

蚁群算法的建筑立面点云数据提取

刘亚文¹ 庞世燕¹ 左志奇^{1,2}

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)
(2 75719 部队,武汉市东湖东路 15 号,430074)

摘 要:提出了一种基于蚁群算法的地面激光扫描数据建筑物立面提取方法,该方法可以有效地区分沿街 LiDAR 扫描景观数据中建筑物立面和位于其前方的树木、街灯、行人、停靠车辆等遮挡物。三组真实的地面激光点云的实验结果表明,该方法能准确、有效地提取建筑物立面点云数据。
关键词:地面激光扫描;蚁群算法;建筑立面提取
中图法分类号:P237.3

随着街景在城市规划、虚拟现实、文化遗产等方面应用需求的不断增长,传统的利用影像进行三维街景重建的方法由于工作量大、耗时长,很难满足需求。激光雷达的出现为街景的快速重建提供了新的可能。对于建筑物立面的重建,首要目标是将遮挡物和错误点从扫描数据中剔除,实现建筑物立面数据的提取。目前常用的方法是通过人机交互的方式剔除非建筑物数据^[1],但这种方式自动化程度不高,工作量较大。因此,许多学者对于建筑物立面数据自动提取方法进行了大量的研究^[1-4],许多算法在遮挡物较少、建筑物结构比较简单 的情况下,可以得到较好的效果;但当遮挡物较多、建筑形状较复杂时,提取效果还有待进一步提高。本文根据建筑物立面具有的垂直几何特性,提出了一种基于激光点云投影俯视图的蚁群算法提取沿街建筑物立面的方法。整个过程如图 1 所示。

1 沿街景观点云投影俯视图生成

由地面获取的沿街景观点云数据可以发现,建筑物前通常会有树木、街灯等物体存在,两者在俯视图上的可分性较为明显。本文充分利用街景点云数据俯视图的特点,将点云投影到平面上,根据投影点云重采样生成投影俯视图。首先以点云

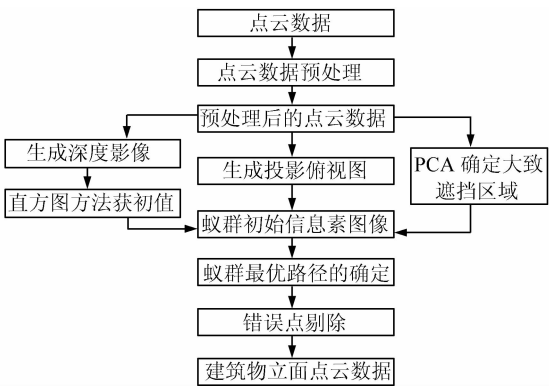


图 1 建筑立面点云提取流程图
Fig. 1 Processes of Building Facade Extraction

数据平面坐标的最大值和最小值确定矩形区域,以一定格网大小重采样,统计点云落在格网中的数目;然后根据设定的阈值生成点云投影俯视图,格网内点数大于阈值的以阈值显示,小于阈值的保持不变,最后拉伸到 0~255 灰度显示,得到 255 个灰度级的点云投影俯视图。
在本文方法中,有两处地方利用了点云投影俯视图,一处是在点云数据预处理过程中,另一处是在初始信息素图像的生成过程中。其中在点云数据预处理过程中,为了定位立面所在处,突出立面信息,阈值设定为点云格网中点数最大值;而在初始信息素图像的生成过程中,主要目的是服务建筑物和遮挡物的区分,通过降低点数较高的建

筑物立面区域的亮度和提高点云稀疏的树木等遮挡物区域的亮度来增强两者的可分性,此过程采用自适应确定阈值。

2 基于蚁群算法的沿街建筑物遮挡去除

蚁群算法是一种基于种群寻优的启发式搜索算法^[6],目前,这种算法已在动态资源配置、运动规划、镶嵌线自动选择^[6]、水库群优化调度^[7]、遥感图像分割^[8]、图像边缘检测^[9]等方面取得了可喜的研究成果。建筑物立面和遮挡物之间分割线的确定也属于寻找最优解的一种情况,因此本文采用蚁群算法来确定最优分割线,实现建筑物与遮挡物的有效分离。

