

从机载 LIDAR 数据中提取 DEM

王 刃, 徐 青, 朱新慧

(解放军信息工程大学测绘学院 郑州 450052)

摘 要: 本文首先对各种机载 LIDAR(Light Detection and Ranging)数据滤波技术进行了分类,然后在此基础上,分析了每一种滤波技术的优缺点。为了克服现有滤波算子中单一窗口尺度无法准确描绘复杂场景的问题,本文采用了基于渐进窗口的数学形态学滤波算法,在点级别上对 DSM 进行滤波。最后用德国 Nahrodde 地区的机载数据进行了实验,并对实验结果的精度进行了统计分析。分析结果表明该算法的滤波精度可以达到 93.7%。

关键词: 机载 LIDAR; DEM; 滤波; 渐进窗口的数学形态学

Filtering of airborne LIDAR data using a progressive morphological filter

Wang Ren, Xu Qing, Zhu Xinhui

(Surveying and Mapping Institute of Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: In this paper, all the methods of filtering LIDAR data are introduced and analyzed. In order to overcome the defect that a single window cannot depict a complex scene, we take a progressive morphological filter to pick up DEM from airborne LIDAR data at the point level. In the end, they experimented on this progressive morphological filtering arithmetic by using the LIDAR data of Nahrodde in Germany, and then analyzed the precision of the results statistically, which show that the precision of the progressive morphological filter gets 93.7%.

Key words: Airborne LIDAR; DEM; filtering; progressive morphological filter

1 引 言

机载激光扫描技术又被称为机载 LIDAR(Light Detection and Ranging)技术。它是近年来兴起的一种主动式遥感手段,利用激光测距技术、惯性系统以及 DGPS(Global Position System)技术,可以直接获取被测目标区域的数字表面模型 DSM(Digital Surface Model)。DSM 包含了目标区域内所有对象的表面三维信息,即地形表面、植被表面、建筑表面等。从 DSM 数据中获取 DEM(Digital Elevation Model)的过程称为机载 LIDAR 数据滤波。机载 LIDAR 数据滤波技术是近年来的一个研究热点和难点。其关键问题是如何有效地把 DSM 中属于建筑、植被等非地形表面的点(即非地面点)去除掉,保留属于地形表面的点(即地面点)。

目前对这一问题的解决方案按照处理的数据形式

的不同,大致可以分为两类:一类是直接作用于规则分布的离散点集上。这类滤波算子首先把原始不规则分布的 DSM 数据,内插为规则分布的 DSM,从而把 DEM 数据滤波问题转化为距离图像的特征提取问题。滤波结果是建立在内插后的 DSM 数据之上的。而这类数据中不可避免的存在着由于内插而带来的误差。同时,这类数据本身并非实际测量所获得的,因此,基于其上的滤波结果的准确性也就很难得到保证。该类算子可以参考文献[1-3]。另一类滤波技术是直接处理不规则分布的离散点集上。这类算子直接作用于原始的 DSM 数据,根据某种准则,分类出属于地面的点。这类算子中较为典型的有 Kraus 和 Pfeifer 在 1998 年提出用线性稳健估计法从 DSM 数据中获取 DEM 数据。该算法首先对窗口中的数据点进行多项式拟合,以获得一个局部的趋势面,然后,将窗口中所有的数据点减去这个趋势面,并对减去趋势面的数据点进行线性

迭代内插,从而剔除掉不属于地面的点。这个方法要求数据集的分布是均匀的,而在城市地区这是很难满足的,并且滤波结果容易受到所选窗口大小的限制^[4]。Terrasolid公司的 terrascan 软件在过滤 DEM 数据时,则利用了基于小波分层的滤波算子。该算子针对原始 DSM 数据集,建立不同分辨率的数据金字塔,然后利用坡度、长度等作为衡量标准,通过层与层之间的比较,获得最终的 DEM 数据^[5]。该算法要求选择合适的窗口尺度建立数据金字塔,而确定合适的窗口尺寸往往是一件非常困难的事情。Killian 等提出用数学形态学滤波算子进行数据滤波。该算法首先用一个给定尺寸的窗口对原始数据做开运算,然后,选择窗口中高程最低的点为地面种子点,比较窗口中其他点与种子点之间的高程差异来确定它们的属性。该算法在执行时同样面临着如何确定最佳窗口尺寸的问题。为了克服这一问题,Killian 等提出用不同尺寸的开运算作用于离散点集,以获取不同尺度标准下的地面点,根据窗口尺寸的不同,对这些地面点进行赋权,再进行内插以获得最终的滤波结果^[6]。该方法获取的结果要比单一窗口尺寸进行数据滤波的结果要好得多,但其结果不属于原始点级别。而属于原始点级别的滤波结果显然要比内插出来的结果更为可靠。

