

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.08.017

基于梯度图像法的激光雷达图像融合滤波算法

夏朝辉, 孟飞, 王仕成, 张合新

(第二炮兵工程学院自动控制系, 西安 710025)

摘要: 为了有效消除激光雷达图像斑点噪声的干扰, 针对单一滤波算法的不足, 提出一种基于梯度图像法的激光雷达图像滤波融合算法。分析激光雷达图像的噪声特点, 综合 Lee 滤波和小波滤波的优势, 该算法利用图像的梯度图像来判断斑点噪声隶属于信号区域还是边缘区域, 在边缘点采用小波阈值滤波的结果, 在信号区域选择 Lee 算法的结果达到最好的滤波目的。仿真试验的结果表明: 该算法具有很强的散斑噪声抑制能力, 能够在噪声滤波和图像信息保持 2 个方面都能达到很好的效果。

关键词: 梯度图像法; 激光雷达图像; 融合滤波; Lee 滤波; 小波滤波

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

A Fusing Filtering Algorithm of Lidar Image Based on Grads Image Method

Xia Zhaohui, Meng Fei, Wang Shicheng, Zhang Hexin

(Dept. of Automatic Control, Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: In order to effectively eliminate the speckle noise interference of the laser radar image, it is difficult to gain better result by a single filter algorithm, and a fusing filtering algorithm of laser radar image based on grads image method was proposed. After the character of the noise of the radar image was analyzed and the advantages of Lee filtering and wavelet filtering was integrated, the image gradient image was used to determine the point belongs to edge region or to the signal region. The result of wavelet filtering was adopted if the point in the edge region, otherwise the result of Lee filtering was selected to achieve the best filtering effect. The simulation results show that the algorithm has strong speckle noise suppression capability, and it can obtain better effect on both noise filtering and image information holding when the new algorithm is used.

Key words: gradient image algorithm; laser radar image; fusing filtering; Lee filtering; wavelet filtering

0 引言

通过相干法获得的激光雷达图像, 其噪声的主要来源是乘性的散斑噪声, 蒋立辉等^[1]通过对成像原理进行分析、李自勤^[2]等通过对统计特性进行分析, 都得出了激光雷达图像噪声是散斑噪声的结论。由于散斑噪声的存在, 降低了激光雷达图像的空间分辨率, 致使图像的细节模糊, 解释性变差, 图像质量下降, 极大地限制了激光成像雷达在军事上的应用。

局部统计 Lee 滤波^[3]对散斑噪声的滤除效果最好, 已在 SAR 图像滤波中得到广泛应用, 但是 Lee 滤波在滤除噪声的同时放大了边缘展宽, 边缘的清晰度、信息熵大量流失。小波阈值滤波^[4]也是图像噪声处理的一种常用的方法, 对散斑噪声的分离能力较 Lee 滤波差一些, 但能较好地保持边缘信息。

可以设想, 如果在信号区域应用 Lee 滤波, 在边缘区域应用小波阈值滤波, 既能得到较好的图像散斑噪声抑制效果, 又能较好地保持边缘特性。为

此, 笔者提出一种 Lee 滤波和小波阈值滤波的融合算法, 利用图像的梯度图像来判断该点隶属关系信号区域还是边缘区域, 然后选择合适的滤波算法, 达到最好的滤波目的。

1 小波阈值法

小波阈值法对噪声信号进行奇异分解。对于白噪声信号, 其小波分解值随变换尺度的减小而增大, 而信号的小波变换值随尺度的增加而增加。通过处理小波变换后的小波变换系数, 可达到抑制噪声的目的, 然后再对处理后的信号进行重构。对于散斑噪声图像, 小波阈值法是一种简单有效的方法, 算法步骤为:

1) 信号分解。选择适当的小波基, 应用 Mallat 算法, 进行一定尺度 J 的分解:

$$f(t) = P_J f(t) + \sum_{k=J-1}^J Q_k f(t) \quad (1)$$

2) 系数修正。选择一定的尺度阈值, 按照给定的策略, 对 Mallat 算法分解的系数进行处理:

收稿日期: 2012-03-04; 修回日期: 2012-04-01

作者简介: 夏朝辉(1976—), 男, 安徽人, 硕士, 讲师, 从事导弹精确制导与仿真研究。

$$c'_{j,k} = D(c_{j,k}, T) \tag{2}$$

T 为选定的阈值尺度, D 为处理算子 Donoho 算法。

$$c'_{j,k} = \text{sign}(c_{j,k}) \cdot \left\{ |c_{j,k}| - T \right\} = \begin{cases} c_{j,k} - T, & c_{j,k} > T \\ 0, & -T < c_{j,k} < T \\ c_{j,k} + T, & c_{j,k} < -T \end{cases} \tag{3}$$

