

结合递归 Cycle Spinning 的小波 - Contourlet 变换红外图像增强算法

邓超¹, 侯满义¹, 刘泽乾¹, 王靖华²

(1. 空军航空大学作战指挥系, 吉林 长春 130022; 2. 空军航空大学数学教研室, 吉林 长春 130022)

摘要:针对 Contourlet 变换缺乏平移不变性的缺陷, 提出了一种基于小波 - Contourlet 变换的红外图像增强算法, 并与递归 Cycle Spinning 相结合, 消除小波 - Contourlet 变换的失真现象。实验结果表明: 与单独使用小波变换和单独使用 Contourlet 变换相比, 本文方法去噪效果更明显, 能够获得更高的 PSNR 值, 使图像视觉效果得到改善。

关键词:小波 - Contourlet 变换; Cycle Spinning; 平移不变性; 图像增强

中图分类号: TP391. 41; TN911. 73 **文献标识码:** A **DOI:** 10. 3969/j. issn. 1001-5078. 2013. 09. 24

Infrared image enhancement algorithm using wavelet-contourlet transform with recursive cycle spinning

DENG Chao¹, HOU Man-yi¹, LIU Ze-qian¹, WANG Jing-hua²

(1. Campaign and Command Department of Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China;

2. Mathematics Department of Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: For the defect of Contourlet transform that it can not keep shift-invariant, a method for infrared image enhancement based on Wavelet-Contourlet transform is proposed. Recursive Cycle Spinning is also adopted to eliminate the distortion of Wavelet-Contourlet transform. The experiments shows that the proposed method is more outstanding than just using Wavelet transform or Contourlet transform in de-noising. This method can get higher PSNR value and improve the visual effects of infrared image.

Key words: Wavelet-Contourlet transform; Cycle Spinning; shift-invariant; image enhancement

1 引言

红外目标和背景的热辐射在大气传输和光学系统会聚的过程中会产生衰减, 导致红外图像普遍存在对比度差、信噪比低、边缘模糊的缺陷^[1-2]。对红外图像进行去噪增强、改善视觉效果具有重要意义。小波变换在图像处理方面有着广泛应用。但由于变换方向有限, 不能最优地表示二维图像^[3]。Contourlet 变换克服了小波变换的这种缺陷, 可以在多方向、多尺度上对图像进行分解。但其第一阶段的 LP 变换产生了 4/3 的数据冗余^[4]。基于二者的特点, 提出了小波 - Contourlet 变换, 该方法在图像去噪和

图像增强等领域取得了更好的效果。

本文提出了一种基于小波 - Contourlet 变换的红外图像增强方法, 该方法结合递归 Cycle Spinning 消除了小波 - Contourlet 不具有平移不变性而产生的伪吉布斯现象。实验结果表明, 该方法得到了更高的 PSNR 值, 更多地保留了图像的细节和纹理。

2 小波 - Contourlet 变换

小波 - Contourlet 变换 (WBCT) 由 Ramin Eslami

作者简介: 邓超 (1988 -), 男, 在读硕士生, 主要研究制导武器的作战使用与仿真。E-mail: dc102411@163.com

收稿日期: 2013-04-17; 修订日期: 2013-05-03

和 Hayder Radha 于 2004 年提出^[5]。图 1 是经过三级 WBCT 变换后的频率分布图。与 Contourlet 变换类似,小波 - Contourlet 变换也由两级滤波器组组成。在第一级中,利用小波变换替代 Contourlet 变换中的 LP 变换。得到一个低频子带(LL)和三个高频子带(LH、HL、HH)。在第二级中,选取 L 级树形结构梅花扇形方向滤波器组(DFB),利用其方向频率分解和通道重采样实现“旋转”操作的组合,对上一级中的高频子带做 2^L 个方向的分解。图 2 是 DFB 的多通道示意图。

