

文章编号: 1007-4619(2007)02-0209-05

# 一种从 LIDAR 数据提取城区 DTM 的方法

王 涛<sup>1</sup>, 杨建思<sup>2</sup>, 廖明生<sup>1</sup>

(1. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学 城市设计学院, 湖北 武汉 430072)

**摘 要:** 由机载激光扫描系统获取的点云数据,可以直接生成扫描区域的数字表面模型,但要想提取数字地面模型还须对点云数据进行分类处理。提出了一种获取数字地面模型的方法,其主要思路是利用原始的激光数据构建二维三角网,从而构建数字表面模型。通过分析数字表面模型的坡度进行初始的分割,剔出坡度较大的三角形。经过初步的分割之后,通过连通区域分析来获取每个分割区域的特征,提取出裸露地表高程,从而由点云数据构建出数字地面模型。

**关键词:** 机载激光扫描; 分割; 数字地面模型; 连通成分分析

**中图分类号:** P23 **文献标识码:** A

## Deriving Digital Terrain Models from LIDAR Data in Urban Area

WANG Tao<sup>1</sup>, YANG Jian-si<sup>2</sup>, LIAO Ming-sheng<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing

Wuhan University, Hubei Wuhan 430079, China; 2. School of Urban Design, Wuhan University, Hubei Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Airborne LIDAR can collect the point cloud data and construct the surface model of the objects on the earth. But for the production of digital elevation model (DEM) from the point cloud, the classification (filtering), feature extraction and quality control still pose great challenges. For extraction of DEM in urban area, the segmentation of the point cloud should be carried out. In this article, a method for deriving the DTM based on slope analysis is presented. Firstly, a TIN model is constructed from the original point cloud. The slopes are calculated in the TIN model. Then the segmentation is carried out based on the slopes in the TIN. The triangular region with large slope value is deleted. After the segmentation, the region growing processing is used to merge the small regions according to the connectivity. The part which can cover the biggest area is considered to be the road. Finally, the terrain model is generated by kriging interpolation with these points.

**Key words:** LIDAR; segmentation; digital terrain model; connect component analysis

## 1 引 言

机载激光扫描是一种可以快速获取地球数字表面模型的技术。激光扫描系统集成了三个基本数据收集工具:激光扫描仪、全球定位系统和惯性导航系统。激光扫描仪向地面发射波束,当波束接触到地

面时便返回到传感器中。激光波束在空间中传播的时间加上传感器的位置和姿态的获取,就可以获取地面点的平面位置和高程信息,以及地面点的属性信息(激光数据可以记录回波的强度信息)。

数字地面模型是数字摄影测量的重要产品之一,采用传统的摄影测量方法,它的生产周期太长。首先要获取影像,然后匹配生成数字表面模型,最后

收稿日期: 2006-03-14; 修订日期: 2006-04-20

基金项目: 国家 863 计划项目 (编号: 2006AA12Z151); 地理空间信息工程国家测绘局重点实验室开放基金项目。http://www.cnki.net

作者简介: 王 涛 (1980—), 男, 武汉大学测绘遥感信息工程实验室硕士研究生。研究方向为遥感信息处理。E-mail: wangtao4681@yahoo.com.cn

由人工进行编辑生成数字地面模型。

而由机载激光扫描所获取的原始数据是由密集的点云所组成的,这些点云可以直接生成数字表面模型。要生成数字地面模型须对获取的激光扫描的点云数据进行滤波处理,滤除地物。在获取的数据中,有一部分点是波束发射到建筑物和植被上所形成的,滤波处理就是为了剔出这些非地面点<sup>[1]</sup>。滤波处理后所剩的点主要是原始的地面点,由这些点就可以生成数字地面模型。

目前已经提出了很多关于数字地面模型的生成算法。Vossemann选择了8种典型的算法进行比较,分析了这些算法的优缺点。认为由于地形的复杂性,自动生成数字地面模型还是很困难的,需要对算法做更多的改进,例如使用更多的上下文信息,或者结合场景分解<sup>[2-4]</sup>。没有哪一种算法能够适合所有的地方。

