

一种基于图像融合的红外图像预处理算法

姚敏, 刘邦

(武汉东湖学院 电信学院, 湖北 武汉 430212)

摘要: 在使用传统的滤波去噪方法对红外图像进行预处理时, 会在削弱噪声信息的同时模糊了图像中目标和背景的边缘成分, 不利于对图像信息进一步处理。针对该问题, 提出基于图像融合的红外图像预处理方法, 通过对同一幅退化降质的红外图像分别实施改进的中值滤波算法和改进的 Sobel 算子边缘提取算法, 进行去噪处理和边缘提取, 最后利用图像融合算法, 将不同算法处理的结果图像加以合并, 形成融合后图像。实验结果表明, 所提出的基于图像融合的预处理方法能够滤除红外图像中大部分噪声, 且很好地保留了目标和背景的细节特征, 而且运算简单, 便于硬件实时计算, 有利于后续的目标检测与识别处理。

关键词: 改进的中值滤波; 边缘提取; 改进 Sobel 算子; 图像融合

中图分类号: TN216 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2014)04-0326-05

A Method for Infrared Images Pre-processing based on Image Fusion

YAO Min, LIU Bang

(Electronics & Information School of Wuhan Donghu College, Wuhan 430212, China)

Abstract: In the traditional filtering method to preprocess the image, the edges of target and background are usually blurred while the noise information being weakened, which is not conducive to the further processing of the image information. Aiming at this problem, this paper proposes image preprocessing techniques based on image fusion: firstly applying improved median filtering algorithm and improved Sobel edge extraction algorithm respectively on the same degraded infrared image, then using the pixel level image fusion algorithm to combine the two processing results. The final fusion results show a clear image with significantly enhanced edge portion with a simple operation. In a word, this preprocessing method is conducive to the target detection and recognition in following treatment and achieves the image preprocessing requirements.

Key words: improved median filter, edge detection, improved Sobel operator, image fusion

0 引言

随着红外技术的不断发展和进步, 红外成像系统以其较强的抗干扰能力、远距离及昼夜工作适应性、良好的隐蔽性等优点被广泛应用在目标探测、精确制导、光学遥感、夜间导航及其他民用领域中。然而实际红外成像的环境十分复杂, 并且在图像的发送、传输、接收、输出等各个环节也都会产生干扰, 使得获得的图像信息与原图像产生偏差而失真, 以致无法直接开展后续的目标检测与识别。因而有必要对接收到的图像进行一系列有效的预处理工作。红外图像信号的预处理技术一直是各国科研工作者研究的热点问

题。红外图像增强预处理主要分为空域增强和频域增强, 其中以直方图均衡化、灰度变换等基本滤波处理方法为主。在此之上, 对算法加以改进, 有形态学滤波算法、遗传算法、退火算法等对图像进行分段增强的算法。而国外学者在图像增强预处理上, 除了考虑对基本红外图像增强方法改进以外, 更注重于突出红外图像中目标与背景信息^[1]。较新的研究有模拟人眼获取图像信息过程的 Retinex 图像增强算法、基于小波的图像增强算法及红外图像的彩色处理^[2]。众多算法由于侧重点不一样, 对于不同情况下的红外图像实施起来有着截然不同的处理效果, 自适应性并不理想; 并且大多算法由于庞大的计算量而不易实现。近