根据 Donoho 的最小误差原理, 可以计算出阈值公式:

$$T = \sigma \sqrt{2 \log(n)} \tag{4}$$

其中 σ 为噪声方差, n 为信号样本。

3) 信号重构。通过小波逆变换, 利用原信号尺度 J 和阈值处理后的小波系数重建原信号图像。

$$\widehat{f}(t) = W^{-1}(c'_{j,k}) \tag{5}$$

2 局部统计 Lee 算法

Lee 算法假定一个像素采样均值和变差等于其像素邻域的局部均值和变差, 实质就是用一个线性函数逼近一个非线性函数。

对于散斑噪声, 其模型表示为

$$I(i, j) = X(i, j)V(i, j) \tag{6}$$

$I(i, j)$ 为观测到某点的强度, $X(i, j)$ 为笔者希望恢复的去除噪声的图像强度, $V(i, j)$ 是均值为 1, 标准差为 σ 的噪声。对上式进行线性一阶泰勒展开, 得出其最小平方估计:

$$\hat{x}(i, j) = \hat{x}(i, j) + k(z(i, j) - \bar{v}(i, j)\bar{x}(i, j)) \tag{7}$$

\bar{x} 、 \hat{x} 分别表示去噪后图像的均值和强度, \bar{v} 表示噪声均值, k 为

$$k = \frac{\text{Var}(x)}{x^2 \sigma^2 + \text{Var}(x)} \tag{8}$$

式中的均值和方差分别表示为

$$\text{Var}(x) = \frac{\text{Var}(z) + z^2}{\sigma^2}, \quad \sigma^2 = \frac{\sqrt{\text{Var}(z)}}{z} \tag{9}$$

以上就是 Lee 滤波算法。

3 融合算法设计

Lee 算法能够抑制噪声, 但边缘保持能力较差, 因此在边缘点应采用小波阈值滤波的结果, 在信号区域则选择 Lee 算法的结果。对于边缘的判断, 可通过滤波后的梯度图像进行比较, 具体步骤为:

1) 对原始图像 I 进行 Lee 滤波和小波阈值滤波, 分别得到滤波后的图像 I_L 和 I_W 。

2) 对图像 I , I_L , I_W 进行四点法求梯度运算, 这里只需要梯度的模, 对其方向性不关心。梯度大小的求取可以用差分法来近似表示:

$$|\text{grad}f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \approx$$

$$\sqrt{(f(x, y) - f(x+1, y+1))^2 + (f(x+1, y) - f(x, y+1))^2} \approx |f(x, y)| - |f(x+1, y+1)| + |f(x+1, y)| - |f(x, y+1)| \tag{10}$$

这样, 对各个点求梯度, 得到梯度图像 G , G_L 和 G_W 。如果图像的灰度均匀连续, 那么是信号的平坦区, 梯度图像的值就接近 0; 如果处在边缘点, 那么灰度变化剧烈, 得到的灰度梯度图像值比较大。

3) 通过对比 G_L 和 G_W 来决定融合后的图像的灰度值: 根据图像的统计特性, 应用 Otsu 算法自动获得 G_L 和 G_W 的阈值 T_1 、 T_2 ^[5-6]。

假定 $T_1 < T_2$, $g(i, j)$ 为 G 上的像素点。如果 $g(i, j) \leq T_1$, 说明信号处在平坦区, Lee 滤波的效果更好; $g(i, j) \geq T_2$ 说明图像处在灰度变化比较大的区域, 应该保留图像的边缘; 对于 $T_1 \leq g(i, j) \leq T_2$, 说明图像处在不确定的状态, 可能是信号边缘, 也可能是噪声, 可取其加权平均值。融合规则见式 (11):

$$I_R = \begin{cases} I_L & g(i, j) \leq T_1 \\ I_W & g(i, j) \geq T_2 \\ aI_L + bI_W & T_1 \leq g(i, j) \leq T_2 \end{cases} \tag{11}$$

其中 I_R 为融合滤波图像。

这样经过融合的图像就能既达到抑制噪声的目的, 又能够很好地保持目标的几何形状。在信息保持和边缘保护方面都能得到很好的衡量。

4 仿真分析

4.1 图像融合性能参数

1) 均方根误差 (RMSE): 反映了源图像与融合图像之间灰度的差异情况,

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (R(i, j) - F(i, j))^2}{M \times N}} \tag{12}$$

图像的大小为 $M \times N$, $R(i, j)$ 为原图, $F(i, j)$ 为滤波后的图像。

2) 熵 (Entropy): 融合图像熵值表示了图像包含的信息量, 熵值越大, 说明融合的效果越好, 熵的定义如下:

$$H = -\sum_{i=0}^{L-1} p(i) \log_2 p(i) \tag{13}$$

其中 $p(i)$ 表示灰度值为 i 的像素数目 $N(i)$ 与图像总像素 N 之比, 即: $p(i) = N_i / N$, 其反映了图像中灰度值为 i 的像素概率分布, 类似于图像的归一化直方图。