

基于融合的红外图像增强方法

刘喆, 马建伟, 刘刚
(河南科技大学, 河南 洛阳 471003)

摘要: 由于成像过程中受外界环境影响以及成像系统自身固有特性, 红外图像不可避免地会产生大量噪声, 使成像系统直接获得的红外图像具有对比度低、信噪比低、边缘模糊等特点。因此, 想要对红外图像目标进行很好的识别, 必须对红外图像进行增强处理。提出了一种新的红外图像增强方法。该方法首先用中值滤波和均值滤波结合的方法对图像进行滤波, 再用改进的OTSU法分割图像, 接下来对分割后的前景和背景图像分别使用平台直方图均衡处理, 并在这种分割基础上确定需要锐化的图像边缘, 最后将处理后的前景和背景相加, 并和需强化的边缘图像加权融合得出增强图像。仿真结果表明, 所提方法对红外图像细节等综合因素的增强效果较好, 并有效可行。

关键词: 红外图像; 图像增强; 边缘检测; 图像融合

中图分类号: V243; TN911 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)02-0023-05

Infrared Image Enhancement Based on Image Fusion

LIU Zhe, MA Jianwei, LIU Gang
(Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: Infrared imaging process is affected by environmental factors and characteristics of system, which inevitably result in an infrared image with low contrast, low signal to noise ratio and fuzzy edge. So image enhancement is necessary. Based on the study on image processing, we proposed a new method of infrared image enhancement. First, a filter method combining median filter with mean filter was used for filtering image. Then, the improved OTSU was used to segment the image, and plateau histogram equalization was used to enhance the image segmentations. The image edges that need sharpening was determined based on the image segmentations, and the enhanced image was obtained by using simple weighted average method. Simulation results show that this method is feasible and has fine enhancement effect.

Key words: infrared image; image enhancement; edge detection; image fusion

0 引言

图像增强是指按特定的需要突出一幅图像中的某些信息, 同时削弱或去除某些不需要信息的处理方法。图像增强可归纳为两个方面: 消除噪声; 边缘增强和结构信息的保护。图像增强的过程往往也是一个矛盾的过程, 图像增强希望既去除噪声又增强边缘。但是, 增强边缘的同时会增强噪声, 而滤去噪声又会使边缘在一定程度上模糊。在图像增强的时候, 通常是将这两方面进行折中。

图像增强方法有很多, 大体上可分为空域增强和

频域增强, 二者相比各有优点和缺陷。实际应用中要求增强算法简洁、有效和易于硬件实现, 空域滤波在这方面有相对的优势, 采用较多^[1]。传统的图像增强方法是单一的灰度变换或直方图变换及它们的一些改进形式。而单一的算法很难全面地显示出图像信息。为了比较全面地显示图像的信息特征, 根据红外图像的自身特点, 本文提出了一种新的组合式红外图像增强方法。

1 红外成像系统噪声分析和滤波方法设计

探测器是红外成像系统噪声的主要来源, 产生机理也很复杂, 是影响红外系统图像质量的主要因素。探测器本身的噪声是无法避免的, 红外成像系统的发展主要是受器件发展的制约。探测器噪声的产生机理很复杂, 按照其产生机理可以分为热噪声、散粒噪声、光子噪声等。这些噪声对图像影响比较大的那部分可

收稿日期: 2011-12-01 修回日期: 2012-03-09

基金项目: 航空基金项目(2008ZC12005)

作者简介: 刘喆(1986—), 男, 河南驻马店人, 硕士生, 研究方向为红外检测。

以等效为高斯白噪声和椒盐噪声。

噪声的去除主要靠滤波来完成,相对频域滤波,空域滤波具有较好的实时性和硬件实现性,所以本文选择空域滤波的方法。比较常用的空域滤波有中值滤波、均值滤波、形态学滤波等^[2-4]以及基于这些滤波方法的一些改进形式。针对高斯噪声,均值滤波的效果比较好,但椒盐噪声的去除效果较差;针对椒盐噪声,中值滤波的效果较好,但高斯噪声的去除效果差些。考虑到对噪声滤除的总效果,以及方法的硬件易实现性,本文设计了一种将中值滤波和均值滤波结合的方法。设一幅原始的红外图像在其 3×3 邻域内的灰度值如图 1 所示。

a_{11}	a_{12}	a_{13}
a_{21}	a_{22}	a_{23}
a_{31}	a_{32}	a_{33}

图 1 3×3 滤波模板

Fig. 1 3×3 filter template

常用的均值滤波法为

$$\begin{cases} a = a_{11} + a_{12} + a_{13} + a_{21} + a_{22} + a_{23} + a_{31} + a_{32} + a_{33} \\ A = a/9 \end{cases} \quad (1)$$

常用的中值滤波方法为

$$A = \text{median}(a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{31}, a_{32}, a_{33}) \quad (2)$$