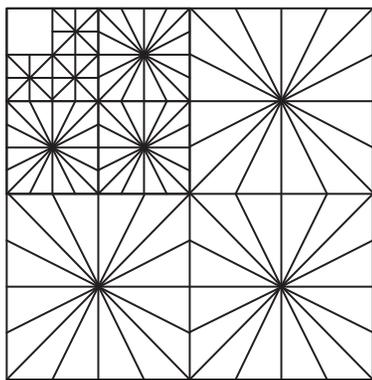


图 1 WBCT 分解示意图

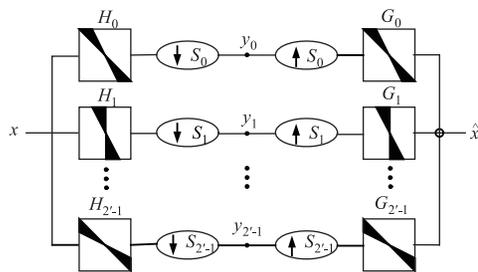


图 2 DFB 多通道示意图

3 基于小波 - Contourlet 变换与递归 Cycle Spinning 相结合的红外图像增强方法

3.1 增强函数

图像分解后,低频主要反映图像的能量信息,高频主要反映图像的边缘信息。增强函数的作用就是对高频子带进行增强,使边缘信息更清晰地得到表达。本文选用文献[6]中的增强函数:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}} - \frac{1}{1 + e^{a(x+b)}} \quad (1)$$

其中, a, b 为增强参数。 a 决定增强强度,可根据实际需要取值; b 决定增强区间大小,且 $0 < b < 1$ 。图 3 是 $a = 30, b = 0.25$ 时 $f(x)$ 的曲线。

由图可以看出,当 $x \in [-1, 1]$ 时, $f(x)$ 单调递增,且 $f(0) = 0, f(1) = 1$ 。阈值 T 可由公式(2)计算得到:

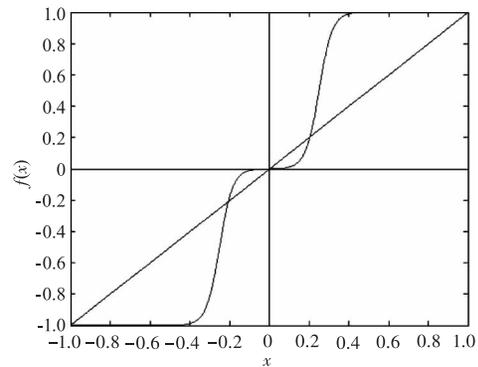


图 3 $f(x)$ 曲线示意图

$$T_j^k = \frac{1}{2\sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (y_j^k(m, n) - \text{mean}_y)^2}} \quad (2)$$

其中, y_j^k 是第 j 层分解中第 k 个子带系数; mean_y 是子带系数均值。子带系数的绝对值大于 T 时被增强,小于 T 时被减弱。同时,在两个端点处也不会出现失真。在实际应用中,需要对系数进行归一化,即增强函数改进为:

$$f(x) = x_{\max} \left[\frac{1}{1 + e^{-a(\frac{x}{x_{\max}} - b)}} - \frac{1}{1 + e^{a(\frac{x}{x_{\max}} + b)}} \right] \quad (3)$$

由 $f(x) = x$ 计算出 b 值,从而得到完整的增强函数对子带系数做增强处理。

3.2 递归 Cycle Spinning

小波 - Contourlet 变换是在小波变换和 Contourlet 变换的基础上提出的,所以也不具有平移不变性。变换后的图像经过阈值处理,在重构的过程中会出现视觉失真。Cycle Spinning 算法是 Caifman 和 Donoho 等人提出的^[7]。Cycle Spinning 是对图像进行行和列循环平移,改变不连续点位置,然后对平移后的图像进行变换去噪处理,最后将处理后的图像反向平移^[8]。由于具体一幅红外图像可能存在多处不连续点,改变一处不连续点位置,使其避免伪吉布斯现象,可能引起其他不连续点的视觉失真。因此,以往的 Cycle Spinning 最后要将平移后的去噪图像进行求和取平均来作为最终结果。文献[9]介绍了一种递归 Cycle Spinning,在引入递归次数 L 的同时,将前一次增强处理后的图像作为初始图像进行下一次的循环平移,当递归次数达到 L 时,停止循环平移。这种递归循环平移在消除图像失真方面表现的更加优越,本文采用这种递归 Cycle Spinning。

