

基于伪中值滤波和小波变换的红外图像增强方法

王学伟,王世立,李珂

(海军航空工程学院控制工程系,山东烟台264001)

摘要:针对红外图像对比度差、信噪比低的特点,提出一种基于伪中值滤波和小波变换的红外弱小目标增强的算法。图像首先经过伪中值滤波滤除部分噪声,然后进行小波变换得到小波系数,对小于阈值的系数利用基于临近系数保留法进行滤波,防止小目标误判为噪声被滤除,对于大于阈值的系数进行非线性增强,最后重构得到去噪后的增强图像。实验结果表明,本文算法有效地滤除了噪声,提高了图像的对比度,更符合人眼视觉特性。

关键词:中值滤波;小波变换;小波去噪;非线性增强

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.01.019

Infrared image enhancement based on pseudo median filter and wavelet transformation

WANG Xue-wei, WANG Shi-li, LI Ke

(Department of Control Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: For infrared image with low contrast and low signal-to-noise ratio, an infrared image enhancement method based on pseudo median filter and wavelet transformation is presented. Firstly, pseudo median filter is used for de-noising, then the wavelet transformation is adopted to decompose the image. To prevent the small target to be filtered as noise, the coefficient below threshold is filtered by algorithm based on neighbor coefficient keeping. The coefficient above threshold is enhanced by nonlinear method. Finally, the inverse wavelet transform is applied to synthesis image which can obtain the enhanced image. A group of experiment results show that the presented algorithm reduces the noise and improves the image contrast. The result image fits visual sense characteristic.

Key words: median filter; wavelet transform; wavelet de-noising; no-linear enhancement

1 引言

红外探测器所获取的图像信噪比较低、目标模糊,因此需要对图像进行预处理,使目标清晰利于目标识别和跟踪。图像增强算法主要分为两类:空间域算法和变换域算法。常用的红外图像处理算法有直接灰度变换、直方图均衡化、平台直方图均衡化和小波阈值去噪等。直接灰度变换要求预先设定线性参数,直方图均衡化处理红外图像时常出现过度增强现象,效果不理想。平台直方图均衡化可以克服HE的不足,但其效果好坏取决于平台值的选取。本文提出一种基于伪中值滤波和小波变换的红外图像增强算法,为了减小计算量,首先采用伪中值滤波

算法对图像进行滤波去噪,然后对图像进行小波变换,对小于阈值的系数利用基于临近系数保留法进行滤波,防止小目标被误判为噪声滤除,考虑到人眼特性,对于大于阈值的系数进行非线性增强,最后进行小波重构获得图像。

2 伪中值滤波

中值滤波是一种非线性滤波技术,它选定一个含有奇数个像素的滑动窗口,将窗口中央像素的值

作者简介:王学伟(1973-),男,副教授,博士,主要从事复合制导,图像融合、红外传感效应方面等工作。E-mail: xueweiwang@sohu.com

收稿日期:2012-05-31;修订日期:2012-06-29

用窗口中所有像素的中值来代替^[1]。

给定 $1-D$ 信号序列 $\{f_i\}, i=1, 2, \dots, N$, 设模板尺寸为 $M=2r+1$, r 为模板半径, 则中值滤波输出为:

$$g_j = \text{median}[f_{j-r}, f_{j-r+1}, \dots, f, \dots, f_{j+r}]$$

式中, median 代表取中值, 即对模板覆盖的信号序列按数值大小进行排序, 并取排序后处在中间位置的值作为滤波输出^[2]。一个 $2-D$ 中值滤波器的输出可写为:

$$g_{\text{median}}(x, y) = \text{median}_{(s,t) \in N(x,y)} [f(s, t)]$$

将 $n \times n$ (n 一般取奇数) 模板中的所有值排列, 取中间值。例如使用一个 3×3 的模板, 中值就是第 5 大的像素灰度。

但是, 随着窗口的逐渐变大, 运算量显著增加。从满足系统实时性出发, 为了减少运算量, 对窗口中的每一水平行求中值, 然后求这些中值的中值, 这种方法称为伪中值滤波^[3]。

3 图像的小波变换

基于小波变换的图像增强, 是通过对其图像分解过程中所产生的近似分量与细节分量系数的调整, 使重构图像满足特定条件, 而实现图像增强。在进行图像的小波分解与重构时, 选择合适的小波基, 依照由 Mallat 提出的快速小波变换方法, 可以实现图像的小波变换及其逆变换。