收稿日期: 2013-10-17; 修改日期: 2014-01-04。

作者简介: 姚敏 (1981-), 女, 讲师, 主要研究方向为图像处理及目标识别。

基金项目: 湖北省教育厅科学研究计划项目, 编号: B2013200。

年来,在红外图像增强处理技术上,人们更注重图像处理的实时化研究,要求算法简洁,易于硬件实现,因而对图像预处理提出了更高的要求^[3]。

本文提出基于图像融合的红外图像预处理技术,突出背景灰度的同时增加目标的特征信息,并且算法复杂度较低,易于硬件实现。在传统的图像融合技术中,融合源图像可能是来自多个传感器的图像,或单个传感器在不同时间的图像序列,其融合是对不同途径获取的多幅图像互补性信息的综合利用。本文借鉴图像融合思想,利用算法间的互补性,分别对同一幅源图像实施两种算法,将两种不同算法处理的结果图像加以合并,形成融合后图像。在传统的滤波去噪预处理算法中,不可避免地在滤除背景噪声的同时将图像目标的边缘信息模糊化。而基于图像融合的图像预处理技术在削弱或去除噪声信息的同时也对源图像实施边缘提取,通过增强图像中目标和背景的边缘成分,针对性地强调图像的整体或局部特征,从而突出图像中的重要信息;合并处理后的红外图像改善了图像的视觉质量,让观察者能够看到更加直接、清晰、适于分析的信息,更适合后续的目标识别处理。其图像预处理算法流程如图1所示。

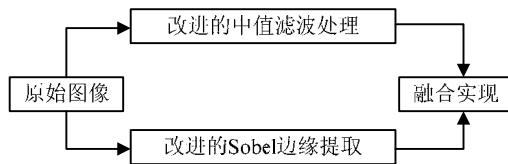


图1 基于融合的图像预处理流程图

Fig.1 Flow chart of image preprocessing based on fusion

1 滤波去噪预处理

1.1 红外成像系统原理及红外图像噪声特性

红外成像系统通过光学系统,收集并探测物体所产生的辐射能,并由红外探测器把红外热辐射变为电信号;再经过电子学处理,通过显像系统将反映目标红外辐射分布的电子信号显示出来,得到反映目标热像的可见图像^[4]。图2为红外成像系统原理方框图。

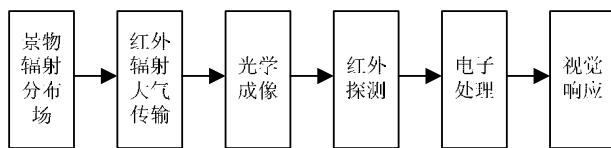


图2 红外成像系统原理方框图

Fig.2 Diagram of infrared imaging system

从红外成像系统原理方框图中可以看出,红外成像原理及特点决定了红外图像伴随着多种多样的噪声干扰。红外成像系统中的空间噪声主要为背景噪

声、探测器和放大器噪声,同时还有A/D转换噪声和均匀性校正残留噪声等。其中背景噪声主要由景物的辐射和大气抖动引起,表现为高斯白噪。探测器噪声主要来自探测器自身和成像系统两个方面,它包含载流子产生-复合起伏噪声、 $1/f$ 噪声和热噪声。其中,产生-复合起伏噪声和热噪声同样可看作白噪声,而 $1/f$ 噪声通常忽略不计。而放大器噪声则是放大器器件中处于不规则热运动状态的自由电子在一定温度下,在电阻内部流动形成的噪声电流,也是高斯白噪声。A/D转换噪声主要由基准电压漂移和量化误差引起,一般可以忽略不计。均匀性校正残留噪声则是由于探测器工作环境的温度变化和热成像系统中晶体管偏置电压的变化引起探测器的增益失调而生成^[5-6]。通过对上述红外成像系统中各噪声特性分析可知,除探测器像元不一致性造成的图像固有噪声及图像均匀性校正造成的不均匀性噪声外,其他噪声都基本符合椒盐噪声或高斯噪声特性^[5-6]。因此本文重点研究红外图像中高斯噪声和椒盐噪声复合噪声的抑制算法。

1.2 改进的中值滤波算法

中值滤波是一种非线性滤波算法,它以某像素为中心的小窗口内所有像素的灰度值,进行从小到大排序并取排序结果的中间值作为该像素的灰度值,即:

$$\hat{f}(x, y) = \underset{(s, t) \in S_{xy}}{\text{median}} \{g(s, t)\} \quad (1)$$

对于以正态分布,且均值为零的噪声输入,其输出的噪声方差 $f_l(x, y)$ 近似为:

$$\sigma_{\text{med}}^2 = \frac{1}{4mf^2(\bar{m})} \approx \frac{\sigma_i^2}{m + \pi/2 - 1} \cdot \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

