

一种利用面元拟合的地面点云数据 三维R树索引方法

杨建思¹

(1 武汉大学城市设计学院,武汉市东湖南路8号,430072)

摘要:针对地面激光扫描的真三维点云数据,提出基于面元拟合的三维R树索引方法,在对点云进行递归分割和面元拟合的过程中形成三维R树节点的包围盒,通过对传统R树的改进,使之更好地保留平面特征,以适应点云数据的管理。通过实验实现了地面点云数据的高效管理与查询检索,证明了方法的有效性。

关键词:地面激光扫描;点云数据;面元拟合;三维R树索引

中图法分类号:P237.3

地面激光测量点云数据与机载激光点云的数据存在很大差异。地面点云数据反映的是地面被测物体的表面采样点,一般被看作真三维。虽然形式上是离散点,但在本质上反映的是被测物体表面的形态和物理性质。地面激光点云数据存储组织和高效显示是一个有待研究解决的问题。Gobbetti等^[1]提出了一种逐步累加的树状结构点云数据组织方式;Gross等^[2]提出了一种改进的四叉树索引的组织方式;Baboud等^[3]提出了用影像作为替代物显示的大规模重复物体的数据显示方法;Rusinkiewicz等^[4]提出了多细节层次包围盒的显示方法。国内学者通过对大范围的点云数据建立格网索引^[5-7]、简化点云^[8-9]以及依据可视范围裁切^[10-11]来提高绘制效率,但还有一定的局限。例如地面激光扫描点云数据分布极不均匀,有些方向非常密集,有些方向又比较稀疏,二维树索引方法可能导致子树极不平衡等。

地面激光扫描点云数据中最主要的内容就是表面。在对其进行管理时可以把整个地面点云数据看成描述被测目标表面的曲面,从而可以将曲面看成无数个小平面元的集合。本文提出一种面元拟合和三维R树索引结合的数据组织方法,以实现点云数据高效管理与检索。

1 面元拟合和三维R树索引结合的数据组织方法

本方法的基本思路为:采用面元拟合设定最小单元,使用动态平衡方法建立三维R树索引,在此基础上构建细节层次(LoD)的数据模型。首先,对数据进行分块,按面元拟合的规则及给定阈值把数据分为较小的平面元;然后,构建三维空间的R树索引;最后,设计每个细节层次模型精细程度的确定方法和替代物(包围盒)的生成规则,构建LoD模型。

1.1 面元拟合的数据分块规则

通常情况下,地面点云数据十分复杂,所以要先对点云数据进行三维格网的粗略分块。考虑到地面激光点云数据扫描涉及到多测站拼接的问题,本文采用的三维格网分块方法是以全局坐标系的坐标单元作为格网大小的分块方式,这样可以保证相同区域的数据在不同测站的坐标系下得到的分块数据也相同。统计格网内点的特征,并根据格网内点数的情况以及平面拟合的程度进行进一步数据划分。经过粗分块,得到在空间内一定尺度均匀分割的格网,但单个不同格网内分布的点数可能过大,且没有考虑数据点的分布状况,因此采用一种迭代的分裂方式对其继续划分。划分过程主要考虑两个因素:①数据块内点的多

少;②数据块内点拟合为平面的程度。

在三维格网内部,如果数据点数过多,或者不能完全拟合成一个平面,则对每个数据块进行细分,具体的步骤如下:首先判断数据块内部的点数和拟合均方差是否在阈值的范围内,若已经小于阈值,则停止分裂;若大于阈值,则要继续进行分裂。直到所有的数据都满足要求为止。经过以上步骤得到的数据块不仅在数据量的大小上满足要求,数据块内部也具有更好的聚合特性。

采用基于面元拟合的分块方式的优点在于:

① 更有利于将点云分割为符合数据实际分布的数据块,更接近数据的实际意义;② 用平面来代替点云数据块,更有利于建立数据块间的邻接关系;③ 为建立 LoD 模型做准备,在后面会详细介绍如何用数据块的平面元的特性进行 LoD 的创建和显示。

