

文章编号: 1001-3806(2015)02-0247-05

## 基于改进脊波变换的红外视频图像高质量复原

郎川萍, 杨仁怀

(四川交通职业技术学院 计算机工程系, 成都 611130)

**摘要:** 为了实现红外视频降质图像高质量复原, 采用一种基于改进脊波变换的图像复原算法来进行处理。该算法首先对降质图像进行改进脊波变换, 然后提出一种具有加权改进自适应伪中值滤波算法对脊波系数进行处理, 最后针对滤波后图像中时常出现的“环绕”现象, 引入自适应 Wiener 滤波算法来抑制。进行了理论分析和实验验证, 取得了相关模拟降质图像、真实降质图像以及峰值信噪比的测试数据。结果表明, 该算法性能优于伪中值滤波以及两类脊波变换去噪算法。这对于实现红外视频降质图像复原研究是有帮助的。

**关键词:** 图像处理; 图像复原; 红外视频图像; 小波变换; 脊波变换; 伪中值滤波

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.02.022

### High quality infrared video image restoration algorithm based on the improved ridgelet transform

LANG Chuanping, YANG Renhuai

(Department of Computer Engineering, Sichuan Vocational and Technical College of Communications, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** In order to reconstruct high quality infrared video images from the degraded images, an image restoration algorithm was adopted based on the improved ridge wavelet transform. Firstly, the ridge wavelet transform was carried out for the degraded images. Then, one weighted improved adaptive pseudo median filtering algorithm was used to process the ridge wave coefficients. Finally, adaptive Wiener filtering algorithm was introduced to suppress for “wrap around” effect of images after filtering. After theoretical analysis and experimental verification, the relevant simulated degraded images, the real degraded images and the peak signal to noise ratio were obtained. The results show that the algorithm in this paper is superior to the algorithms, such as the pseudo median filtering and two types of ridge wavelet transform denoising algorithms. The study is helpful for the research of infrared video degraded image restoration.

**Key words:** image proposing; image restoration; infrared video image; wavelet transform; ridgelet transform; pseudo median filtering

### 引言

红外视频图像<sup>[1-2]</sup>一般采用热成像原理, 因而该类图像拍摄时无需光照, 所获取的图像大部分为背景信息, 对比度较低, 为了对其中的目标信息较为准确地辨认分析, 有必要对该类图像的复原方法进行研究。小波变换作为一种图像处理和分析工具, 由于它能够对图像中的奇异特性进行有效刻画, 因而近年来得到较为广泛的研究<sup>[3-4]</sup>。但小波变换仅能刻画图像中的点奇异特性, 对于线奇异特性则无能

为力。为了克服小波变换所存在的缺陷, 一种新型图像尺度分析方法——脊波变换应运而生<sup>[5]</sup>。相对于小波变换, 脊波变换所具有的特点有: (1) 方向性。脊波变换能对图像中呈方向性的奇异特征进行有效刻画, 能够在复原图像的同时尽可能不丢失信息; (2) 稀疏性。图像经过脊波变换后, 所获得的不同幅值的分解系数彼此间有较大区别, 幅值较大的则代表了图像的特征信息, 而大部分的幅值较小的系数则为噪声信息。ZHAO 等人<sup>[6]</sup>提出一种基于脊波变换的图像融合算法实现对多光谱与全色图像的有效融合, LI 等人<sup>[7]</sup>将小波变换域脊波变换相结合实现对图像噪声的自适应滤波, CAI 等人<sup>[8]</sup>提出一种基于图像分块小波变换与脊波变换相结合的去噪算法等。可见, 脊波变换在图像处理中得到了研究

作者简介: 郎川萍(1980-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为计算机应用。

E-mail: 149128312@qq.com

收稿日期: 2014-02-16; 收到修改稿日期: 2014-04-11

和应用,但对于应用较强的红外视频图像处理而言,则较少涉及。

针对降质的红外视频图像,作者提出一种基于改进脊波变换的高质量复原算法,首先通过将传统脊波变换中的 1 维小波变换采用二元树复小波变换代替,使得改进后的脊波变换能对图像信号进行较为完美的表示,然后将图像经过改进脊波变换后的系数采用改进的自适应伪中值滤波算法进行噪声抑制,最后采用自适应 Wiener 滤波算法对重构图像进行滤波以消除图像中易出现的“环绕”现象。

## 1 脊波变换改进

### 1.1 脊波变换基本原理

若任意一光滑函数为  $\varphi(x)$ ,如果使得  $\int \varphi(x) dx = 0$  成立,且:

$$K = \int \frac{|\varphi(x)|}{|x|^2} dx < \infty \quad (1)$$

也成立。那么对于参量  $r$ ,则有:

$$\varphi(r) = a^{-\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{ur - b}{a}\right) \quad (2)$$