从上面的分析中可以看出,目前所提出的大多数滤波算子都存在这样两个缺点:(1)滤波结果依赖于给定的窗口尺寸;(2)滤波结果不属于原始点级别的,而是通过内插等方式获得的。

为了能够有效的克服这两个缺点,本文采用基于渐进窗口的数学形态学滤波算法对机载 LIDAR 数据进行滤波,以获得点级别的、不依赖于窗口尺寸的高效滤波结果。

2 渐进窗口的形态学滤波算子^[7]

渐进窗口的形态学滤波算法的提出是为了有效的克服形态学滤波算法在过滤机载 LIDAR 数据时,因固定的窗口大小而不能滤除掉各类尺寸的非地面特征,或者是过度过滤而无法保留足够的地形细节特征的问题。

渐进窗口的形态学滤波算法的基本思想是,用一系列从小到大的窗口依次作用于机载 LIDAR 数据。图1阐述了渐进形态学滤波算法的作用原理。首先用一个窗口大小为 l_1 的开运算作用于原始机载 LIDAR 数据上,获得一个初始的滤波表面。经过第一次滤波后,

大的非地形特征点如建筑表面上的点被保留下来了,而植被表面点由于植被的尺寸小于 l_1 被过滤掉了,尺寸小于 l_1 的地形特征也被过滤掉了。在第一次过滤的基础上,把开运算的窗口大小增加到 l_2 ,再过滤一次。此时,小于 l_2 的建筑将会被过滤掉,所获取的滤波表面将比第一次更加光滑。

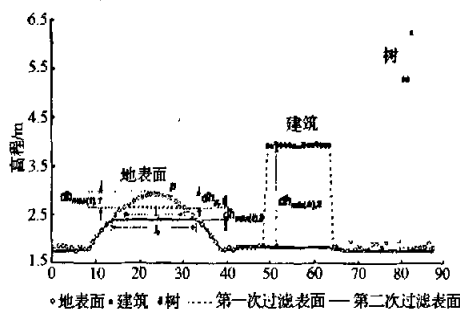


图1 渐进形态学滤波过程示意图

通过迭代运用形态学开运算作用于机载 LIDAR 数据上,在每一次迭代中,渐进增加窗口的大小,就可有效的滤除掉植被、房屋等非地形特征点。另一方面,过滤算子仍然会把一些地形细节过滤掉。在过滤中,将会被剔除掉。因此,直接应用形态开运算进行过滤时,部分地形细节会被过滤掉,从而导致最终得到的地形表面要比实际测量的地形表面低。为了有效的克服这一问题,可以在过滤时引入高程差阈值来区分地面、建筑、植被等。在出现建筑、植被的地方,通常都会引起高程的突然变化。这种变化有别于由于地形的起伏而引起的高程变化,即地形起伏而引起的高程变化通常会以一种渐进的方式出现,而建筑、植被等引起的高程变化则会比较突然。这种差异的存在可以用来区分地形、植被、房屋等。 $dh_{p,1}$ 为第一次过滤时原始测量点 p 和过滤表面之间的高程差,设 $dh_{T,1}$ 为高程差阈值,如果 $dh_{p,1} < dh_{T,1}$, 则 p 点为地面点;如果 $dh_{p,1} > dh_{T,1}$, 则 p 点为非地面点。 $dh_{max(b),1}$ 为第一次过滤时原始地面点与过滤表面之间的最大高程差异。如果 $dh_{T,1} < dh_{max(b),1}$, 则凸起的地形细节会被保留下来。在第二次迭代中,前一次过滤结果中的地面测量点与当前的过滤表面之间最大高程差异为 $dh_{max(b),2}$ 。设当前的高程差阈值为 $dh_{T,2}$, 同时,设前一次过滤结果中的建筑表面点与当前的过滤表面之间的最小高程差异为 $dh_{min(b),2}$, 则当 $dh_{T,2} < dh_{min(b),2}$ 时,建筑表面点会被有效的过滤掉。由于每次迭代运算时,高程差阈值的设置都是不同的,也就是说高程阈值是自适应的。那么,通常可以设高程差阈值为窗口尺寸的函数。窗口可以是