1.2 三维 R 树空间索引构建方法

采用三维 R 树索引作为数据组织的空间索引。R 树是一种由数据驱动构建的索引,与其他空间索引相比,其索引节点的分布和轮廓与数据的分布状况更为相符。它是一种平衡树,能够使数据项分布在同一层,且由下至上的数据驱动式的索引构建使得在同一层的节点具有相同的权重,因此在构建金字塔结构时也更有优势。

如果不考虑面元拟合的问题,通常的 R 树数据结构如图 1 所示。

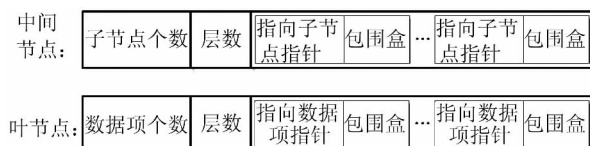


图 1 R 树数据结构示意图

Fig. 1 Tree Structure by R-Tree Organization

本文方法是基于面元拟合构建三维 R 树索引,即在数据组织时除了数据块和节点间的邻近性外,还考虑了节点内点云数据的平面拟合程度。为此,对传统 R 树做出如下改进:在索引目录中除了存储数据的包围盒,还存储了该包围盒内的最佳拟合平面的法向量等信息;在进行节点选择时,不仅根据数据项或子节点的分布情况,还考虑数据项或节点内点的平面拟合程度;在节点分裂时采用了聚类的思想,允许节点一分为多。基于这种改进方法建立的 R 树索引,不仅能够对点云数据进行建立高效索引,还可以实现一定程度的数据认知,例如可以了解该数据中哪块数据分布接近于平面,更有可能是墙面、地面等,哪块数据

分布比较离散,而分布离散的点集可能是植被等。

因此,在数据调度和显示时,若视点到节点的距离相近,则优先读取离散程度较大也就是分布无明显规律的节点,而对于拟合程度好、接近于平面的节点,在显示时可以根据该节点的空间包围盒和拟合平面的法向选择合适的替代物来显示(如平面、或者规则分布的点),从而提高数据检索效率,并且达到较好的显示效果。

下面介绍基于面元拟合思想对 R 树空间索引进行的扩展和改进。

1) 扩展 R 树的数据结构:扩展 R 树的节点除了基本的包围盒信息以外,还保存每个节点内最佳拟合平面的法向方程等。而数据项对应的并不是单个点,而是多个点的集合。

2) 扩展三维 R 树构建法:在三维 R 树构建过程中,提出一种保留面特征的改进 R 树,即除了传统 R 树构建时需要考虑的数据间的空间邻近性外,把平面拟合程度也作为 R 树索引构建的重要因素。

扩展 R 树构建方法是在传统 R 树构建方法的基础上进行的改进算法,其中最关键的算法即为 R 树的插入算法,具体过程如下:

① 首先,从根节点开始,调用节点选择函数,选择合适的插入节点;

② 递归搜索,直至叶子节点;

③ 若叶子节点未滿,则直接插入该数据项;若叶子节点已滿,插入会造成数据溢出,则调用节点分裂函数;

④ 将分裂函数新生的节点插入上层节点,若节点未滿,结束;若节点溢出,则分裂上层节点并向上传递;

⑤ 若达到根节点,造成根节点的分裂,则新生成一个根节点并将原根节点及其分裂生成的节点插入新的根节点,结束。

本文对地面点云数据组织的重要思想即为基于面元的数据管理,因此在经过第一步的分块处理后,每个数据块都可以看作在包围盒内的带有法向量的小平面元。通过构建三维 R 树空间索引,希望点包含的数据块在空间上相邻,并且同一个节点中的数据块更有可能在同一个平面上。

