	83	0.88
HT算法	71	100	0.83
向量追踪算法	100	100	1

2.3 室内平面图绘制结果分析

图15为采用向量追踪算法对室内点云数据进行处理,自动绘制的整个室内平面图。本文算法对较短墙壁也可实现完整的提取和绘制,准确度和精确度都符合室内绘制要求。为便于将绘

制的图形兼容于其他系统,开发了 DXF 格式数据交换文件生成功能。

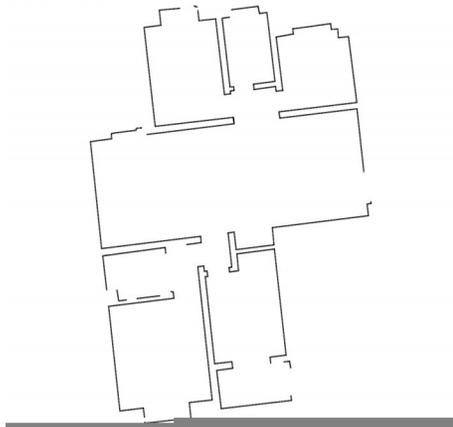


图 15 向量追踪算法室内平面图绘制结果

Fig.15 Result of Point Cloud Vector Tracing Algorithm for Drawing Interior Plan

不同长度的直线分割难度不同,将室内墙壁点云按照长度分为(5, 15] cm、(15, 25] cm、(25, 35] cm 以及 >35 cm 这 4 种不同长度的墙壁点云,对所提算法处理后的直线识别准确率进行分析,结果见表 2。

表 2 不同长度的直线识别准确率

Tab. 2 Line Recognition Accuracy of Different Lengths

墙壁长度/cm	墙壁数量	正确识别数量	正确率/%
(5, 15]	18	16	89
(15, 25]	19	19	100
(25, 35]	25	25	100
>35	28	28	100

表 2 中的正确率是自动分割算法中正确分割直线数量与手动分割点云的直线数量之比。由正确率可以看出,点云向量追踪算法对直线进行提取和分割的效果较好,对长度在(5, 15] cm 的直线识别准确率为 89%,对长度大于 15 cm 的直线识别准确率为 100%。

室内墙壁拐角点的点位精度反映室内平面图的准确性。其中真实墙壁的拐角点有 85 个,由点云向量追踪算法获取的点云投影中拐角点有 78 个,由于室内遮挡的原因相较现实中的拐角点缺少 7 个。本文将点云向量追踪算法获取的墙壁拐角点 (X_f, Y_f) 与根据点云数据进行人工选取三次同一拐角点点位平均值 (X_p, Y_p) 进行对比,点位误差值 $\Delta\epsilon$ 的计算式为:

$$\Delta\epsilon = \sqrt{(X_f - X_p)^2 + (Y_f - Y_p)^2} \quad (7)$$

拐角点的点位精度统计结果见表 3。由表 3

可以看出,室内墙壁拐角的点位整体误差较小,78 个点中有 68 个点的点位误差不超过 4.5 mm。存在几个点位误差较大的拐点,经分析是由于较短直线的点云数量较少,进行最小二乘拟合直线与真实墙壁所在直线的偏差较大,造成拐角点点位误差较大。

表 3 拐角点位误差统计

Tab. 3 Statistics of Corner Point Position Errors

点位误差/mm	拐角数量
(0, 1.5]	13
(1.5, 3.0]	26
(3.0, 4.5]	29
(4.5, 10]	10

3 结 语

本文结合当前对室内空间开发应用的巨大需求,完成室内平面图自动绘制算法,主要成果与结论如下:

1)建立了点云向量追踪室内平面图自动绘制的算法流程,主要包括基于网格的点云聚类、均值化点云抽稀、向量追踪点云分割等关键模块。实验结果表明,本文算法对未装修的房屋有较高的直线分割准确率,对边长大于 15 cm 的墙体分割准确率为 100%,对边长在(5, 15] cm 的墙体分割准确率为 89%。采用分割后的点拟合直线求取交点即拐角点,由端点和拐角点依序连线完成平面图的绘制。

