

基于信息冗余的小波红外图像去噪算法

陈小明^{1,2}, 颜景龙², 李玉珏², 邸超², 吕丽丽²

(1. 北京理工大学, 北京 100081; 2. 中国兵器工业导航与控制技术研究所, 北京 100089)

摘要: 红外图像具有图像灰度集中、对比度低等特点, 因而红外图像增强是红外图像应用必不可少的部分, 随之而来的是图像噪声的放大, 为了进一步提高红外图像质量, 需对增强后图像去噪。现有众多去噪方法中, 极少同时兼顾算法效果及可实现性。提出了一种基于信息冗余的小波去噪算法, 此算法在离散小波变化(DWT)过程中分别以不同的下采样方式获取多组含有相似冗余信息的小波系数, 再利用噪声估计对小波系数进行非线性变换, 抑制高频噪声并保留细节, 然后利用变换后小波系数重构(IDWT)多副图像, 利用含相似冗余信息的多副图像加权进一步去除高频噪声, 获取最终去噪图像。此算法已在单片FPGA中进行实现, 利用ALTERA CYCLONIII芯片实现后的处理帧频达到50 fps, 满足实时性要求。

关键词: 红外图像; 去噪; 小波变换; 冗余信息

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.03.009

Infrared image de-noising based on redundant DWT

CHEN Xiao-ming^{1,2}, YAN Jing-long², LI Yu-jue², DI Chao², LÜ Li-li²

(1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. North System Engineering Institute, Beijing 100089, China)

Abstract: Infrared images always have low contrast and narrow gray level distribution. Infrared image enhancement is requisite for further application, which usually leads to the amplification of noise. In order to improve the quality of infrared images, it is essential to de-noise the enhanced image. Existing de-noising methods rarely take into account both efficiency and feasibility. In this paper, a de-noising algorithm based on redundant digital wavelet transformation (DWT) is proposed. The algorithm obtains several group of wavelet coefficients that contain similarly redundant information by different down-sampling in the processing of DWT. A non-linear transformation on the wavelet coefficients is used to retain the details and repress the high frequency noise based on the result of noise estimation. Then the reconstruction of processed wavelet coefficients (IDWT) generates a set of mid-images which contain similarly redundant information. Last a final de-noised image is acquired by weighted adding of the mid-images that further remove the high frequency noise. This algorithm has been realized in a single FPGA implementation. The processing frame rate on the ALTERA CYCLONIII chip is 50 f/s, which meets the real-time requirements.

Key words: infrared image; de-noising; DWT; redundancy

1 引言

红外成像技术原理上是将被测对象的红外热辐射信号转换为二维可视化热像的红外图像处理仪器或设备, 其输出信号具有灰度集中, 对比度低等特点, 从而红外图像增强成为必不可少的手段, 比如传

统的直方图均衡法(HE)、对比度受限直方图均衡法^[1]、结合全局增强法与局部增强法的方式^[2]等。

作者简介: 陈小明(1982-), 男, 博士研究生, 主要从事红外成像及红外图像处理等相关领域的工作。E-mail: bidoy@163.com

收稿日期: 2012-08-17; **修订日期:** 2012-08-24

图像增强会导致图像噪声的放大,在对比度提升、细节分辨力增强的同时,噪声影响图像平滑度。为进一步提升图像质量,众多学者提出各种去噪算法,其中包括传统的均值滤波、中值滤波及高斯滤波等。Tomasì. C 和 Manduchi. R 提出一种保留边沿的双边滤波方法^[3],在去噪同时一定程度上保留图像细节信息,A. Buades 等在双边滤波基础上增加一维信息^[4],提出局部块相似信息滤波去噪方法,图像去噪效果更加明显。

小波变换在空域和频域同时具有良好的局部化特性,不仅可将图像的结构和纹理分别表现在不同分辨率层次上,而且具有检测边缘的能力,因而将小波变换应用于去噪时,能够在保留图像边缘细节特征的基础之上,又有效地去除噪声,提高图像的质量,使去噪后的图像更有利于人或机器的分析。小波去噪方式包括基于硬阈值、软阈值的离散小波变换(DWT)去噪。刘兴森^[5]等提出一种基于小波变换的非线性红外图像增强算法,在其中采用软阈值方式进行小波去噪,张长江等利用离散平稳小波变换对红外图像噪声进行去噪增强^[6-8],对原始图像进行小波变换获得低频和高频系数,接着根据低频系数的特点设计了非线性函数对低频系数进行增强,并对高频系数进行小波去噪,最后通过小波重构得到增强的图像,获得较为平滑清晰的红外图像。