2 实验结果和分析

1) 数据分块。激光扫描数据的数据量往往比较大,在三维空间上分布也比较分散。因此在构建空间索引时,首先要对数据进行分块,采用本文提

出的面元拟合规则对点云数据进行分块,使空间上具有相邻及相似性质的数据分在一个数据块中。

2) 索引构建。经过数据分块处理,空间索引需要管理的对象由海量杂乱无章的点,变成了数量相对较少的有空间包围盒的数据块。本文采用三维 R 树作为数据组织的索引,以由下至上的方式将数据组织在一起。

3) 金字塔构建。R 树把数据组织成了树状结构,可以利用 R 树索引方便地构建金字塔;金字塔结构应用到可视化中就是 LoD 技术,应用到其他数据处理中即为多分辨率结构。

本文以敦煌地区的单站式地面激光扫描仪获取的某一个测站的数据为例,分别对数据处理和组织各个步骤进行介绍和分析。

1) 采用本文的基于面元拟合的数据分块方法对地面三维点云数据进行分块组织,得到的结果如图 2 所示。

2) 经过以上处理,可以采用点集内拟合出的平面包围盒进行数据显示,不能拟合成平面的数据块仍然用点显示,图 3 是上例中局部区域面片包围盒的结果。

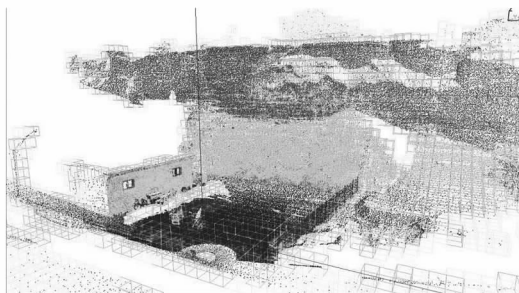


图 2 根据格网内的点数和平面拟合状况进行的分块结果

Fig. 2 Blocking Result According to Point Number and Plane Imitation

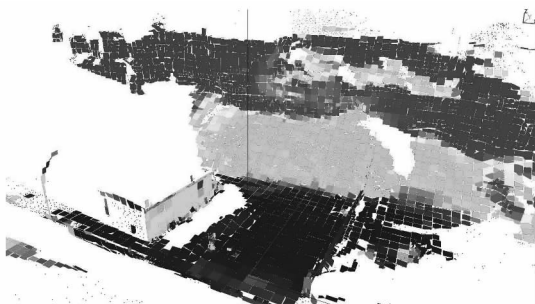


图 3 用面片包围盒表示的分块结果

Fig. 3 Blocking Result by Enclosed Range Expression

3) 在图 3 所示的面片包围盒基础数据上,采用三维 R 树金字塔构建方法^[11]构建出图 4 所示

的面片包围盒形成的 6 层金字塔结构。

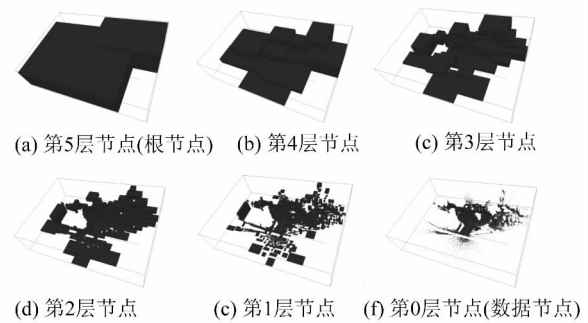


图 4 三维 R 树金字塔结构示意图

Fig. 4 3D R-Tree Pyramid Structure

得到三维 R 树金字塔结构以后,就可以利用 R 树索引快速调度和显示点云数据,大大提高了点云数据调度和显示的效率。在实验中,如果不采用这种索引方法,直接显示全部点云需要 10 s 以上的时间,采用了本方法以后,可以在 1 s 以内显示数据的概貌,如果需要显示某一数据块的细节,通过三维 R 树索引可在 ms 级时间内直接调度到该块数据进行显示,显示效率大大提高。