一维的线窗口,也可以是二维的框窗口。由于目前的机载 LIDAR 扫描方式多为线性扫描,在一次扫描中,仅获得目标区域的一个切面描述。因此,在过滤数据时,采用线窗口可以和获取数据的方式形成一致,从而更为有效的处理数据。一维线性窗口的大小可以简单的表达为:

$$w_k = 2kb + 1 \quad (1)$$

其中; $k=1,2,\dots,M$; b 为初始窗口大小。这种过滤窗口具备对称性,因而较容易编程实现。而且窗口大小的变化是线性的,从而可以有效的保留地形细节特征。然而,另一方面这种窗口大小的设置会导致整个算法特别耗时。

为了提高整个运算速度,可以采用下式的指数形式,从而减少迭代的次数:

$$w_k = 2b^k + 1 \quad (2)$$

其中; $k=0,1,2,\dots,M$; b 为基底。由上面的窗口定义,可以设高程差值的阈值为:

$$dh_{T,k} = \begin{cases} dh_0 & \text{if } w_k \leq 3 \\ s(w_k - w_{k-1})c + dh_0 & \text{if } w_k > 3 \\ dh_{\max} & \text{if } dh_{T,k} > dh_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

其中; $s = \frac{dh_{\max(i),k}}{(w_k - w_{k-1})}$; s 为坡度; c 为单元格窗口的尺寸。

3 实验结果与分析

为了分析基于渐进窗口尺度的形态学滤波算子的性能,本文利用德国 Nahrodde 地区的激光扫描数据进行了实验。实验数据的采样密度为 0.5 pt/m^2 。实验区域的点数为 108 887 个点,其中 X 轴的跨度为 183.61 m, Y 轴的跨度为 557.54 m,最小高程值为 183.61 m,最大高程值为 211.92 m。

该区域为一块居民区,有大量的建筑,同时在建筑之间还有各种植被。在数据区域的上半部分是一块田地,田地中间还散落着各种植被。对该地区用渐进窗口的数学形态学滤波算法进行滤波,滤波时单元格窗口尺寸为 1.3 m,基底 b 为 2,最大窗口尺寸为 100 m,地形的坡度阈值设为 300,初始高程差异为 0.3 m,最大高程差异为 2.5 m。

图 2 为滤波结果,其中暗黄色的点表示地面点,白色的点为非地面点;图 3 为该区域对应的地图;图 4、图 5 分别为地面点图和非地面点图;图 6 为实验获取的 DEM;图 7 为该区域真实的 DEM。两个 DEM 的内插

