

# 基于 TerraSolid 与 Inpho 的 LiDAR 数据处理方法分析与研究

刘沛, 李英成, 薛艳丽, 丁晓波

(中国测绘科学研究院, 北京 100039)

**摘要:**介绍了机载激光扫描(Airborne Laser Scanning)/激光雷达(LiDAR)遥感信息获取系统的基本原理及系统组成,主要对基于 TerraSolid 和 Inpho 的两种 LiDAR 数据处理原理、滤波实现方法以及作业流程进行了分析,并通过不同地形特征的实验数据对其精度、效率、可操作性等方面进行了研究。

**关键词:**LiDAR; 滤波; 等高线; 数字地面模型

**doi:**10.3969/j.issn.1000-3177.2010.01.004

**中图分类号:**TP751      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-3177(2010)107-0017-05

## 1 引言

随着空间信息需求的不断增加,“数字地球”概念深入人心,如何高效地获取高精度、可靠的三维数据已成为测绘工作者研究的热点。LiDAR(Light Detection And Ranging)是一种主动式地对地观测系统,它集成了 GPS、惯性导航、激光测距等先进技术,通过发射激光脉冲,由植被、建筑物等地物对其进行反射,再由 LiDAR 系统上的接收单元收集到海量反射信号实现三维地面信息的测绘与定位。它具有控制测量依赖性少、受天气影响小、自动化程度高、成图周期短等特点,可能为测绘行业带来一场新的技术革命<sup>[1]</sup>。

LiDAR 的应用热潮在国外已经掀起,目前我国也引进了机载激光雷达系统用于商业运作,但国内该技术的处理方法还处于研究阶段,针对不同地形条件的适应性算法还处于初步探讨阶段,激光测高行业标准还处于空白状态。如何使这项高新技术在国民经济建设中发挥积极作用,如何改变国内该领域发展相对滞后的局面,给测绘工作者提出了新的挑战。

机载 LiDAR 系统产生的数据量以百万、千万计,现有的测量软件很难适应如此大量的数据,因此需要特殊的专业软件来处理。本文主要对完成了激光距离数据与 IMU/DGPS 数据联合解算后的激光点云进行数据处理。应用 TerraSolid 系列软件中的

TerraScan 和 TerraModel 模块以及 Inpho 系列软件中的 Scop++ 和 DTMaster 模块进行同一地区的 DEM 生产,主要包括航带、滤波、分类、人工编辑和数据输出,并对效率、精度、操作适应度等方面进行实验和比较。

## 2 基于 TerraSolid 的 LiDAR 数据处理方法

目前国际上较流行的激光雷达数据处理软件是芬兰 TerraSolid 公司开发的专门处理激光点云的软件,它在足够内存支持下(2G)载入 39 000 000 个点只需 40 多秒,能处理数百万的点云数据,国内 LiDAR 处理主要也依赖这款软件。该软件基于 MicroStation 平台开发,该平台提供了视图操作、显示、矢量元素等工具<sup>[3]</sup>。TerraScan 的主要功能是根据点的坐标、强度、首末反射值等信息对激光测量数据进行分类。TerraModeler 用来生成和处理各种表面及完成体积、面积、等高线、轮廓线,洪水淹没等计算。

### 2.1 数据显示与组织方式

在激光雷达数据处理中不建议盲目删除数据,而是将激光点云有选择性的滤波分类到正确的类别中,并可以自定义或修改类别属性。该模块支持多种数据格式的读入和输出,并自定义了 8 位与 16 位的二进制格式,对点云高效载入、显示的优良性能是数据处理方便快捷的优势所在。

LiDAR 数据处理中对杂乱、海量的激光三维

收稿日期:2009-02-10      修订日期:2009-08-10

基金项目:地理空间信息工程国家测绘局重点实验室经费资助项目(200719)。

作者简介:刘沛,女,吉林省长春人,中国测绘科学研究院研究生,方向为激光雷达数据处理关键技术与新型航摄影研究。

E-mail:liupeil@casm.ac.cn

脚点的显示是数据处理与人工编辑的基础;类别信息的不同表达可以在剖面图中清楚的分辨点云类别的准确性,实现逐点或逐块修改;回波信息在林业等专题应用中有着辅助分类、提取林业参数等作用;高程信息可以粗略直观地表现区域内地形分布情况;航带信息对于考察航摄质量、重叠区域裁切有着至关重要的作用;回波强度信息就是一张全色的近红外影像,虽然分辨率以及成像质量有限,但对于判读地物有着指导作用。TerraScan 拥有多种显示模式,如实现按照类别(Class)、回波(Echo)、高程(Elevation)、航带(Flightline)、回波强度(Intensity)等激光脚点的二维、三维显示以及地物剖面图的显示。