式中: m 为滤波窗口的点数(长度); $f(\bar{m})$ 是噪声的密度函数; σ_i^2 为输入噪声的方差。从方程式可以看出,噪声的密度分布与中值滤波的输出密切相关,因此中值滤波能够较好地去除单极或双极脉冲干扰,但对随机分布的噪声滤除性能不够理想,不适用于细节丰富,具有较多点、线或尖顶形状的图像^[7]。因此,本文采用改进的中值滤波算法^[8],结合均值滤波和中值滤波共同的特点,更好地适用于高斯噪声和椒盐噪声等多种混合噪声情况。

1.2.1 改进的中值滤波器

假设在 S_{xy} 邻域内,像素大小为 $m \times n$,去掉最高的 p 个灰度值和最低的 q 个灰度值,用 $g_r(s, t)$ 来代表剩余的 $mn - p - q$ 个像素。对这些剩余像素点求取平均值,即形成改进的中值滤波器:

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn - p - q} \sum_{(s, t) \in S_{xy}} g_r(s, t) \quad (3)$$

式中: p 和 q 值可以取 $0 \sim (mn+1)/2$ 之间的任意整数。当改变 p 和 q 的取值时, 改进的均值滤波器可以满足多种噪声背景下的滤波处理。因此我们使用改进的均值滤波器来滤除红外图像中的多种混合噪声。特殊情况下, 将 $p=q=0$, 或 $p=q=(mn-1)/4$, 这时该滤波器则退化为均值滤波器或中值滤波器。

1.2.2 Matlab 仿真

下面对改进的中值滤波算法在 Matlab 仿真平台作比较分析。图 3(a)为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 的原始中波红外图像, 图中景物为房子、人和车。图 3(b)为加入分布概率 $P = 5\%$ 的椒盐噪声和均方差 $\sigma = 10$ 的高斯噪声的受污染图像。图 4(a)~4(b)分别给出经中值滤波和改进的中值滤波处理的结果图像。

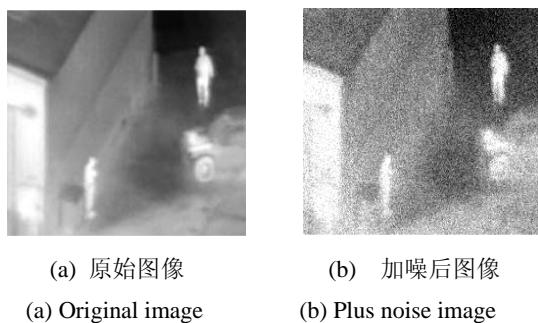


图 3 原始图像与加噪后图像对比

Fig.3 Comparison between original image and noise image

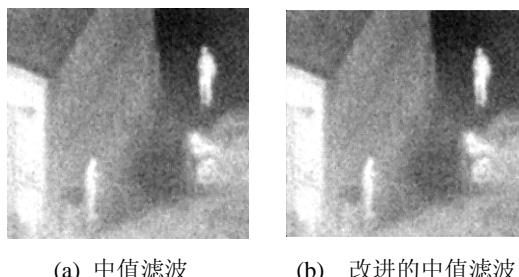


图 4 中值滤波算法改进前后效果对比

Fig.4 Comparison before and after filtering algorithm

由图 3(b)可看出, 传统中值滤波算法在加噪图像的预处理上比较粗糙, 房子一侧和车尾部细节辨识度较差。而相比起来, 在含有高斯噪声的混合噪声背景下, 改进后的中值滤波算法去除高斯噪声上有较好的效果, 处理后图像更清晰。

2 图像边缘的提取

2.1 改进的 Sobel 边缘提取快速算法

图像的边缘是图像最基本的特征之一, 它是图像分割依赖的重要特征, 图像边缘的确定与提取对于整个图像场景的识别与理解是非常重要的。红外图像中, 受场景中不同目标的辐射和构成边缘的相交面的

