

# 基于 TIN 的 LiDAR 地面点云数据简化方法研究

黄 超, 李 书

(水利部长江勘测技术研究所, 湖北 武汉 430011)

**摘要:**机载 LiDAR 点云数据的简化虽属数据辅助处理的范畴,但对提高庞大点云数据后处理效率起着重要作用。将 TIN 迭代加密方法引入机载 LiDAR 地面点云数据简化中;对平坦地形直接简化,对复杂地形则提取山谷线、山脊线,将获得的特征点作为种子点加入 TIN 加密迭代简化方法中。实验证明,该方法能够在保证数据精度的前提下,简化点云数据。

**关键词:**LiDAR; TIN; 点云数据简化; 数据处理  
**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A

机载 LiDAR 为快速获得高精度高密度的三维地表地形数据提供了一种新的测量手段,然而,对于实际工程应用来说,在多数情况下并不需要如此庞大的数据就能满足生产实际的要求,同时处理这些庞大离散的点云数据,给数据后处理带来了极大的挑战。因此,如何简化地面点云数据,用少量的点精确表征地形特征,降低数据存储和后处理的难度,具有重要的实际价值。传统散乱点云数据简化处理方法的研究,集中于通过地面 LiDAR 测量技术采集并重建实体对象的逆向工程领域,在机载 LiDAR 领域则相对较少。由于测量方法的不同,不能直接采用地面 LiDAR 点云简化方法,必须重点考虑两个问题:① 如何防止地形特征信息的丢失,地形特征的保留是保证地面点云数据简化质量的关键因素;② 如何满足制图精度要求,根据制图比例尺的要求控制冗余点的删减程度。

## 1 TIN 迭代加密方法

现有的点云简化方法根据数据组织的方式可以归纳为两种:一种是基于规则格网<sup>[1-3]</sup>,即采用规则格网组织点云数据,通过对格网单元进行分析,采用一定准则进行简化,这些方法对于分布均匀的点云数据能够取得一定的效果,操作简单,易于实现而且效率较高。但当整体表面曲率变化较大时,很容易丢失细节。另一种则是基于 TIN<sup>[4-6]</sup>,即采用不规则三角网组织点

云数据。与前者相比,虽然此方法操作较为复杂,但由于其能更精确地表示地表形态,尤其当地形中包含大量特征时,该方法能更好地顾及这些特征从而能更精确合理地表达地表形态。因此,利用 TIN 直接重建地表模型进行数据处理已经被很多学者采用。

在机载 LiDAR 数据处理中,TIN 迭代加密方法最广泛的应用是在点云滤波处理中。点云滤波的目的是滤除非地面点、滤出地面点,这是从点云中获取 DEM 的关键,滤波的方法以 Axelsson 提出的基于 TIN 的单向迭代加密最为成熟<sup>[7]</sup>,但是该方法也存在着不足之处:在迭代的过程中,对于复杂区域,特别是具有陡峭的斜坡、交通设施较多等地形,由于阈值条件的针对性,会出现一些真实的地形点(比如陡坡转角上的边缘点)始终都不能满足添加到三角网的阈值条件,常常造成被漏选<sup>[8]</sup>。从简化的目的考虑上述问题,漏选的转角点恰好大都是地形特征点,可将 TIN 迭代加密滤波方法引入地面点云简化中。基于 TIN 迭代加密简化方法与 Boissonnat 等提出的基于 TIN 的由粗至精的点云精简方法原理上相近,业界主流软件 Terrasolid 中提取模型关键点也同样采用这一方法,这些均属于渐进细化法。

## 2 基于 TIN 的点云简化

在结构简单、地势平坦的地形中,特征点主要表现

为:具有高突变信息量,对局部地形的起伏有较大贡献,而且特征明显,易于提取<sup>[9]</sup>。复杂地形的结构表现为多样性,李志林和朱庆将复杂地形特征归纳为两个重要的部分<sup>[10]</sup>:① 地形特征,主要针对山谷线、山脊线;② 流域特征,主要针对汇水线、分水线,并指出地形特征与流域特征的提取内容大致相同。因此,山谷点(线)、山脊点(线)是复杂地形分析的基本要素,要实现复杂地形的简化有必要先提取这两种地形特征。