Nizar提出了一种通过道路网的提取来获取城区数字地面模型的方法,尝试利用道路网的上下文信息<sup>[2]</sup>。该方法首先对原始数据进行重采样,然后采用中值滤波以便消除由于不同条带重叠造成的影响;接着构建三角网,结合三角网的法向量和高程差值,使用区域增长的方法来获取道路信息。这种方法在进行区域增长的时候需要顾及向量差值和高程差值。这时需要同时确定两个方面的阈值,因为激光数据在构网以后受系统噪声影响会很严重,如果使用Nizar选择的区域增长方法,道路网很容易被噪声隔断。这种方法的另外一个缺点就是要首先寻找种子点,如何从众多的点中确定一个道路起始点,需要人工进行干预。

因此,本文提出了一种基于三角网坡度分割的方法,该方法不需要确定种子点,只需要确定坡度的阈值。对整个三角网进行分割以后,得到不同的连通区域。分析这些连通区域的特征就可以获取地面连通区域(这中间就包含道路),然后由这些区域的点生成数字地面模型。

## 2 算法描述

### 2.1 点云数据的三角网分割

将原始离散点云数据按照Delaunay方式构建TIN模型<sup>[5,6]</sup>。由于构建的Delaunay三角网是二维的,不能反映出地形起伏状况,因此需要加入每个点的高程信息,计算出每个面的法向量(法向量既垂直于三角面的向量,由它可以求出三角面的倾斜角

度),从而反映出地形起伏的状况:

$$\mathbf{n}_i \times \mathbf{n}_j = [\mathbf{n}_i, \mathbf{n}_j] = \begin{pmatrix} i & j & k \\ (x_1 - x_2) & (y_1 - y_2) & (z_1 - z_2) \\ (x_3 - x_2) & (y_3 - y_2) & (z_3 - z_2) \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{n}_i = (x_1 - x_2) \mathbf{i} + (y_1 - y_2) \mathbf{j} + (z_1 - z_2) \mathbf{k}$$

$$\mathbf{n}_j = (x_3 - x_2) \mathbf{i} + (y_3 - y_2) \mathbf{j} + (z_3 - z_2) \mathbf{k} \quad (1)$$

式中,  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $(x_2, y_2, z_2)$ ,  $(x_3, y_3, z_3)$  分别为三角形的三个点坐标;  $\mathbf{n}_i$ ,  $\mathbf{n}_j$  分别为三角形两条边的向量;  $\mathbf{n}_i \times \mathbf{n}_j$  为所求的法向量。

由于在城镇区域建筑物及树木的边缘所包含的面片的倾斜角度都很大,而构成地面区域的三角形的倾斜角度相对要小得多。这是由于落在地面上的点相互之间的高程值差别很小,而构成建筑物和树木边缘的三角形的三个点,要么有两个点在地面上,另一个点在建筑物上,或者两个点在建筑物上,另一个在地面上,所以其倾斜角度比较大。当然,建筑物的屋顶部分也有可能是平坦的,构成它的三角形的倾斜角度也很小。因此,将倾斜角度较大的面片剔出,剩下的就是地面区域以及建筑物的屋顶部分<sup>[7]</sup>。本文中为了实现对噪声的抑制,将分割阈值定为60。把地物部分同地面区域进行了分离。为了从对分割后的结果获取地面区域,还需做以下分析。

### 2.2 连通成分分析

由于地面区域有较好的连通性,而且覆盖范围很大。这里使用区域增长的方法进行连通成分分析。由于采用三角网的方式组织数据,所以区域增长方法是指从某个三角形出发,按照一定的准则,逐步加入邻近三角形,当满足一定的条件时,区域生长终止。初始点的选择,可以是人工加入的交互信息,也可以让计算机自己选取种子点进行区域增长。此处使用区域增长的目的主要是为了获取平坦区域的连通成分,因此与上述Nizar提出的方法相比<sup>[8]</sup>,这里并不需要选择种子点。因为此处使用区域增长的目的主要是为了获取平坦区域的连通成分。

