

DOI:10.13203/j.whugis20180428



文章编号:1671-8860(2020)05-0753-07

# 一种古建筑点云数据的语义分割算法

张瑞菊<sup>1,2,3</sup> 周 欣<sup>1,4</sup> 赵江洪<sup>1,2,3</sup> 曹 阔<sup>5</sup>

1 北京建筑大学测绘与城市空间信息学院,北京,102616

2 代表性建筑与古建筑数据库教育部工程中心,北京,102616

3 建筑遗产精细重构与健康监测重点实验室,北京,102616

4 武汉珞珈新空科技有限公司,湖北 武汉,430223

5 北京建工建筑设计研究院,北京,102616

**摘要:**针对目前从三维激光扫描点云中进行古建筑木构件分割较难的现状,提出一种对古建筑点云数据进行精确、快速语义分割的新算法。该算法首先对点云进行去噪处理;然后利用古建筑结构特性定义与柱构件相交且垂直于坐标系竖轴的一个截面并提取截面点云;接着利用点云欧氏聚类的方法从截面点云数据中提取对应于柱构件的点云并估计柱构件参数,进而基于罗德里格旋转矩阵将古建筑点云数据自动转正,使点云三维坐标系的竖轴严格垂直于地面;最后基于模型拟合的方法分割出柱构件点云,并利用古建筑几何结构、尺寸等信息采用基于包围盒的方法对其他木构件(如梁、枋等)进行分割。为了验证算法的稳健性与可行性,选取亭子类古建筑点云数据进行实验与分析。结果表明,该算法具有一定的可行性与稳健性,为古建筑点云的自动语义分割提供了思路与方法。

**关键词:**三维激光扫描;古建筑;木构件;点云;语义分割

中图分类号:P237

文献标志码:A

三维激光扫描测量具有快速、准确、非接触等特性,可直接获取物体表面三维密集的点云,在古建筑数字化保护方面起着非常重要的作用<sup>[1]</sup>。目前,随着相关技术的发展,三维激光扫描测量在硬件装备、三维点云数据处理及应用等方面取得了巨大进步,同时也面临新的挑战<sup>[2]</sup>。由于古建筑结构复杂,场景规模宏大,获取的三维激光点云往往具有数据量大、离散性、噪声和漏洞严重等问题,因此,如何快速、高效地处理古建筑点云数据是当前需要解决的难题。

木构件作为古建筑的基本组成部分,一般结构较复杂,而古建筑数字化保护的诸多应用需要从古建筑点云中分割出木构件点云,如古建筑的建筑信息模型、形变监测、数字化存档等<sup>[3-5]</sup>。目前,分割木构件点云的方法主要是利用第三方软件平台手动对古建筑点云数据进行分割,其效率低下,成为制约该技术深入推广的主要瓶颈。古

建筑和现代建筑完全不同,它是由成千上万的柱、础、料、栱、梁、瓦等木构件按照一定的拼接顺序组装成高大宏伟的建筑物,建筑过程不用一钉一铆,全靠料栱和柱梁镶嵌穿插相连。如何精准、高效地从古建筑点云数据中分割出木构件是当前研究的热点,也是本文研究的重点。

点云数据的分割作为三维特征提取、目标识别、定位和建模等应用的一个重要步骤,一直是一个十分活跃的研究领域,国内外许多学者对此进行了大量研究<sup>[6-14]</sup>。Grilli等<sup>[6]</sup>和Nguyen等<sup>[7]</sup>分别对点云分割算法进行了详细的总结及优缺点分析。现有的点云数据分割算法主要有基于边缘的方法<sup>[8]</sup>、基于区域增长的方法<sup>[9-10]</sup>、基于混合的方法<sup>[11]</sup>、基于模型拟合的方法<sup>[12-13]</sup>和基于机器学习的方法等<sup>[14]</sup>。每种方法都有它的优缺点及适用性,如基于边缘的方法检测边缘困难且存在间隙,基于区域增长的方法受限于种子点的选择