2)本文算法紧扣目前主流房屋结构的空间分布特征,对于快速发展的基于 SLAM(simultaneous localization and mapping)的机器人和背包式激光扫描仪等进行室内扫描并绘制矩形空间分布的房屋平面图,具有一定的借鉴意义。使用 C# 编程语言并结合 OpenGL 以及 DXF 数据结构开发了应用程序,形成了稳定的函数模块和接口,为本文算法的推广奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] Weerakoon T, Ishii K, Nassiraei A A F. Geometric Feature Extraction from 2D Laser Range Data for Mobile Robot Navigation[C]//2015 IEEE 10th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), Peradeniya, Sri Lanka, 2015
- [2] Wei Shuangfeng, Liu Minglei, Zhao Jianghong, et al. A Survey of Methods for Detecting Indoor Navigation Elements from Point Clouds[J]. *Geomatics*

- and *Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 2 003-2 011 (危双丰, 刘明蕾, 赵江洪, 等. 利用点云检测室内导航元素的方法综述[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 2 003-2 011)
- [3] Nguyen Tien Thanh, Liu Xiuguo, Wang Hongping, et al. 3D Model Reconstruction Based on Laser Scanning Technique [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, 48 (8) : 112-117 (Nguyen Tien Thanh, 刘修国, 王红平, 等. 基于激光扫描技术的三维模型重建[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48 (8): 112-117)
- [4] Wang Peng, Liu Rufei, Ma Xinjiang, et al. An Automatic Extraction Method for Pole-Like Objects from Vehicle-Borne Laser Point Cloud[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(7): 1 035-1 042 (王鹏, 刘如飞, 马新江, 等. 一种车载激光点云中杆目标自动提取方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(7): 1 035-1 042)
- [5] Zhu Qing, Li Shiming, Hu Han, et al. Multiple Point Clouds Data Fusion Method for 3D City Modeling [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12) : 1 962-1 971 (朱庆, 李世明, 胡翰, 等. 面向三维城市建模的多点云数据融合方法综述[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 1 962-1 971)
- [6] Garulli A, Giannitrapani A, Rossi A, et al. Mobile Robot SLAM for Line-Based Environment Representation [C]//44th IEEE Conference on Decision and Control, Seville, Spain, 2005
- [7] Man Zengguang, Ye Wenhua, Lou Peihuang, et al. Line Feature Extraction Based on Adaptive Threshold in Range Images[J]. *Journal of Shenzhen University Science and Engineering*, 2011, 28(6) : 483-488 (满增光, 叶文华, 楼佩煌, 等. 基于自适应阈值的距离图像线段特征提取[J]. 深圳大学学报(理工版), 2011, 28(6): 483-488)
- [8] Borges G A, Aldon M J. Line Extraction in 2D Range Images for Mobile Robotics[J]. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2004, 40(3): 267-297
- [9] Vandorpe J, Van Brussel H, Xu H. Exact Dynamic Map Building for a Mobile Robot Using Geometrical Primitives Produced by a 2D Range Finder [C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, USA, 1996
- [10] Borges G A, Aldon M J. A Split-and-Merge Segmentation Algorithm for Line Extraction in 2D Range Images[C]//15th International Conference on Pattern Recognition(ICPR-2000), Barcelona, Spain, 2000
- [11] Nguyen V, Gächter S, Martinelli A, et al. A Comparison of Line Extraction Algorithms Using 2D Range Data for Indoor Mobile Robotics[J]. *Autonomous Robots*, 2007, 23(2) : 97-111
- [12] Choi Y H, Lee T K, Oh S Y. A Line Feature Based SLAM with Low Grade Range Sensors Using Geometric Constraints and Active Exploration for Mobile Robot [J]. *Autonomous Robots*, 2008, 24 (1) : 13-27
- [13] Tian Pengju, Mei Wensheng, Hua Xianghong, et al. A Method for Generating Building Sectional Drawing Using 3D Laser Point Cloud Data[J]. *Journal of Geomatics*, 2020, 45(4) : 88-92 (田朋举, 梅文胜, 花向红, 等. 一种基于点云数据快速生成建筑物断面图的方法[J]. 测绘地理信息, 2020, 45 (4) : 88-92)
- [14] He X, Cai Z H. Feature Extraction from 2D Laser Range Data for Indoor Navigation of Aerial Robot [C]//2013 Chinese Automation Congress, Changsha, China, 2013
- [15] Zhan Yifei, Yang Bisheng. An Automatic Indoor Plan Generation Method Based on Robust LiDAR Point Cloud Normal Estimation [J]. *Geomatics World*, 2017, 24(1): 92-96 (湛逸飞, 杨必胜. 基于LiDAR点云法向量稳健估计的室内平面图自动生成方法[J]. 地理信息世界, 2017, 24(1): 92-96)
- [16] Zheng Dehua. ICP Algorithm and Application in the Data Registration of Building Scanning Point Cloud [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2007, 32 (2) : 31-32 (郑德华. ICP算法及其在建筑物扫描点云数据配准中的应用[J]. 测绘科学, 2007, 32 (2) : 31-32)
- [17] He Jun. ICP Registration Algorithm Based on Closet Point Searching in Local Plane Projection[J]. *Journal of Geomatics*, 2019, 44(4) : 86-89 (何君. 基于局部拟合平面投影搜索最近点的ICP配准[J]. 测绘地理信息, 2019, 44(4) : 86-89)
- [18] Qu Yayun, Cheng Yinglei, Qiu Langbo. An Improved Method of Extracting 3D Features of Buildings Based on Eight Neighborhood Search Method [J]. *Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition)*, 2015, 16(4) : 66-69 (屈亚运, 程英蕾, 邱浪波. 改进的八邻域搜索提取建筑物立体特征方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2015, 16(4) : 66-69)
- [19] Heng Xingchen, Luo Junjie, Guo Junwen, et al. Approximate Query Algorithm Based on Eight-Neighbor Grid Clustering for Heterogeneous XML Documents [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2007, 41(8) : 907-911 (衡星辰, 罗俊颀, 郭俊文, 等. 八邻域网格聚类的多样性XML文档近似