上述方法,局部块相似信息滤波去噪方法去噪效果最佳,但对每个像素需进行块距离、点距离及灰度距离上的三维运算,计算量相当庞大,且随图像大小、块大小及块数目呈指数倍增长,影响其工程应用,双边滤波有学者对其进行简化加速进行实现后的形式去噪效果一般,基于小波变换的去噪算法大多针对噪声抑制曲线进行改进,且少有提到算法的可实时性。本文提出一种基于信息冗余的小波红外图像去噪算法,在离散小波变化(DWT)过程中分别以不同的下采样方式获取多个含有相似信息的小波系数,在利用噪声对小波系数进行非线性变换,抑制高频噪声并保留细节,利用含有相似信息的小波系数加权进一步去除高频噪声,最后进行离散小波反变化(IDWT)获取最终处理后图像。此算法已在单片 FPGA 中进行实现,利用 ALTERA CYCLONIII 芯片实现后的处理帧频达到 50 f/s,满足实时性要求。

2 多分辨率小波分析的图像分解与重构

2.1 小波图像处理基本原理^[9]

$I(x, y)$ 为二维图像信号, x, y 分别为横坐标及纵坐标。 $\psi(x, y)$ 表示二维基本小波, $\psi_{a, b_1, b_2}(x, y)$ 表示 $\psi(x, y)$ 的尺度伸缩及二维位移, 即:

$$\psi_{a, b_1, b_2}(x, y) = \frac{1}{a} \psi\left(\frac{x - b_1}{a}, \frac{y - b_2}{a}\right) \quad (1)$$

因子 $\frac{1}{a}$ 是为了保证小波伸缩前后其能量不变而引入的归一因子。则二维连续小波变换定义为:

$$W_1(a; b_1, b_2) = \langle I(x, y), \psi_{a, b_1, b_2}(x, y) \rangle = \frac{1}{a} \iint I(x, y) \psi\left(\frac{x - b_1}{a}, \frac{y - b_2}{a}\right) dx dy \quad (2)$$

在可分离的情况下, 二维多维分辨率小波分析通常分两步进行: 首先沿 x 方向分别进行不同分辨率的函数 $\phi(x)$ 和 $\varphi(x)$ (分别对应低频和高频) 作分析, 把 $I(x, y)$ 分解成沿方向轮廓和细节两部分, 然后对这两部分在沿 y 方向分辨用 $\phi(y)$ 和 $\varphi(y)$ 作类似分析。这样得到的四路输出中, 经过 $\phi(x)$ $\phi(y)$ 处理所得的一路输出时图像 $I(x, y)$ 的第一级低频轮廓 $A_1 I(x, y)$, 其余三路输出为 $H_1 I(x, y)$, $V_1 I(x, y)$ 和 $D_1 I(x, y)$, 它们分别对应水平方向、垂直方向、对角方向的高频细节函数。同样, 可对低频轮廓 $A_1 I(x, y)$ 重复进行上述分析, 得到 n 层分解后的小波系数, 分解过程如图 1 所示。

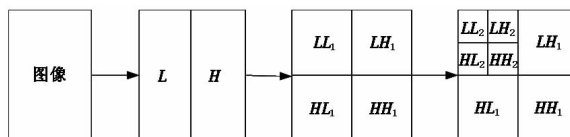


图1 二层小波分解示意图

从以上分析可知, 小波分析可看作是一种用于多分辨率分解函数的数学工具。图像经过小波变换后可以用小波分解的系数来描述, 小波系数体现原图信息和性质, 图像信息的局部特征可以通过处理小波系数而改变。

2.1 离散小波图像分解及重构^[10]