收稿日期:2019-09-28

项目资助:国家自然科学基金(41501495,41601409);北京建筑大学市属高校基本科研业务费专项资金(X18228,X18290);精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室开放研究基金(PF2013-1);北京市自然科学基金(8172016);城市空间信息工程北京市重点实验室开发研究基金(2018210)。

第一作者:张瑞菊,博士,讲师,主要从事三维激光点云数据处理研究。zhangruiju@bucea.edu.cn

通讯作者:周欣,硕士。bingchengguyan@foxmail.com

且对噪声敏感,基于模型拟合的方法只能分割平面、柱面、球面等基本模型,基于混合的方法比较耗时,基于无监督分类的机器学习方法对噪声比较敏感等。早期的点云分割算法只是将具有某种共性的点集分为一类,如分为平面点集、球面点集、柱面点集等,缺乏高层语义信息。

常用的点云语义分割算法主要有基于层次提取的语义分割算法<sup>[15-16]</sup>和基于深度学习的语义分割算法<sup>[17-19]</sup>。前者是基于分割对象的特性进行多层次提取,后者需要大量的实验数据进行机器学习,而现在还没有大量已标注的古建筑点云数据用于训练。目前广泛使用的标准数据集(如 Semantic3D.net<sup>[20]</sup>、Stanford Large-scale 3D Indoor Spaces Dataset (S3DIS)<sup>[15]</sup>等)与本文研究的古建筑类型不同,结构也不同,相应的语义分割算法也存在局限性。

综上所述,针对中国古建筑的特性,需要研究相应的点云语义分割算法。针对此问题,本文充分利用古建筑结构布局的特点,基于古建筑点云数据提取的竖直轴向、柱列轴线及构件尺寸等信息自动分割出木构件对应的点云数据,提出了一种古建筑点云的语义分割算法。经实验数据验证,本文算法的分割效果较好,提高了古建筑点云数据分割的自动化程度。

## 1 点云语义分割算法原理

考虑到每栋单体古建筑在空间上的独立性及效率问题,先手工从古建筑场景点云数据中选取单体古建筑点云,并检查点云数据的三维坐标系的竖轴是否大致竖直,如果不满足要求,需作人工目视转正处理。

为了给分割算法提供精确可靠的点云数据,首先对点云数据进行自动去噪处理;然后自动计算与柱构件相交且垂直于点云三维坐标系竖轴的一个截面并提取出截面点云数据;接着利用点云欧氏聚类的方法从截面点云中提取对应于柱构件的点云数据并估计柱构件参数;进而基于罗德里格旋转矩阵将古建筑点云数据自动转正,使点云三维坐标系的竖轴Z严格垂直于地面,从而使算法在Z维度上的处理更为简单、高效,此时对于部分构件分割的难题便可以由三维向二维过渡,较大程度上提升算法的效率,降低算法的复杂程度;最后基于模型拟合的方法分割出柱构件点云,并利用古建筑几何结构、尺寸等信息采用基于包围盒的方法对其他木构件(如梁、枋等)进