TerraModel 中高效的构网能力实现了等高线、不规则三角网、矩形格网、晕渲图等(如图 1)的生成与显示。这些在 LiDAR 数据处理以及处理过程中的质量控制是十分重要的,也是 TerraSolid 系列软件工程化应用的一大特色。

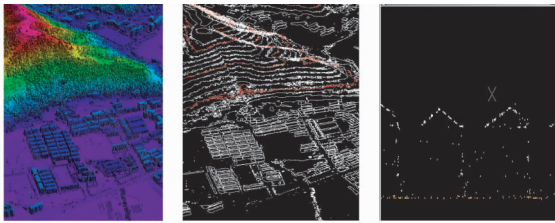


图 1 TerraSolid 的数据可视化

## 2.2 数据处理流程

### (1) 创建工程文件

在工程文件中导入相关数据及数据索引地址,这里主要包括激光点数据、航摄轨道信息、航空摄影影像资料、相机参数、控制点资料以及必要的投影坐标资料。在此基础上,为解决计算机无法同时处理超海量 LiDAR 数据的问题,在 TerraScan 中创建分块文件(block),实现工程的分块(见图 2)与任务分配。

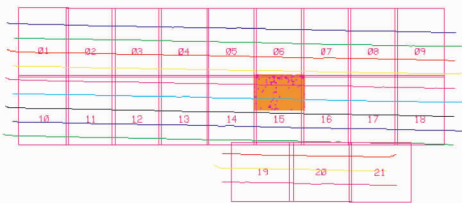


图 2 任务分块与航线数据示意图

### (2) 航线重叠区域裁切的数据和滤波分类

航线重叠区的处理主要是考虑到线扫描系统随着扫描角的增加定位精度会下降<sup>[4]</sup>,本次实验采用

消除 25° 以上的激光点云的方法,以保证重叠区域无空隙为准。

滤波原理是基于 Axelsson 提出的一种渐进式不规则三角网加密算法进行改进的。首先选取区域内的少量低点作为三角网的种子点(图 3(a)),然后将点云中的点逐步加入到三角网中(图 3(b)),如果要加入的点到三角形的距离以及由于加入该点所形成的三个新三角形的内角均小于所设定的阈值,则该点为地面点。在每轮加入点运算前,都须通过运算重新生成阈值。当没有点可再加入三角网时(即没有点符合阈值标准时),运算结束,最终的三角网形成。此算法对曲面不连续性的检测较敏感,适于城市区域的滤波。

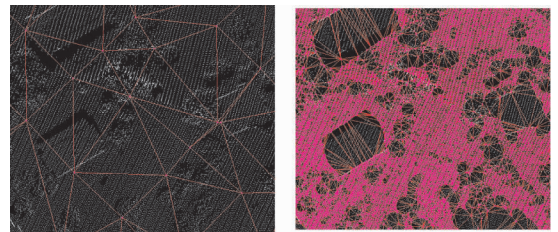


图 3 不规则三角网加密滤波算法

经过上述滤波运算得到的非地面点数据可以通过高度信息分类出低矮植被(low vegetation)、中等植被(middle vegetation)和高植被(high vegetation),并在高植被中寻找出拥有规则轮廓的建筑物类点云。以上 LiDAR 数据处理可进行宏操作(macro),即对于可操作的算法进行排序与参数设置,在工程管理模式对整个数据区进行统一自动处理。

### (3) 人工编辑

人工编辑的目的是剔除自动滤波、自动分类没有滤掉的部分粗差和未分类正确的激光点,达到数据处理中质量控制的目的。面对海量离散点云如何进行数据处理的效果评价,如何找到粗差点的位置是 LiDAR 数据处理不可回避的重要环节。TerraModel 提供的晕渲图、等高线等功能对于查找目标区域有着重要的作用,结合 TerraScan 提供的剖面图可以实现点云的人机交互编辑修改,对于必要区域还可以使用影像信息进行辅助判读。

此外,一种局部数据的地面点增加算法“add point to ground”提高了人工编辑的效率和效果,此算法基于 Axelsson 的算法设计,主要针对地面类别过少的区域进行地面点补充。在设置了计算范围及计算参数以后,即可实现局部区域的半自动滤波。