2.1 点云数据预处理

为了方便后续处理,算法将获得的点云数据进行旋转,使建筑物主体立面近似水平。采用在点云投影俯视图上利用霍夫变换提取最长直线,获得其对应的 ρ 和 θ , θ 值即为建筑物主体立面的角度值,依据该角度值对整个点云数据进行旋转。

2.2 PCA 确定大致遮挡区域

PCA 又称主分量分析,也称经验正交分解或者特征向量分解,是一种利用降维思想把多个指标转化成少数几个指标的一种多元统计方法^[10]。该方法利用点云数据中某一点周围的点集,通过计算正交特征向量和大于0的特征值确定该点的维数信息^[11]。为了有效地判断出遮挡区域的大致位置,对点云数据进行 PCA 主成分分析,结果如图2所示。图2中浅灰色表示线状点,白色表示面状点,深灰色表示体状点。由于建筑物具有平面和线状结构,所以体状点被认为是遮挡点。本文根据点云数据中标记的体状点生成遮挡区域投影俯视图。

2.3 初始分割线的确定

本文采用直方图的方法在点云深度图上确定蚁群算法中建筑物与遮挡物的初始分割线。建筑及建筑附属结构在深度图像^[5]上表现为具有一致的深度值,因此在直方图上会出现较陡峭的峰,而遮挡物深度不一,参差不齐,因此在直方图上为较为平缓的峰。考虑到建筑立面存在多个深度值的情况,建筑物与遮挡物初始分割线的搜索范围为坐标系原点到直方图最大值所对应的深度值。以该直方图最大值的1/2为阈值,查找是否存在大于该阈值的点,若存在,由该点对应的深度值向原点方向搜索,否则,由直方图最大值对应的深度值

向原点方向搜索,查找到的直方图值递减且接近于0所对应的深度值即为初始分割线的位置,如图3所示。

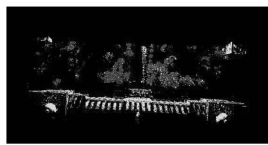


图2 PCA 结果分色显示

Fig. 2 Color Display
of PCA Results

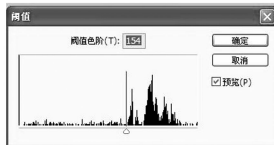


图3 初始分割线

Fig. 3 Initial
Split Line

2.4 信息素图像的生成

当获得了蚁群算法初始分割线后,将点云投影俯视图和遮挡区域图叠加,利用式(1)生成蚂蚁的初始“信息素”图像:

$$P(x, y) = \begin{cases} 255 * \left(1 - \frac{g(x, y)}{255}\right) * \left(1 - \frac{d(x, y)}{d_{\max}}\right), & I < I_{\text{facade}} \\ 0, & I \geq I_{\text{facade}} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $P(x, y)$ 为该点对应的信息素值; $g(x, y)$ 为叠加图中 x, y 处的灰度值; $d(x, y)$ 为该点距离初始分割线的距离; d_{\max} 为允许偏离的最大距离; I_{facade} 为统计的最大点数所在行,认为是主立面所在处。这主要是考虑点云的特征,将主立面后的区域设定为蚂蚁不能通过的区域。该公式表示越靠近初始分割线的点,权值越大,计算得到的信息素就越大,蚂蚁通行过程中选择的概率就越大。

2.5 最优路径的确定

通过模拟每只蚂蚁寻找食物过程中的正反馈原理,按照蚂蚁运动规则,采用一定数量的蚂蚁在信息素图像上运动,并实时更新信息素,以信息素总和最大为标准获得最优路径^[6]。

1) 在初始分割线的开始处放置一只蚂蚁,作为路径搜索的起点,根据轮盘赌原则从下一列像素中当前点附近的若干个路径点中选择一个点作为该蚂蚁的下一个路径点。

2) 重复步骤1),直到蚂蚁到达路径点的最后一列,在路径表中记录下该蚂蚁所经过的所有路径点。

3) 将蚂蚁路径表中记载的路径点上的信息素进行更新,每次更新值 P_0 。

4) 将当前路径表与最优路径记录进行比较,判断是否更新最优路径记录。

5) 重复步骤1)~4),直至达到循环次数或者路径收敛为止。

3 错误点的剔除

将去除了遮挡物后的点云投影俯视图二值化,然后对该二值化图像进行膨胀、腐蚀、区域增长、去除小面元等操作,得到建筑立面点云数据。

1) 图像的膨胀。由于遮挡等的影响,建筑上有的区域点云稀少,导致建筑立面在二值图上会出现断裂现象。图像膨胀是保留建筑立面断裂小面元和稀少缝隙点云的有效途径。图像膨胀采用的方法是以某像素及其八邻域作为一个模板,然后根据模板来判断该点是否增加,目的是使建筑立面的整个曲线能够连接起来,保证后续处理的完整性与连续性。