行分割。木构件分割算法流程图如图1所示。

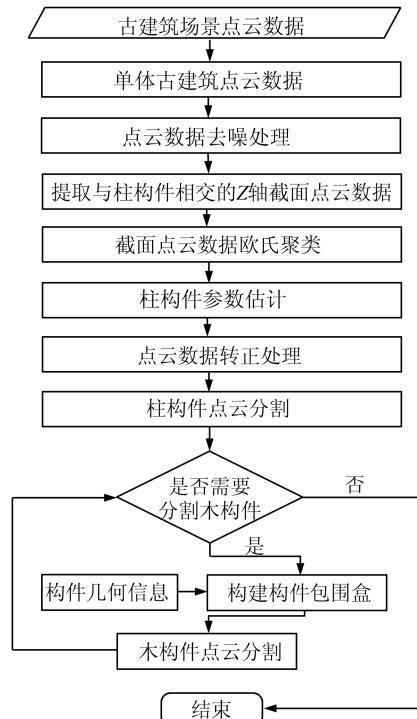


图1 木构件分割流程图

Fig.1 Flowchart of Wooden Elements Segmentation

### 1.1 点云数据去噪处理

由于点云数据处理算法对噪声极为敏感,所以本算法首先自动对点云数据进行去噪处理。由于从古建筑场景点云数据中准备单体古建筑点云数据时,已将环境噪声去除,此处主要处理的是目标噪声。处理的方法为:先构建kd-tree,以便对每个采样点的邻近域进行获取;设定阈值 $r$ 为kd-tree的搜索半径,然后通过kd-tree对每个采样点以 $r$ 为半径进行邻域搜索,获取半径为 $r$ 内的所有采样点;如果该邻域内的采样点个数 $k$ 小于指定阈值 $k_0$ ,即认为该采样点为噪声点。阈值一般根据点云密度设置。噪点去除示意图如图2所示。

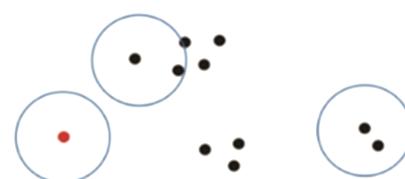


图2 噪点去除示意图

Fig.2 Diagram of Noise Removal

### 1.2 截面点云数据欧氏聚类

点云数据去噪处理后,求解点云在三维坐标系竖轴Z上的最小值和最大值,分别设为

$Z_{\min}$ 、 $Z_{\max}$ 。根据目标古建筑的几何结构,分析柱构件高度在Z轴中的长度占比 $s(0 < s < 1)$ ,计算与柱构件相交且垂直于Z轴的截面高度 $Z_0$ ,其计算公式为:

$$Z_0 = Z_{\min} + \frac{s}{3} \cdot (Z_{\max} - Z_{\min}) \quad (1)$$

对每个采样点 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ 提取满足条件 $Z_0 - 0.3 \leq z_i \leq Z_0 + 0.3$ 的采样点作为截面点云数据。提取的截面点云数据属于若干个柱构件对应的点云数据,根据欧氏聚类方法<sup>[21]</sup>对其进行聚类,得到 $n$ 个柱构件对应的部分点云数据。

### 1.3 柱构件参数估计

利用§1.2分割出的柱构件部分点云数据,分别估计其对应的柱构件几何参数<sup>[1]</sup>,采用的数学模型为:

$$(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2 + (z_j - z_0)^2 - (n_x(x_j - x_0) + n_y(y_j - y_0) + n_z(z_j - z_0))^2 - R^2 = 0 \quad (2)$$

式中,( $x_j, y_j, z_j$ )为圆柱面上一采样点的三维坐标;( $x_0, y_0, z_0$ )为圆柱轴线上一点的三维坐标;( $n_x, n_y, n_z$ )为圆柱单位轴向量; $R$ 为圆柱半径。目标柱构件对应的截面点云坐标的重心坐标作为( $x_0, y_0, z_0$ )的初始值,(0,0,1)作为( $n_x, n_y, n_z$ )的初始值,目标柱构件对应的截面点云到( $x_0, y_0, z_0$ )的欧氏距离平均值作为 $R$ 的初始值,利用Levenberg-Marquardt方法计算出参数( $x_0, y_0, z_0$ )、( $n_x, n_y, n_z$ )和 $R$ 。

### 1.4 点云数据转正处理

当估算出柱构件的轴向量后,还需要确保轴向量的方向一致。假定 $N_i(n_{ix}, n_{iy}, n_{iz})$ 为第*i*个柱构件的单位轴向量, $N_0(0, 0, 1)$ 为Z轴的单位向量,如果满足下式:

$$N_0 \cdot N_i < 0 \quad (3)$$

则对 $N_i$ 进行处理,得到 $N_i(-n_{ix}, -n_{iy}, -n_{iz})$ ;否则不作处理。将处理后的*n*个柱构件轴向量相加取平均值,再进行单位化处理,设得到的单位向量为 $\bar{N}(n_x', n_y', n_z')$ ,建立以该向量为Z轴的转正之后的三维坐标系。依据罗德里格矩阵方法,计算从点云所在的三维坐标系到转正之后的三维坐标系的旋转矩阵 $R(\theta)$ ,具体方法如下:

依据余弦定理,计算向量 $\bar{N}$ 和 $N_0$ 之间的夹角 $\theta$ :

$$\theta = \arccos\left(\frac{\bar{N} \cdot N_0}{|\bar{N}| |N_0|}\right) \quad (4)$$

由空间几何的基本原理易知,同时垂直于 $\bar{N}$ 和 $N_0$ 的向量为 $\bar{N} \times N_0$ ,将其设为 $N_r(n_{rx}, n_{ry}, n_{rz})$ ,为方便后续处理,此处设其为单位向量。则 $R(\theta)$ 满足如下关系:

$$R(\theta) = E + \bar{w} \sin \theta + \bar{w}^2 (1 - \cos \theta) \quad (5)$$

式中, $E$ 为3阶单位矩阵; $\bar{w}$ 为 $N_r$ 的反对称矩阵,具体的表达式为:

$$\bar{w} = \begin{bmatrix} 0 & -n_{rz} & n_{ry} \\ n_{rz} & 0 & -n_{rx} \\ -n_{ry} & n_{rx} & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

利用该旋转矩阵对点云数据进行空间变换,找出坐标变换之后点云数据中最小的Z轴坐标,记作 $Z_{\min}'$ ,旋转之后的点云数据与地面垂直。为确保点云数据在Z维度上均大于等于0,还需对点云数据在Z方向上进行平移,平移量为 $-Z_{\min}'$ 。

### 1.5 柱构件点云分割

利用§1.4构建的旋转矩阵,分别计算出柱构件在§1.3中估算的单位轴向量和轴线上一点的三维坐标在转正之后的三维坐标系中对应的向量和坐标,分别记作 $N_i'(n_{ix}', n_{iy}', n_{iz}')$ 和 $O_i'(x_{i0}', y_{i0}', z_{i0}')$ 。

对于任意一个采样点 $P_i'(x_i', y_i', z_i')$ ,令该采样点到第*i*个柱构件轴线的距离为 $d_i$ ,根据空间几何理论知识,有:

$$d_i^2 = (x_i' - x_{i0}')^2 + (y_i' - y_{i0}')^2 + (z_i' - z_{i0}')^2 - (n_{ix}'(x_i' - x_{i0}') + n_{iy}'(y_i' - y_{i0}') + n_{iz}'(z_i' - z_{i0}'))^2 \quad (7)$$

为避免对柱构件的分割造成欠分割,对柱子的半径设定一个阈值 $R_{th}$ 。如果 $d_i$ 满足如下关系:

$$(R_i - R_{th})^2 \leq d_i^2 \leq (R_i + R_{th})^2 \quad (8)$$

那么认为该采样点为第*i*个柱构件上的一点。其中, $R_i$ 表示第*i*个柱构件的半径。考虑到实际的柱子并不是严格的圆柱,经过大量的实验发现, $R_{th}$ 一般取0.02为宜,这样既能避免欠分割,也能避免过分割现象。

### 1.6 梁、枋等木构件点云分割

对柱构件进行点云分割后,还需对梁、枋等木构件点云进行分割。考虑到古建筑柱列轴线是每个木构件的定位依据,可以基于柱构件参数提取柱列轴线信息,并基于柱列轴线信息构建待分割木构件的包围盒,实现基于包围盒的木构件点云分割。

假设古建筑柱构件轴线在三维坐标系的

$XOY$ 平面内的投影点分别为 $P_1, P_2 \dots P_{2m}$ ,为了体现算法对各种亭子类型的古建筑点云数据的适用性,也为了方便计算,不妨令 $m=3$ 。如图3(a)所示,对于6个投影点 $P_1 \sim P_6$ ,求解出投影点所构成的矩形的4个顶点,即 $P_1, P_2, P_3, P_4$ ,这4个点依次连接构成矩形 $V_{1234}$ 。假设 $P'_1, P'_2$ 为某一木构件长度方向上几何中心轴线在 $XOY$ 平面内投影的两个端点,根据空间几何理论知识,同时考虑构件尺寸信息,外插求出 $P'_1, P'_2$ 两点在 $XOY$ 平面上的坐标,如图3(b)所示。同理可求出图3(c)中 $P_{v1}, P_{v2}, P_{v3}, P_{v4}$ 在 $XOY$ 平面上的坐标,进而基于 $P_{v1}, P_{v2}, P_{v3}, P_{v4}$ 构建待分割木构件的包围盒,如图3(d)所示。 $P_{v5}, P_{v6}, P_{v7}, P_{v8}$ 在 $XOY$ 平面内的投影点分别与 $P_{v1}, P_{v2}, P_{v3}, P_{v4}$ 对应。依据待分割木构件的位置信息,分别对 $P_{v1}, P_{v2}, P_{v3}, P_{v4}$ 和 $P_{v5}, P_{v6}, P_{v7}, P_{v8}$ 在Z维度上赋值。

