

文章编号: 0253-2239(2005)05-581-4

# 相干激光雷达距离像的噪声抑制算法研究

李 琦 王永珍 王 骥 李自勤

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所 可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 激光雷达能同时成距离像和强度像,较其他的成像体制给出更多的有用信息。距离像的去噪是激光雷达图像处理的关键步骤,去噪的好坏直接关系激光雷达在跟踪、定位等方面的精确性。根据距离像噪声来源,采用结合强度像的多级中值滤波对实际的雷达图像进行了去噪处理。首先利用强度像  $3 \times 3$  邻域均值和图像平均值消除失落信息影响,然后采用多级中值滤波消除逸出值。分别给出了各步处理结果,最终获得了较清晰的距离像。研究结果表明运用结合强度像的多级中值滤波方法能够有效地抑制相干激光雷达距离像的噪声。

**关键词:** 成像系统; 激光雷达; 距离像噪声抑制; 多级中值滤波; 强度像

中图分类号: TN958.98 文献标识码: A

## Noise Suppression Algorithm of Coherent Ladar Range Image

Li Qi Wang Yongzhen Wang Qi Li Ziqin

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Institute of Opto-Electronic,  
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract:** Ladar, which can obtain range image and intensity image, may provide much useful information than other imaging system. Range image noise suppression is a key for ladar image processing. The suppression effects influence directly precision in tracking and pointing. According to range image noise, combining intensity image with multilevel median filtering is used for actual ladar image. First, dropout is removed according to intensity image mean in  $3 \times 3$  window and whole image mean. Then, outlier is removed by using multilevel median filter. Each processing result is presented and better range image is obtained. The investigation results show that this algorithm can suppress range image noise in coherent ladar effectively.

**Key words:** image system; ladar; range image noise suppression; multilevel median filtering; intensity image

### 1 引 言

激光雷达可同时成强度像和距离像,即同时得到了目标的反射特性和结构特征,这两种像均反映了目标的本征性质,它使得目标识别更加容易,且由于距离像的存在,增加了信息量,从而提高了探测的精确性,并且使得相关的自动目标识别软件易于编写,这些优点使激光雷达在目标探测和自动识别等方面很有应用前景。

但是由于激光雷达直接采集到的图像往往带有很多噪声,如散斑噪声、散粒噪声等,这严重地降低了目标识别的精度<sup>[1~4]</sup>。特别是距离像不像强度像那样可直接根据灰度值确定目标,原始距离像有许多虚假物体,比如天空和地面可能在数值上相同或

相近,这主要由“失落信息”(dropouts)和“逸出值”(outliers)造成,它们统称为漏测值(MV)<sup>[5]</sup>。所以要更好的利用距离像,首要任务就是去噪,该环节处理的好坏直接关系到激光成像雷达整体性能。

距离像的去噪就是要解决漏测值问题,MIT 林肯实验室最早提出了与强度像相关的距离像去噪算法<sup>[5]</sup>,文中对失落信息处理并未具体说明,对逸出值的处理是他们自己的经验方法,经过多次非常规处理,如“三步收缩”和“两步扩展”等。另外,还有其他研究小组的几篇文献中提及中值滤波和最大期望等方法处理距离像<sup>[6,7]</sup>。

国内对实际激光雷达距离像的研究起步较晚,本文对室外 CO<sub>2</sub> 激光雷达距离像进行了图像处理

作者简介: 李 琦(1963~),女,黑龙江省牡丹江市人,副研究员,博士,主要从事激光空间信息技术方面的研究。

E-mail: hit\_liqi@yahoo.com.cn

收稿日期: 2003-12-23; 收到修改稿日期: 2004-07-16

研究,提出了针对大目标激光雷达距离像的结合强度像的多级中值滤波去噪算法,并给出了真实激光雷达距离像去噪处理结果。

## 2 距离像噪声的来源

相干激光雷达工作原理如图 1 所示。主振激光器发射激光脉冲,这些脉冲经过扫描装置和收发合置光学系统后,照射到目标上,经目标反射后再次经过光学系统与本振光在探测器光敏面上进行混频,得到外差信号,通过中频放大、峰值检测,得到三维图像信息。