2) 图像的腐蚀。由于前面膨胀处理的作用,使原来的图形变粗变宽了,腐蚀处理的作用是将目标图形收缩,使边界向内部收缩。这里图像腐蚀采用的方法是以某像素及其八邻域作为一个模板,然后根据模板来判断该点是否删除,目的是减少不属于建筑立面的点云数据,减少立面点中的错误点。

3) 区域增长,并删除小面元区域,获得建筑立面区域。对腐蚀后的图像进行区域增长,得到一个个的标志区域,并将区域面积小于一定阈值的小面元删除,获得最终的建筑立面区域。

4) 根据获得的立面区域分割点云数据。遍历所有点云数据,保留属于建筑立面区域的点云数据,对不属于建筑立面的点云赋予相应的标志,即可得到建筑立面点云数据。

4 实验结果与分析

实验采用 Riegl VZ-400 地面激光扫描仪获得的三组街景数据,第一组点云数据(见图 4(a))的点云总数为 181 860 个,采样间隔为 0.08°。该建筑物主体前有门廊状的附属结构,左右上方为圆球状顶部。第二组点云数据(见图 4(b))的点云总数为 1 400 059 个,采样间隔为 0.046°,该建筑主立面表现为与地面垂直,立面中央为伸出的外阳台。第三组点云数据(见图 4(c))的点云总数为 1 836 734 个,采样间隔为 0.057°。三组数据中,建筑物前方均有树木、车辆等遮挡物。利用蚁群算法去除沿街遮挡物的结果如图 5 所示。

图 5(a)、5(b)、5(c) 为旋转后的沿街景观点云密度俯视图,其旋转角度分别为 -26°、0°、37°(负号表示顺时针方向旋转),其重采样间隔均为

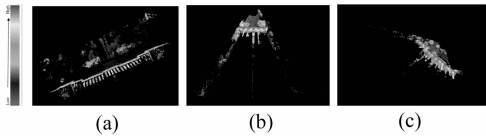


图 4 三组原始点云数据
Fig. 4 Three Original Datasets

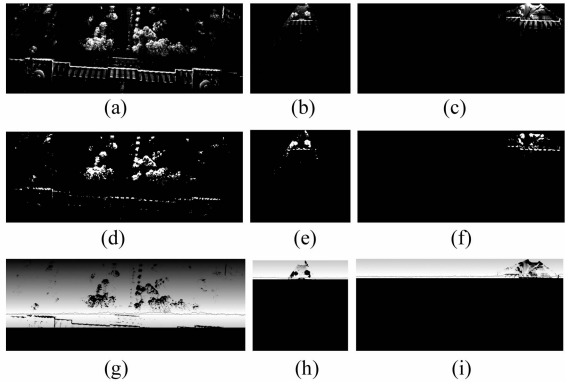


图 5 蚁群算法去除沿街遮挡物的具体过程
Fig. 5 Specific Processes of the Ant Colony Algorithm

0.2 m,图 5(d)、5(e)、5(f)为根据 PCA 获得的遮挡区域,其采样间隔也为 0.2 m。图 5(g)、5(h)、5(i)为生成的信息素图像,直线为初始分割线,曲线为最终分割线,其中蚂蚁路径搜索的可行邻域范围 k 设置为 2, P_0 为 10(像素值每次增加 10),最大迭代次数为 10 000。

将去除遮挡物后的点云数据投影俯视图二值化,并进行膨胀、俯视、区域增长、去除小面元处理后,得到建筑立面对应的点云区域,具体结果见图 6。提取的建筑立面点云数据结果如图 7 所示。