式中,参量  $a, u$  和  $b$  分别为尺度、方向、位置参量。 $\varphi(r)$  为(1)式中所定义的容许条件产生的脊波函数。若记  $u = [\cos\alpha, \sin\alpha], r = [r_1, r_2]$ ,于是,对脊波函数还可以描述成:

$$\varphi_{a,u,b} = a^{-\frac{1}{2}} \varphi\left[\frac{r_1 \cos\alpha + r_2 \sin\alpha - b}{a}\right] \quad (3)$$

脊波变换对于图像的处理和分析时建立在 Radon 变换的基础上,也就是说,首先对图像进行 Radon 变换,将图像中的线奇异特性转变为 Radon 变换域的点奇异特性,然后进行小波变换。对于 1 幅红外视频图像  $f(x, y)$  而言,对其进行 Radon 变换:

$$R(\alpha, t) = \iint f(x, y) \delta(x \cos\alpha + y \cdot \sin\alpha - t) dx dy \quad (4)$$

式中,  $t$  是描述图像位置的参量,  $\alpha$  为角度参量,且  $\alpha \in [0, \pi]$ ,对(4)式进行小波变换可得:

$$R(a, b, \alpha) = \int R(\alpha, t) a^{-\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{t - b}{a}\right) dt \quad (5)$$

式中,  $a^{-\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{t - b}{a}\right)$  即为小波变换的函数。

### 1.2 改进脊波变换

红外视频图像作为一类低分辨率、高噪声的图像,其所含有的信息量对于后续的目标监测和识别

具有重要作用,因此,在该类图像复原过程中应尽量减少图像信息量的丢失以及降图像重构偏差。经典小波变换不具有平移不变特性,即微小变化的图像信号经小波变换后,变化系数会出现较大程度的不同,容易导致重构图像与原始图像出现偏差,不利于后续的图像处理分析。鉴于二元树复小波变换<sup>[9-10]</sup>具有良好的平移不变性,相对于 1 维小波变换而言能更好的刻画图像信号,本文中将其引入到脊波变换中,代替原有的 1 维小波变换方法,对脊波变换进行了适当改进。

## 2 一种改进自适应伪中值滤波方法

(1)水平方向滤波。将滤波窗口进行拆分,对于大小为  $m \times m$  的窗口而言,将其拆分成  $m$  个  $1 \times m$  的子窗口,对每个子窗口中进行经典中值滤波:

$$\left\{ \begin{aligned} \max[F_i(x, y)] &= \\ &\max\{f_{i,1}(x, y), f_{i,2}(x, y), \dots, f_{i,m}(x, y)\} \\ f_2^*(x, y) &= \\ &\text{med}[f_{21}(x, y), f_{22}(x, y), \dots, f_{2m}(x, y)] \\ &\vdots \\ f_m^*(x, y) &= \\ &\text{med}[f_{m1}(x, y), f_{m2}(x, y), \dots, f_{mm}(x, y)] \end{aligned} \right. \quad (6)$$

(2)垂直方向滤波。对上述获得的中值进行灰度值大小排序:

$$f(x, y) = \text{med}[f_1^*(x, y), f_2^*(x, y), \dots, f_m^*(x, y)] \quad (7)$$

式中,  $F_i(x, y)$  表示该子窗口所代表的图像,  $f_{i,m}(x, y)$  ( $i \in [1, m]$ ) 不小于该窗口中任一点的灰度值。 $f(x, y)$  即为最终滤波结果。该算法与中值滤波存在一个共同的问题则是:滤波的盲目性和非自适应性,即无法预先对噪声进行一定程度的鉴别,以及无法利用像素间的相关性来进行滤波。因此,本文中提出了一种改进自适应伪中值滤波方法,具体步骤如下。

步骤 1:对于任一大小为  $1 \times m$  子窗口而言,探测其中像素点最值,并计算最值的均值,

$$\left\{ \begin{aligned} \max[F_i(x, y)] &= \\ &\max\{f_{i,1}(x, y), f_{i,2}(x, y), \dots, f_{i,m}(x, y)\} \\ \min[F_i(x, y)] &= \\ &\min\{f_{i,1}(x, y), f_{i,2}(x, y), \dots, f_{i,m}(x, y)\} \\ \bar{f}_i(x, y) &= \frac{\max[F_i(x, y)] + \min[F_i(x, y)]}{2} \end{aligned} \right. \quad (8)$$

