

Lidar 点云数据中建筑物的快速提取

刘修国, 张 靖, 高 伟, 陈启浩

中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074

摘要: Lidar 技术可快速获取地表的高精度三维点云数据, 目前对此类数据的分类却是速度慢、精度低, 尤其是城市区域建筑物和树木靠得较近时更是难以准确提取建筑物。介绍了一种基于点云数据生成距离影像, 而后引入对比度纹理辅助的点云数据建筑物快速提取方法。结果证明, 该方法不需要其他辅助数据就能实现点云数据中建筑物的快速提取。

关键词: Lidar 点云数据; 距离影像; 高程纹理; 灰度共生矩阵。

中图分类号: TP311

文章编号: 1000-2383(2006)05-0615-04

收稿日期: 2006-05-30

Extract Buildings Quickly from Lidar Point Cloud Data

LIU Xiu-guo, ZHANG Jing, GAO Wei, CHEN Qi-hao

Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Lidar can capture 3D geographical information quickly, and form a massive discrete point cloud. There are some shortcomings in the existing classification algorithms, such as low precision of classification and slow processing speed, especially in processing buildings close to trees. In this article, a new building extraction algorithm is introduced. The range image is abstracted from the original data and then the height texture is used for assisting classification. The authors tested the algorithm with Lidar data. The result of the experiment shows that this algorithm can distinguish adjacent buildings and trees. Also, the algorithm is good at classification precision and high speed. It has obvious advantages in the urban Lidar points cloud classification.

Key words: Lidar point cloud; range image; height texture; co-occurrence matrix.

0 引言

采用 Lidar 点云数据建立数字城市模型时, 需要对数据进行有效的分类, 其重点之一是有有效提取建筑物。目前的处理算法, 从原理上可以分为 3 类: 第 1 类是基于模式识别技术的聚类算法, 如 Filin (2002) 提出的表面聚类算法, Roggero (2002) 提出的分级聚类方法; 该类算法需要对数据进行特征选取, 且在聚类分析时要求逐点比较, 算法复杂且效率低下。第 2 类是基于区域生长的分割算法, 主要包括基于三角形的区域生长算法 (Ben, 2002) 和基于扫描线的区域生长算法; 该类算法需要先选取种子而后根据近邻测度进行生长。第 3 类以影像处理技术为

基础, 把原始的激光扫描点云数据重采样为距离影像, 利用影像分割技术进行处理; 该类算法原理简单, 技术比较成熟, 但由于需要对数据进行重采样而引入插值误差, 造成原始信息的失真, 分类精度不高。

大多数分类算法在分类时是基于局部的相似性, 如需要比较局部坡度差和高程差等。当树木和建筑物靠得很近时, 若树枝和建筑物顶部较接近, 则会造成建筑物与树木被错误的融合到一个分类中而难以提取, 这种情形在城市地区尤为普遍。对此问题, 本文介绍了一种稳健的基于点云数据生成距离影像, 而后引入对比度纹理辅助的点云数据建筑物快速提取方法。实验表明, 在无其他数据辅助时该方法也能较好地实现点云数据中建筑物的快速提取。

基金项目: 国家十五“863”计划; 面向网络海量空间信息的大型 GIS (No. 2001AA135170)。

作者简介: 刘修国 (1969—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为 3D GIS、遥感图像处理。E-mail: liuxg@public.wh.hb.cn

1 算法原理

高程纹理能够反映建筑物和树木的本质区别, 可以作为分类的判别特征, 笔者采用灰度共生矩阵来计算高程纹理, 为了使高程纹理不受地形的影响, 还需要对数字表面模型(DSM)进行规则化。下面分别介绍高程纹理、规则化 DSM 和计算高程纹理的灰度共生矩阵方法。

1.1 高程纹理

纹理信息是影像中的一种重要特征, 在图像处理、模式识别中有着广泛的应用。距离影像中每个像元的灰度值代表该点的高程信息, 在城市地区建筑物和树木在高程上具有以下特点: (1) 建筑物表面一般较规则, 除了边缘区域高程变化较大, 其他地方一般变化很小, 连续性明显。 (2) 对于树木来说, 由于生长不规则, 不具备人造建筑物的连续性; 另一方面, 激光脉冲具有一定的穿透能力, 能穿透一部分树叶射到地面, 因此树木区域不仅在边缘上高程变化较大, 内部在各个方向上也不连续。