基于包围盒分割木构件点云的关键是判定采样点与包围盒之间的空间位置关系,此处可以根据采样点到包围盒的6个平面欧氏距离的正负号进行判断,最终实现基于包围盒的木构件点云分割。

## 2 实验与分析

为了充分验证本文算法的可行性和稳健性,

采用北京建筑大学测绘楼5层楼台的一个亭子风格的古建筑作为实验对象(图4)。图4(a)为现场采集的古建筑场景点云数据配准之后的结果图,图4(b)是其顶视图。因为单体建筑在空间上具有独立性,人工交互可以快速提取单体建筑点云数据。提取的单体建筑点云通过去除环境噪声、人工目视转正及点云数据去噪处理后,结果如图4(c)所示。

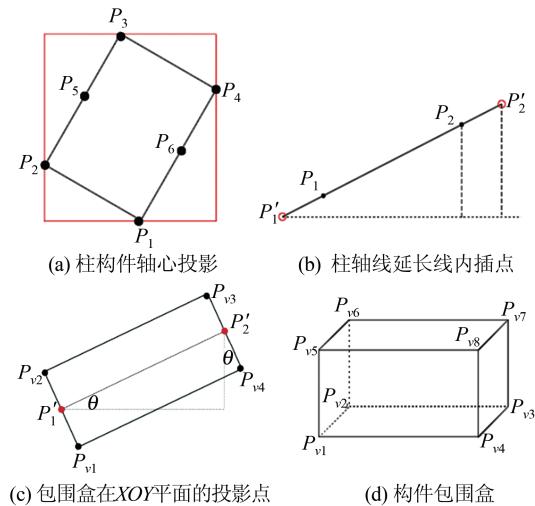


图3 基于柱轴线构建构件包围盒

Fig.3 Creating Wooden Element Boundary Box Based on Wooden Column Axis

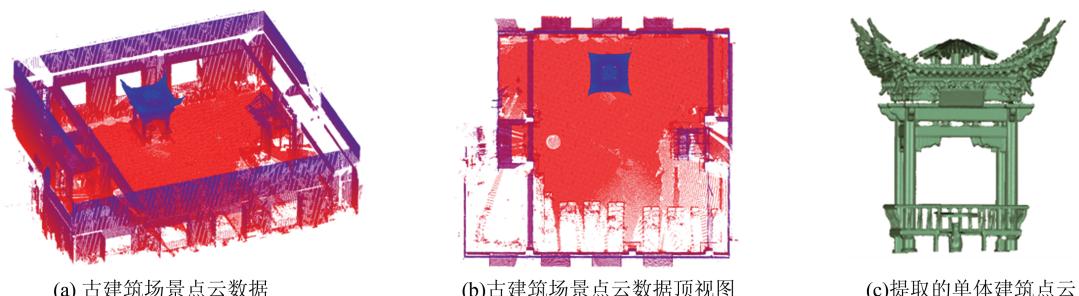


图4 实验数据

Fig.4 Experimental Data

为获取柱构件参数,首先构建高度为1.1 m的水平截面,获取Z轴坐标介于0.8~1.4 m之间的采样点,如图5(a)所示;然后对截面点云数据进行欧氏聚类,利用模型拟合方法求解柱构件参数,进而可求出柱构件的平均单位轴向量为 $(0.002\ 077, -0.013\ 917, -0.999\ 901)$ 。依照§1.4,对点云数据进行坐标转正的问题可以转换为求向量 $(0.002\ 077, -0.013\ 917, -0.999\ 901)$ 与向量 $(0, 0, 1)$ 之间的空间变换矩阵,如图5(b)所示,依据罗德里格矩阵方法解得该变换矩阵为:

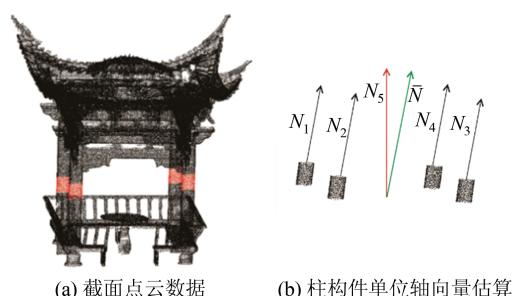


图5 点云转正示意图

Fig.5 Diagram of Point Cloud's Space Transformation

$$\begin{bmatrix} 1.489\ 030 & -0.072\ 999 & -0.147\ 607 \\ -0.072\ 998 & 1.010\ 800 & -0.989\ 046 \\ 0.147\ 607 & 0.989\ 046 & 0.999\ 901 \end{bmatrix}$$

点云数据转正处理后,还需使转正后的点云数据的Z轴坐标均大于等于0。对转正之后的点云数据利用§1.5的方法提取柱构件点云,如图6所示。接下来基于计算出的柱列轴线信息构建构件包围盒,提取梁、枋等木构件点云数据。分割梁、枋需要的尺寸和位置信息如图7所示。本实验中,基本参数设置为:梁距离地面的高度为2.2 m,长为2.5 m,宽为0.23 m;枋距离地面的高度为1.9 m。



图6 柱构件分割结果

Fig.6 Segmentation Result of Wooden Columns

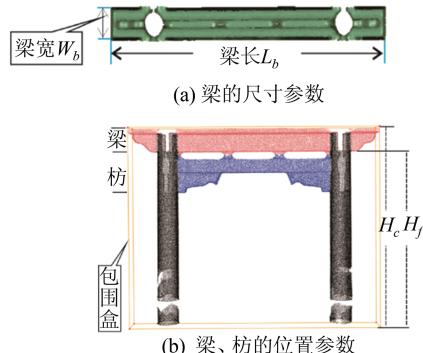


图7 梁、枋的尺寸和位置参数

Fig.7 Size and Position Parameters of Beams and Tiebeams

由于古建筑木构件之间是通过榫卯结构镶嵌穿插在一起的,所以在执行分割处理时,分层次提取木构件是比较优化的分割策略。图8(a)为梁、枋整体从古建筑点云中分割出的结果,图8(b)为梁、枋基于柱列轴线进一步分割的结果,图8(c)为分离的梁、枋构件结果。实验数据最终的分割结果如图9所示。

### 3 结语

针对目前古建筑点云数据自动语义分割较难的现状,为了最大限度地减少人工干预,本文

采用尽可能少的参数对古建筑点云数据进行分割。为了提升算法效率,本文根据古建筑的特性提出了一种古建筑点云数据自动转正的方法,通过对古建筑点云数据转正,使其严格垂直于地面,这样在Z维度上的处理变得相对简单,从而对木构件点云的分割可以由三维过渡到二维,极大提升了算法效率。通过圆柱数学模型估算出柱构件参数,利用古建筑的几何结构、尺寸等信息采用基于包围盒的方法对其他木构件(如梁、枋等)进行分割。选取亭子类古建筑点云数据进行语义分割实验,结果表明本文算法具有一定的可行性和稳健性。

由于不同古建筑的建造手段及复杂度不同,本文仅采用亭子类古建筑点云数据作为实验数据,且需要古建筑一些已知的参数信息作为起算条件。下一步将实现对各种类型的古建筑点云自动分割,初始参数将通过特征检测自动获取。