通过计算获得的均值  $\bar{f}_i(x, y)$  作为后续噪声点判别的初始基准值。

步骤2:异常点(abnormal point)检测。将该子窗口中的所有像素点按照如下准则进行分类检测:

$$\begin{cases} f_{i,m}(x, y) \geq \bar{f}_i(x, y), (\text{abnormal point}) \\ f_{i,m}(x, y) < \bar{f}_i(x, y), (\text{natural point}) \end{cases} \quad (9)$$

根据上述判别方式,将窗口中的像素点分成自然点(natural point)即未被噪声污染的点,以及异常点。之所以将该部分像素点定义成异常点,主要是因为该部分像素点除了噪声点之外还包含图像中的边缘点,相对于其它像素点而言,在灰度值方面存在“异常”现象。

步骤3:异常点的分类。为了对步骤2中获得的异常点进行再分类,以便有效分离出噪声点,引入像素几何距离作为判别准则:

$$\begin{cases} |f_{i,j}(x, y) - f_{i+1,j}(x, y)| = 1, (\text{edge point}) \\ |f_{i,j}(x, y) - f_{i+1,j}(x, y)| > 1, (\text{noise point}) \end{cases} \quad (10)$$

式中,  $i, j \in [1, m]$ 。之所以引入距离因素来分离出噪声,是因为一般情况下,图像中的边缘点是连续点,而噪声点则是孤立存在的,那么这样的特征在图像中最显著的表现则是,边缘像素点间的几何距离为1,这样便可大致可分离出噪声点。

步骤4:噪声点滤波。对  $1 \times m$  子窗口中剔除经步骤3中检测出的噪声点,将剩余的像素值按照灰度值大小进行排序,取其中间值作为滤波结果输出,经过对  $m$  个大小为  $1 \times m$  的子窗口重复步骤1~步骤4,则可获得如下滤波值集合:

$$\{Q_m[f_{\text{med}}(x, y)]\} = \{f_{\text{med},1}(x, y), f_{\text{med},2}(x, y), \dots, f_{\text{med},m}(x, y)\} \quad (11)$$

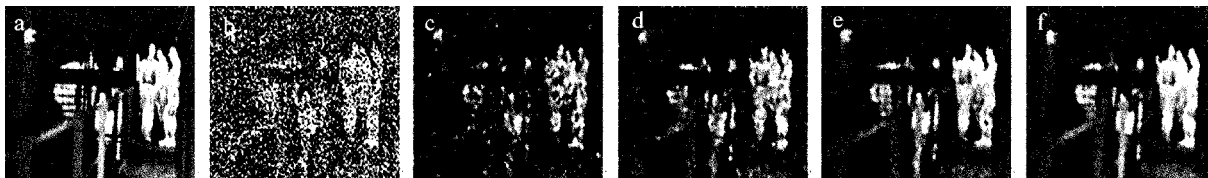


Fig. 1 Comparison of the restoration results of the first image  
a—original image 1 b—noise image c—PMF d—RTDA<sub>1</sub> e—RTDA<sub>2</sub> f—algorithm of this paper

### 3.2 实验仿真

将伪中值滤波(pseudo medium filtering, PMF)以及参考文献[7]、参考文献[8]中各自提出的基于脊波变换的图像去噪算法(本文中分别记为 RTDA<sub>1</sub><sup>[7]</sup>和 RTDA<sub>2</sub><sup>[8]</sup>)与本文中算法进行定性定量

式中,  $f_{\text{med},m}(x, y)$  为第  $m$  个子窗口中值滤波输出值。

步骤5:步骤3中仅粗略分离出噪声点,两噪声点相邻这样的情形也可能存在,那么经过步骤4中输出值中,也可能存在噪声点被作为滤波值输出的情况。因此,对于(11)式所定义的集合,采用(8)式所定义的极值检测方法,检测出最大值和小值,并将该类点从集合中加以提出,获得以全新集合:  $\{Q_m'[f_{\text{med}}(x, y)]\}$ 。

步骤6:对于步骤5中的新集合,采用一种基于像素点间几何距离的加权滤波方法,即以检测窗口中心点作为原点,集合中各点的几何距离的倒数作为权值  $P_i$ :

$$P_i = \frac{1}{|f(x, y) - f(x, y + i)|}, \quad (i \in [1, m]) \quad (12)$$

通过个点像素灰度值分别乘以各自的权值,再基础上求和,即为窗口  $m \times m$  中最终输出结果:

$$f(x, y) = P_1 f_{\text{med},1}(x, y) + P_2 f_{\text{med},2}(x, y) + \dots + P_{m-2} f_{\text{med},m-2}(x, y) \quad (13)$$