设原始图像为 $f(x, y)$, 则图像可分解为^[4]:

$$A_s f(i, j) = \langle f(i, j), \phi_{sk1}(i) \phi_{sk2}(j) \rangle$$

$$D_s^{(1)} f(i, j) = \langle f(i, j), \phi_{sk1}(i) \psi_{sk2}(j) \rangle$$

$$D_s^{(2)} f(i, j) = \langle f(i, j), \psi_{sk1}(i) \phi_{sk2}(j) \rangle$$

$$D_s^{(3)} f(i, j) = \langle f(i, j), \psi_{sk1}(i) \psi_{sk2}(j) \rangle$$

其中, ϕ 和 ψ 为相应的尺度函数和小波函数。二维分解可分为两步进行, 首先沿 i 方向分别用 $\phi(i)$ 和 $\psi(i)$ 做分析, 把 $f(i, j)$ 分解成平滑逼近和细节这两部分, 然后对这两部分再沿 j 方向分别用 $\phi(j)$ 和 $\psi(j)$ 做类似分析, 这样得到的四路输出中, 经 $\phi(i) \phi(j)$ 处理所得到的一路是 $f(i, j)$ 的第一级平滑逼近 $A_s f(i, j)$, 其余三路输出为 $D_s^{(1)} f(i, j), D_s^{(2)} f(i, j), D_s^{(3)} f(i, j)$, 它们为细节函数。

4 基于伪中值滤波和小波变换的图像增强算法

本文提出的基于伪中值滤波和小波变换的图像增强算法的原理为: 将原始图像经过伪中值滤波, 滤除部分噪声, 然后对滤波后的图像进行二进制小波变换, 对于小于阈值的系数采用基于临近系数保留法进行滤波, 对于大于阈值的系数进行非线性增强, 最后

通过小波重构得到最终图像, 原理图如图 1 所示。

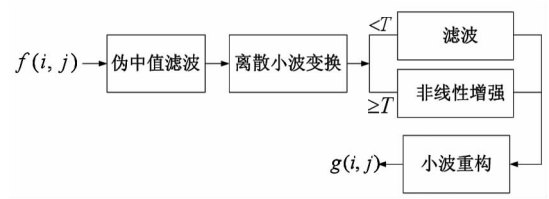


图1 基于伪中值滤波和小波变换算法原理图

4.1 小波阈值去噪

传统的小波阈值去噪为:

$$W_s = \begin{cases} W, & |W| \geq T \\ 0, & |W| < T \end{cases}$$

式中, W 为图像小波变换得到的小波系数; W_s 为经阈值去噪处理后的系数, 用于小波重构。

考虑到本文应用背景为弱小目标的红外图像, 若采用传统去噪方案可能会将目标判为噪声而滤除, 故本文采用基于临近系数的保留法, 即对于小于阈值的小波系数, 统计 3×3 窗口内的小波系数大于小波阈值的个数, 若为 0 则将此小波系数置 0, 若不为 0 则保持不变。若 $W(i, j) < T$, N 为像素 (i, j) 3×3 邻域内小波系数大于等于阈值 T 的个数, 则:

$$W_s(i, j) = \begin{cases} W(i, j), & N \neq 0 \\ 0, & N = 0 \end{cases}$$

4.2 非线性增强^[5-6]

基于人眼视觉特性, 增强算法应具有如下功能: 在小波变换域中, 对幅值小于某个阈值的系数保持不变, 相当于对图像中的过渡区域像素的灰度值保持不变; 而对幅值大于某个阈值的像素进行增强处理, 这个过程主要是增强所感兴趣的目标而抑制大部分背景信息。这样, 使得增强后的图像目标突出, 细节明显, 层次过渡感强, 避免增强后效果生硬, 以产生良好的视觉效果。设计如下的非线性增强算子来完成上述功能:

$$G(x) =$$

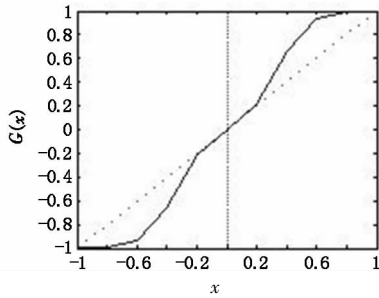
$$\begin{cases} x & |x| < T \\ a \{ \text{sigmoid}[c(x-b)] - \text{sigmoid}[-c(x+b)] \} & |x| \geq T \end{cases}$$

其中:

$$a = \frac{1}{\text{sigmoid}[c(1-b)] - \text{sigmoid}[-c(1+b)]}$$

$\text{sigmoid}(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}, 0 < b < 1; b$ 和 c 分别用来控制阈值大小和增强的速率; T 为小波系数增强的临界值; $x \in [-1, 1]$ 表示归一化的小波系数。

图 2 是 $b=0.33, c=10$ 时的非线性增强函数曲线, 横坐标表示 x , 纵坐标表示 $G(x)$ 。

图2 非线性增强算子($b=0.33, c=10$)

5 实验结果

图3为舰船小目标的红外传感器成像,图4是采用全局直方图均衡法增强后的图像,对比度提升不大且局部高对比度区出现提升过饱和现象。图5是经伪中值滤波后的图像,图像中噪声得以滤除且保留了细节边缘,但是图像对比度没有得到增强,图6为unsharp masking算法,目标得到增强的同时噪声也被放大了,图7为小波阈值算法,能够很好地滤除噪声,但是目标没有得到增强。图8是用本文方法处理后的结果,由图显见:本文方法在尽可能多地保持原始图像信息及避免噪声放大的同时,增强了舰船图像的可视性,对比度也得到提高。