具体步骤如下:①对三角网进行扫描,通过设置阈值找到第一个还没有归属的三角形,设该三角形为 $nT$ 。②以 $nT$ 为中心,考虑 $nT$ 的三个相邻三角形之一 $nT_1$ ,如果 $nT_1$ 满足生长准则,则将 $nT_1$ 和 $nT$ 合并,同时将 $nT$ 压入堆栈。③从堆栈中取出一个三角形,把它当作 $nT$ ,回到步骤②。④当堆栈为空时,回到步骤①。⑤重复①-④,直到三角网中的每个三

角形都有归属时,生长结束。如图 1 和图 2 所示。

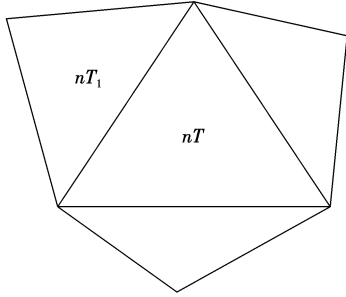


图 1 分析相邻三角形

Fig 1 Analysis of the connected triangle

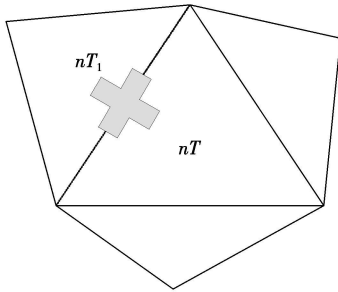


图 2 对满足生长准则的相邻三角形进行合并

Fig 2 Mergence of the triangles under the region growing criterion

### 2.3 数字地面模型的生成

在城区,地面区域包含有道路网,因而其连通成分覆盖范围最大,屋顶部分的法向量也很小,但是它被其坡度很大的边缘部分所分割,与地面之间的联系被切断,因而通过连通成分分析,其所占区域与整个区域相比要小得多,它可以与地形部分相互分离。将这些区域去掉,就可以获取连通成分最大的部分。

获取最大的连通成分后,将其上的点重新内插,生成数字地面模型。

## 3 实验数据

试验区在美国 San Diego 附近的一个叫做 La Jolla 的地方。激光数据是每平方米一个点。数据包括两次回波,每次回波记录了扫描点的 X、Y、Z 值和回波强度。该实验数据通过 Optech ALTM 1233 激光系统获取,每个扫描点的数据包含 9 个属性值,分别是扫描瞬间的 GPS 时间,一次回波的横坐标  $x_1$ , 一次回波的纵坐标  $y_1$ , 一次回波椭球体的高  $z_1$ , 二次回波的横坐标  $x_2$ , 二次回波的纵坐标  $y_2$ , 二次回波椭球体的高  $z_2$ , 一次回波的强度  $echo_1$  和二次

回波的强度  $echo_2$ 。所有的数据的坐标系统都是 NAD83 UTM Zone 10, 椭球体的高度也是以米为单位。本文的试验中仅使用第一次回波。因为这里是对数字表面模型进行处理,二次回波得到的只是部分数字表面模型。试验区影像如图 3 所示。



图 3 试验区的航空影像

Fig 3 The photograph in the test area

## 4 试验过程及分析

(1) 对原始数据进行构网,从而建立离散点间的联系和并反映表面的突起情况,采用的是二维 Delaunay 构网方法。

(2) 建立激光点之间的拓扑关系。此时加入高程信息,计算每个三角形的法向量就可以获取数字表面模型的坡度信息(图 4)。由于建筑物的边缘和树木的边缘构网后所形成的面都比较高,而对城镇的道路和空地,它们的坡度一般都很小,所以考虑根据坡度进行分割,基于此种分析,可以先对三角网数据进行分割(图 5,图 6)。