图 6 错误点的剔除
Fig. 6 Error Points Removal

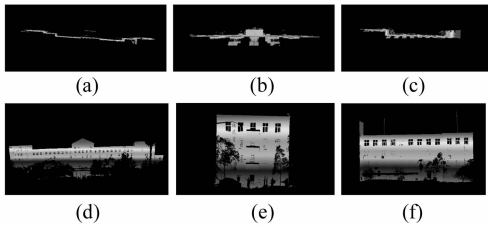


图 7 建筑物立面数据提取结果
Fig. 7 Results of Building Facade Segmentation

图 7(a)、7(b)、7(c)为提取出的立面点云的俯

视图,图 7(d)、7(e)、7(f) 为提取出的立面点云的平视图,图中建筑物立面上的黑色斑块为遮挡物产生的数据漏洞或是窗户引起的“洞”^[10]。图 7(e)中的右上角是一棵植被引起的错误点云,图 7(f)中屋顶上的两根直立的线状地物是避雷针,由于植被、避雷针与建筑立面在一个垂直面上,所以利用本文方法将其作为建筑物立面数据提取出来。

5 结 语

本文提出了一种基于蚁群算法的建筑立面点云数据提取方法,通过生成点云投影俯视图,将复杂的三维数据处理转化为二维图像处理问题,并将最优分割线的寻找问题转化为蚂蚁的最优路径寻找问题,适应性较好,可以实现较为复杂的建筑物(带有复杂附属结构)点云数据提取。该方法也面临一些问题,如由于窗户框架和窗帘的激光数据点在投影俯视图上与建筑物立面相连,因此这些点也会作为建筑物立面数据点被提取出来,见图 7(b)和 7(c)。本文后续的研究工作将集中在建筑物立面三维重建及纹理粘贴方面,进而实现沿街真实景观的三维重建,服务于城市规划、虚拟现实等领域的应用。

参 考 文 献

[1] 张志超. 融合机载与地面 LiDAR 数据的建筑物三维重建研究[D]. 武汉:武汉大学,2010

[2] 李必军,方志祥,任娟. 从激光扫描数据中进行建筑物特征提取研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2003,28(1):65-70

[3] 王健,靳奉祥. 基于车载激光测距的建筑物立面信息提取[J]. 山东科技大学学报·自然科学版,

2004,23(4):8-11

[4] 黄磊,卢秀山,陈传法. 基于激光扫描仪数据的建筑物立面特征信息提取[J]. 测绘科学,2006,31(6):141-142

[5] Frueh C, Jain S, Zakhor A. Data Processing Algorithms for Generating Texture 3D Building Facade Meshes from Laser Scans and Camera Images[J]. International Journal of Computer Vision 2005, 61(2): 159-184

[6] 张剑清,孙明伟,张祖勋. 基于蚁群算法的正射影像镶嵌线自动选择[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2009,34(6):675-678

[7] 陈立华,梅亚东,杨娜,等. 混合蚁群算法在水库群优化调度中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版),2009,42(5):661-664,668

[8] 刘翔,武红敢,温庆可. 基于遗传和蚁群组合算法优化的遥感图像分割[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2009,34(6):679-683

[9] 苗京,黄红星,程卫生,等. 基于蚁群模糊聚类算法的图像边缘检测[J]. 武汉大学学报(工学版),2005,38(5):124-127

[10] 赵海霞,武建. 浅析主成分分析方法[J]. 科技信息,2009(2):87

[11] Demantk'e J, Mallet C, David N, et al. Dimensionality Based Scale Selection in 3D LiDAR Point Clouds[C]. ISPRS Workshop, Laser Scanning, Calgary, Canada 2011

[12] Pu S, Vosselman G. Extracting Windows from Terrestrial Laser Scanning[C]. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Espoo, Finland, 2007

第一作者简介:刘亚文,博士,副教授,研究方向为数字摄影测量与计算机视觉。
E-mail:liuyawen70@126.com

Ant Colony Algorithm for Building Facade Points Extraction

LIU Yawen¹ PANG Shiyan¹ ZUO Zhiqi^{1,2}

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)
(2 75719 Troops, 15 East Donghu Road, Wuhan 430074, China)

Abstract: We present an automatic building facade extraction approach based on terrestrial laser scanning points, which effectively use the ant colony algorithm to remove the occlusions and get rid of the error points caused by windows. The method is tested with terrestrial point clouds of three different street scenes. The results show that the method is effective.
Key words: terrestrial laser scanning; ant colony algorithm; building facade extraction

About the first author: LIU Yawen, Ph. D, associate professor, majors in digital photogrammetry and computer vision.
E-mail: liuyawen70@126.com