(1) 基本思路。以 TIN 加密迭代简化方法为基础,分别对平坦地形和复杂地形采用不同的方法,平坦地形直接从三维点集分析;复杂地形则在原有方法上提取山谷线、山脊线,将获得的特征点作为种子点加入上述 TIN 加密迭代简化方法中。

(2) 主要流程。① 对于复杂地形中山谷线、山脊线的提取,首先利用线形三角网内插地面点云生成格网 DEM,然后采用朱庆等改进的三维地面流水数字模拟法从高精度的 DEM 中提取山谷线、山脊线<sup>[11]</sup>。② 构建二维格网索引,首先对点云数据建立二维分块格网索引结构,格网尺寸大小主要对冗余点的删除起控制作用,对整体简化量的影响不大。格网尺寸的值按照制图比例尺要求设置,能保证在单元网格内至少保留足够数量的点。③ 构建初始种子点,平坦地形直接选取每个格网单元中高程最高和最低的点作为种子点,复杂地形则增加特征点作为种子点,同时将包围核的 4 个角点也作为种子点,取包围核角点邻近一定范围内的激光点高程的均值作为角点高程值,一起构建初始地形的不规则三角网。④ 渐进加密,遍历不规则三角网,计算落在三角形中每个激光点到三角形的距离  $d_i$ ,用  $d_i$  与限差  $D_{upmax}$  或者  $D_{downmax}$  相比,将大于给定高程差阈值中距离最大的  $d_{max}$  点作为地面特征点,若所有点均不满足判断条件,则标记该三角形不参与后续判断。直至将 TIN 中所有三角形遍历结束后,将获得的点重新加入不规则三角网。⑤ 迭代,直至满足给定的迭代最大次数或者不再有点加入不规则三角网时,迭代结束。上述整体流程如图 1 所示。

### 3 实验结果与分析

本文采用两种实验数据对上述方法进行对比验证。实验 1,某城郊平坦地形,地面点数为 3 906 891,所占总点数比例为 66.6%,地面点云密度约为 1.2  $m^2$ 。实验 2,某山区地形,地面点数为 3 755 390,所占总点数比例为 38.6%,地面点云密度为 0.81 ~ 1.12  $m^2$ 。最后从视图与简化后生成的 DEM 的精度来评价(采用从原始数据中抽取的检查点作为参考)综合评

