

文章编号: 0258-7025(2002)09-0826-03

CO₂ 激光成像雷达图像处理分析

李琦, 王 骐, 李自勤, 李 霖, 蒋立辉, 尚铁梁

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江哈尔滨 150001)

提要 针对实际处理单幅 CO₂ 激光成像雷达图像的问题, 提出了算法简单快速的有阈值限定的中值滤波和同态均值滤波组合的图像处理方法, 其处理后的图像散斑指数为 0.1489; 研究比较了中值滤波、邻域均值滤波、有阈值限定的中值滤波和同态邻域均值滤波及后两种滤波组合对去除噪声清晰图像的影响。

关键词 图像处理, 激光成像雷达, 算法比较

中图分类号 TN 958.98, O 438 文献标识码 A

Image Processing on CO₂ Laser Imaging Radar

LI Qi, WANG Qi, LI Zi-qin, LI Lin, JIANG Li-hui, SHANG Tie-liang

(Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001)

Abstract In this paper, an algorithm which process the single image of CO₂ laser imaging radar is presented. The simple quick algorithm consists of median threshold filter and homomorphic mean filter. The speckle index by the algorithm is 0.1489. Meanwhile, a few of the filter results are compared, for example median filter, mean filter, median threshold filter and homomorphic mean filter etc.

Key words image process, laser imaging radar, algorithm comparison

激光成像雷达图像的噪声主要为散斑噪声。而散斑噪声是乘性噪声, 这比一般的加性噪声更难以处理。另外, 因为我们所研究的 CO₂ 激光成像雷达相对目标运动速度很大, 且要求图像实时显示, 因此不可能通过多幅图像叠加去除噪声, 只能针对一幅进行图像处理。这些都给激光雷达图像处理带来很大困难。关于去除散斑噪声的方法, 近几年不断有人提出一些新的算法, 如同态-罩均值滤波算法、同态多方向加权均值滤波、小波阈值算法、多方向加权形态滤波等算法^[1~7]。

为了要实现实际雷达工作中图像的实时处理, 我们提出了算法简单快速的有阈值限定的中值滤波和同态均值滤波组合的图像处理方法, 研究比较了中值滤波、邻域均值滤波、有阈值限定的中值滤波和同态邻域均值滤波及后两种滤波组合对去除噪声清晰图像的影响。

1 原 理

中值滤波是一种非线性滤波方法, 在某些条件下可以做到既去除噪声又保护图像边缘, 因此得到广泛重视和实际应用。

滤波窗为 A 的二维中值滤波定义为

$$y_{ij} = \text{Med}\{x_{(i+r)(j+s)} \mid (r, s) \in A, (i, j) \in I^2\} \quad (1)$$

$\{x_{ij} \mid (i, j) \in I^2\}$ 表示数字图像各点的灰度值。

有阈值限定的中值滤波, 是在中值滤波的基础上, 考虑到不使点图像在中值滤波作用下淹没掉提出的。算法表述:

1) 计算 $\lg \frac{x_{ij}}{\mu_{ij}}$, 其中 μ_{ij} 表示除了灰度值 x_{ij} 以外, 中心为 x_{ij} 的滤波窗内所有灰度值的均值。

2) 如果 $\lg \frac{x_{ij}}{\mu_{ij}} \geq l$, 输出原灰度值 x_{ij} ; 否则计算

收稿日期 2001-07-06; 收到修改稿日期 2001-09-10

作者简介 李琦(1963—), 女, 哈尔滨工业大学副研究员, 博士, 主要从事二元光学和激光雷达的研究。E-mail: HIT-liqi@yahoo.com.cn

并输出中值。其中门限 l 根据实际情况适当选取。

写成表达式如下

$$y_{ij} = \begin{cases} x_{ij} & \lg \frac{x_{ij}}{\mu_{ij}} \geq l \\ \text{Med}\{x_{(i+r)(j+s)} \mid (r,s) \in A \ (i,j) \in I^2\} & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

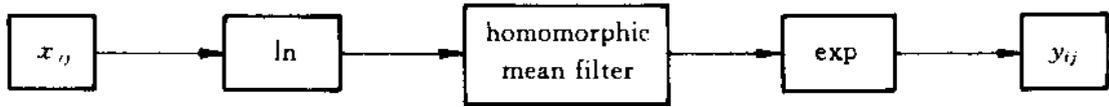


图 1 同态邻域均值滤波图像处理流程框图

Fig.1 Homomorphic mean filtering algorithm

由于激光成像雷达图像噪声主要由散斑引起，为乘性噪声。因此可以通过同态系统进行图像处理，使乘性噪声转换为加性，再利用现有的加性噪声去噪方法（如邻域均值滤波），最后通过逆变换达到去噪目的。同态邻域均值滤波图像处理流程框图如图 1 所示。