1988 年, Mallat 提出了一种快速小波分解及重构算法(DWT), 利用低频和高频两种滤波器完成信号分解。对于图像, 则分别通过对行列进行低频和高频滤波, 再经过下采样获取四种小波系数: 低频轮廓(LL), 横向细节(LH), 纵向细节(HL), 对角细节(HH)。同理, 经过相同原理的离散小波反变换(IDWT)即可完成图像重构, 具体流程如图 2 所示。

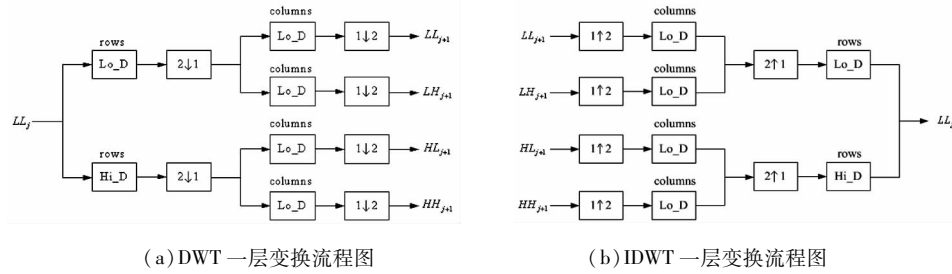


图2 DWT及IDWT一层变换流程图

其中, $\begin{bmatrix} x \end{bmatrix}$ 表示利用滤波器 X 对二维行数据进行卷积滤波, $\begin{bmatrix} x \end{bmatrix}$ 表示利用滤波器 X 对二维列数据进行卷积滤波, $2\downarrow 1$ 表示对行数据进行下采样, 保留偶数行数据, $1\downarrow 2$ 表示对行数据进行下采样, 保留奇数行数据, Lo_D 为对应小波低通滤波器, Hi_D 为对应小波高通滤波器, $2\uparrow 1$ 为对行数据进行上采样, 即在奇数列插入零, $1\uparrow 2$ 为对列数据进行上采样, 即在奇数行插入零。

3 基于冗余信息的小波红外图像去噪算法

通过分析一级 DWT 流程可发现, 在进行下采样过程中舍弃奇数行及奇数列的数据以保证 IDWT 的唯一性, 舍弃掉的数据相对小波变换及反变换是冗余数据, 冗余数据的舍弃意味着大量数据丢失, 通过分析这些冗余数据, 发现其与所保留数据具有相似性, 利用此相似性可进一步对高频噪声进行滤除, 并较单一保留数据保留更好的细节信息。

3.1 冗余信息相似性分析

分析不同采样方式下得到的小波系数重构后的图像确定冗余信息的相似性, 为去噪算法提供依据。令 DWT 变换中下采样之前的小波系数为:

$$\begin{aligned} A(x, y) &= Lo_D_v^* (Lo_D_h^* I(x, y)) \\ H(x, y) &= Lo_D_v^* (Hi_D_h^* I(x, y)) \\ V(x, y) &= Hi_D_v^* (Lo_D_h^* I(x, y)) \\ D(x, y) &= Hi_D_v^* (Hi_D_h^* I(x, y)) \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $*_h$ 表示行卷积; $*_v$ 表示列卷积。

则一级 DWT 的小波系数为取偶数行及偶数列方式的下采样, 即:

$$\begin{aligned} LL &= A(\lfloor x/2 \rfloor \times 2, \lfloor y/2 \rfloor \times 2) \\ LH &= H(\lfloor x/2 \rfloor \times 2, \lfloor y/2 \rfloor \times 2) \\ HL &= V(\lfloor x/2 \rfloor \times 2, \lfloor y/2 \rfloor \times 2) \\ HH &= D(\lfloor x/2 \rfloor \times 2, \lfloor y/2 \rfloor \times 2) \end{aligned} \quad (4)$$

