

油气管道工程线状 LiDAR 数据的快速 DEM 提取

徐国杰 杨汝芬 张建国

中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司,四川 成都 610041

摘要:

为适应大型油气管道工程对地形数据的快速获取要求,可利用机载激光雷达数据进行快速 DEM 提取。讨论油气管道工程线状 LiDAR 数据快速 DEM 提取的两个关键问题:滤波和 DEM 构建。针对多植被丘陵地区线状数据,采用基于坡度变化的滤波算法对原始点云进行滤波;用不规则三角网线性内插算法对滤波结果进行处理,并构建 DEM;用一组线状 LiDAR 数据做实验,将实验结果与实测数据进行比对。在构建的 DEM 上提取线路断面线,结果与实测地形基本相符。

关键词:

线状工程;点云;滤波;DEM 构建

文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2012)04-0087-04

0 前言

机载激光雷达 (Light Detection And Ranging, LiDAR) 测量技术作为一种新兴的空间对地观测技术,已在多等级三维空间信息的实时获取方面产生了重大突破,引起了测绘等相关行业的浓厚兴趣;也因其高效快速等特点,在各种大型工程特别是线状工程(铁路、公路、电力线、油气管线)中得到了广泛应用并取得了良好效果^[1-2]。

在油气管道工程测量中,测量的主要任务之一就是获取地面的高程信息,即 DEM。而利用 LiDAR 数据可以快速提取 DEM,本文旨在探讨如何利用 LiDAR 数据快速提取 DEM。

1 LiDAR 点云滤波

1.1 关于滤波的讨论

LiDAR 数据的形式是分布在地表三维空间的一些离散的点,因点的数量巨大,可形象地称之为点云。这些点中,有些是落在真实的地球表面,有些是落在人工地物上(如各种建构物的顶部和侧部),有些则落在自然地物上(如树木、草丛等)。在植被茂密地区,打在树冠、草丛上的点占了一定的比重。而利用 LiDAR 数据提取 DEM,则需要将点云中的这些非地面点滤除,这个过程,就是所谓的点云滤波^[3-4]。

点云的滤波取决于所采用的扫描方式、测区地形、地物复杂度和点云采样密度等要素。地形缓和、地物稀疏的地区,较易区分地面点和非地面点;此类地

收稿日期:

2012-03-10

基金项目:

中国石油天然气集团公司重点工程资助项目(HGPE201007508)

作者简介:

徐国杰(1984-),男,山东单县人,助理工程师,硕士,主要从事测量技术工作。

区点云的空间分布要求不是很密,因此可以适当放宽对滤波算法的性能要求。而地形复杂、地物稠密的地区,区分地面点和非地面点较困难;此类地区要求必须保证点云密度,要想获得较好的滤波结果,需采用有一定适应性和针对性的滤波算法。实际情况是:LiDAR系统在数据采集过程中有一定的盲目性,激光点并不一定落在地形特征点和地物边缘处,给点云的滤波制造了麻烦;因此对于地形特别复杂或地物特别繁多的测区,点云的滤波尤其困难。为此,针对特定类型的数据,有必要设计一套专门的滤波算法对LiDAR点云进行滤波处理^[5-6]。原则上,各种滤波算法应尽可能保留原有地形特征,尽可能减少分类误差。

分类误差有两类:第一类把地面点错划为非地面点;第二类把非地面点错划为地面点。

1.2 滤波算法的选择

迄今为止,已经出现了很多对激光点云进行自动或半自动的滤波算法。有些算法的实现过程已经公布,但还有很多算法因商业或法律限制至今未公布。其中比较流行的算法大致可分为数学形态学滤波法、移动窗口法、高程纹理分析法、迭代线性最小二乘内插法和基于地形坡度滤波法五种。