邻域均值滤波方法的基本思想是用邻近几个像素灰度的平均值代替每个像素的灰度。表达式如下

$$y_{ij} = \mu_{ij} \quad (3)$$

为了表征去噪算法抑制散斑噪声的能力，在此引入图像散斑指数，其定义为

$$\text{Speckle - index} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{\sigma(i,j)}{\mu(i,j)} \quad (4)$$

式中， M, N 表示图像维数， $\sigma(i,j)$ ， $\mu(i,j)$ 分别表示测量窗中元素标准差和平均值。图像散斑指数越小，算法抑制散斑噪声能力越强。

2 图像处理结果及比较

CO₂ 激光成像雷达主振光功率 300 W，行扫描 320 行/s，图像像素 32×64。本文红外图像灰度级一律取 32，滤波窗大小一律 3×3。图 2 给出了用普通摄像机拍摄的建筑物原图，此建筑物两侧为砖墙，中间为幕墙玻璃。图 3 给出了 CO₂ 激光成像雷达对图 2 建筑物所成的原图像，建筑物距激光雷达 2.4 km。由于幕墙玻璃和砖墙对激光的后向反射率不同，因此在图 3 中，砖墙处的灰度大于幕墙玻璃处的灰度值。另外，即使对同一种材料，由于照射角度的偏差也会有不同的灰度值，此外还有散斑噪声等因素的影响。激光图像中，建筑物顶端灰度值较低。

图 4 给出了未考虑乘性噪声，只按加性噪声处理，用了邻域均值滤波方法。从图中可以看出，天空背景处噪声得到抑制，但建筑物及其邻域噪声抑制不太好，特别是轮廓模糊。图 5 给出中值滤波结果，