另取奇数行及偶数列、偶数行及奇数列, 奇数行

及奇数列可得到另三组小波系数:

$$\begin{aligned} LL_{oe} &= A(\lfloor x/2 \rfloor \times 2 + 1, \lfloor y/2 \rfloor \times 2) \\ LH_{oe} &= H(\lfloor x/2 \rfloor \times 2 + 1, \lfloor y/2 \rfloor \times 2) \\ HL_{oe} &= V(\lfloor x/2 \rfloor \times 2 + 1, \lfloor y/2 \rfloor \times 2) \\ HH_{oe} &= D(\lfloor x/2 \rfloor \times 2 + 1, \lfloor y/2 \rfloor \times 2) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} LL_{eo} &= A(\lfloor x/2 \rfloor \times 2, \lfloor y/2 \rfloor \times 2 + 1) \\ LH_{eo} &= H(\lfloor x/2 \rfloor \times 2, \lfloor y/2 \rfloor \times 2 + 1) \\ HL_{eo} &= V(\lfloor x/2 \rfloor \times 2, \lfloor y/2 \rfloor \times 2 + 1) \\ HH_{eo} &= D(\lfloor x/2 \rfloor \times 2, \lfloor y/2 \rfloor \times 2 + 1) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} LL_{oo} &= A(\lfloor x/2 \rfloor \times 2 + 1, \lfloor y/2 \rfloor \times 2 + 1) \\ LH_{oo} &= H(\lfloor x/2 \rfloor \times 2 + 1, \lfloor y/2 \rfloor \times 2 + 1) \\ HL_{oo} &= V(\lfloor x/2 \rfloor \times 2 + 1, \lfloor y/2 \rfloor \times 2 + 1) \\ HH_{oo} &= D(\lfloor x/2 \rfloor \times 2 + 1, \lfloor y/2 \rfloor \times 2 + 1) \end{aligned} \quad (7)$$

分别利用四组小波系数进行小波反变换可得到四幅图像, 如图 3 所示。

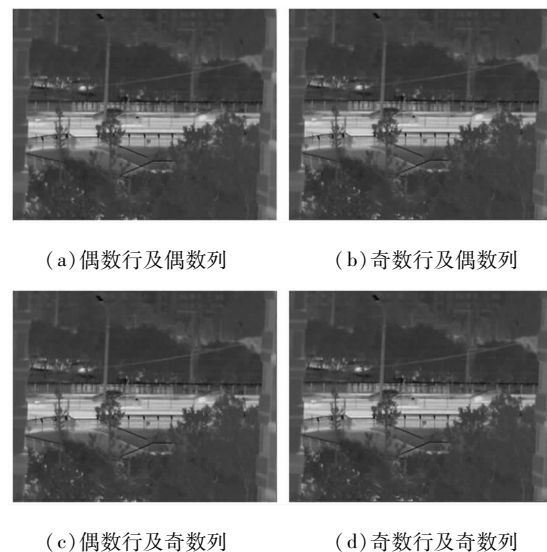


图3 四组小波系数反变换结果

从变换结果可发现, 四幅图像具有相似的信息量, 其差别在于图 3(b) ~ 图 3(d) 相对于图 3(a) 分别在垂直方向上移一个像素、水平方向左移一个像素及对角方向向左上方移动一个像素, 对这三幅图像进行反向移位即可得到与图 3(a) 一致的图像信

息,说明四组小波系数具有相似信息。

3.2 去噪算法

图像的细节、噪声主要分布在高频区域,因而小波降噪可以在小波系数的高频域内进行。在高频小波系数中,噪声主要集中于幅值较小的小波系数,图像的细节信息主要集中于幅值较大的小波系数,并且绝对值较小的小波系数噪声成分较大,绝对值大的小波系数含噪声成分较少,通过对不同数值的小波系数进行变换后再重构即可达到去噪效果。常见的高频小波系数处理方式有硬阈值、软阈值^[5]及一些非线性变换^[6-8],硬阈值和软阈值这种单一阈值处理方式针对小于阈值的值统一归零、对于大于阈值的值则保持不变,处理方式过于简单,且不加区分地统一对待,不具有针对性,容易丢失细节或达不到好的去噪效果,过于简单的处理方式很难在此两者之间找到平衡点。张长江^[6-8]等人采用了不同的非线性函数分别进行了增强及去噪,采用广义交叉确认原理计算非线性函数中涉及的阈值,需获取多帧图像数据,且计算过程复杂,不具有工程化可实现性。

本文去噪算法利用单帧图像估计噪声方差计算不同小波变换层的非线性变换函数阈值,采用非线性函数对四组不同采样下的高频小波系数进行变换,绝对值小的小波系数进行压缩处理,绝对值大的小波系数进行保留,然后经过反变换后获取四组具有信息相似性的初步去噪图像,再对经过相应位移对齐后的四幅图像加权平均进一步去除高频噪声获取最终去噪图像。