根据这五种滤波函数的特点,结合试验区LiDAR

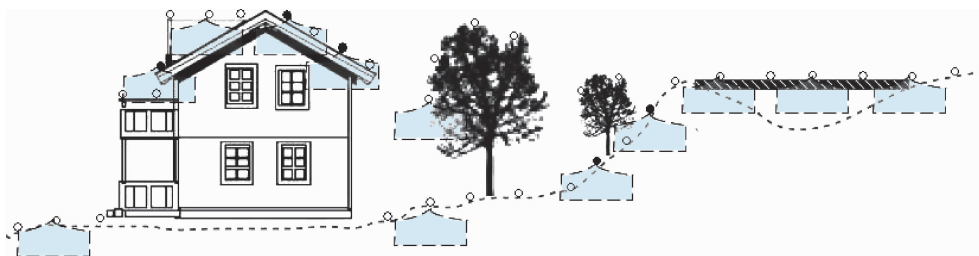


图1 基于坡度变化的滤波

先验地给定一个最大坡度 p 和一个置信区间,用这两个参数来确定滤波函数。但大多数情况下,测区地形变化多样,这时就不能给整个测区定义出一个具体的函数,而需根据测区的地形采样子集来计算与地形变化特征相适应的滤波函数。采样子集应能反应局部地区的典型地形特征,这样滤波操作才能既保留这些地形特征,又尽可能滤除非地面点。这需寻找一个合适的区域作为采样子集,然后利用子集中的数据点计算经验的滤波函数 $\Delta h_{\max}(d)$ 。

2 滤波的实现

2.1 滤波函数的确定

如果测区地形缓和,坡度不超过30%,且观测值没有误差(即所有点都满足该算法原理的基本假设),

数据的特点,选择基于坡度变化的滤波算法对点云数据进行滤波。

基于坡度变化的滤波算法由Vosselman G提出^[7]。该算法原理是数学形态学,类似于数学形态学中的腐蚀运算。算法的基本假设是地形缓和并连续:如果相邻两激光点的高程值差异很大(即相邻高程点存在高程突变),那么就认为其中高程值大的那个点是地物点,高程值小的那个点是地面点。也就是说,如果相邻两点高差超过给定的阈值,那么两点间距离越近,则高程值大的点是地物点的可能性就越大。该方法是比较相邻两点间的高程差来判断其是否为地面点。上面提到的高差阈值,可定义为相邻两点间距离的函数 $\Delta h_{\max}(d)$ 即滤波函数。该函数的形状是一个倒置的锥体,通常是一个非递减函数,两点间距离越大,高差阈值就对应增大。

该算法的具体实现过程:以被判断点的坐标为核构造滤波函数,判断是否有其他点处于滤波函数所包围的区域内。如果没有,被判断点就被标记为地面点;如有,则被判断点就被标记为地物点。判断完一个点后,判断下一个点,直至遍历整个点云,滤波完成。基于坡度变化的滤波见图1。

如果测区地形缓和光滑,则根据测区实地地形,可

则滤波函数可为:

$$\Delta h_{\max}(d)=0.3d \quad (1)$$

一般情况下,肯定有一部分激光点是不满足本算法基本假设的,所以需要再增加一个置信区间,假定为有5%的点被拒绝,设被拒绝点的标准差为 σ ,则滤波函数为:

$$\Delta h_{\max}(d)=0.3d+1.65\sqrt{2}\sigma \quad (2)$$

由式(2)可以看出,最大高差阈值 $\Delta h_{\max}(d)$ 是一个随机的量,若用其去判断其他区域的点时,产生的结果也是随机的,所以要给 $\Delta h_{\max}(d)$ 增加置信区间。

假设采样子集中包含 N 对点,第 n 对点之间的距离为 d_n ,高差为 Δh_n ,取 $\max(\Delta h_n)$ 作为整个点集的最大高差。因为总点集中高差的概率分布是未知的,那么选择采样子集的高差分布作为总点集的概率分布,

来计算最大高差阈值的标准差。

设采样子集中高差的累积概率分布为 $F(\Delta h)$, 那么其最大高差的累积概率分布为 $F(\Delta h)^N$, 则有:

$$f_{\max}(\Delta h) = F(\Delta h)^N \quad (3)$$

对应的最大高差概率密度函数为:

$$\begin{aligned} f_{\max}(\Delta h) &= \frac{\partial \sigma F_{\max}(\Delta h)}{\partial \sigma(\Delta h)} = NF(\Delta h)^{N-1} \frac{\partial \sigma F(\Delta h)}{\partial \sigma \Delta h} \\ &= NF(\Delta h)^{N-1} f(\Delta h) \end{aligned} \quad (4)$$