### 3 基于 Inpho 的 LiDAR 数据处理方法

德国 Inpho 公司与奥地利维也纳技术大学合作研发的 Scop 软件在国际上,尤其在欧洲的应用较广泛,目前已经与 Inpho 家族其他软件形成涵盖整个摄影测量系统的工作流程,包括空中三角测量、三维立体编排、地形建模、正射影像处理、图像获取以及 LiDAR 数据的过滤与编辑。激光雷达数据处理主要使用 Scop++ 模块进行自动分类滤波,DTMaster 进行人工编辑和质量控制,这两个模块相互独立,之间的连接关系主要是激光点云文件,数据处理流程见图 4。

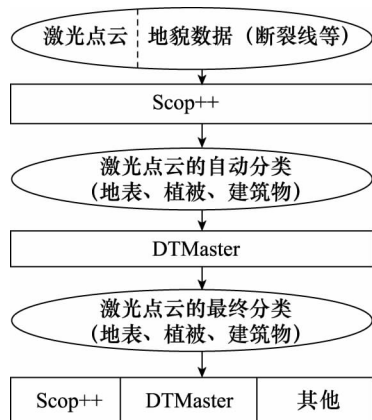


图 4 Inpho 处理流程<sup>[5]</sup>

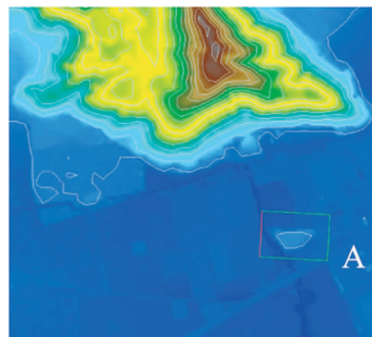
#### 3.1 数据显示与组织方式

Scop Kernel 支持 DSM 或 DTM 的精细插值、等高线生成(图 5)、山体晕渲、Z 译码,Scop LiDAR 提供了针对点云数据的迭代线性最小二乘内插滤波算法,并在此基础上实现自动滤波分类。

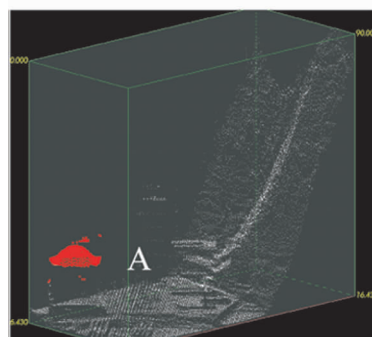


图 5 Scop++ 的插值数据可视化

DTMaster 是专门为 DTM 数据的质量控制而研发的,通过可选择性地提供立体测量、编辑工具来处理折线及其他数据,通过将点云与立体模型之间的对比,实现激光脚点的人工、半自动编辑(见图 6)。



滤波后晕渲图与等高线叠加显示,其中 A 为未分类正确的点



激光点云的立体显示,其中 A 为需要从 DTM 中删除的房屋点

图 6 DTMaster 的数据可视化

#### 3.2 数据处理流程

(1) 建立工程文件。对 Scop++ 模块中的地面模型进行必要的基本设置,这里主要是内插算法的设置。

(2) 设置滤波策略。Scop++ 软件有“LiDAR Default”、“LiDAR Default Strong”、“LiDAR Default Weak”、“LiDAR DSM”等几种方式,支持用户自定义。这款软件的滤波原理是基于奥地利维也纳大学的 Kraus 和 Pferfer 等人提出的迭代线性最小二乘内插滤波算法进行改进。该算法的中心思想是:地物点的高程值比其周围地面点的高程值高,内插后激光脚点高程与拟合面的拟合残差不服从正态分布,地物点的拟合残差都为正值且偏差较大,地面点的拟合残差较小且可能为负值。该方法为迭代计算,首先应用较粗的格网内插生成初始拟和表面,实际上该表面是介于真实地面(DTM)和地物表面(DSM)之间的一个面。然后计算各激光脚点高程值与拟合面的残差  $v$ ,根据残差对每个点计算权重  $p$ (定权公式见公式(1),定权示意图见图 7。图中  $v$  轴表示高程值与拟合面的残差, $p$  轴表示内插使用的权值, $g$ 、 $w$