3.2.1 噪声估计

图像噪声随成像环境而变化,例如不同的成像系统,其噪声会有差异,成像系统不同的工作环境对噪声等级也会影响。去噪算法为达到自适应性,根据实时图像评估当前噪声等级,以此为依据提供高频小波系数非线性变换函数阈值,根据场景动态调整阈值,从而保证在不同的成像环境下,达到最优的去噪效果。

输入图像 I 中含有理想图像及噪声:

$$I = I_{\text{ideal}} + N \quad (8)$$

其中, N 为噪声; I_{ideal} 为理想图像。

利用均值滤波 f_{average} 对 I 进行平滑近似 I_{ideal} , 然后从输入图像 I 中减去近似 I_{ideal} , 得到噪声估计:

$$\tilde{N} = I - f_{\text{average}} * I \quad (9)$$

对 $\tilde{N}$ 进行 l 层 DWT 变换, 获取多层小波系数, 利用各层的 HL, LH 及 HH 小波系数方差衡量噪声等级。

$$\begin{aligned} \delta_{HL}^l &= \sqrt{\sum_{i,j} \frac{1}{H^l * W^l} (HL_{i,j}^l - \overline{HL^l})^2} \\ \delta_{LH}^l &= \sqrt{\sum_{i,j} \frac{1}{H^l * W^l} (LH_{i,j}^l - \overline{LH^l})^2} \\ \delta_{HH}^l &= \sqrt{\sum_{i,j} \frac{1}{H^l * W^l} (HH_{i,j}^l - \overline{HH^l})^2} \end{aligned} \quad (10)$$

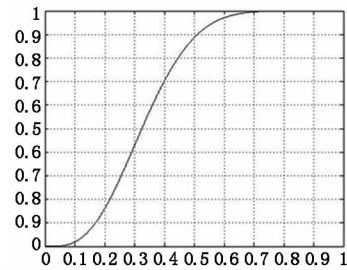
其中, H^l, W^l 为不同层的小波系数二维分布的高度及宽度。

3.2.2 小波系数非线性变换

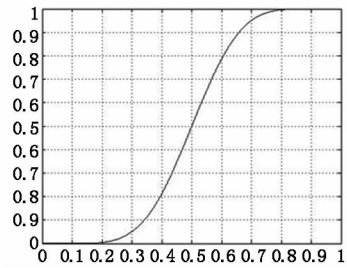
根据小波分析的原理, 在高频小波系数中, 噪声主要集中于幅值较小的小波系数, 图像的细节信息主要集中于幅值较大的小波系数, 并且绝对值较小的小波系数噪声成分较大, 绝对值大的小波系数含噪声成分较少。针对这一特性, 对绝对值小于阈值的小波系数进行压缩处理, 保留绝对值大于阈值的小波系数, 从而达到去噪目的。本文采用不完全贝塔函数(Incomplete beta function)处理高频小波系数^[8,11]。不完全贝塔函数具有两个特性: ①经过原点及(1,1)点, 且单调递增; ②原点及(1,1)点附近斜率小, 中间斜率大。