图8 分层次分割木构件

Fig.8 Hierarchical Segmentations of Wooden Elements

图9 实验数据最终分割结果  
Fig.9 Final Segmentation Result of the Experimental Data

### 参 考 文 献

- [1] Zhang Ruiju. 3D Reconstruction of Ancient Building Components Based on 3D Laser Range Data [D]. Wuhan: Wuhan University, 2006(张瑞菊. 基于三维激光扫描数据的古建筑构件三维重建技术研究[D]. 武汉:武汉大学,2006)
- [2] Yang Bisheng, Liang Fuxun, Huang Ronggang. Progress, Challenges and Perspectives of 3D LiDAR Point Cloud Processing [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10): 1 509-1 516 (杨必胜,梁福逊,黄荣刚. 三维激光扫描点云数据

- 处理研究进展、挑战与趋势[J]. 测绘学报, 2017, 46(10):1 509-1 516)
- [3] Suo Junfeng, Liu Yong, Jiang Zhiyong, et al. Modeling of Ancient Building Based on 3D Laser Scanning Point Cloud Data [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2017, 42(3):179-185(索俊锋, 刘勇, 蒋志勇, 等. 基于三维激光扫描点云数据的古建筑建模[J]. 测绘科学, 2017, 42(3):179-185)
- [4] Lu Jianhua, Lü Zhicai. Deformation Monitoring of Large Ancient Architectural Buildings Based on Multi-temporal Point Cloud: A Case Study of Suzhou Tiger Hill Pagoda [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2016, 44(7):53-58(陆建华, 吕志才. 基于多时相点云数据的大型古建筑形变监测研究——以苏州虎丘塔为例[J]. 工程勘察, 2016, 44(7):53-58)
- [5] Sheng Dexin, Yang Zhenqiu. Construction of Geometric Models of Ancient Buildings Based on Laser Point Cloud Data [J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2015, 24(7):76-80(盛德新, 杨振球. 基于激光点云数据的古建筑BIM几何模型构建[J]. 测绘工程, 2015, 24(7):76-80)
- [6] Grilli E, Menna F, Remondino F. A Review of Point Clouds Segmentation and Classification Algorithms [J]. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017, XLII-2/W3:339-344
- [7] Nguyen A, Le B. 3D Point Cloud Segmentation: A Survey [C]. The 6th IEEE International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Manila, Philippines, 2013
- [8] Bhanu B, Lee S, Ho C C, et al. Range Data Processing: Representation of Surfaces by Edges [C]. The 8th International Conference on Pattern Recognition, Paris, France, 1986
- [9] Besl P J, Jain R C. Segmentation Through Variable-Order Surface Fitting [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1988, 10(2):167-192
- [10] Dong Z, Yang B, Hu P, et al. An Efficient Global Energy Optimization Approach for Robust 3D Plane Segmentation of Point Clouds [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, 137: 112-133
- [11] Zhang Ruiju, Wang Yanmin, Li Deren, et al. Segmentation of Wooden Members of Ancient Architecture from Range Image [J]. *Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering*, 2006, doi: 10.1117/12.713254
- [12] Schnabel R, Wahl R, Klein R. Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection [J]. *Computer Graphics Forum*, 2007, 26(2): 214-226
- [13] Zhang Liangpei, Zhang Yun, Chen Zhenzhong, et al. Splitting and Merging Based Multi-model Fitting for Point Cloud Segmentation [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2018, 47(6):833-843(张良培, 张云, 陈震中, 等. 基于分裂合并的多模型拟合方法在点云分割中的应用[J]. 测绘学报, 2018, 47(6):833-843)
- [14] Filin S. Surface Clustering from Airborne Laser Scanning Data [J]. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial-Information Sciences*, 2002, XXXIV(3A/B):119-124
- [15] Armeni I, Sener O, Zamir A R, et al. 3D Semantic Parsing of Large-Scale Indoor Spaces [C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA, 2016
- [16] Huang Ronggang, Yang Bisheng, Li Jianping, et al. Building Points Detection from Airborne LiDAR Point Clouds Using Topological Relationship Graph Within Each Object Region [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(4):475-481(黄荣刚, 杨必胜, 李健平, 等. 利用目标区域拓扑关系图提取建筑物点云[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(4):475-481)
- [17] Qi C R, Su H, Mo K, et al. Pointnet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation [C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hawaii, USA, 2017
- [18] Landrieu L, Simonovsky M. Large-Scale Point Cloud Semantic Segmentation with Superpoint Graphs [C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Salt Lake City, Utah, USA, 2018
- [19] Xiong Hanjiang, Zheng Xianwei, Ding Youli, et al. Semantic Segmentation of Indoor 3D Point Cloud Model Based on 2D-3D Semantic Transfer [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12):550-556(熊汉江, 郑先伟, 丁友丽, 等. 基于2D-3D语义传递的室内三维点云模型语义分割[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12):550-556)
- [20] Hackel T, Savinov N, Ladicky L, et al. Semantic3D.net: A New Large-scale Point Cloud Classification Benchmark [J]. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017, doi: 10.5194/isprs-annals-IV-1-W1-91-2017
- [21] Zhu Dehai. Point Cloud Library PCL Learning Tutorial [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology

Press, 2015(朱德海. 点云库 PCL 学习教程[M].

北京:北京理工大学出版社,2015)

## A Semantic Segmentation Algorithm of Ancient Building's Point Cloud Data

ZHANG Ruiju<sup>1,2,3</sup> ZHOU Xin<sup>1,4</sup> ZHAO Jianghong<sup>1,2,3</sup> CAO Min<sup>5</sup>

1 School of Geomatic and Urban Information, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102616, China

2 Engineering Research Center of Representative Building and Architectural Heritage Database, Ministry of Education, Beijing 102616, China

3 Beijing Key Laboratory for Architectural Heritage Fine Reconstruction &amp; Health Monitoring, Beijing 102616, China

4 Wuhan RGSpace Technology Co. Ltd, Wuhan 430223, China

5 Beijing Jiangong Architecture Design and Research Institute, Beijing 102616, China

**Abstract:** In view of the difficulty of wooden elements segmentation of three-dimensional laser scanning point cloud data of ancient building, a new algorithm for effective and accurate segmentation of ancient building's point clouds is presented. Firstly, point cloud denoising is implemented. Then a section intersecting with wooden columns and being perpendicular to the vertical axis of the three-dimensional coordinate system is created based on structural characteristics of ancient buildings. At the same time, point clouds on the section are extracted and divided into several parts which are corresponding to different wooden columns based on point cloud Euclidean clustering. Parameters of wooden columns are estimated and used to compute the Rodrigo rotation matrix in order to implement automatic spatial transformation of ancient building's point clouds. By this processing, vertical axis of the three-dimensional coordinate system will be strictly perpendicular to the ground. And then point clouds of wooden columns are extracted by model fitting method. Other wooden elements (such as beams, tiebeams etc.) are segmented out by bounding box created by the information of structure and size of ancient building. In order to prove the robustness and feasibility of the algorithm, the point clouds of pavilions are selected for the experiment in this study. The result shows that the algorithm is feasible and robust. This research can provide supports of theory and methods for deeply research of automatic segmentation of ancient building's point cloud data.

**Key words:** 3D laser scanning; ancient building; wooden elements; point cloud; semantic segmentation

**First author:** ZHANG Ruiju, PhD, lecturer, specializes in 3D laser scanning point cloud data processing. E-mail: zhangruiju@bucea.edu.cn

**Corresponding author:** ZHOU Xin, master. E-mail: bingchengguyan@foxmail.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China (41501495, 41601409); the Fundamental Research Funds for the Municipal Universities of Beijing University of Civil Engineering and Architecture (X18228, X18290); the Open Foundation of Key Laboratory of Precise Engineering and Industry Surveying of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation (PF2013-1); Beijing Municipal Natural Science Foundation (8172016); the Open Foundation of Beijing Key Laboratory of Urban Spatial Information Engineering (2018210).

**引文格式:** ZHANG Ruiju, ZHOU Xin, ZHAO Jianghong, et al. A Semantic Segmentation Algorithm of Ancient Building's Point Cloud Data [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(5):753–759. DOI:10.13203/j.whugis20180428(张瑞菊,周欣,赵江洪,等. 一种古建筑点云数据的语义分割算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2020,45(5):753–759. DOI:10.13203/j.whugis20180428)