不同取向影响, 在图像边缘处呈现的像素强度变化都是在阶跃型、斜坡型等上述几种典型曲线上迭加上一些无规则的噪声变化。传统的 Sobel 算子通过对当前行或列对应的值进行加权平均差分, 会丢失部分细节信息, 导致边缘模糊, 尤其是叠加大量噪声后, 效果不太理想。针对这些特点, 并考虑到实际应用中有计算量较小、实时性能好、对噪声不敏感等要求, 本文在传统 Sobel 边缘检测算法基础上提出一些改进处理方法^[9]。

Sobel 算子通常采取的是垂直方向和水平方向的模板, 而图像的边缘除了水平方向和垂直方向以外, 还有其他方向。如果每隔 45° 进行划分, 共可产生 8 个边缘方向, 如果全部检测出这 8 个方向, 理论上会显著增强边缘提取精度, 但会大大增加运算复杂度, 不符合实时处理要求。这里仅增加 45° 和 135° 两个方向梯度的检测, 在提高检测精度同时又能满足实时效果, 其模板如图 5 所示。

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

45°梯度方向 135°梯度方向

图 5 Laplace 算子模板
Fig.5 Laplace operator template

改进的 Sobel 算子采取 4 个方向模板形成卷积核, 图像中的每个像素点都将用这 4 个核做卷积。选取图像中某个点作为中心像素点, 则该像素点的 3×3 邻域按行列方式会产生 9 个像素值, 依次对这 9 个像素值进行编号: P_1, P_2, \dots, P_9 ; 则该中心像素点的像素值的编号为 P_5 。对上面 3×3 的卷积核, 按同样的排序方式对其 9 个元素进行编号: K_1, K_2, \dots, K_9 。设卷积核元素之和为 Sum, 通常称 K_1 为该卷积核的权值。当前像素新值将为:

$$P_5 = \frac{1}{\text{Sum}} \sum_{i=1}^9 P_i K_i \quad (4)$$

这个新值被称为卷积和。当我们增加算子模板个数后, 卷积运算的次数也随之递增, 直接实施 Sobel 边缘算子, 卷积计算量将会相当大。考虑实时性要求, 采用快速 Sobel 边缘检测算法, 简化其卷积和运算, 降低运算量: 同样选取图像中某个点作为中心像素点, 则该像素点的 3×3 邻域会产生 9 个像素值, 按行按列依次编号为 P_1, P_2, \dots, P_9 。则该中心像素点的像素值的同样编号为 P_5 。在这个 3×3 邻域中, 经过中心像素 P_5 的直线有 4 条: $P_1 \rightarrow P_5 \rightarrow P_9; P_2 \rightarrow P_5 \rightarrow P_8;$

$P_3 \rightarrow P_5 \rightarrow P_7$; $P_4 \rightarrow P_5 \rightarrow P_6$ 。每条分割线都将位于 3×3 邻域内的 9 个像素分成两个部分; 针对每条分割线, 对其划分所形成的两个子部分, 分别计算像素平均值并得到平均值之差的绝对值; 最后在 4 个绝对值中选择最大者作为当前像素最后值^[3]。

2.2 Matlab 仿真

我们将几种传统算子和改进的 Sobel 算子对同一幅红外图像图 3(a)进行处理, 比较各算子提取边缘的效果。仿真实验结果如下图所示。

图像 6(a)~6(d)将分别给出经 Roberts 算子边缘、Prewitt 算子边缘、Sobel 算子边缘检测和改进的 Sobel 算子边缘检测 4 种算法得到的边缘提取结果图像。由图 6(a)可以看出, 结果图像只显示了部分边缘, 另一部分边缘丢失。这是由于 Roberts 算子处理的时候是利用图像的两个对角线的相邻像素之差进行梯度幅值的检测, 所以求得的是在差分点处梯度幅值的近似值, 并且检测水平和垂直方向边缘的性能好于斜线方向的边缘, 因此检测精度会比较高, 但容易将某些真实边缘丢失。由图 6(b)和图 6(c)可以看出, 两幅图像在原真实图像的基础上, 产生了一些伪边缘, 所以检测精度较低, 这是由于 Prewitt 算子和 Sobel 算子都是对图像进行差分和滤波运算。改进的 Sobel 算子边缘提取算法通过增加方向模板理论上是可以提高一定的精度。从结果图中看, 图 6(d)相比图 6(c), 在某些冗余边缘上显得略为干净些, 并且运算时间明显缩短, 改进后算法是有一定效果的。