图3 舰船目标红外图像

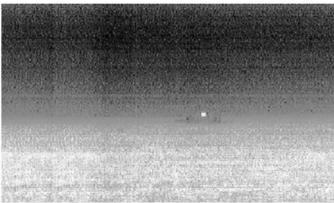


图4 直方图均衡化增强

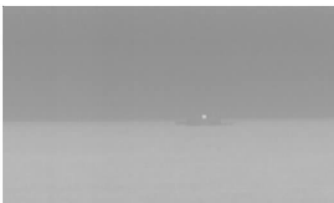


图5 伪中值滤波

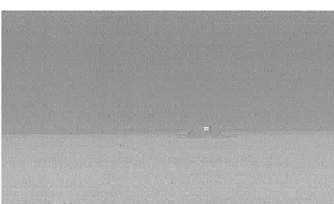


图6 unsharp masking

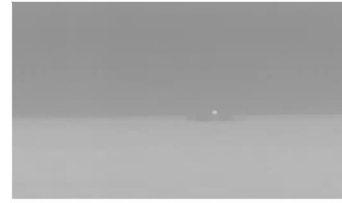


图7 小波阈值

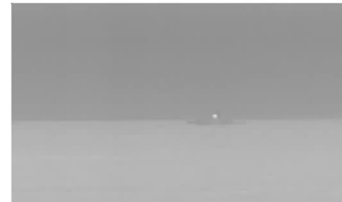


图8 本文算法

为验证本文混合滤波算法的有效性,我们对图5~图8的实验结果进行了归一化均方误差 NMSE、峰值均方误差 PMSE、信噪比 PSNR 的定量检测^[7],结果如表1所示。其中:

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j)]^2}$$

$$PMSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2}{M \times N \times A^2}$$

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2}{\sigma}$$

$$\sigma = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2$$

式中, $f(i, j)$ 为标准的图像信号; $\hat{f}(i, j)$ 分别为经三种滤波后的图像; A 为 $f(i, j)$ 的最大值; M 为400; N 为240。

从量化结果看,经本文提出的算法处理后的图像归一化均方误差、峰值均方误差降低,信噪比提高,且图像更符合人的视觉特性,利于观察。

表1 四种算法结果的性能比较

滤波类型	NMSE	PMSE	PSNR
unsharp masking	0.1461	8.0598×10^{-4}	32.4188
伪中值滤波	0.0141	7.7914×10^{-5}	42.5659
小波阈值	3.2285×10^{-4}	2.9273×10^{-9}	86.8173
本文算法	3.1346×10^{-4}	2.8422×10^{-9}	86.9455

6 结论

红外小目标图像增强是一个比较棘手的问题,小波变换的出现为解决这个问题开辟了有效的途径。以小波变换为理论依据,学者们提出了各种不

同的方法,有效地改善了图像的增强效果。另外,根据人眼的视觉特性对小波系数的增益进行非线性自适应控制。实验证明,本文方法在抑制噪声、保护边缘和改善视觉效果方面性能良好。

参考文献:

- [1] Zhang Yujin. Image processing[M]. Beijing: Tsinghua University Publishing, 2006: 101 - 104. (in Chinese)
章毓晋. 图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 101 - 104.
- [2] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods, Steven L Eddins. Digital image processing using MATLAB[M]. Beijing: Publishing of Electronic Industry, 2009: 104 - 107. (in Chinese)
冈萨雷斯, 等. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 104 - 107.
- [3] Liu Yanwu, He Youjin, Lu Bin. Infrared image pretreatment for warship target[J]. Infrared Technology, 2003, 25(3): 10 - 12. (in Chinese)
刘延武, 何友金, 陆斌. 舰船目标红外图像预处理[J]. 红外技术, 2003, 25(3): 10 - 12.
- [4] Guo Lei, Cheng Gong, Zhao Tianyun. A new and effective multi-focus image fusion algorithm based on wavelet transform and neighborhood features[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2011, 29(3): 454 - 458. (in Chinese)
郭雷, 程恭, 赵天云. 基于小波变换和邻域特征的多聚焦图像融合算法[J]. 西北工业大学学报, 2011, 29(3): 454 - 458.
- [5] Zhang Changjiang, Fu Mengyin, Jin Mei. Approach to enhance contrast infrared image based on wavelet transform[J]. 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.
- [6] Liu Songtao. Research on image fusion for target recognition[D]. Yantai: Naval Aeronautical and Astronautical University, 2006. (in Chinese)
刘松涛. 面向目标识别的图像融合技术研究[D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2006.
- [7] Jing Xiaojun, Geng Yinyin, Cai Anni. A improved mixed filter algorithm for still image[J]. Journal of China Institute of Communications, 2002, 23(1): 8 - 17. (in Chinese)
景晓军, 耿茵茵, 蔡安妮, 等. 静止图像的一种混合滤波及其改进算法[J]. 通信学报, 2002, 23(1): 8 - 17.