$$IB(x; a, b) = \frac{1}{B(a, b)} \int_0^x t^{a-1} (1-t)^{b-1} dt \quad (11)$$

其中, $B(a, b) = \int_0^1 t^{a-1} (1-t)^{b-1} dt$ 为归一化系数; a 与 b 分别影响前段及后段曲线斜率。



(a) $a=4, b=8$



(b) $a=8, b=8$

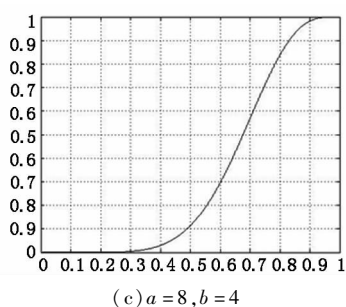


图4 不完全贝塔函数曲线

$$\begin{aligned}
 HL_{shrink}^{l,r} &= \begin{cases} \text{sign}(HL^{l,r}) * IB(\text{abs}(HL^{l,r})/T_{HL}^l) * T_{HL}^l & HL^{l,r} \leq T_{HL}^l \\ HL^{l,r} & HL^{l,r} > T_{HL}^l \end{cases} \\
 LH_{shrink}^{l,r} &= \begin{cases} \text{sign}(LH^{l,r}) * IB(\text{abs}(LH^{l,r})/T_{LH}^l) * T_{LH}^l & LH^{l,r} \leq T_{LH}^l \\ LH^{l,r} & LH^{l,r} > T_{LH}^l \end{cases} \\
 HH_{shrink}^{l,r} &= \begin{cases} \text{sign}(HH^{l,r}) * IB(\text{abs}(HH^{l,r})/T_{HH}^l) * T_{HH}^l & HH^{l,r} \leq T_{HH}^l \\ HH^{l,r} & HH^{l,r} > T_{HH}^l \end{cases}
 \end{aligned} \quad (12)$$

其中, $T_{HL}^l, T_{LH}^l, T_{HH}^l$ 分别为 l 层 LH, HL, HH 的压缩阈值, 本文算法中取 $T_{HL}^l, T_{LH}^l, T_{HH}^l$ 为各层 LH, HL, HH 估计噪声的倍数, 即 $T_{HL}^l = g \times \delta_{HL}^l, T_{LH}^l = g \times \delta_{LH}^l, T_{HH}^l = g \times \delta_{HH}^l$, $\text{sign}(\cdot)$ 表示取 $\cdot$ 的符号位, abs 表示取绝对值, $l=1, 2, 3$ 表示小波分解层数, $r=1, 2, 3, 4$ 分别表示 ee, eo, oe, oo 四组采样形式。

分析曲线图可发现, 通过改变 a 及 b 的值可控制对小值小波系数的压缩率及大值小波系数的放大率, 从而在噪声抑制及细节保留中寻求平衡点, 兼顾去噪及保留细节。

利用不完全贝塔函数对小波系数进行非线性变换:

3.2.2 基于冗余信息的去噪

根据第 3.1 节所述, 每层四组经过压缩后的小波系数, 通过反变换可得到四组具有像素位差的 LLR 图像, 通过相应位移对齐后, 对四幅具有相似冗余信息的图像进行平均进一步去噪。通过三层计算最后得到 LL_{new}^0 , 即为最终的去噪结果图像。算法单层框图如图 5 所示。

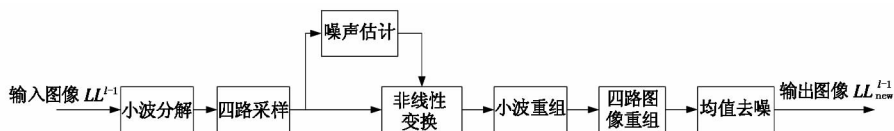


图5 单层算法框图

$$LL_{new}^{l-1} = (LLR_{ee}^{l-1} + \text{Shift}_{eo}(LLR_{eo}^{l-1}) + \text{Shift}_{oe}(LLR_{oe}^{l-1}) + \text{Shift}_{oo}(LLR_{oo}^{l-1}))/4 \quad (13)$$

其中, $LLR_{ee}^{l-1} = \text{IDWT}(LL_{new}^{l,1} + LH_{shrink}^{l,1} + HL_{shrink}^{l,1} + HH_{shrink}^{l,1})$ 为偶数行及偶数列小波反变换结果; $LLR_{eo}^{l-1} = \text{IDWT}(LL_{new}^{l,2} + LH_{shrink}^{l,2} + HL_{shrink}^{l,2} + HH_{shrink}^{l,2})$ 为偶数行及奇数列小波反变换结果; $LLR_{oe}^{l-1} = \text{IDWT}(LL_{new}^{l,3} + LH_{shrink}^{l,3} + HL_{shrink}^{l,3} + HH_{shrink}^{l,3})$ 为奇数行及偶数列小波反变换结果; $LLR_{oo}^{l-1} = \text{IDWT}(LL_{new}^{l,4} + LH_{shrink}^{l,4} + HL_{shrink}^{l,4} + HH_{shrink}^{l,4})$ 为奇数行及奇数列小波反变换结果。

