

一种针对激光雷达强度图像的滤波算法研究

赖旭东¹ 万幼川¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘要:基于激光雷达数据的特点,提出了一种融合的中值滤波算法。运用此算法和传统的中值滤波算法以及均值算法对激光雷达数据进行了处理,并且使用多种指标对处理的结果进行了比较,证明本算法既保持了传统中值滤波的优点,又改进了对弱边缘目标的保护。

关键词:激光雷达;影像融合;中值滤波;噪声抑制;边缘保护

中图法分类号:TP751.1

近年来,激光雷达(light detection and ranging, LIDAR)技术日益成熟,其在遥感领域内的应用也越来越广泛。由于早期的激光雷达获取的数据是被测地物的三维坐标,即深度(距离)图像,因此,对激光雷达的数据处理及应用主要集中在距离数据的直接处理及应用上^[1~3]。还有一种方法是将激光雷达数据转换成距离灰度图像,从图像处理的角度研究地物提取,得到边缘及分类结果。目前,激光雷达系统在测定激光脚点三维坐标的同时,能够记录该激光脚点位置反射激光信号的强度信息,这种信息在实质上同光学成像得到的灰度影像是一样的。本文试图探讨利用激光回波信号的强度进行成像,融合激光雷达的距离信息对强度图像进行滤波处理的可行性。

1 算法原理

在相干激光雷达和声学成像等传统激光成像系统的应用中,通常是直接利用图像处理技术对所得图像进行研究处理^[4,5],所处理的图像一般是某个物体不同部位的几何表面,其目的是为了重构或表现物体的几何表面特征和结构,对激光雷达数据并不适用。如何根据激光雷达数据的特点综合利用距离信息与强度信息,是一个新的研究方向。

激光雷达的强度信息是通过单色波照射目标,接收回波信号形成图像。此类图像都存在着

较严重的噪声,其主要成分为脉冲噪声(椒盐噪声)。这种噪声为乘性噪声,与信号相关,难以去除。数字图像处理中一般采取中值滤波的方法处理这种噪声,在去除孤立点、线的噪声的同时保持图像的边缘^[6,7]。针对目前的激光雷达数据,本文提出了一种融合激光雷达距离信息的强度信息图像中值滤波算法。

中值滤波的基本原理是把图像中每一点的值用其邻域中各像素灰度值的中值代替。设 $\{x_{ij}, (i, j) \in I^2\}$ 为数字图像各点的灰度值,滤波窗口为 A 的二维中值滤波可定义为:

$$y_{ij} = \underset{A}{\text{med}}\{x_{ij}\} = \underset{A}{\text{med}}\{x_{(i+r), (j+s)}, (r, s) \in A, (i, j) \in I^2\}$$

本算法在对像素 x_{ij} 的灰度进行取值的同时,考虑对应的激光雷达距离信息中像素 x_{ij} 的8-邻域内的高差(激光雷达距离信息即高程信息,对相邻像素的高程值求差可得到高差),共有8个值,设为 $h_i (i=1, \dots, 8)$ 。令 $h = \min\{h_i\}$, T 为阈值,若 $h > T$,则说明 x_{ij} 与其周围像素的高差的最小值超过了阈值,具有高程突变的特征,可判定像素 x_{ij} 为地物边缘所成的图像,应加以保护,保持原有灰度值不变。否则,采用中值滤波的结果。其具体算法公式为:

$$y_{ij} = \begin{cases} x_{ij}, & h > T \\ \underset{A}{\text{med}}\{x_{ij}\} = \underset{A}{\text{med}}\{x_{(i+r), (j+s)}, (r, s) \in A, (i, j) \in I^2\}, & h < T \end{cases}$$

式中, $h = \min\{h_i, i=1, \dots, 8\}$, h_i 为激光雷达距离

信息中像素 x_{ij} 与其 8-邻域内各像素的高差; T 为阈值。

2 试验结果及比较分析

本试验采用某一地区的激光雷达数据,将该数据中的强度信息转换为一幅 1 487 像素×1 325 像素的 256 色 BMP 图像。需要指出的是,试验的数据处理是对原始数据进行的,只是为了直观的需要才转换为 BMP 图像。这一过程中进行重采样时,会带来内插误差,在进行灰度量化和拉伸变换时,需要取整,会产生舍入误差,这些都导致