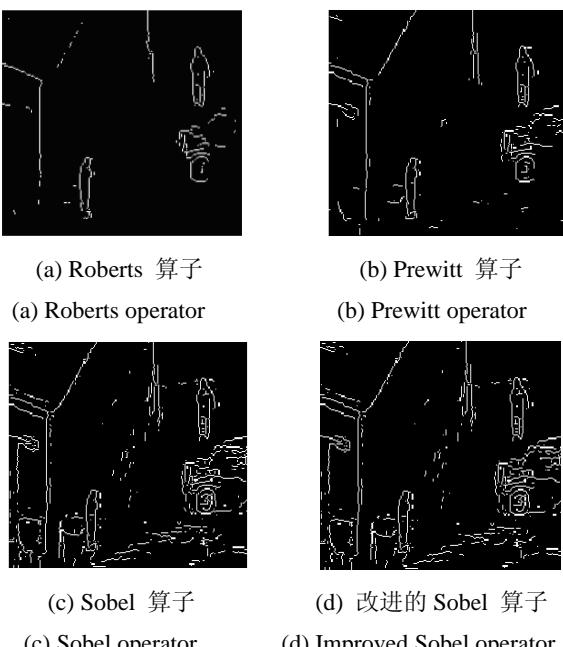


图 6 各算子效果对比

Fig.6 Comparison among each operator effects

3 融合实现

3.1 加权平均融合算法

图像融合是指把同一场景下多幅图像在空间或时间上的互补信息以某种准则合理支配和使用, 获得对场景的一致性解释或描述, 提高图像品质, 便于后续的查看和处理^[10]。本文借鉴了图像融合思想, 利用算法间的互补性, 将两种不同算法处理的图像信息加以融合合并。由于是对同源的红外图像融合, 图像的像素位置完全一致, 所以无需再进行配准处理。当同一场景的原始图像实施不同算法处理后, 得到的两幅图像将在空间位置信息和目标几何形状上匹配一致, 不存在位置平移和旋转、比例缩放及强度属性上的差异性^[11-12]。因此, 本文采取的是较为简单的加权平均融合方法。设 $A(i, j)$ 是经过改进的均值处理后的图像中的一个像素点, 设 $B(i, j)$ 是经过图像边缘提取后图像中与之对应的像素点, 那么融合后的图像中的像素点可以通过下面的方程式得到:

$$C(i, j) = W_a(i, j)A(i, j) + W_b(i, j)B(i, j) \quad (5)$$

$$W_a(i, j) + W_b(i, j) = 1 \quad (6)$$

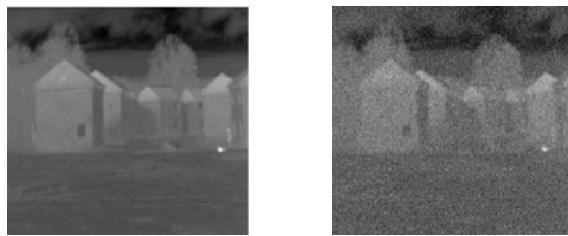
式中: $C(i, j)$ 是融合后的图像中的像素点, $W(i, j)$ 的选择一般是基于局部域对比度的权值选择法来确定。简单来讲, 对于对比度大的像素点, $W(i, j)$ 的权值为 1; 而对于对比度较小的像素点, $W(i, j)$ 的权值则为 0。但是由于红外图像中的噪声具有较高对比度, 该算法会对噪声非常敏感。在实际的应用中, 灵活运用权值选择法, 当 $B(i, j)$ 的值远远大于 $A(i, j)$ 的值时, 选取 $W_a(i, j)$ 较大; 而当 $B(i, j)$ 的值与 $A(i, j)$ 的值相近时, $W_a(i, j)$ 与 $W_b(i, j)$ 则可以取一般大小, 这样做既能够在一定程度上削弱噪声, 又很好地保留了目标和背景的边缘特征信息^[13]。