对于一幅 $N \times N$ 的红外图像 I ,定义循环平移因子 $C_{i,j}(I)$:

$$C_{i,j}(I) = I[\text{mod}(x+i, N), \text{mod}(y+j, N)] \quad (4)$$

而循环平移是一种可逆的过程,所以有:

$$[C_{i,j}(I)]^{-1} = C_{-i,-j}(I) \quad (5)$$

其中, $i, j, -i, -j$ 分别表示水平方向和垂直方向的平移量。

设 S 为噪声图像, $S = I + n$, n 代表噪声。定义:

$$\hat{I} = C_{-i, -j}[\text{DNWBCT}(C_{i, j}(S))] \quad (6)$$

为图像“平移-变换去噪-逆平移”的过程。其中, \hat{I} 为含噪红外图像经过循环平移去噪后的图像。DNWBCT 代表对红外图像进行“WBCT 变换-去噪”过程。即:

$$\text{DNWBCT}(\cdot) = T^{-1}\{f[T(\cdot)]\} \quad (7)$$

其中, $T(\cdot)$ 表示 WBCT 变换; $f(\cdot)$ 为本文采用的增强函数; $T^{-1}(\cdot)$ 表示 WBCT 逆变换。若循环平移过程中 N_1, N_2 分别为水平方向和垂直方向最大平移量, 则其算法伪代码表示如下:

```

I = S;
for l = 0:L;
    i = (l*divN2) mod N1;
    j = l mod N2;
    f = Ci, j(I);
    u = DNWBCT(f);
    Il+1 = C-i, -j(u);
    I = Il+1;
end
return Il+1

```

3.3 实验步骤

本文算法的具体步骤如下:

(1) 设定递归运算次数 L , 根据 i, j 值, 对 I 进行循环平移;

(2) 对平移后的红外图像进行小波-Contourlet 分解, 从而得到不同尺度、不同方向上的小波-Contourlet 系数;

(3) 由系数确定阈值 T 、该系数对应的增强范围和增强函数, 并对系数进行增强处理。

(4) 将门限化后的变换系数进行逆变换逆平移, 得到增强后的图像 I_{l+1} ;

(5) 如果 $l = L$, 循环结束, 输出结果 I_{l+1} , 否则, 令 $l = l + 1, I_l = I_{l+1}$, 返回(2)。

4 实验结果与分析

为验证本文方法的有效性, 选取加零均值高斯白噪声的四幅图像 Lena、Goldhill、Barbara、Peppers 进行实验。实验将小波变换(WT)、Contourlet 变换(CT)、小波递归 Cycle Spinning 变换(WTCS)、Contourlet 递归 Cycle Spinning 变换(CTCS)以及小波-Contourlet 递归 Cycle Spinning 变换(WBCTCS)的去

噪效果进行对比。小波变换和 Contourlet 变换中的 LP 变换均采用 Daubechies-10 滤波器, 所有变换均进行三层分解, 其中第一层上要要进行 32 个方向分解, 递归次数设为 256 次。实验结果如图 4 和图 5 所示。图 4 是四幅图像经五种变换去噪的 PSNR 值曲线图。图 5 是噪声 $\sigma = 20$ 时图像“堤坝”用不同方法去噪后的效果图。