间距是一样的。

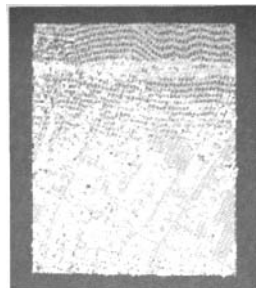


图 2 过滤结果



图 3 对应的地图

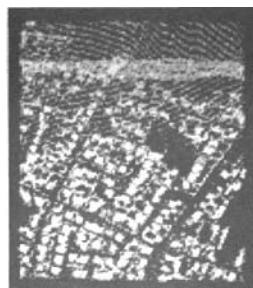


图 4 过滤后得到的非地面点

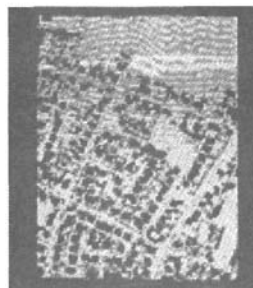


图 5 过滤后得到的地面点

对比图 6 与图 7 发现,通过滤波获取的地面点内插出来的 DEM 在某些局部区域出现了一些突起的包块。这主要是因为所获得的地面点中仍然有部分植被

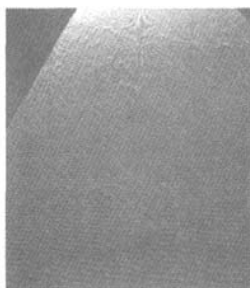


图6 内插的 DEM

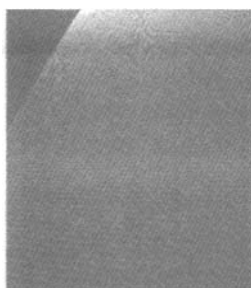


图7 对应的真实 DEM

点没能被过滤掉。由于这些植被过于矮小,从而使算法无法分别它们与真实地面点之间的区别,这也是该算法的一个缺陷。毕竟仅仅靠临近点之间的高程差这一单一尺度来区分点的属性,有些时候是无法得到正确结果的。研究用更多的描述尺度来对 DSM 数据进行滤波,是下一步所要做的工作。

对实验结果最好的说明,就是进行统计分析,从而获得实验结果的精度。而目前对滤波算子的精度进行统计分析还缺少可行的手段和方法,这方面也很少有文献涉及。为了能够准确的评价基于渐进窗口的数学形态学滤波算子的性能,这里我们设计了一种统计方法,可以用来描述该算法的精度:

首先比较真实 DEM 与实验内插出来的 DEM 之间的差异,当同一位置在两个 DEM 中的高程差异大于 15 cm 时(15 cm 为机载 LIDAR 的高程精度),就认为该点存在着过滤误差;

然后统计出所有误差点的个数(实际数目为 6 894 个),用此个数除以 DEM 中全部数据点的个数(108 887),从而获得一个相对精度指标即误差率。

由上述统计数据可得,实验中的误差率为 6.3%,也就是说基于渐进窗口的数学形态学滤波算子的准确率可以达到 93.7%。尽管该方法没有直接对滤波结

果(地面点、非地面点)进行统计分析,而是对内插后的 DEM 进行分析,获取描述精度,但由于内插所得到的 DEM 的质量跟滤波结果有着必然的联系,因此可以认为通过这种统计方法所获得的参数在一定程度上可以反映出算子的性能。

4 结 论

使用基于渐进窗口的数学形态学滤波算子对机载 LIDAR 数据进行滤波,可以取得较好的结果,而且该算法设计简单,计算量小,精度较高。但该算法的缺点也是很明显的,在实际进行滤波时,该算法仅仅用临近点之间的高程差异这单一尺度去区分地面点和非地面点,这在某些情况下是很容易产生误差的。因此,设计更多的尺度,更为全面的尺度是下一步研究工作的重点。

参考文献

- [1] VOSSELMAN G. Slope based filtering of laser altimetry data[J]. International Archives Photogrammetry and Remote Sensing, 2000,33(B4):958-964.
- [2] FORLANI G, NARDINOCCHI C, SCAIONI M, et al. Complete classification of raw LIDAR data and 3D reconstruction of buildings[J]. Pattern Analysis & Applications, 2006,8(4):357-374.
- [3] LOHMANN P, KOCH A, SCHAEFFER M, et al. Approaches to the filtering of laser scanner data[J]. International Archives Photogrammetry and Remote Sensing, 2000,33(B3):540-547.
- [4] KRAUS K, PFEIFER N. Determination of terrain models in wooded areas with aerial laser scanner data [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998,53:193-203.
- [5] TerraScan, TerraScan for microStation user's guide [Z]. Terrasolid Limited, 1999.
- [6] KILIAN J, HAALA N, ENGLISH M. Capture and evaluation of airborne laser scanner data[J]. International Archives Photogrammetry and Remote Sensing, 1996,31:383-388.
- [7] ZHANG K Q, CHEN S C, WHI TWAN D, et al. A Progressive Morphological Filter for Removing Non-ground Measurements From Airborne LIDAR DATA [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003,41(4):872-882.