

机载激光扫描测高中激光脚点点群分割新方法

张小红¹ 耿江辉¹

(1 武汉大学测绘学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 讨论了机载激光扫描测高中激光脚点点群分割的方法, 提出了一种新的分割成片房屋的激光脚点点群的方法——扫描带法, 并给出了新方法的算法流程。实践表明, 该算法运算速度快, 分割准确、可靠。

关键词: 机载激光扫描测高; 激光脚点点云; 分割

中图分类号: P237.9; P225.2

机载激光扫描测高所获得的激光脚点的分布并不规则, 在三维空间的分布形态呈现随机离散的数据点“点云”(points cloud)。在这些点中, 有些位于真实地形表面, 有些位于人工建筑物(房屋、烟囱、塔、输电线等)或自然植被(树、灌木、草)上。从激光脚点数据点云中提取数字地面高程模型(DTM/DEM), 需要将其中的地物数据点去掉, 这就是所谓的激光测高数据的滤波。机载激光扫描测高所获得的离散激光脚点点云经过滤波处理后分成两类, 一类是地面上的激光脚点; 一类是地物上的激光脚点。如果对地物点进一步分类, 又可分成不同种类地物的激光脚点, 如植被上的激光脚点、建筑物上的激光脚点等。若要进行地物提取和建筑物重建等, 就需要对地物激光脚点的数据点云进行分类或分割, 区分植被数据点和人工地物点, 以提取城市建筑物数据点阵系列, 这就是所谓的激光测高数据分类(分割)。目前, 分割激光脚点的方法主要有基于已有的平面 GIS 数据^[1,2]、基于高程纹理^[3]以及基于多光谱数据^[4]等。但这些方法有时并不是适用于所有场合, 如没有现成的平面 GIS 数据或多光谱数据, 那么对应的方法就不能用。而对于成片的房屋区域, 基于高程纹理的方法不能将每个房屋的点群分割开来。在城区, 用机载激光扫描测高激光脚点数据进行建筑物三维重建时, 通常需要将每个建筑物上的激光脚点提取出来, 即从建筑物群的点群中分离出属于每个建筑物的点群, 此时, 上述方法就不适用了。

1 聚类分析法

聚类分析主要用于在没有先验的类别标准情况下将样品进行分类的场合, 包括系统聚类法、动态聚类法、分裂法、最优分割法等。其中, 系统聚类法是聚类分析中最常用的一种聚类分析方法。其基本原理是: 首先将一定量的样品各自看成一类, 根据样品的亲疏程度, 将亲疏程度最高的两类进行合并。然后考虑合并后的类与其他类之间的亲疏程度, 再进行合并, 重复上述过程, 直至将样品合并为不同的类。而衡量样品之间的亲疏程度的指标有两种: 距离和相似系数。分割建筑物群的激光脚点点云的基本原理是: 首先将每个点看成分别属于不同的房屋, 求出任意两点之间的欧氏距离, 找出其中最近的两点。如果它们间的距离小于某个阈值, 则将这两点合并成属于同一个房屋, 然后再求这个房屋与其他房屋的距离。重复以上过程, 直到最近两点的距离大于阈值为止, 那么建筑物群点云就被分成了一个一个的房屋。聚类分析算法如下。

1) 点 P_1, P_2, \dots, P_n 各视为一类, 则有 n 类 G_1, G_2, \dots, G_n , 计算距离矩阵:

$$D^{(0)} = \begin{bmatrix} d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1n} \\ & d_{23} & \dots & d_{2n} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & d_{(n-1)n} \end{bmatrix}$$

式中, d_{ij} 表示 i, j 两点之间的距离。

2) 记 $d(k, l) = \min_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n, i \neq j} \{d_{ij}\}$, 如果 $d(k, l)$ 小于阈值, 则将 G_k 与 G_l 类合并成新类 G_{m+1} ; 否则, 算法结束。

3) 重新计算距离矩阵, 得新矩阵 $D^{(1)}$, 返回步骤 2)。

可以看出, 从理论上讲, 建筑物群点云的分割实质上就是一个聚类分析的问题, 以上算法是完全适用的。但是, 如果简单地使用聚类分析法来分割建筑物群, 其运算效率非常低。目前, 机载系统提供的激光脚点的密度越来越高, 有些系统能达到每 m^2 几十个激光脚点, 激光脚点点云数据都是几十万个点以上。采用上述方法进行分割, 每次循环都要进行庞大的距离矩阵计算, 普通 CPU 的 PC 机将难以承担。因此, 本文提出一种新的方法来分割成片的房屋区域的激光脚点点群, 即扫描带法。