步骤7:将大小为  $m \times m$  的窗口遍历图像,重复步骤1~步骤6即可获得滤波后的图像。

## 3 本文中算法基本思路及实验仿真

### 3.1 本文中算法基本思路

(1)对降质的红外视频图像进行具有平移不变特性的改进型脊波变换,获得不同尺度、幅值的分解系数;(2)对各分解系数采用第2节中所提出的改进型自适应伪中值滤波方法进行处理,以排除图像中的降质源——噪声,在此基础上实现处理后系数重构;(3)为了对重构图像中出现的“环绕”现象进行抑制,采用自适应 Wiener 滤波算法对其进行处理,从而获得高质量的复原图像。

比较。定义峰值信噪比(peak signal-to-noise ratio, PSNR)作为以上各类算法处理结果定量评价准则。实验结果分别见图1~图3和表1。

对3幅降质图像即图1b、图2b和图3b,采用伪中值滤波进行滤波后,获得了各自的结果如图1c、

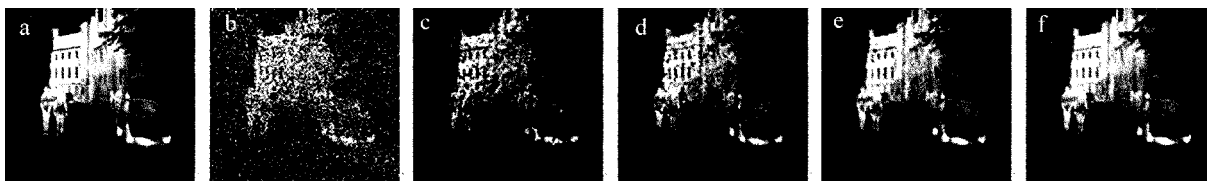


Fig. 2 Comparison of the restoration results of the second image  
a—original image 2 b—noise image c—PMF d—RTDA<sub>1</sub> e—RTDA<sub>2</sub> f—algorithm of this paper

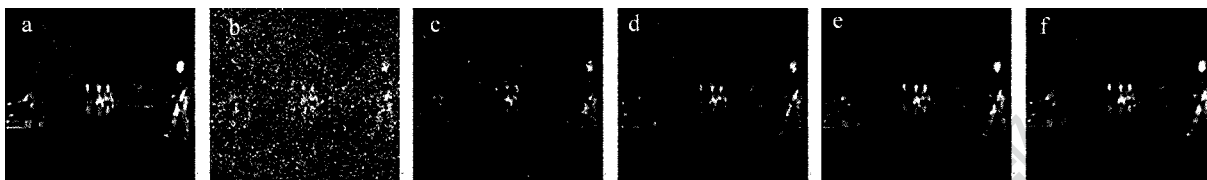


Fig. 3 Comparison of the restoration results of the third image  
a—original image 3 b—noise image c—PMF d—RTDA<sub>1</sub> e—RTDA<sub>2</sub> f—algorithm of this paper

Table 1 Comparison of PSNR value of some algorithms

images	noise	PMF	RTDA <sub>1</sub> <sup>[7]</sup>	RTDA <sub>2</sub> <sup>[8]</sup>	algorithm of this paper
image 1	10%	23.347	24.335	25.608	24.518
	20%	21.389	22.673	23.894	24.206
	30%	19.895	20.378	21.946	23.784
image 2	10%	22.694	23.239	25.273	24.691
	20%	20.309	21.483	23.594	24.307
	30%	19.034	19.940	21.593	23.866
image 3	10%	23.582	24.371	25.853	25.421
	20%	21.488	22.673	23.651	24.896
	30%	19.409	20.486	21.537	24.209

图 2c 和图 3c 所示,相比于各自的降质图而言,噪声有了一定程度抑制,但图中的目标信息要实现辨认仍较为困难。采用 RTDA<sub>1</sub><sup>[7]</sup> 进行处理后,结果如图 1d、图 2d 和图 3d 所示,其中的目标信息轮廓基本显

露出来,但噪声残留仍较为严重,相对于 PMF 而言,图像质量有了一定程度改善。采用 RTDA<sub>2</sub><sup>[8]</sup> 处理后,结果如图 1e、图 2e 和图 3e 所示,可以从中辨认出图中的目标信息,而且噪声残留程度较小,但相对于图 1f、图 2f 以及图 3f(即本文中的算法处理的结果)而言,较为逊色。经本文中算法处理后,图像中的噪声基本滤除,且图中的信息得到最大限度的恢复,与各自的原图接近程度最大。对表 1 中的数据可以看出,对于图中噪声密度较小(10%)的降质图而言,本文中算法并不占优,但对于降质程度较高的图像而言,本文中算法优势显现出来,对应的 PSNR 高于 PMF, RTDA<sub>1</sub><sup>[7]</sup> 和 RTDA<sub>2</sub><sup>[8]</sup>。为了对本文中算法的优势进一步测试,通过对两幅实地拍摄热红外噪声图像进行处理,结果见图 4 和图 5, PSNR 定量评价结果见表 2。