为相关参数),再进行内插处理;以此迭代下去得到最终的DEM。

$$p(v) = \begin{cases} 1 & v \leq g \\ \frac{-1}{1+a(v-g)^b} & g < v_i \leq g+w \\ 0 & g+w < v \end{cases} \quad (1)$$

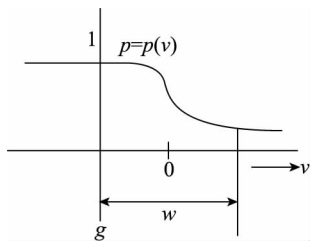


图7 定权示意图

以“LiDAR Default Strong”滤波策略为例首先通过变化的单元尺寸(cell size)及坡度滤除区域内的建筑物;接着采用6m格网尺寸进行数据抽稀(thinout),通过上述原理设定权值参数,内插;再分别采用3m、1m格网尺寸及不同参数进行迭代处理,从而实现了地面点的精化;最后按高程值将非地面、非建筑物的激光点分类为高植被(high vegetation)、中植被(medium vegetation)、低矮植被(low vegetation)。

(3)质量控制与人工编辑。需要将上述处理过的点云文件导入DTMaster模块中进行,可以通过晕渲图、等高线、剖面图、影像图的显示找到目标粗差点,通过选择疑似点进行人工删除,通过矩形/圆形刷中的滤波算法进行局部点云的半自动编辑。图8是局部粗差滤除的原理示意图,主要通过目标点与内部DTM上、下缓冲高度带中的关系进行简单判读,图中红色为滤除点。

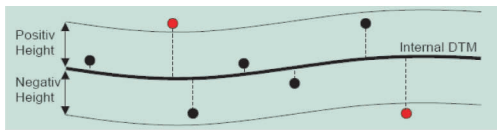


图8 局部半自动粗差滤波原理图

## 4 实验数据与实验结果

### 4.1 实验数据与实验方法

实验数据选自我国浙江省地区,该区域地物比较丰富,有开阔地、道路、居民住宅、大型建筑物、树、森林和水渠等。实验区①为城镇地区,地形坡度较平缓,约900万个激光脚点,主要有开阔地、道路、建筑物、树、覆盖植被的山和水渠等地物;实验区②为山区,约1100万个点,主要有山上的树木、灌木、山脚下的民房。LiDAR数据由Leica公司的ALS50

II型航空激光雷达系统装载在运-5型飞机上获得,航高1900m,激光间距大约为2m。

本次实验应用TerraScan软件进行航带重叠区域的数据裁减,保留25°以内的数据,将裁切好的数据集定义为LAS格式,分别在两套软件中进行LiDAR数据处理实验,数据处理过程如下:

#### (1)基于TerraSolid的数据处理

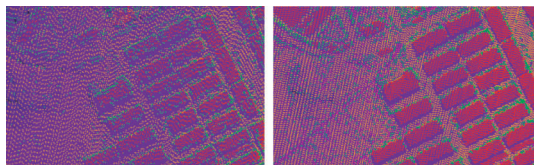
调用TerraScan模块将LAS数据读入,并进行数据的粗差(采用low point算子)、滤波(ground算子)、分类(buildings,height from ground算子)、输出等自动处理。以上算法可在一个“宏”文件中进行,工程文件建立以后将以上参数以及算子在整个摄区范围内运算。经过自动运算后的数据,即完成了航线重叠、滤波、分类后的激光点云数据。调用TerraModel模块利用晕渲图查找未分类正确的区域,进行人工质量控制与修改。如同时获取航空影像数据,可调用TerraPhoto模块利用DOM进行激光点云的编辑工作,最终得到地面、建筑物、植被等类别的点云。

#### (2)基于Inpho的数据处理

调用Scop++软件,在model overlap中导入LAS数据,设置内插参数,以“LiDAR Default Strong”为例首先滤除区域内的建筑物,接着采用6m格网尺寸进行数据抽稀(thinout),并利用设定的定权值参数(定权参数的定义见本文3.2)进行内插,再分别采用3m、1m格网尺寸及不同参数进行迭代处理,从而实现了地面点的精化,随后按高程值将非地面、非建筑物的激光点分类为高植被、中植被和低矮植被,并以规定格式分别输出不同种类的数据。将数据导入DTMaster中进行人工编辑或半自动的滤波刷子进行质量控制与粗差点剔除。