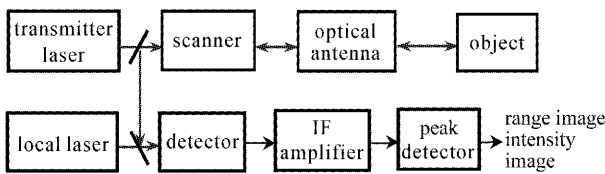


图 1 相干激光雷达原理框图

Fig. 1 Block diagram of a coherent lidar

当接收的回波能量低于阈值时,产生失落信息。具体来说有以下三种情况:

1) 激光脉冲没有回波的情形:在发射脉冲通道上没有反射表面(如天空)或由表面反射回来的信号没能反射到激光雷达上。

2) 回波强度低于探测器的响应阈值。

3) 回波时间超出了激光雷达接收窗口。

当背景或者探测器噪声峰值超出了失落信息阈值,并且超出了真正的回波信号的峰值就产生了逸出值,也称为距离反常(range anomalies),造成逸出值的原因主要有:散粒噪声、散斑噪声等。

激光束照射到目标表面,由于表面的粗糙性,必然形成散斑,散斑噪声会严重影响激光成像雷达的强度像,使得强度像灰度剧烈变化,同时由于采用外差接收,所以它还必定受到本振散粒噪声的影响。一个严重的散斑降低同时伴随着一个强的噪声峰值

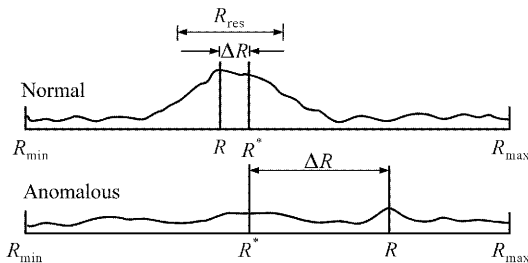


图 2 峰值测量距离时的正常与反常情况

Fig. 2 Range normal and anomalous behavior in peak detection

导致测量距离值远离真实值,从而形成反常距离。图 2 给出了距离正常与反常情况示意图<sup>[2,4]</sup>。

## 3 算法原理

距离像去噪处理主要是对失落信息和逸出值进行抑制,这是距离像预处理的关键。

### 1) “失落信息”抑制

基于失落信息的形成原因,根据原始强度像的灰度均值抑制失落信息。基本思想是由原始强度像整体灰度均值确定阈值,并且由强度像  $n \times n$  邻域灰度均值与阈值比较确定是否为失落信息。当  $(i, j)$  点对应的强度像  $n \times n$  窗口灰度值均值小于阈值  $T$  时,其对应的距离像  $(i, j)$  点距离值为失落信息值,更改为一固定新值;否则,此点距离值不变。其数学表达式为

$$y_{ij} = \begin{cases} y_{ij}, & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y'_{ij} / n^2 \geq T \\ C, & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

其中  $y_{ij}, y'_{ij}$  分别为距离像距离值和强度像灰度值,  $C$  为常数。阈值  $T$  由整幅图像的均值确定,其数学表达式为

$$T = k \frac{\sum_{i=1}^{N_2} \sum_{j=1}^{N_1} y'_{ij}}{N_1 \times N_2}, \quad (2)$$

式中  $N_1$  为这幅图像像元列数,  $N_2$  为整幅图像像元行数;  $k$  为系数,此值为经验值。

### 2) “逸出值”抑制

在抑制失落信息后,进行逸出值抑制。在距离像的去噪中,保持边缘最为重要。如果采用线性滤波的方法处理,虽然抑制了噪声,但是由于高频分量的丢失,从而导致了信号边缘的模糊。中值滤波是一种非线性去噪处理方法,此法既可以去除噪声又可以保护图像边缘。国外已有多篇文献采用中值滤波方法处理距离像<sup>[6,7]</sup>。

中值滤波器是一个含有奇数个像素点的滑动窗口,窗口正中间那个像素的值用窗口内各像素值的中值代替。

设  $\{x_{ij}, (i, j) \in I^2\}$  ( $I^2$  表示二维整数空间) 表示数字图像各点的灰度值,进行中值滤波后的输出结果为

$$y_{i,j} = \text{med}\{x_{ij}\} = \text{med}\{x_{(i+r),(j+s)} \mid (r, s) \in A, (i, j) \in I^2\}, \quad (3)$$