2 扫描带法

将建筑物激光脚点点云垂直投影到 XY 平面, 可形成如图 1 所示的片块状的点阵, 且投影后的平面脚点和空间脚点一一对应。将建筑物群点云的平面点阵在 y 方向上由小到大排序, 设定阈值 t , 其值应比测区内激光脚点的平均间隔稍大。从 y 值最小的点开始, 设其 y 值为 y_0 , 提取出 $y \in [y_0, y_0 + t]$ 的点, 这些点组成一个点带, 然后对这个点带中的点按 x 坐标进行排序, 按该点带相邻点之间的间距是否大于阈值 t , 可将此点带分成若干段, 每段应分别属于不同的房屋。存储每个点段的 x 坐标区间, 并与上一次得到的每个房屋点集的 x 坐标区间进行比较, 如果两个区间相交, 则表明这段点集属于该房屋。将这些点加入该

房屋, 并修改该房屋的 x 坐标区间; 如果该区间不与任何已有房屋的 x 坐标区间相交, 则新建一个房屋点集; 如果一个 x 坐标区间与多个已有房屋的 x 坐标区间相交, 则这多个房屋属于一个房屋, 将这些房屋合并。如此重复, 继续寻找 $y \in [y_0 + t, y_0 + 2t]$ 中的点, 直到所有点都确定出其归属。当然, 区间相交只是确定点段归属的一个条件, 还必须要两区间的 y 坐标差小于 t , 如果不满足这个条件, 则可判定剩余点中已没有该房屋中的点。扫描带法的具体流程如图 2 所示。