定方法的可行性。实验 1 结果如图 2 ~ 4 及表 1 所示,实验 2 结果如图 5 ~ 8 及表 2 所示。

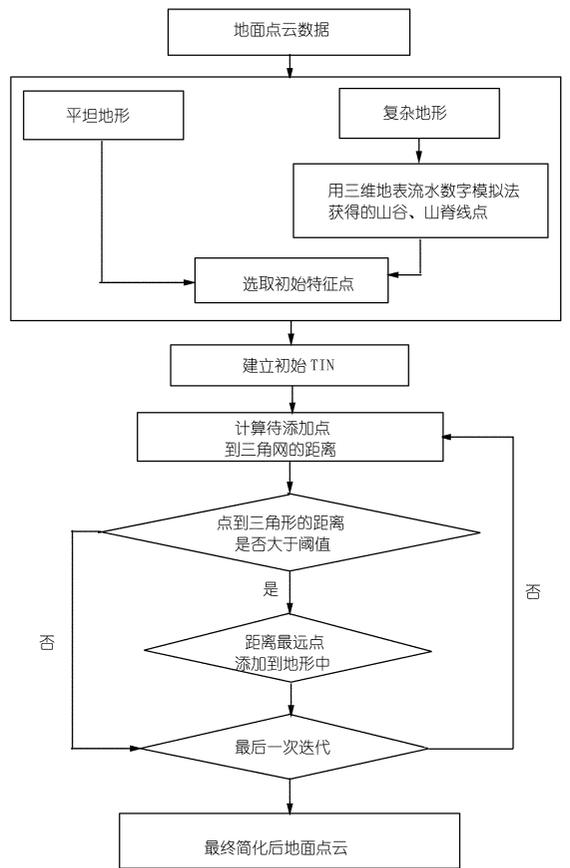


图 1 整体流程

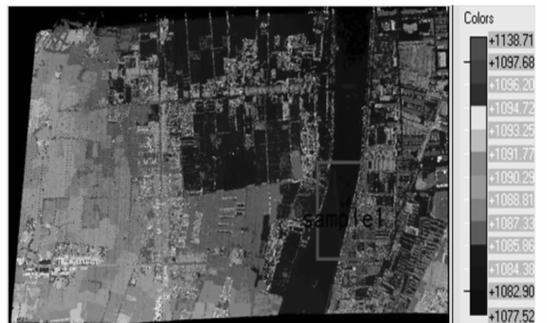
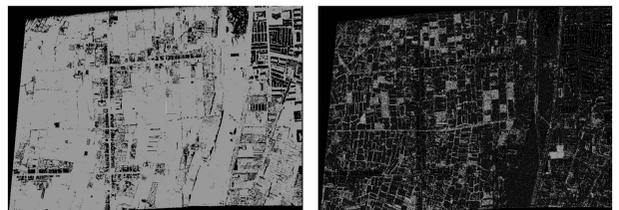


图 2 实验 1 原始点云数据高程配色显示



(a) 1:2000, 简化量 65.8%

(b) 1:10000, 简化量 94.7%

图 3 两种比例尺控制下简化结果

由图 4 中可以看出,原数据中郊区的田埂、汇水沟渠、城区边缘的过渡地带等这些地形起伏区域点云分布较密集,其他地势平坦的地区则点云分布较稀。

由图 4 的 sample1 区两种比例尺简化结果可以看出,简化量较大的图 4(b)中,地形突变程度较大区域如 A,B,C 区,较图 4(a)削弱了很多,这是由于图 4(b)比例尺下的距离阈值设置较左图大,造成了高程突变小、地形起伏较缓的区域被削弱,也说明了距离阈值更多地起到控制简化量的作用。从表 1 中可以得出,两种比例尺下的 DEM 精度均相对较高,所有的误差均在限差范围内。

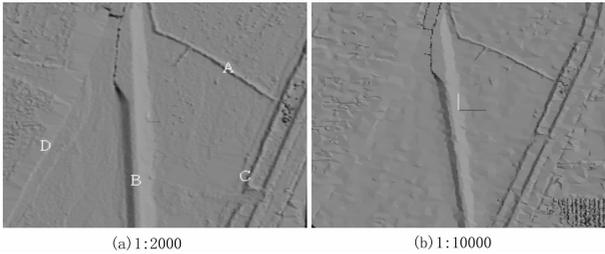


图 4 实验 1 中 Sample 1 两种简化结果 TIN 三维渲染显示

表 1 实验 1 不同简化量点云精度统计

1:2000			1:10000		
简化量/%	中误差	平均误差	简化量/%	中误差	平均误差
42.9	0.1950	0.1281	45.3	0.3602	0.2269
71.9	0.1912	0.1209	76.1	0.3871	0.2478
90.8	0.2533	0.1631	94.7	0.4359	0.2648
94.1	0.3320	0.2721	97.9	0.5044	0.3100