$\text{med}()$  表示取中值。多级中值滤波是在中值滤波基础

上发展起来的滤波方法,从而更有效地保持细节。

设  $x_{m,n}$  为含噪声图像在  $m$  行  $n$  列处的灰度值,取一边长为  $L$  的矩形窗口,  $L = 2N + 1, N$  为整数,

然后把该窗口分成四个子窗口。假如某时刻窗口内像素点为  $x_{m-i,n-j}, -N \leq i, j \leq N,$  其四个子窗口被定义为

$$W_1(m, n) = \{x_{m, n-k}; -N \leq k \leq N\}, \quad (4)$$

$$W_2(m, n) = \{x_{m-k, n}; -N \leq k \leq N\}, \quad (5)$$

$$W_3(m, n) = \{x_{m+k, n-k}; -N \leq k \leq N\}, \quad (6)$$

$$W_4(m, n) = \{x_{m-k, n-k}; -N \leq k \leq N\}, \quad (7)$$

它们分别表示沿水平、垂直和水平方向成  $45^\circ$  及  $135^\circ$  的一维窗口。

令  $Z_1(m, n), Z_2(m, n), Z_3(m, n), Z_4(m, n)$  分别表示这四个窗口内所有像点的中值,即

$$Z_k = \text{med}[x_{i,j} \in W_k(m, n)], \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (8)$$

$U_{\min}, U_{\max}$  分别表示这四个中值中的最大和最小值,即

$$U_{\min}(m, n) = \min[Z_1(m, n), Z_2(m, n), Z_3(m, n), Z_4(m, n)], \quad (9)$$

$$U_{\max}(m, n) = \max[Z_1(m, n), Z_2(m, n), Z_3(m, n), Z_4(m, n)], \quad (10)$$

其中  $\max(), \min()$  分别表示取最大值和取最小值。多级中值滤波的输出最终由下式给出:

$$y(m, n) = \text{med}[U_{\min}(m, n), U_{\max}(m, n), x_{m,n}]. \quad (11)$$

从(4)式~(11)式可看出,只要  $U_{\min}, U_{\max}$  中有一个和窗口中心像素点  $x_{m,n}$  的灰度相同,则中值滤波的输出便为  $x_{m,n}$ ,从而有效地保护了图像中的细节。

#### 4 实际激光雷达距离像去噪结果

图3给出了相距一定间隔两个建筑物的照片和

原始的激光雷达距离像和强度像[对应图3(a)方框中部分]。由图3(c)中不难看出原始距离像背景噪声严重,建筑物上有许多距离反常值。

图4给出了失落信息抑制结果,其中  $n = 3, k = 0.32$ 。从图4中可以看出绝大多数背景噪声被去除。

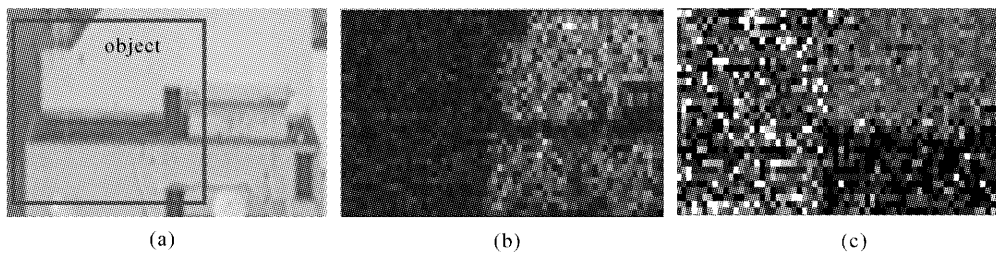


图3 激光雷达原始图像。(a) 建筑物照片,(b) 原始强度像,(c) 原始距离像

Fig. 3 Original lidar image. (a) Building photo, (b) original intensity image, (c) original range image