对上述函数进行积分, 可求得最大高差的方差。

对于每对间距为 d_n 点的方差, 需要独立计算, 然后由方差来确定其置信区间, 再将这个置信区间加到最大高差阈值的表达式中。

经过处理, 可以使滤波后的 DEM 尽量保留原来的地形特征。

2.2 DEM 构建

滤波后得到的地面点集, 可以直接用来手工生产数字线画图 DLG, 或生产数字产品 DEM。

因为滤波过程不能保证完全准确, 所以滤波过后的地面点集可能包含一些粗差。在构建 DEM 时, 应采用一种稳健的构建方法, 以期发现这些粗差并剔除。在各种方法中, 比较成熟的算法是不规则三角网 (TIN) 的线性内插算法, 这种算法被业内人士普遍采用, 本文采用这种算法来构建 DEM。

首先对测区内所有地面点构建不规则三角网 (TIN) 处理, 然后对每个三角形进行处理, 处理方法见图 2。

在处理三角形 A 时, 同时考虑其顶点所在的其他三角形 $B_1, B_2, \dots, B_9$, 根据三角形 A 及其它邻域内的三

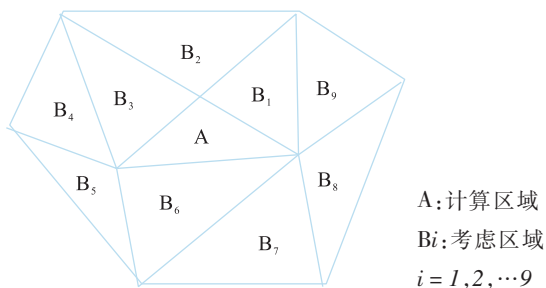


图 2 三角网处理

角形 B_{1-9} 的所有顶点坐标, 利用最小二乘法计算该区域的趋势面系数:

$$Z_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i \quad (5)$$

则此区域内第 i 个点高程值的最小二乘平差值与其观测值之间的拟合误差 l_i 为:

$$l_i = Z_i - Z_i' \quad (6)$$

由最小二乘原理知道拟合误差 l_i 呈正态分布, 且其标准差为 σ_z (通过最小二乘计算得到), 给定一个乘数因子 f , 设定阈值为:

$$T_z = f \sigma_z \quad (7)$$

如果被处理的三角形内某点的拟合误差超过了设定的阈值 T_z , 该点就被认为是粗差而剔除。重复上一过程, 直到所有的数据点满足阈值条件, 且趋势面稳定为止。然后按同样的方法处理三角网的所有三角形, 最终构成 DEM。

3 实验结果和分析

选取一组典型的丘陵地区线状地形数据做实验。图 3 是实验数据, 为更直观的显示植被情况, 显示的是平视图。从图 3 能容易地看出采集的原始点云数据



图 3 滤波前数据 (平视图)



图 4 滤波后数据 (平视图)

含有大量的植被, 植被的树冠部分清晰可辨。

图 4 是用本文的方法进行滤波后得到的地面点。与图 3 相对比可以发现, 直观上原始点云的植被部分已经得到了很好的剔除, 显示出了原始地貌应有的连续缓和的地形曲线。

图 5 是滤波后的地形点经 DEM 重建后得到的 DEM, 显示结果用高程值进行赋色。

为验证滤波的精度, 最好的方法是把滤波后的 DEM 与真实 DEM 相对比。真实 DEM 获取难度和成本太大, 在实际工程中不可取。而在油气管道工程中, 往往通过传统的测量手段获得线路的纵断面数据, 这种实地获得的断面数据是比较准确的, 高程精度可以达到厘米级甚至更高。在这里可以利用实测断面数据简化对比程序: 沿着实测断面线的平面位置, 在 DEM