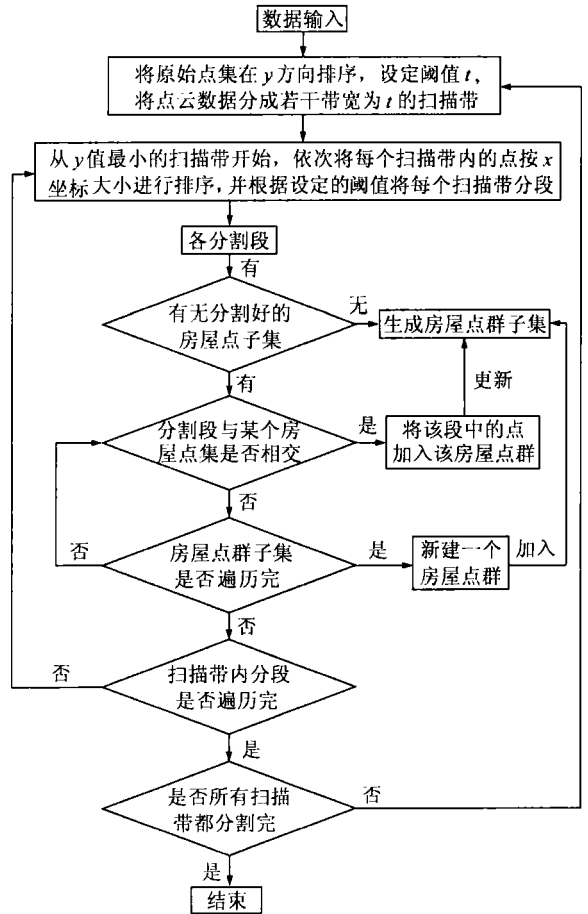


图 2 扫描带法流程图

Fig. 2 Flow Chart of Scanning Strip Algorithm

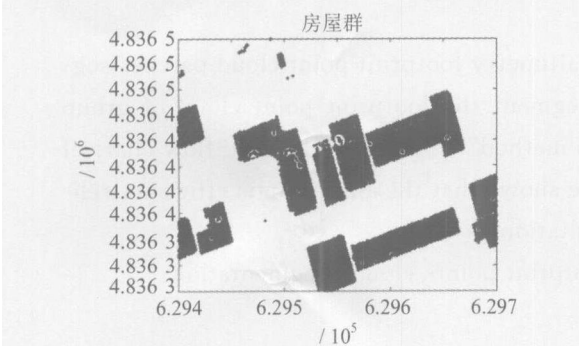


图 1 建筑物群激光脚点地面投影点阵

Fig. 1 Laser Point Clouds Patch of Buildings Projected on Horizontal Plan

笔者用该方法在 Pentium 4 Processor 1.8 GHz 的 PC 机上对图 1 所示的建筑物群激光脚点点云数据(约几万个激光脚点)进行了分割, 耗时不到 1 s。而采用聚类分析法对相同的激光脚点点云数据进行分割时, 在相同的运行平台环境下, 耗时数 h。当然, 上述方法主要是用于对滤波以后获得的成片建筑物的激光脚点点云的分割处理, 而不能直接对原始的没有经过滤波处理的激光脚点点云数据进行分割。在城市及其郊区, 用机载激光扫描测高技术建立数字城市模型和建

筑物三维重构时,采用上述方法非常有效。但前提是,在分割之前,借助于已有的滤波算法,先将地面上的激光脚点滤掉,然后还要将植被上的激光脚点分离出来,剩下的是成片的建筑物上的激光脚点。尽管投影到 XY 平面上的激光脚点直观地看是一块一块分隔开的(见图1),但计算机并不知道哪个点属于哪个房屋,必须借助于一定的算法才能将属于不同房屋的激光脚点点群分割开来。扫描带法的核心是认为每栋房子或建筑物之间有空隙或间距(见图1)。当然,由于扫描带法是根据预先设定的阈值来进行分带和分段的,为了分割可靠,使用该方法时,需尽量满足房屋间距大于5倍以上激光脚点平均间距的条件。

3 结 语

聚类分析法分割建筑物激光脚点点群时,每次循环都要进行庞大的距离矩阵计算,运算的时间长。当然,聚类分析法的通用算法根据实际情况是可以优化的,辅以排序和分网格查找可以大大提高运算的速度。相比较而言,扫描带法完全不同与聚类分析的思路,它避免了大量反复的点位间距离的运算,仅仅是 x 、 y 坐标的大小比较,运算速度快,算法的实现也相对容易。扫描带法可用于同类特点的成片建筑物的激光脚点点群的分割,是一种通用的算法。但是,由于扫描带法要根据预先设定的阈值来进行分带和分段,因此,使

用该方法时,要保证激光脚点有足够的密度和足够的房屋间距。

参 考 文 献

- [1] 张小红. 机载激光扫描测高数据滤波及地物提取[D]. 武汉:武汉大学, 2002
- [2] Haala N, Brenner K. Generation of 3D City Models from Airborne Laser Scanning Data[C]. EARSEL Workshop on LIDAR Remote Sensing on Land and Area, Tallinn, Estonia, 1997
- [3] Lemmens M, Deijkers H, Looman P. Building Detection by Fusion Airborne Laser-altimeter DEMs and 2D Digital Maps[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1997, 32(3/4W2): 42-49
- [4] Mass H G. The Potential of Height Texture Measurement for the Segmentation of Airborne Laser Scanner Data[C]. The 4th International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition/ 21st Canadian Symposium on Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada, 1999
- [5] Haala N, Brenner C, Statter C. An Integrated System for Urban Model Generation[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998, 32(2): 96-103

第一作者简介:张小红,博士,副教授。现从事卫星导航与定位技术、机载激光对地观测技术的理论及应用的科研和教学工作。

E-mail: xhzhang@sgg.whu.edu.cn

A New Method for Airborne Laser Altimetry Points Cloud Patch Segmentation

ZHANG Xiaohong¹ GENG Jiahui¹

(1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: The method of airborne laser scanning altimetry footprint point cloud patches segmentation is discussed, a new method used to segment the footprint point cloud of group buildings is given, which is called "scanning strip method". The algorithm and flow chart of the method is demonstrated in detail. The practice shows that the algorithm is efficient, reliable, accurate, and can save great time of segmentation as well.

Key words: airborne laser scanning altimetry; footprint points cloud; segmentation

About the first author: ZHANG Xiaohong, Ph. D, associate professor. He is concentrated on the research and education in theory and applications of satellite positioning technology and airborne laser scanning technology.

E-mail: xhzhang@sgg.whu.edu.cn