Fig. 4 Comparison of restoration results of infrared noise image 1  
a—original image 1 b—PMF c—RTDA<sub>1</sub> d—RTDA<sub>2</sub> e—algorithm of this paper

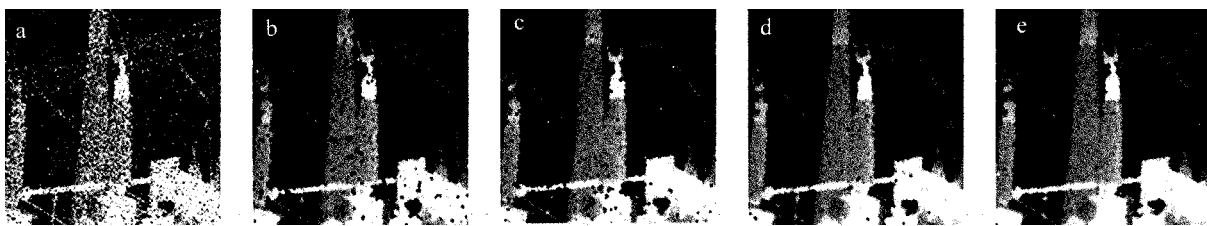


Fig. 5 Comparison of the restoration results of infrared noise image 2  
a—original image 2 b—PMF c—RTDA<sub>1</sub> d—RTDA<sub>2</sub> e—algorithm of this paper

Table 2 Comparison of PSNR value of the infrared noise images

image	PMF	RTDA <sub>1</sub>	RTDA <sub>2</sub>	algorithm of this paper
image 1	21.307	22.438	23.432	24.716
image 2	20.559	21.053	22.805	23.239

综合以上分析可以看出,无论是对于模拟红外噪声图像还是真实红外噪声图像,本文中算法均具有较好的性能。

#### 4 小 结

针对红外视频降质图像,提出了一种基于改进脊波变换的高质量复原算法。实验结果证明,该算法性能优于伪中值滤波以及两类基于脊波变换的图像去噪算法。在后续研究中,要更为广泛地采集实验图像对该算法进行进一步测试,根据测试结果不断地对算法进行优化,以提高其普适性。

#### 参 考 文 献

[1] LI Zh, XIE J B, CHEN Zh Y, *et al.* An algorithm of fatigue detection by infrared images based on Adaboost[J]. Computer Engineering & Science, 2012, 34(5): 107-111 (in Chinese).  
[2] LIANG Y H. Human detection method in infrared video images [J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(5): 931-935 (in Chinese).

[3] LU Zh L, LI R L, LI T, *et al.* Infrared image denoising based on total variation theory [J]. Laser Technology, 2012, 36(2): 194-197 (in Chinese).  
[4] CHANG L L, WANG G L, GAO F Q, *et al.* Implementation of HIS transform and lifting wavelet transform based on FPGA [J]. TV Engineering, 2013, 36(17): 67-70 (in Chinese).  
[5] DONOHO D L. Orthogonal ridgelet and linear singularities [J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 2000, 31(5): 1062-1099.  
[6] ZHAO Z Y, ZHENG Y G. Research of image fusion of multispectral and panchromatic images based on ridgelet transform [J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(15): 164-167 (in Chinese).  
[7] LI G Q, HUANG Y D, JIANG X. Adaptive image denoising method based on wavelet transform and ridgelet transform [J]. Application Research of Computers, 2012, 29(8): 3192-3194 (in Chinese).  
[8] CAI Zh, TAO Sh H. Image-denoising method combining wavelet with ridgelet transforms [J]. Computer Engineering and Application, 2012, 48(9): 201-204 (in Chinese).  
[9] KINGSBURY N G. The dual-tree complex wavelet transform: a new efficient tool for image restoration and enhancement [C] // Proceedings of the 9th European Signal Processing Conference. New York, USA: IEEE, 1998: 319-322.  
[10] ROMBERG J, CHOI H, BARANIUK R, *et al.* Multiscale classification using complex wavelets and hidden Markov tree model [C] // Proceedings of International Conference and Image Processing. New York, USA: IEEE, 2000: 371-374.