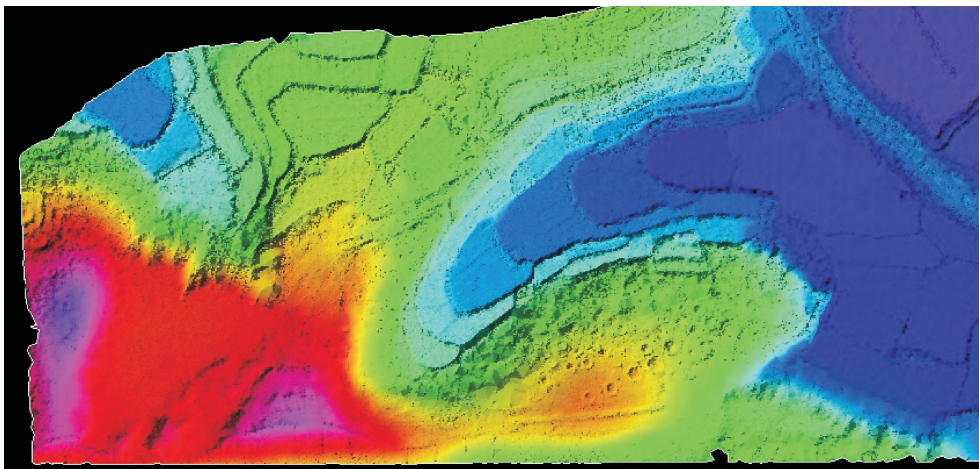


图 5 滤波后的 DEM

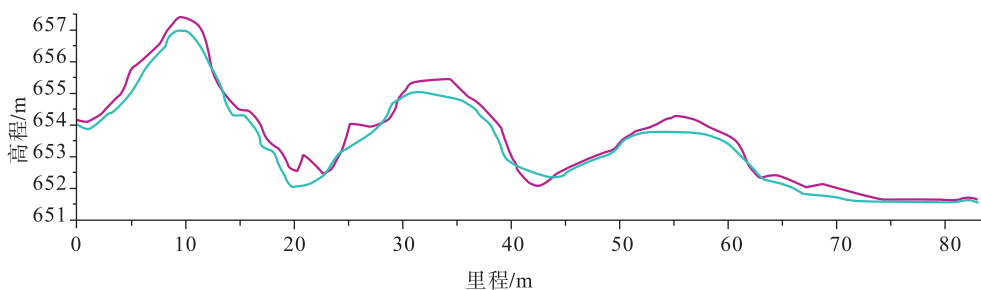


图 6 滤波结果对比

注:绿线是实测断面线 D ,红线是在 DEM 上提取的断面线 d 。

上提取出一个断面线 d , 然后与实际测得的断面线 D 相比较, 比较结果见图 6。

比较发现, d 与 D 可实现基本吻合, d 与 D 各对应点高差基本控制在 0.5 m 内, 个别植被茂盛的地方差值可达到 1 m 以上, 极个别地方差值超过 2 m。结果说明: 利用本文的方法快速提取 DEM 是可行的, 但要达到实际工程的精度要求, 还需对一些困难段的数据进行一定的人工干预。

参考文献:

[1] 刘 丽, 万仕平. 卫星遥感技术在油气长输管道勘察设计中

的应用[J]. 天然气与石油, 2010, 28(1): 29-32.

[2] 万仕平, 王洪生, 罗 沅. 浅谈低空数码航空摄影在线路测量中的应用[J]. 天然气与石油, 2008, 26(4): 61-64.

[3] 邓 非. LiDAR 数据与数字影像的配准和地物提取研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2006.

[4] 徐国杰. 基于影像和 LiDAR 点云的地物分类[D]. 武汉: 武汉大学, 2010.

[5] 徐国杰, 胡文涛. 一种改进的 LiDAR 点云 TIN 迭代滤波算法[J]. 测绘信息与工程, 2010, 35(1): 33-34.

[6] 张小红. 机载激光雷达测量技术理论与方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007, 29-45.

[7] Vosselman G. Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data[J]. I-APRS, 2000, 33(B3), 935-942.