3 结 语

本文主要对地面测量点云数据的组织管理问题进行探讨。地面激光点云是真三维的高密度数据,直接调度和显示比较费时。由于地面激光点云数据具有形式上的离散和逻辑上连续的特点,提出的基于面元拟合的三维 R 树索引方法,将逻辑上属于同一平面的数据进行聚类分块,大大减少了数据单元,并通过三维 R 树索引,建立金字塔,提高数据调度效率。通过实验进一步论证了该方法的原理,并证明了该方法的有效性。

参 考 文 献

- [1] Gobbetti E, Marton F. Layered Point Clouds: A Simple and Efficient Multiresolution Structure for Distributing and Rendering Gigantic Point-sampled Models[J]. Computers & Graphics, 2004, 28(6): 815-826
- [2] Gross M, Pfister H. Point-based Graphics[M]. Massachusetts: Morgan Kaufmann Pub, 2007
- [3] Baboud L, Décoret X. Rendering Geometry with Relief Textures[C]. Graphics Interface 2006, Canada, 2006
- [4] Rusinkiewicz S, Levoy M. QSPatch: A Multiresolution Point Rendering System for Large Meshes[C]. SIGGRAPH, New Orleans, 2000

- [5] 李婕. 三维海量激光数据管理及可视化研究[D]. 北京:首都师范大学, 2009
- [6] 李婕, 钟若飞. 车载激光点云海量数据的管理与快速显示[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(z1): 33-39
- [7] 路明月, 何永健. 三维海量点云数据的组织与索引方法[J]. 地球信息科学, 2008, 10(2): 190-194
- [8] 徐景中. LiDAR 地面点云的简化方法研究[J]. 测绘信息与工程, 2008, 33(1): 32-34
- [9] 刘春. 三维激光扫描数据的压缩与地形采样[J]. 遥感信息, 2005, 2: 6-10
- [10] 孟放. 大型三维点云数据的交互绘制研究[D]. 北京:北京大学, 2005
- [11] 杨建思. 机载/地面海量点云数据组织与集成可视化方法研究[D]. 武汉:武汉大学, 2011
- 作者简介: 杨建思, 博士, 副教授, 研究方向为计算机图形学, 虚拟现实与数字城市。
E-mail: yangjiansi6877@hotmail.com

3D R-Tree Point Clouds Data Indexing Method Based on Plane Fitting

YANG Jiansi¹

(1 School of Urban Design, Wuhan University, 8 South Donghu Road, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper proposed a data structure based on plane feature and R-tree indexed for terrestrial laser scanning point clouds organization. We construct bounding box of R-tree node by using Recursive partitioning algorithm and considering plane feature as well to organize TLS data. The revised R-tree method is more efficient for TLS data management and query. The paper also shows an experiment to prove effectiveness of the method.

Key words: terrestrial laser scanning; point clouds; plane feature; R-tree index

About the author: YANG Jiansi, Ph D, associate professor. Her research interests include computer graphics, virtual reality and 3D city models.
E-mail: yangjiansi6877@hotmail.com

(上接第 1293 页)

Geometric Processing for Remote Sensing Satellite Images Using the Semi-parametric Estimation

ZHU Huiping¹ YAN Li¹ DENG Fei¹ LI Yan¹

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

Abstract: Given the existing limitations of the parametric model on processing satellite images, this article proposes a new method for satellite image geometric processing based on the semi-parametric model. Stereo positioning by a rigid sensor and RFM models were tested using SPOT-5 and IKONOS images. Experimental results reveal that for SPOT-5 images with no control point, the semi-parametric model is better than parametric model in most cases, while for IKONOS images the position errors of planar points in the semi-parametric model is almost as great as that of parametric model. However, the elevation results from the semi-parametric model is better than that of parametric model.

Key words: geometric positioning of satellite image; semi-parametric model estimation; sensor model

About the first author: ZHU Huiping, Ph D, majors in data processing of photogrammetry and Remote Sensing.
E-mail: hpzhu@sgg.whu.edu.cn