3.2 Matlab 仿真

图 7(a)同为 $3\sim5\text{ }\mu\text{m}$ 的原始中波红外图像, 图中景物为树木和村庄。图 7(b)为加入分布概率 $P=5\%$ 的椒盐噪声和均方差 $\sigma=10$ 的高斯噪声的受污染图像。图 8(a)~8(c)则是分别给出了对受污染图像经滤波处理、边缘提取和融合增强的结果图像。

从图中可见, 噪声得到一定的抑制, 重要的是, 比起单纯的滤波去噪处理, 融合后的结果图像凸显了目标和背景的边缘部分, 细节特征更加清晰。这是因为对受污染图像作去噪处理时, 由于滤波算法具有平滑处理的作用, 在抑制噪声的同时往往会将细节和边缘模糊化; 而边缘检测算法则相反, 它反映的是变化剧烈的高频成份。所以将两幅算法结果图像进行融合, 实际上是对这两种算法进行互为补充, 从图像效

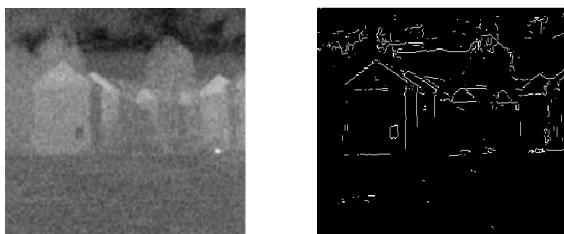
果和计算耗时来看，基本上达到了红外图像预处理的要求。



(a) 原始红外图像 (b) 噪声污染后的图像
 (a) original image (b) image after pollution

图 7 原始图像与加噪后图像对比

Fig.7 Comparison between original image and noise image



(a) 滤波处理后图像 (b) 边缘检测后图像
(a) filtered image (b) image edge detected



(c) 融合增强后的图像 (c) image after fusion

图 8 算法流程后图像

Fig.8 Image after algorithm flow

参考文献:

- [1] 雷美荣. 红外图像采集与处理研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2008.
 - [2] 金伟其, 刘斌, 范永杰. 红外图像细节增强技术研究进展[J]. 红外与激光工程, 2011, **40**(12): 2521-2527.
 - [3] 林晓春, 王艳. 一种基于图像融合的红外图像增强新方法[J]. 红外技术, 2004, **26**(2): 48-53.
 - [4] 代中华. 车载红外视频彩色化算法研究[D]. 上海: 东华大学, 2011.
 - [5] 宋晓鑫, 张春仙, 贺谊亮. 空域红外图像的背景噪声分析及预处理[J]. 激光与红外, 2003, **33**(2): 135-137.
 - [6] 吴军辉, 郁竹香, 张玉竹. 红外成像系统图像空间噪声分析与估计[J]. 红外技术, 2001, **23**(2): 19-25.
 - [7] Wilbun J B. Developments in generalized ranked-order filter[J]. *Optics, Image Science and Vision*, 1998, **15**(5): 1084-1099.
 - [8] 姚敏. 基于融合的红外图像预处理技术[J]. 电光与控制, 2008, **15**(7): 52-54.
 - [9] 陈煜, 田裕鹏. 图像融合中的图像配准方法研究[J]. 激光与红外, 2004, **34**(1): 34-36.
 - [10] Pinz A, Prantl M, Ganster H, et al. Active fusion-a new method applied to remote sensing image interpretation[J]. *Pattern Recognition Letter*, 1996, **17**(13): 1349-1359.
 - [11] Ehlers M. Multisensor image fusion techniques in remote sensing[J]. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1991, **46**(1): 19-30.
 - [12] Waxman A M, Fay D A, Gove A N et al. Color night vision: Fusion of intensified visible and thermal IR imagery. Synthetic vision for Vehicle Guidance and Control[C]//SPIE, 1995, **2463**: 58-68.
 - [13] 邹前进, 冯亮, 汪亚. 红外图像空间噪声分析和预处理方法改进[J]. 应用光学, 2007, **28**(4): 426-430.