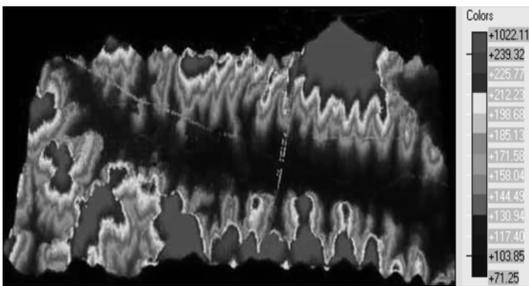


图 5 实验 2 原始点云数据高程配色显示

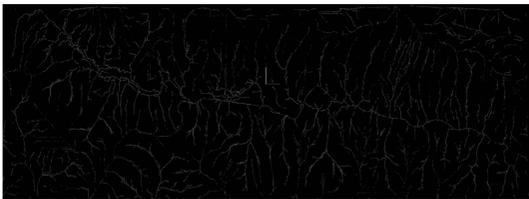


图 6 实验 2 数据提取的山谷、山脊线点

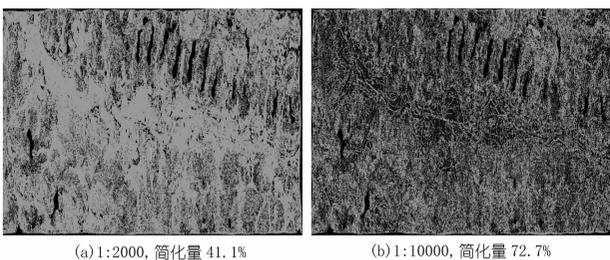


图 7 两种比例尺控制下简化结果

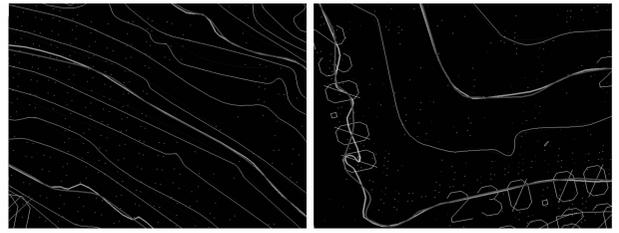


图 8 两种比例尺控制下由简化结果生成相应比例尺等高线

表 2 实验 2 不同简化量点云精度统计

1:2000			1:10000		
简化量/%	中误差	平均误差	简化量/%	中误差	平均误差
23.1	0.5080	0.3760	25.3	1.9643	1.4074
52.3	0.5122	0.3834	55.3	2.2970	1.5988
60.0	0.6280	0.4352	64.3	2.3368	1.6109
75.9	1.1069	0.8023	87.2	2.5105	1.7533

由图 7 中可以看出,虽然整体点云数量减少,但地形结构线依然清晰,如在简化量较大的图 7(b)中可以较明显地看出地形结构线,尤其是山谷线(汇水线)。在图 8 的等高线对比中,简化前后的等高线重叠度高,表明虽然地形细节有所简化,总体特征仍得到很好保留,而且简化后的点云生成的等高线更平滑、美观,尤其是图 8(b)制作的稍小比例尺的等高线较之图 8(a)更明显。通过定量分析精度,发现在表 2 中随着简化量的增加(在有限范围内),虽然精度与信息总量有所下降,但误差依然能够保持在一定限差范围内。

### 4 结 语

机载 LiDAR 点云数据的简化虽属数据辅助处理范畴,但对提高庞大的点云数据后处理效率起着至关重要的作用。本文以 TIN 迭代加密方法为基础,充分顾及地形特征信息,分别对平坦地形、复杂地形采用不同的简化方法。通过实验分析,验证了该方法能够在保证数据精度的前提下简化点云数据。

### 参考文献:

- [1] Weir D J, Milroy M J, Bradley C, et al. Reverse Engineering Physical Models Employing Wrap - around B - Spline Surfaces and Quadrics [J]. Proc Introduction Mesh Engineers: Part B, 1996, 210(2): 147 - 157.
- [2] Filip D, Magedson R, Markot R. Surface algorithms using bounds on derivatives [J]. Computer Aided Geometric Design, 1986, 3(2): 295 - 311.
- [3] Sun W, Bradley C, Zhang Y. Cloud data modeling employing a unified non - redundant triangular mesh [J]. Computer Aided Design, 2001, 33(2): 183 - 193.
- [4] Boissonnat J D. Geometric structures for three - dimensional shape represent - ation [J]. ACM Trans Graphics, 1984, 3(4): 266 - 286.
- [5] 缪志修. 基于机载 LiDAR 数据构建的 DEM 抽稀算法研究 [D]. 西