(3) 通过区域增长的方法,可以将所有相互连通的成分提取出来,此时需要对这些连通成分进行判断,如果连通区域所覆盖的区域较小,那么就先判断为建筑物,最后将连通区域大的定为地面连通成

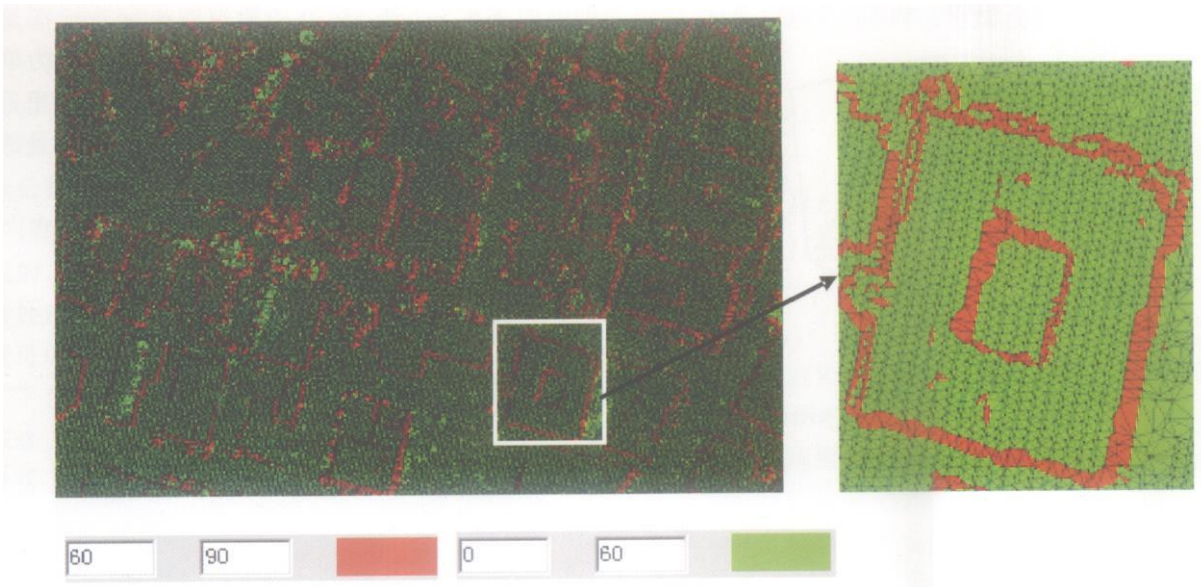


图 4 不规则 Delaunay三角网

Fig 4 Unregular delaunay triangular network

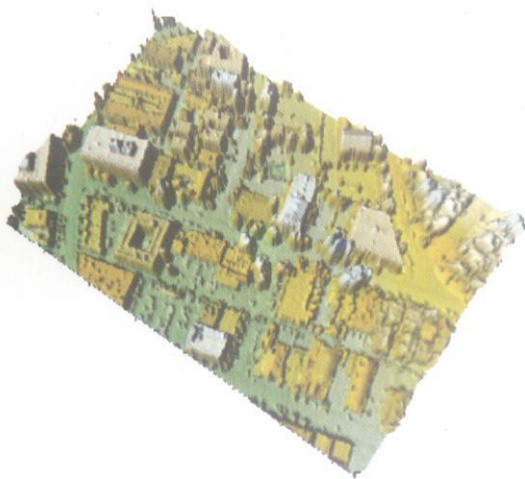


图 5 数字表面模型

Fig 5 Digital surface model

图 7就是获取的最大地面连通区域。

(4) 最后由这些判定为地面的点通过 K rig插

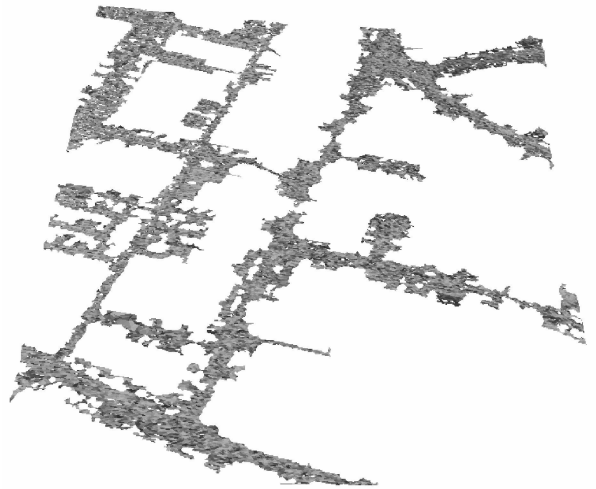


图 7 使用区域增长的方法获得的最大地面连通区域

Fig 7 Connected component by region growing



图 6 去除坡度值较大的面

Fig 6 Delete the triangle with high slope

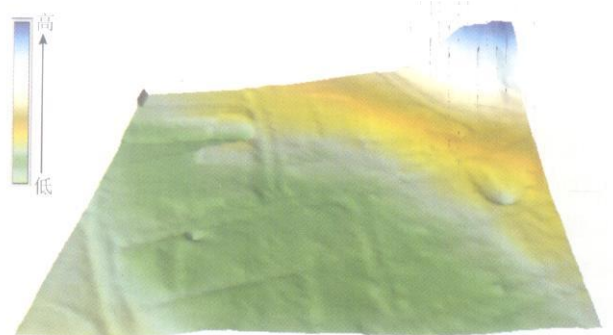


图 8 数字地面模型 (DTM)

Fig 8 Digital terrain model

值重新构建数字地面模型。图 8 是生成的数字地面模型。结合图 3 和图 5 可以很清楚地看出本算法能够很好的滤出建筑物和植被信息。

## 5 结 论

本文提出了一种从 Lidar 点云数据中分割出 DTM 的方法,其核心思想在于通过分析城区地物的坡度信息对由点云数据构建的 TIN 模型进行分割,对分割结果分类后提取出地形信息,然后在此基础上生成数字地面模型,从而可以在不需要对原始数据进行滤波的基础上提取出地形信息。实验结果表明本文提出的算法能够很好的滤除树木和建筑物,并生成了 DTM。

## 参 考 文 献 (References)

- [ 1 ] Carla Nardinocchi, Gvianfranco Forlani, Primo Zingaretti. Classification and Filtering of Laser Data [ A ]. Proceedings of the ISPRS Working Group III /3 Workshop 3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR Data [ C ]. Dresden, Germany, October 2003.
- [ 2 ] Pfeifer N., Stadler P., Briese C. Derivation of Digital Terrain Models in the SCOP Environment [ A ]. Proceedings of OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models [ C ]. Stockholm, Sweden, March 2001.
- [ 3 ] Waack R., Wimmer A. Digital Terrain Models from Airborne Laser Scanner Data: A Grid Based Approach [ A ]. International Archives of the Photogrammetry [ C ]. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2002, 34(3): 293-296.
- [ 4 ] George Sithole, George Vosselman. Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare-Earth Extraction from Airborne Laser Scanning Point Clouds [ J ]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2004, 59(1-2): 85-101.
- [ 5 ] Axelsson P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models [ A ]. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences [ C ]. 2000, 33(1): 110-117.
- [ 6 ] Elmqvist M. Ground Estimation of Laser Radar Data Using Active Shape Models [ A ]. Proceedings of OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models [ C ]. Stockholm, Sweden, March 2001.
- [ 7 ] Vosselman G. Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data [ A ]. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences [ C ]. 2000, 33(3): 935-942.
- [ 8 ] Akeil N. A., Ziberstein O., Doytsher Y. A Robust Method Used with Orthogonal Polynomials and Road Network for Automatic Terrain Surfaces Extraction from Lidar Data in Urban Areas [ A ]. Proceedings of ISPRS Conference [ C ]. Commission WG\_III\_3, Istanbul, Turkey, 2004.