根据 2 类地物的特点, 采用高程的对比度纹理作为分类建筑物和树木的特征(Elberink and Maas, 2000)。图 1 是激光扫描的距离影像, 建筑物区域只有边缘上变化较大, 区域内部连续性较好; 但图 1 中的树木区域, 各个方向上连续性较差。

1.2 规则化 DSM

由于 Lidar 的接收信号来源于目标表面的反射, 因此得到的数据实际上是一种数字表面模型。为了除去地形变化对对比度纹理的影响, 在进行纹理分类之前, 需要对距离影像进行规则化, 得到规则化



图 1 距离影像
Fig. 1 Range image of Lidar point cloud

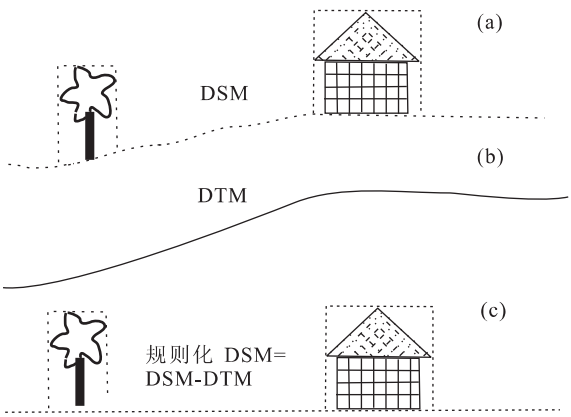


图 2 规则化 DSM
Fig. 2 Determination of the normalized DSM
a. 原始 DSM; b. 地面模型 DTM; c. 规则化后的 DSM

的 DSM(图 2)。经过规则化处理后, 地形的影响被去除, 所得到的 DSM 将只包含树木和建筑物表面。

规则化的过程采用从原始的 DSM 中减去真实地形 DTM 来实现。从点云数据中提取 DTM 通常称为数据滤波。目前的滤波方法有很多, 本文采用形态学滤波算法(Zhang *et al.*, 2003)来获取 DTM, 这种滤波算法可以根据窗口选择的不同滤掉大于窗口的影像特征。由于滤波算法不是本文讨论的重点, 因此不再详述。

1.3 计算高程对比度纹理

建筑物和树木在对比度纹理上具有较大差异, 可以作为分类的判别特征。笔者采用灰度共生矩阵从距离影像中提取对比度纹理信息。灰度共生矩阵法是对目标影像区内所有像元进行统计, 描述其灰度空间分布的一种方法(章孝灿等, 1996)。为了突出边缘的对比度纹理, 笔者采用步长为 1 在水平方向和垂直方向进行纹理统计, 选用奇数窗口(如 5×5 、 7×7 等)保证当前计算的像元位于窗口中心。由于距离影像中的像元灰度值为高程值, 在处理之前需要对影像灰度进行相应的压缩, 一般可以压缩到 16 ~ 64 级。如图 3 灰度级为 4。

在得到共生矩阵后, 按式(1)分别计算 2 个方向上的对比度值, 将较小的值作为该像元的对比度纹理值。 $f(i, j)$ 为共生矩阵中行列为 (i, j) 的元素值, κ 和 λ 一般选择 1~3 之间的值以突出对比度纹理。在处理之后, 建筑物只在 4 个角点上具有对比度纹理, 而树木在整个区域都具有对比度纹理。在图像上出现的很多小的“斑点”就是建筑物角点。对得到的结果进行一次滤波, 滤去建筑物角点, 就得到只有