- 安:西安交通大学,2008.
- [6] 刘春,吴杭彬. 基于真三维 TIN 的三维激光扫描数据压缩方法[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2006,31(10).
- [7] Axelsson P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models[J]. Internation Archieves of Photogrammetry and Remote Sensing,2000,33(B4).
- [8] 李卉,李德仁,黄先锋,等. 一种渐进三角网 LIDAR 点云滤波的改进算法[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2009,34(3):39-41.
- [9] 徐景中,万幼川,张圣望. LiDAR 地面点云的简化方法研究[J]. 测绘信息与工程,2008,33(1):32-35.
- [10] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001.
- [11] 朱庆,赵杰,钟正,等. 基于规则格网 DEM 的地形特征提取算法[J]. 测绘学报,2004,(1):77-82.

(编辑:郑毅)

## Research on method of ground point – cloud data simplification of airborne LiDAR based on TIN

HUANG Chao, LI Shu

(Changjiang Reconnaissance Technology Research Institute, Ministry of Water Resources, Wuhan 430011, China)

**Abstract:** Although ground point – cloud data simplification of airborne LiDAR based on TIN belongs to auxiliary data processing method, yet it has significant influence on increasing processing efficiency of point – cloud data. The TIN iteration densification was introduced to simplify the point – cloud data. The plain terrain was directly simplified while for complex terrain, we extracted valley line, ridge line, and incorporated the feature point to TIN iteration densification as seed point. The test proved that, on the premise of data precision, the presented method could simplify the point – cloud data processing.

**Key words:** LiDAR; TIN; point – cloud data simplification; data processing

(上接第 91 页)

据的相互传输。

基于无线网络的 Leica TCA2003 遥测技术充分利用了先进的测量设备,可以实现一个无人值守的自动测量系统,尤其适用于恶劣环境下的变形监测数据获取。

### 参考文献:

- [1] 黄声享,尹晖,蒋征. 变形监测数据处理(第一版)[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.
- [2] 高改萍,李双平,苏爱军,等. 测量机器人变形监测自动化系统[J]. 人民长江,2005,36(3):63-65.
- [3] 郭子珍,侯东亚,尤相骏,等. 远程无线遥控测量机器人变形监测系统及其应用[J]. 测绘通报,2008,(7):71-72.
- [4] 李利军,郭振岗,陈鹏,等. 无线传感器网络在大坝安全监测中的应用[J]. 计算机与数字工程,2007,35(10):83-85.
- [5] 梅文胜,张正禄. 测量机器人变形监测系统软件研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2002,27(2):165-171.
- [6] 梅文胜,张正禄. 测量机器人在变形监测中的应用研究[J]. 大坝与安全,2002,(5):33-35.
- [7] 赵景瞻. TCA2003 全站仪及其在二滩大坝外部变形监测中的应用[J]. 水电自动化与大坝监测,2002,26(2):34-38.

(编辑:李慧)

## Development of remote control technology based on Georobot

LIAN Cao<sup>1,2</sup>, FAN Meng<sup>1,2</sup>, CHEN Changjun<sup>3</sup>

(1. Changjiang Reconnaissance Technology Research Institute, Ministry of Water Resources, Wuhan 430011, China; 2. Three Gorges Research Center for Geo-hazard of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** In order to ensure the safe operation of dam in extreme weather conditions, an automatic deformation monitoring system is required, and the wireless network can be used to link the data center and monitoring instrument in the system. The remote control technology of Leica TCA2003 georobot is taken as an example, the transmission of command set of total station using GPRS wireless network is introduced, and the remote control, monitoring and data transmission can be realized through the network. The automatic collection and transmission of deformation data through georobot controlled by GPRS wireless network can guarantee the continuity, real-time and rapidity of monitoring data.

**Key words:** safety monitoring; wireless network; automation monitoring; georobot