许多细节无法在图形中表现出来。考虑到计算的简便,试验将阈值设置为 1 m(可依据目的的不同设置为所需的数值)。

2.1 试验结果

图 1 是运用 3×3 窗口进行滤波的试验结果,为清晰表示,用局部影像来表示。

2.2 试验结果分析

1) 边缘展宽,用来评价算法的边缘保持能力。从图像上看,均值滤波采取了求邻域像素平均的操作,其图像的边缘出现展宽,产生了模糊的现象,不利于边缘提取操作。中值滤波对边缘的保护能力较强,融合中值滤波保持了这一优点。

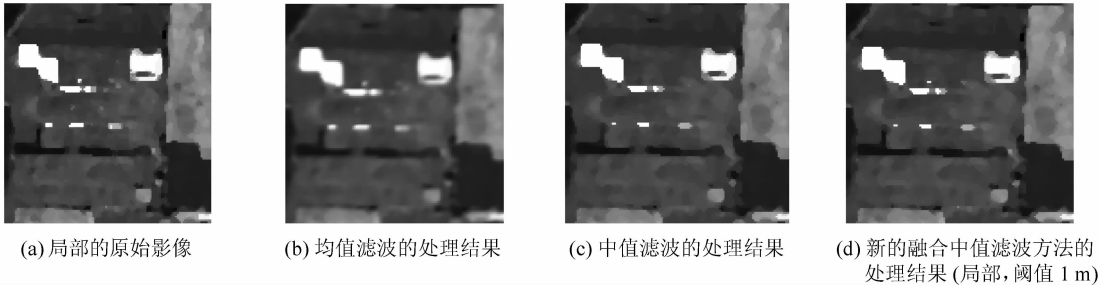


图 1 各种算法处理结果
Fig. 1 Processing Results of Algorithms

2) 弱边缘保护,用来评价算法对目标边缘较弱的信息点的保护能力。弱边缘指图像中灰度变化较小,而实地是地物边缘的情况。仅使用灰度检测无法确定弱边缘,附加高差检测后能够得到理想结果。通过比较发现,融合中值滤波有效地改善了中值滤波对弱边缘的信息点的保护能力较弱的缺点。由于阈值设置为 1 m,可以确认在图像中的很多地方存在着 1 m 以上的高差,并不是噪声(如阴影遮挡的低矮建筑、高大建筑与阴影相接的边缘)。由于弱边缘灰度变化较小,传统的中值滤波将其认定为噪声而加以过滤了(图 1(c)),新的算法则将其保留了(图 1(d))。必须指出的是,在转换为 BMP 格式时,图像并没有完全体现算法对后台数据质量的改善程度。

3) 信噪比,用来评价噪声的抑制能力。这里认为原始图像为信息,处理后的图像与原图像的差异就是噪声。其公式为:

$$SNR = 10 \lg \left[\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F(i,j))^2 / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (R(i,j) - F(i,j))^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (R(i,j) - F(i,j))^2} \right]$$

式中,SNR 为信噪比; M 、 N 为图像的长宽; $F(i,j)$ 、 $R(i,j)$ 分别为处理后的图像和原始图像在 (i,j) 处的灰度值。对各算法计算 SNR 结果如表 1

所示。

表 1 信噪比结果
Tab. 1 Results of SNR

算法	均值滤波	中值滤波	新中值滤波(阈值为 1 m)
信噪比	47.819 208	57.092 072	62.703 454

4) 清晰度(平均梯度),用来反映图像质量的改进程度、图像中微小细节反差和纹理变换特征。清晰度的提高往往表征着图像的质量、细节信息和纹理特征的提高和增强。其公式为:

$$\bar{G} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{\Delta x f(i,j)^2 + \Delta y f(i,j)^2}$$

式中, M 、 N 为图像的长宽; $\Delta x f(i,j)^2$ 、 $\Delta y f(i,j)^2$ 分别为 $f(i,j)$ 沿 x 、 y 方向的差分。各算法的计算结果如表 2 所示。