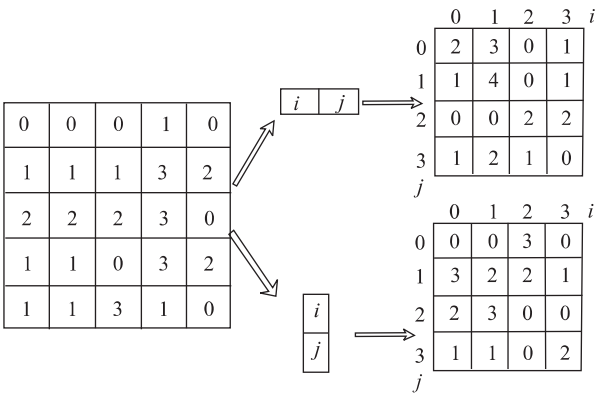


图 3 在水平方向和垂直方向统计灰度共生矩阵

Fig. 3 Calculated co-occurrence matrix space with horizontal and vertical directions

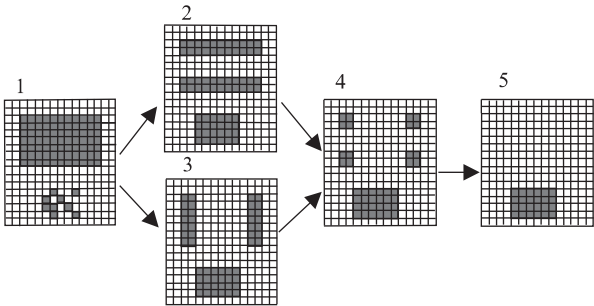


图 4 对比度纹理分类处理流程

Fig. 4 Flow chart of the contrast measurement classification

1. 规则化 DSM; 2. 垂直方向的对比度测量; 3. 水平方向的对比度测量; 4. 取 2 个方向的最小值; 5. 滤去建筑物角点

树木的图像。

$$Contrast = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (i-j)^{\kappa} \cdot f(i,j)^{\lambda}. \quad (1)$$

基于高程对比度纹理的分类过程如图 4 所示。

2 算法实现

基于上文所描述的基本原理,笔者采用图 5 中的流程来实现分类算法。由于这种算法需要借助距离影像的分类结果,笔者采用特殊方式对原始数据进行重采样,减少插值误差,并根据距离影像分类结果对原始点云数据进行分类。

2.1 原始点云重采样

对于原始点云数据,需要进行重采样生成规则的距离影像。重采样会带来误差,并可能会丢失重要信息。为了尽可能反映实际地形,笔者按以下规则重采样:

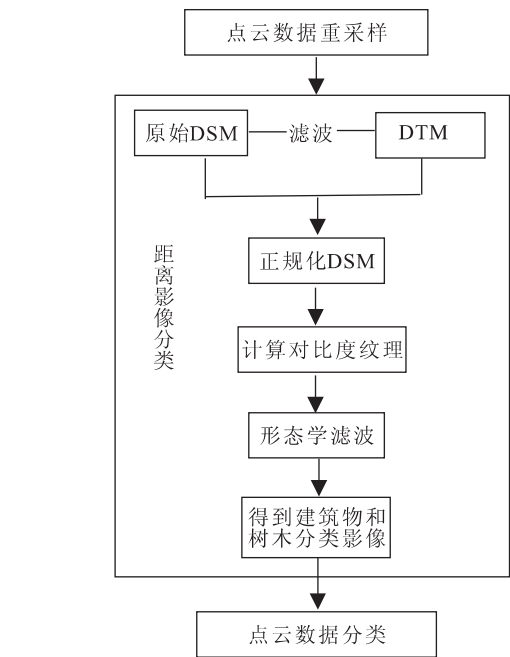


图 5 高程对比度纹理分类算法流程

Fig. 5 Flow chart of the algorithm

(1)网格中有多个点时可以采用取平均值、取最大(小)值、取最靠近网格中心值等方式重采样。(2)如果网格中没有点时,可以选择四邻域或八邻域网格内的点进行插值,并把采样点标记为插值点。(3)如果“空隙”大于某个阈值时,则不进行插值,这可能是地形中无激光返回的区域,应保持这种状态。这些区域可能是水域,由于水体对激光的吸收等原因,探测器无法接收到返回信号。

2.2 距离影像分类

在得到距离影像后,采用以下 4 个步骤得到影像分类结果:

(1)获取规则化 DSM,可以近似的认为此时的影像中只剩下建筑物和树木。(2)计算对比度纹理信息,在规则化 DSM 影像上采用灰度共生矩阵统计水平方向和垂直方向的高程信息,根据得到的 2 个共生矩阵分别按照式(1)计算对比度纹理值,并把 2 个值中较小的一个作为当前像元的对比度纹理值,保存到对比度纹理影像中。(3)形态学滤波分析,对得到的对比度纹理影像进行形态学滤波,滤去建筑物角点,得到仅含树木的纹理影像。滤波窗口选择不能太大,以免将树木过滤掉;也不能太小,使建筑物的角点被保留,一般选择 3×3 的窗口为宜。(4)对滤波后的纹理影像,通过简单的阈值(阈值的选择可以参考得到的纹理影像)判断提取树木。再根据获得的

树木区域,与规则化 DSM 对照,得到建筑物.

算法在处理的过程中,会将车辆、电线杆、路灯等小的人造物分类到树木中,由于在城市区域中,正确提取建筑物是主要的工作,这种分类错误是可以接受的.

2.3 原始点云分类

根据得到的分类影像对原始点云数据进行分类. 对于每个原始数据点,如果在影像中能找到对应的像元,该点根据像元分类结果进行分类;如果找不到,则按照 K 近邻的方法进行分类.

3 结论

笔者对本文介绍的算法进行了实验(图 6). 对分类结果进行分析后发现,该算法几乎能识别出测试区域内的全部建筑物,能很好地区分邻近的建筑物和树木. 但仍存在一定的误差,主要是将部分树木分为建筑物,究其原因在于对高程纹理影像进行滤波时滤波窗口选择不当,造成一部分树木的纹理被滤去,后续的分类过程中,将这一部分被错误滤去的植物分类为建筑物. 可以通过比较,选择合适的滤波窗口来改正这一问题. 算法处理速度很快,实验数据含有 50 多万个采样点,采用普通微机处理,分类的时间少于 3 分钟. 整个执行过程中,计算灰度共生矩阵最为耗时,如对距离影像进行适当的压缩,减小共

生矩阵的大小,能进一步提高执行的速度.

References

Ben,G. ,2002. Segmentation of TIN-structured surface models. ISPRS WG IV/6, joint conference on geo-spatial theory, processing and applications. Ottawa, Canada.

Elberink,S. O. , Maas, H. G. , 2000. The use of anisotropic height texture measures for the segmentation of airborne laser scanner data. *IAPRS*,33:678—684.

Filin, S. , 2002. Surface classification from airborne laser scanning data. *IAPRS*,34:119—124.

Roggero,M. ,2002. Object segmentation with region growing and principal component analysis. *IAPRS*, 34: 289 — 294.

Zhang,K. Q. ,Chen,S. ,Whitman,D. , et al. ,2003. Progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne Lidar data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* ,41(4):872—882.

Zhang, X. C. , Huang, Z. C. , Zhao, Y. H. , 1996. Remote sense digital image process. Zhejiang University Press, Hangzhou. 291—294(in Chinese).

附中文参考文献

章孝灿,黄智才,赵元洪,1996. 遥感数字图像处理. 杭州:浙江大学出版社. 291—294.

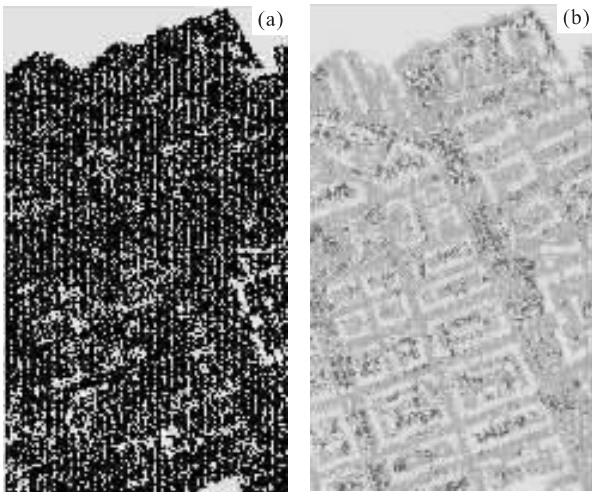


图 6 原始点云和分类结果

Fig. 6 Original points cloud and classification result
a. 原始点云数据; b. 分类结果, b 中深灰色为形态学滤波得到的地面点, 浅灰色为建筑物