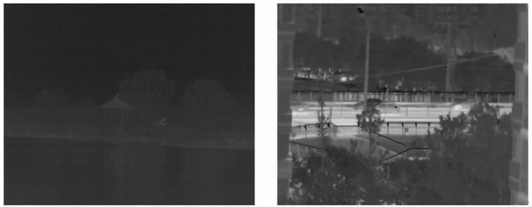
$l=1, 2, 3$ 代表三层小波, $l=3$ 时, $LL_{new}^{l,1} = LL^{l,1}; LL_{new}^{l,2} = LL^{l,2}; LL_{new}^{l,3} = LL^{l,3}; LL_{new}^{l,4} = LL^{l,4}$ 。

$\text{Shift}_{eo}(\cdot), \text{Shift}_{oe}(\cdot), \text{Shift}_{oo}(\cdot)$ 分别表示对 $\cdot$ 在水平方向循环左移一个像素、在垂直方向循环上移一个像素及在对角线上向左上循环移一个像素。

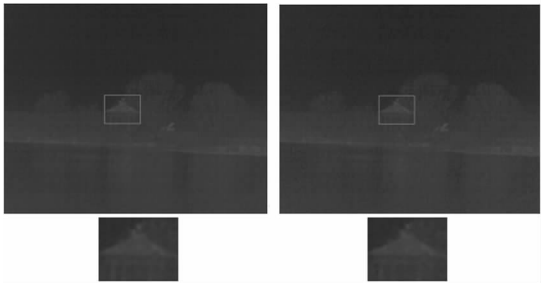
4 实验及仿真

本文所针对的实验数据为基于 ULIS 03 19 1 非制冷凝视型红外焦平面的成像系统的原始数据, 所选图像为原始数据经过结合全局增强法与局部增强法的方式^[2]增强后图像。为说明算法环境适应性, 分别选取雨天及晴天下的场景(依次为图 6(a)、图 6(b))进行算法处理, 同时选用了常见的高斯滤波、中值滤波及双边滤波等进行效果对比, 两种不同场景下的红外图像处理效果图依次为图 7、图 8。红外图像客观评价方面, 现阶段没有标准可参考。大多数文献采用的诸如信噪比、峰值信噪比及均方误差等都需利用标准输入图像进行评估计算, 本文所采用为实际不同场景的红外图像, 因而通过主观评价比较算法效果。从以下几个方面进行对比: ①平滑度; ②细节清晰度; ③全局舒适度。评比分为差、中、好及最好四个等级, 对应分数为 1, 2, 3, 4 分。共选

取 20 人对三组结果进行打分,取平均分为最后得分。图 6 两幅噪声图像处理后的效果主观评价对比表如表 1、表 2 所示。



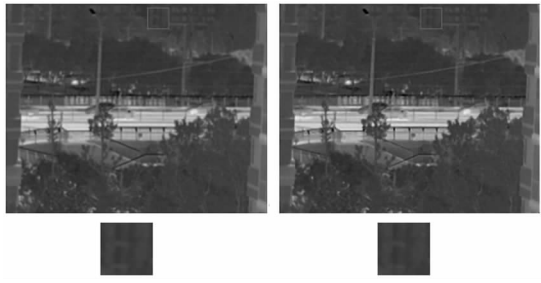
(a)雨天下的场景 (b)晴天下的场景
图 6 原始噪声图像



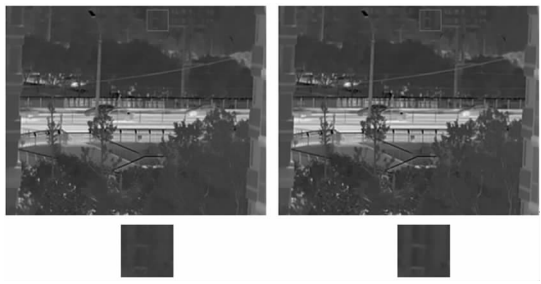
(a)雨天场景高斯滤波 (b)雨天场景中值滤波



(c)雨天场景双边滤波 (d)雨天场景本文算法
图 7 雨天红外图像处理效果对比



(a)晴天场景高斯滤波 (b)晴天场景中值滤波



(c)晴天场景双边滤波 (d)晴天场景本文算法
图 8 晴天红外图像处理效果对比

表 1 图 7 主观评价对比表

	高斯滤波	中值滤波	双边滤波	本文算法
平滑度	2.25	2.20	3.60	3.80
细节清晰度	3.05	2.95	2.55	3.65
全局舒适度	2.40	2.40	3.40	3.90