显然图 5 在突出轮廓方面优于图 4 的处理方法。

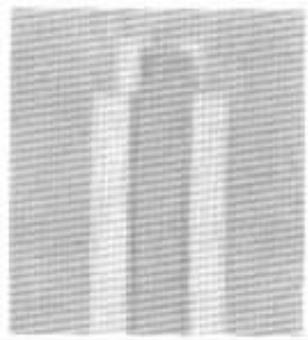


图 2 摄像机拍摄的建筑物

Fig.2 Original image

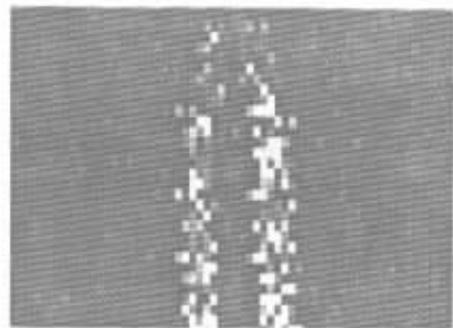


图 3 CO₂ 激光雷达成像所成建筑物图像原图

Fig.3 Laser radar imagery

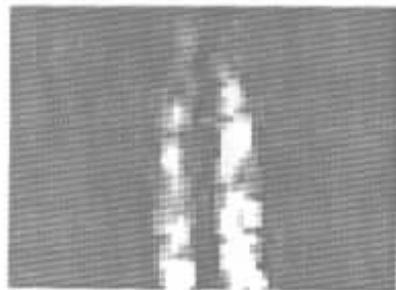


图 4 邻域均值滤波方法处理的结果

Fig.4 Mean filter result

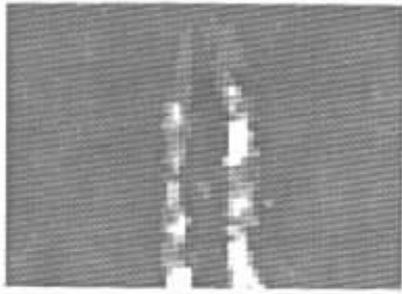


图 5 中值滤波方法处理的结果

Fig.5 Median filter result

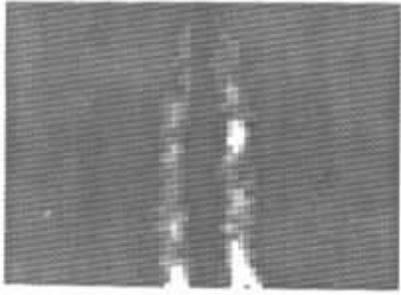


图 6 同态邻域均值滤波

Fig.6 Homomorphic mean filter result

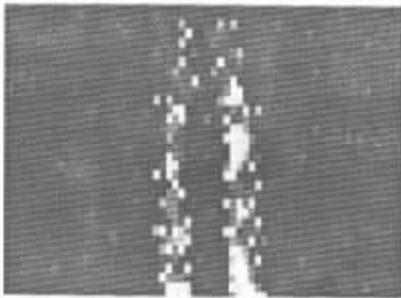
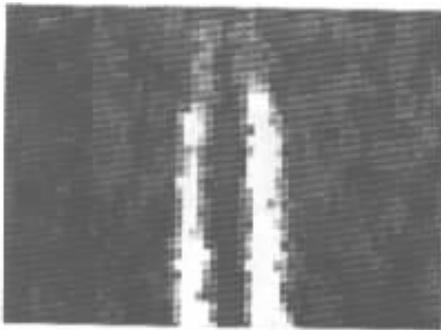
图 7 有阈值限定的中值滤波($l = 0.24$)Fig.7 Median threshold filter($l = 0.24$)

图 8 经有阈值限定的中值滤波后的同态邻域均值滤波

Fig.8 Homomorphic mean filter with median threshold filter

图 6 给出了同态邻域均值滤波的结果,图像轮廓保持程度优于图 4 均值滤波算法,但低于图 5 中值滤波算法;天空背景噪声抑制好于中值滤波。图 7 给出了有阈值限定的中值滤波结果(l 值的选取是

由实验给出的, $l = 0.24$)轮廓较分明,建筑物顶灰度值保持不变,但目标和背景的均匀度低,即去噪能力低。图 8 给出了在图 7 处理的基础上,采用同态邻域均值滤波的方法处理的结果,得到了优于上述几种滤波方法的图像结果。

表 1 给出了原激光雷达图像和几种算法处理后的图像散斑指数。显然,经有阈值限定的中值滤波后的同态邻域均值滤波去除散斑噪声的效果最好,其次为同态邻域均值滤波。有阈值限定的中值滤波($l = 0.24$)去噪效果最差,这与 l 值的选取有关,为了尽可能保持目标轮廓,不可避免造成去噪能力下降,今后要在 l 值的选取方面进一步研究,尽量平衡保持目标轮廓和去噪水平的关系。同态邻域均值滤波去噪能力好于邻域均值滤波的主要原因是由于散斑噪声是乘性噪声。

表 1 激光雷达图像及处理图像的散斑指数

Table 1 Speckle index on laser radar imagery and processed imagery

| Laser radar imagery and processed imagery | Speckle index |
|--|---------------|
| Laser radar imagery | 0.5514 |
| Mean filter | 0.1888 |
| Median filter | 0.1999 |
| Homomorphic mean filter | 0.1653 |
| Median threshold filter | 0.4095 |
| Homomorphic mean filter with median threshold filter | 0.1489 |

参 考 文 献

- Jiang Lihui, Wang Chunhui, Wang Qi *et al.*. Speckle noise suppressing based on a generalized parallel weighted-average multidirectional morphological filtering algorithm [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **B9**(2):182 ~ 186
- 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* (光学学报), 2000, **20**(12):1623 ~ 1628 (in Chinese)
- Jiang Lihui, Li Ning, Cheng Xiangyang *et al.*. Speckle suppressing based on a new homomorphic filtering algorithm [J]. *Laser and Infrared* (激光与红外), 2000, **30**(1):11 ~ 14 (in Chinese)
- F. Safa, G. Fiouzar. Speckle removal on radar imagery based on mathematical morphology [J]. *Signal Processing*, 1989, **16**(4):319 ~ 333
- J. S. Lee. Speckle suppression and analysis for synthetic aperture radar images [J]. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(5):636 ~ 643
- Li Chunsheng, Yan Ying, Chen Jie *et al.*. Speckle reduction for high resolution one-look spaceborne SAR images [J]. *Acta Electronica Sinica* (电子学报), 2000, **28**(3):13 ~ 16 (in Chinese)
- Xu Chao, Chai Zhenming, Shu Shiwei *et al.*. SAR detection of moving targets using approximate wavelet transform and time-frequency analysis [J]. *Acta Electronica Sinica* (电子学报), 1997, **25**(6):54 ~ 57 (in Chinese)