## 4.2 实验结果

由于人工编辑主要依赖操作员的熟练程度以及操作员在不同情况下评价、处理能力等人为因素,本节主要针对上述方法的自动处理结果进行研究与评价。在实验区内应用不同的LiDAR数据处理方法,对激光点云进行读入、航带重叠区处理、自动滤波及自动分类,并得到数据处理效率与效果(见表1)的实验结果:



(a)基于TerraScan处理 (b)基于Scop++处理  
图9 实验区①的DTM晕渲图叠加不同类型点云

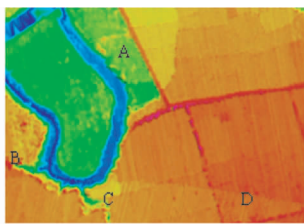
图 9(a)中的算法为先生成 DTM 再生成植被最后得到建筑物,图 9(b)为先生成建筑物再得到 DTM 最后得到植被。其中黄色表示地面点、紫色

表示极低点、绿色表示植被、红色表示建筑物。虽然滤波分类的顺序和原理均不同,但对于建筑物的分类以及对建筑区 DTM 的生成差异并不大。

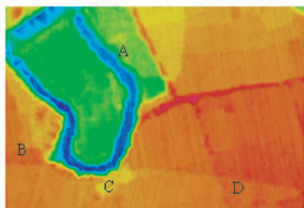
表 1 实验区内数据描述及处理效率评价表

	数据描述	数据读入	航带冗余数据切割	滤波速度	自动滤波后的地面点个数
Terra	城市地区: 重叠区裁切后 440 万个点	1 秒	10 秒	1 分钟 30 秒	2541339
Inpho		50 秒	—	32 分钟 10 秒	1960537
Terra	山地地区: 重叠区裁切后 450 万个点	2 秒	13 秒	1 分钟 21 秒	2147970
Inpho		55 秒	—	26 分钟 32 秒	1877563

图 10 中两种自动算法得到的 DTM 总体差别不大,由于算法本身,在典型地物中的表达略有不同。图 10(b)图中 A 点的 DTM 曲面更加平滑,这是因为该算法采用 DTM 与 DSM 不断逼近真实地表,将不平滑处的点判读为低点或低矮植被的结果。也正是由于这个原因图 10(b)图中的 B 点和 C 点丢失了地物中的沟渠,并在 D 点处将部分田埂分类为植被。



(a)基于TerraScan滤波的DTM晕渲图



(b)基于Scop++滤波的DTM晕渲图

图 10 实验区①的 DTM 晕渲图

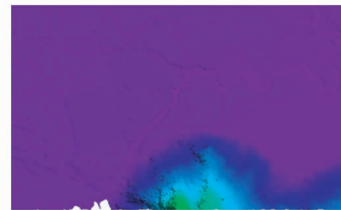
图 11(a)中丢失了山体的山顶部分,形成了巨大的空洞,这是因为该算法是通过选取地面种子点再进行加密形成的 DTM,但是山顶部分的高度本身比较大,又是在计算区域的边缘,没有种子点自然无法加密成地面点。图 11(b)图中的山顶部分较完整。

不同的滤波分类方法产生的效果不同,目前还没有适应所有区域的稳健的 LiDAR 数据处理自动算法,本文的两种方法可以有效的解决大部分地形,是国际上较先进的数据处理方法。不同的数据组织方式及数据处理方案对处理效率的影响较大,本文主要对 ASPRS 在 2003 年提出的 LiDAR 通用格式

的数据进行了实验,两种数据组织方式能够满足工程作业的需要。不同的点云表达方法对数据处理中的质量控制和人工编辑的指导性及影响较大,文中的三维显示、晕渲图、等高线等数据可视化方案在大体上一致。



(a)基于TerraScan滤波的DTM晕渲图



(b)基于Scop++滤波的DTM晕渲图

图 11 实验区②的 DTM 晕渲图

## 5 结束语

本文介绍了机载激光雷达系统的基本原理及系统组成,主要对基于 TerraSolid 和 Inpho 的两种 LiDAR 数据处理原理、滤波实现方法以及作业流程进行了分析与实验,实验表明对于激光点云处理效果两者各有优势,但对于单机数据处理来讲,利用渐进式不规则三角网加密算法及其数据组织方法进行的数据处理效率更高。但两种处理方法均需要在特定参数选择的基础上实现,对于不同地面覆盖情况需要给定不同的参数,对于操作员的要求更高。下一步作者将对软件自定义格式进行效率评价,并将针对正射影像的制作效率和可用度进行评价。

(下转第 38 页)