表 2 清晰度结果
Tab. 2 Results of Definition

算法	均值滤波	中值滤波	新中值滤波(阈值为 1 m)
清晰度	16.148 538	17.432 636	18.419 926

3 结 语

通过以上 4 个指标发现,不论从主观评判还

是从客观指标来看,本文提出的融合距离与强度信息的融合中值滤波算法,既保持了传统中值滤波的优点,又改进了对弱边缘目标的保护。本算法中,随着阈值的取值不同,会得到不同的滤波结果。这样,一方面可以根据需要来取不同的阈值选择要保护的边缘。如仅需要楼房等高大建筑物时,可以将阈值设为 2.5 m,以防止低矮地物的干扰,减少数据量。另一方面,可以实现自适应的算法,针对像素信息的不同,采取不同的阈值和滤波窗口,提高滤波的效果。

图 2 为对图 1 (c)、1(d)采用 Canny 算子提取边缘的结果,可以看出两者有明显的不同,后者的细节边缘丰富。由于缺乏相关数据(实地的 GIS 数据、地形数据),还不能对该结果进行进一步的评价和分析,包括边缘的准确度和精度指标等。

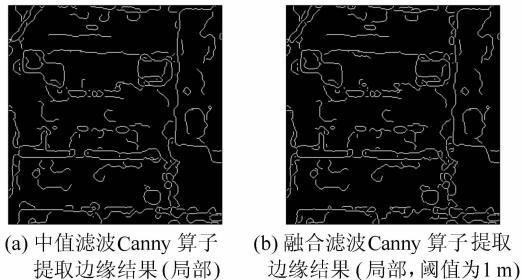


图 2 Canny 算子提取边缘的结果

Fig. 2 Results of Using Canny Operator

实践证明,单纯利用激光雷达的深度(距离)数据进行地物的分类与识别并不能令人满意,或单纯利用激光雷达的强度信息进行地物的分类与

识别,也不能充分发挥激光雷达技术的先进性。只有将激光雷达的深度(距离)数据和强度信息有机地结合,才能充分发挥各自的优点。

参 考 文 献

- 1 Kraus K, Pfeifer N. Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1998, 53: 193~203
- 2 Axelsson P. Processing of Laser Scanner Data-algorithms and Applications. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1999, 54: 138~147
- 3 李清泉,李必军,陈 静. 激光雷达测量技术及其应用研究. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(5): 387~392
- 4 隋连升,杨景华,蒋庄德. 基于小波变换的激光光刀图像去噪技术. 光子学报, 2003, 32(9): 1 118~1 121
- 5 蒋立辉,赵春晖,王 骐. 相干激光雷达图像散斑噪声抑制算法. 光学学报, 2003, 23(5): 541~546
- 6 李自勤,王 骐,李 琦,等. 激光成像系统图像散斑抑制算法比较. 红外与激光工程, 2003, 32(4): 130~133
- 7 Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing, 2/E. Prentice ; Prentice Hall, 2002
- 8 阳方林,郭红阳,杨风暴. 像素级图像融合效果的评价方法研究. 测试技术学报, 2002, 16(4): 276~279

第一作者简介:赖旭东,博士生。主要从事利用机载激光雷达技术获取空间信息的理论与应用研究。

E-mail: lxdwh@163.com

A Filer Algorithm for LIDAR Intension Image

LAI Xudong¹ WAN Youchuan¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Based on the character of LIDAR data, a new fusion median filtering algorithm is proposed. The algorithm, median filtering algorithm and mean filtering algorithm are applied, and their results are compared to different evaluation parameters. The conclusion proves the improvement of the proposed algorithm in keeping the advantage of median filtering algorithm under the condition of preserving unclear edge of the image.

Key words: LIDAR; image fusion; median filter; noise suppressing; edge keeping

About the first author: LAI Xudong, Ph. D candidate, majors in theories and applications of spatial information captured by light detection and ranging.

E-mail: lxdwh@163.com

(责任编辑: 晓晨)