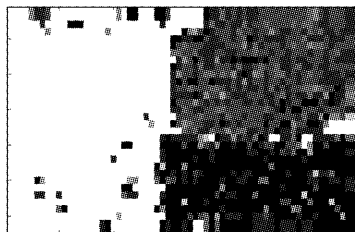


图4 失落信息去除结果

Fig. 4 Cleaning dropouts result

图5给出了用  $3 \times 3$  多级中值滤波进行距离反常抑制的结果。从中可以看到:背景只有少数孤立噪声点,边缘基本保持,两个物体表面均匀性得到改

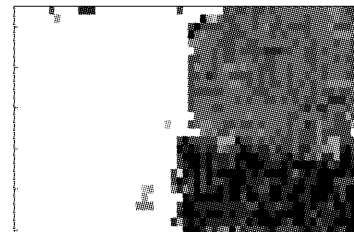


图5 逸出值去除结果

Fig. 5 Cleaning outliers result

善,但表面光滑度还需进一步提高。

为了进一步使建筑物表面光滑,而又不损失边缘信息,对图5数据进行了  $3 \times 3$  十字中值滤波,结

果如图 6 所示。建筑物表面均匀性有所提高,未更均匀的主要原因在于原始图像距离反常值过多,这主要是由于激光雷达中激光发射不稳定造成的。

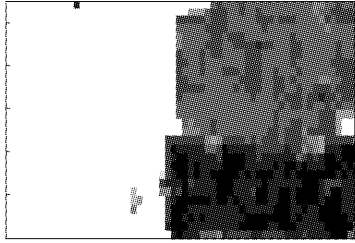


图 6 对图 5 进行  $3 \times 3$  十字中值滤波结果  
Fig. 6  $3 \times 3$  cross median filtering for fig. 5

## 5 结 论

激光雷达距离像是激光雷达突出的优势,如何更好地利用和发挥这一优势,是激光成像雷达的一大研究重点。

利用本文提出的结合强度像的多级中值滤波算法,对真实的激光雷达距离像进行了去噪处理,在对背景的失落信息抑制上起到了较好的效果,大部分背景噪声消失;在对逸出值的抑制上,基本保持了建筑物的边缘,且建筑物不同层面的均匀性有所提高。同时在中级滤波的基础上,又加上十字窗口的中值滤波,使各物体表面距离值更接近。

从上面的研究结果看:背景抑制比较理想,逸出值(反常值)的抑制有一定的改善。为了得到更为清晰的距离像,除了在图像处理方面逸出值的抑制上继续努力之外,更重要的还要在提高激光稳定性、降低前放噪声、提高计时精度等方面加大研究力度,从根本上减小距离误差(即距离反常)。

## 参 考 文 献

- 1 Jiang Lihui, Wang Chunhui, Wang Qi *et al.*. A speckle imaging model for impulse coherent laser radar and suppressing its speckle noise[J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(12): 1623~1628 (in Chinese)  
蒋立辉,王春晖,王 骐 等. 脉冲相干激光雷达的散斑成像模型及其散斑噪声压缩[J]. *光学学报*, 2000, **20**(12): 1623~1628
- 2 Li Ziqin, Wang Qi, Li Qi *et al.*. Multiplication model of speckle image and speckle suppression in imaging lidar[J]. *Chin. J. Lasers*, 2003, **30**(8): 717~720 (in Chinese)  
李自勤,王 骐,李 琦 等. 激光成像雷达系统中散斑像的乘法模型及其滤除[J]. *中国激光*, 2003, **30**(8): 717~720
- 3 Qi Wang, Ziqin Li, Qi Li *et al.*. An edge detection algorithm for imaging lidar[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(5): 272~274
- 4 Thomas J. Green Jr., Jeffrey H. Shaplo. Detecting objects in three-dimensional laser radar range images[J]. *Opt. Engng.*, 1994, **33**(3): 865~874
- 5 Jacques G. Verly, Richard L. Delanoy. Model-based automatic target recognition (ATR) system for forwardlooking groundbased and airborne imaging laser radars (LADAR)[J]. *Proc. IEEE*, 1996, **84**(2): 126~163
- 6 M. Umasuthan, A. M. Wallace. Outlier removal and discontinuity preserving smoothing of range data[J]. *IEE Proc. -Vis. Image Signal Process*, 1996, **143**(3): 191~200
- 7 J. E. Baum, S. J. Rak. Simultaneous active/passive-IR vehicle detection [C]. *Proc. SPIE*, 1991, **1416**: 209~218