- 查询算法[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(8): 907-911)
- [20] Peng Chen, Yu Bailang, Wu Bin, et al. A Method for Semiautomated Segmentation of Building Facade from Mobile Laser Scanning Point Cloud Based on Feature Images and SVM[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2016, 18(7): 878-885 (彭晨, 余柏菡, 吴宾, 等. 基于移动激光扫描点云特征图像和 SVM 的建筑物立面半自动提取方法[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(7): 878-885)

A Point Cloud Vector Tracing Algorithm for Automatic Drawing of Interior Plan

CAI Lailiang¹ SONG Deyun¹ HU Qingfeng¹ WEI Fengyuan¹ SHU Qianjin²

¹ School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China

² School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

Abstract: Objectives: According to the spatial attitude characteristics of the indoor walls, a point cloud vector tracking algorithm for automatically drawing the indoor plan was proposed. **Methods:** Firstly, the indoor wall point cloud with a certain thickness was intercepted and projected onto the horizontal plane, and square grids were established on the projection plane. The plane points after projection were segmented and managed, and the point cloud in every grid was clustered by the eight neighborhood algorithm. Then the grid center of gravity method was used to generate sparse points, which were tracked and sorted according to the distance between points in the neighborhood and the angle of connection vector. The vector sequence of tracking direction was established, and the point cloud segmentation of different walls was completed combined with mutation of angle between adjacent values in the vector sequence. Finally, the least squares algorithm was used to fit the line of the same wall point cloud, and the intersection point of the adjacent wall line was obtained. **Results:** The plane projection line segment of the house wall and its spatial connection relationship were established. The wall projection line segment was output in sequence. The drawing of the house plan was completed and the DXF format data exchange file was exported. **Conclusions:** The proposed algorithm was verified by the analysis of indoor scanning data of a residential building. The results show that the proposed algorithm can accurately and quickly analyzed and processed the indoor laser scanning point cloud, and completed the drawing of interior plan.

Key words: 3D scanning; interior plan; vector tracing; point cloud clustering; point cloud extraction; point cloud segmentation

First author: CAI Lailiang, PhD, associate professor, specializes in mining subsidence and point cloud processing. E-mail: ell@hpu.edu.cn

Corresponding author: SONG Deyun, master. E-mail: 643823940@qq.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China(41701597, U1810203); the Postdoctoral Science Foundation of China(2018M642746).

引文格式: CAI Lailiang, SONG Deyun, HU Qingfeng, et al. A Point Cloud Vector Tracing Algorithm for Automatic Drawing of Interior Plan[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(9): 1404-1411. DOI: 10.13203/j.whugis20190258 (蔡来良, 宋德云, 胡青峰, 等. 自动绘制室内平面图的点云向量追踪算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(9): 1404-1411. DOI: 10.13203/j.whugis20190258)