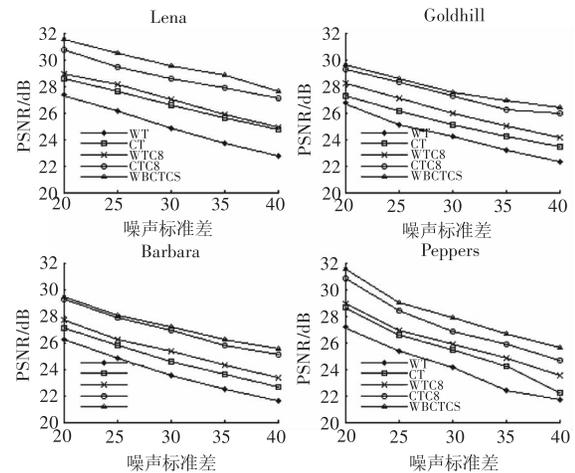


图 4 去噪后的 PSNR 值对比示意图

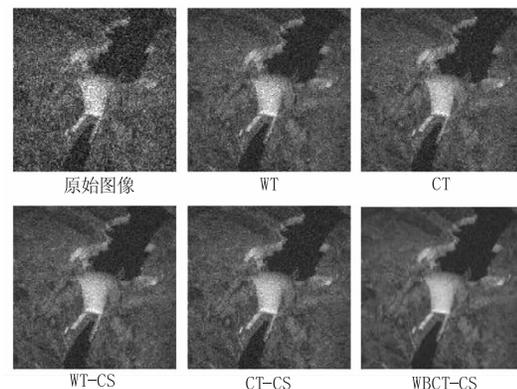


图 5 $\sigma = 20$ 时不同变换对含噪图像进行增强的效果对比

从图 4 的 PSNR 曲线可以看出: 同一幅图像, 在同一噪声标准差下, 其 PSNR 值略高于 CTCS 的 PSNR 值, 明显高出 WT、CT、WTCS 的 PSNR 值; 对于不同图像, WBCTCS 的 PSNR 曲线始终高于其他四种方法的 PSNR 曲线, 表明 WBCTCS 的去噪效果普遍优于其他方法。从图 5 的去噪效果对比图看出: WBCTCS 不仅滤除了大量噪声, 而且在图像清晰度和增强效果上表现出一定的优越性, 保留了更多的图像细节, 使图像视觉效果更好。

5 结论

本文提出了一种基于小波-Contourlet 变换的红外图像增强方法, 并结合递归 Cycle Spinning 消除因 Contourlet 变换缺乏平移不变性而导致的伪吉布斯现象。实验结果表明, 该方法提高了图像的

PSNR 值,有效地保留了边缘细节和纹理,得到了更好的视觉效果。但本文方法注重了效果的增强,而算法的运行效率没有充分地考虑,运行时间稍长。下一步将在增强效果允许的基础上对算法进行改进,缩短算法运行时间,提高算法的实时性。

参考文献:

- [1] Kang Zhiliang. Research on infrared image enhancement algorithm based on wavelet [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2008:4. (in Chinese)
康志亮. 基于小波的红外图像增强算法研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2008:4.
- [2] Peng Zhou, Zhao Baojun. Novel scheme for infrared image enhancement based on contourlet transform and fuzzy theory [J]. Laser & Infrared, 2011, 41 (6): 635 - 640. (in Chinese)
彭洲, 赵保军. 基于 Contourlet 变换和模糊理论的红外图像增强算法 [J]. 激光与红外, 2011, 41 (6): 635 - 640.
- [3] Zhang Guodong, Zhang Jingzhou, Yang Rui, et al. Medical infrared image denoising based on bayes adaptive estimates of wavelet-contourlet transform [J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12 (26): 6652 - 6656. (in Chinese)
张国栋, 张泾周, 杨蕊, 等. 基于小波 - Contourlet 的 Bayes 估计医用红外热图去噪方法 [J]. 科学技术与工程, 2012, 12 (26): 6652 - 6656.
- [4] Lei Haopeng, Li Feng. Image de-noising algorithm using adaptive threshold based on multi-wavelet nonsubsampling Contourlet transform [J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30, (5): 1351 - 1355. (in Chinese)
雷浩鹏, 李峰. 基于多小波 - 非采样 Contourlet 变换的自适应阈值图像去噪方法 [J]. 计算机应用, 2010, 30, (5): 1351 - 1355.
- [5] Ramin Eslami, Hayder Radha. Wavelet-based contourlet transform and its application to image coding [J]. Proceedings of IEEE ICIP, 2004, 5: 3189 - 3195.
- [6] Cheng Lizhi, Wang Hongxia, Luo Yong. The Theory and application of wavelet [M]. Beijing: Science Press, 2004: 374 - 377. (in Chinese)
成礼智, 王红霞, 罗永. 小波的理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 374 - 377.
- [7] Eslami R, Radha H. The Contourlet transform for image de-noising using cycle spinning [C]. Asilomar Conference on Signals, System, and Computers. Pacific Grove, USA, 2003: 1982 - 1986.
- [8] Liu Shuaiqi, Hushaohai, Xiao Yang. SAR Image de-noised based on wavelet-Contourlet transform with Cycle Spinning [J]. Signal Processing, 2011, 27 (6): 837 - 842. (in Chinese)
刘帅奇, 胡绍海, 肖扬. 基于小波 - Contourlet 变换与 Cycle Spinning 相结合的 SAR 图像去噪 [J]. 信号处理, 2011, 27 (6): 837 - 842.
- [9] Jianwei Ma, Plonka G. Combined curvelet shrinkage and nonlinear anisotropic diffusion [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2007, 16 (9): 2198 - 2206.