表 2 图 8 主观评价对比表

	高斯滤波	中值滤波	双边滤波	本文算法
平滑度	2.60	2.65	3.70	3.95
细节清晰度	2.75	2.55	2.80	3.90
全局舒适度	2.90	2.85	3.55	3.95

通过表 1、表 2 可发现,本文算法对不同环境下红外图像处理后的三项得分较其他算法占很大优势,不仅去除噪声提升图像平滑度,且很好保留图像细节信息,图像质量得到大幅提高。实验中,此算法对其他场景可达到很好的处理效果,由于篇幅原因,就不一一赘述。

5 结 论

提出了一种基于信息冗余的小波去噪算法,首先分析在离散小波变化(DWT)过程中以不同的下采样方式获取多个小波系数的相似性,为算法奠定基础,再利用噪声估计对小波系数进行非线性变换,抑制高频噪声并保留细节,然后重构多组图像,最后利用含有相似信息的图像结果加权进一步去除高频噪声,最后获取最终去噪图像,不仅去除噪声提升图像平滑度,且很好的保留图像细节信息。选用 Haar 小波的去噪算法形式已在单片 FPGA 中实现,利用 ALTERA CYCLON III 芯片处理帧频达到 50 f/s,满足实时性要求。

参考文献:

[1] Pizer S M, Johnston R E. Contrast-limited adaptive histogram equalization: speed and effectiveness[J]. Proc. IEEE VBC, 1990, 90: 337 - 345.

[2] Xiaoming Chen, Shusheng Yu. A novel contrast enhancement algorithm in IR imaging systems [J]. Proc. SPIE OIT2011, 2011, 8200.

[3] Tomasi C, Manduci R. Bilateral filtering for gray and color images[J]. Proc. IEEE ICCV, 1998, 98: 849 - 946.

[4] Buades A, Coll B. A non-local algorithm for image denoising[J]. Proc. IEEE SCCV, 2005, 5(2): 60 - 65.

[5] Liu Xingmiao, Wang Shicheng, Zhao Jing. A nonlinear algorithm of infrared image enhancement based on wavelet transform [J]. Infrared Technology, 2009, 31 (12): 708 - 711. (in Chinese)

- 刘兴森,王仕成,赵静.一种基于小波变换的非线性红外图像增强算法[J].红外技术,2009,31(12):708-711.
- [6] Changjiang Zhang, Fan Yang, Xiaodong Wang, et al. An efficient non-linear algorithm for contrast enhancement of infrared image [J]. Proc. IEEE ICMLC, 2005: 4946-4951.
- [7] Changjiang Zhang, Xiaodong Wang, Haoran Zhang. A reducing multi-noise contrast enhancement algorithm for infrared image[J]. Proc. IEEE ICICIC, 2006: 632-635.
- [8] Zhang Changjiang, Fu Mengyin, Jin Mei. Approach to enhance contrast of infrared image based on wavelet transform [J]. Infrared Millim. Waves, 2004, 23(2): 119-124. (in Chinese)
- 张长江,付梦印,金梅.一种红外图像对比度增强的小波变换法[J].红外与毫米波学报,2004,23(2):119-124.
- [9] Li Yingchun, Sun Jiping, Fu Xingjian. Infrared image denoising based on wavelet transform[J]. Laser & Infrared, 2006, 36(10): 988-991. (in Chinese)
- 李迎春,孙继平,付兴建.基于小波变换的红外图像去噪[J].激光与红外,2006,36(10):988-991.
- [10] Feng Zhen, Ma Qishuang. Research on infrared image nonlinear enhancement algorithm based on wavelet analysis[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(3): 315-318. (in Chinese)
- 冯贞,马齐爽.基于小波分析的红外图像非线性增强算法[J].激光与红外,2010,40(3):315-318.
- [11] Tubbs J D. A note on parametric image enhancement[J]. Pattern Recognition, 1997, 30(6): 616-621.