那么经本文方法滤波后为

$$\begin{cases} a_1 = a_{11} + a_{12} + a_{13} \\ a_2 = a_{21} + a_{22} + a_{23} \\ a_3 = a_{31} + a_{32} + a_{33} \\ a = \text{median}(a_1, a_2, a_3) \\ A = a/3 \end{cases} \quad (3)$$

A 将取代 a_{22} 位置原灰度值。同理,本方法可以推广到 5×5 和 3×5 等邻域。这种滤波方法不仅对随机噪声和椒盐噪声都能较好抑制,而且计算相对简单。

2 图像的分割

采用图像分割处理是为了更有效准确地对图像进行增强。图像分割方法比较多^[5-8],本文采用改进的 OTSU 法^[7]分割图像。原因是:红外图像是灰度图像,其直方图中有明显的峰存在,多数情况下为单峰或双峰,图像素灰度值动态范围不大,绝大多数像素集中于某些相邻的灰度级范围。

OTSU 法^[6]是大津于 1979 年提出的,它的基本思路是在图像灰度直方图的基础上选取合适的阈值,再根据统计意义上的两类间特性差最大或类内特性差最

小的原则,实现图像分割后两类间最好的分离。记某幅图像为 $f(x, y)$,经阈值 T 分割为前景与背景,前景点数占图像的比例为 ω_0 ,平均灰度值为 u_0 ;背景点数占图像的比例为 ω_1 ,平均灰度值为 u_1 ,图像的总平均灰度为 u_T ,类间方差值为

$$\sigma^2 = \omega_0(u_0 - u_T)^2 + \omega_1(u_1 - u_T)^2 \quad (4)$$

当 T 值满足

$$T = \text{argmax} \sigma^2 = \text{argmax} \{ \omega_0(u_0 - u_T)^2 + \omega_1(u_1 - u_T)^2 \} \quad (5)$$

式中: T 是像分割的最佳阈值; σ^2 是灰度分布均匀性的一种度量, σ^2 越大,说明构成图像的两部分的差别也越大。无论部分前景被误认为背景还是部分背景被误认为前景,都会导致两部分的差别变小,因此,方差的最大值也就意味着此时出现错误判断的概率最小。由于大津法的计算量较大,所以本文参考文献[7]方法并略为改进,用

$$\sigma^2 = \omega_0 \omega_1 (u_0 - u_1)^2 \quad (6)$$

代替了原算法式(4)。

3 图像对比度的增强

在红外图像增强中,基于直方图均衡改进的平台直方图均衡^[9-11]是比较有意义的算法,它通过抑制过多像素为图像细节的显示留出了空间。设输入图像为 $f(x, y)$,其统计直方图为 $H(k)$ (k 为图像灰度级, $H(k)$ 为图像中灰度级为 k 的像素个数),图像的两个统计特征概率为密度函数(PDF,记为 $P(k)$)和累积分布函数(CDF,记为 $C(k)$)。

平台直方图是对直方图的一种修正。它通过选择一个合适的平台阈值 P_{\max} ,对统计直方图进行如下修正:如果某灰度级的直方图值大于平台阈值 P_{\max} ,将其直方图值置为 P_{\max} ;如果其直方图值小于平台阈值 P_{\max} ,则保持不变。由此得到新的直方图 $H_p(k)$ 为

$$H_p(k) = \begin{cases} H(k), & H(k) \leq P_{\max} \\ P_{\max}, & H(k) > P_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} P_p(k) = \frac{H_p(k)}{N} \\ C_p(k) = \sum_{a=0}^k P_p(a) \end{cases} \quad (8)$$

式中, N 为图像像素的总数。通过式(7)和式(8)对直方图修正后重新计算出直方图 $H_p(k)$ 的 $P_p(k)$ (直方图修正后的 PDF)以及 $C_p(k)$ (直方图修正后的 CDF)。通过累积直方图对图像灰度进行重新分配,即可得到均衡化的图像。

$$E_p(k) = \left[\frac{(L_{\max} - L_{\min}) C_p(k)}{C_p(L-1)} + L_{\min} \right] \quad (9)$$

式中: L 为图像的灰度级数; L_{\min} 为图像的最小灰度;

L_{\max} 为图像的最大灰度; $[]$ 表示取整运算。 P_{\max} 根据图像的信息自适应确定^[9]。

4 增强边缘的确定

常用的图像边缘确定方法有基于 Sobel、Prewitt 和 Laplace 等算子检测技术。这些方法针对不同的场合应用各有优缺点。Canny 算子是通过寻找图像梯度的局部极大值,将信噪比准则、定位精度准则和单边缘响应准则三者相结合,从而实现最优检测算子的。Canny 算法具体步骤如下:

- 1) 用高斯滤波平滑图像;
- 2) 用一阶偏导有限差分计算图像的梯度幅值、方向;
- 3) 对梯度幅值进行非极大值抑制,保留局部梯度值最大的点;
- 4) 用滞后阈值检测并连接边缘,阈值大小的选择,影响着检测边缘的质量。

相对于其他算子而言,Canny 算子具有检测精度高和信噪比大的优点,并能在一定程度上保证边缘的封闭性。但是 Canny 算子对噪声比较敏感,容易将背景中某些灰度起伏的边缘也作为目标边缘检测出来,而且其运行时间相对较长。

本文对 Canny 算子做了如下改进。

- 1) 用改进的中值和均值滤波结合方法代替高斯滤波平滑图像。
- 2) 用一阶偏导有限差分计算图像的梯度幅值、方向。
- 3) 用改进 OTSU 分割边界作为 Canny 算子的高阈值,即分割边界一定是图像边缘代替原算法中对梯度幅值进行非极大值抑制,保留局部梯度值最大的点。
- 4) 用滞后阈值检测并连接边缘。低阈值采用 Sobel 算子对图像进行检测,并且根据像素在背景和前景的位置使用不同的阈值,阈值大小根据前景和背景图像信息自适应确定。

$$T^s = \frac{k^s E_{ave}}{u_T} \quad (10)$$

式中: u_T 为图像的平均灰度; k^s 为一个经验参数; E_{ave} 为图像的平均方差, $k^s \in (0.1, 0.25)$ 时检测效果较好。

5 图像的重组

将经过分割得到的前景与背景分别进行自适应平台直方图均衡,得到前景增强图像与背景增强图像,二图像相加得到原图像的简单灰度增强图像。将其与原图像经改进 Canny 算法得到的边缘图像进行简单加权融合,得到最终增强图像。融合的方法和权值设定参

考了文献[3]的方法并改进了一些参数设置。设背景增强和前景增强相加得到的图像为 $f_A, f_A(x, y)$ 为其对应的像素点,改进 Canny 算法确定的边缘图像为 $f_B, f_B(x, y)$ 为其对应的像素点,则最终融合图像 f_C 为

$$f_C(x, y) = W_A(x, y)f_A(x, y) + W_B(x, y)f_B(x, y) \quad (11)$$

$$W_A(x, y) + W_B(x, y) = 1 \quad (12)$$

$W_A(x, y)$ 主要根据 $f_A(x, y), f_B(x, y)$ 自适应确定,若 $f_B(x, y) = 0$ 即不是边缘,则 $W_A(x, y) = 1$, 即不增强图像灰度;当 $f_B(x, y) \neq 0$ 时,一般情况下 $W_A(x, y), W_B(x, y)$ 都取 0.5 比较好;但当 $f_A(x, y)$ 过小时,这个取值会对图像边缘增强过多,产生图像生硬的现象,所以当 $f_A(x, y)$ 过小时,令 $W_A(x, y)$ 取值增大,以确保图像的视觉柔和性。 f_C 即为本文方法增强图像。

本文提出的增强方法的具体处理流程如图 2 所示。

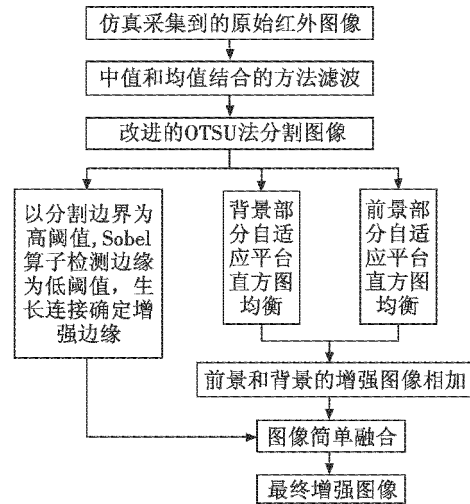


图 2 本文算法流程图

Fig. 2 Flow chart of the algorithm

6 仿真结果分析

对于增强处理结果的评价,本文采用肉眼直接观察和文献[12]提出的模糊性评价指数来衡量。

$$F_B = \frac{1}{M'N'} \sum_x \sum_y \min[P'(x, y), 1 - P'(x, y)] \quad (13)$$

$$P'(x, y) = \sin[0.5\pi(1 - f(x, y)/f_{\max})] \quad (14)$$

式中: $f(x, y)$ 为图像在 (x, y) 处对应的灰度; f_{\max} 为图像的最大灰度值。根据该模糊性指数的定义可知,图像清晰度随模糊性指数的减小而增大。

本文主要研究的是基于单帧的图像处理方法,同时由于一些条件的限制,只对两幅定画面图 3 和图 4 用 Matlab (R2009a) 对本文方法做了仿真,所用电脑配置是 Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU 2.53 GHz 主频, 2 GB 内存, Windows 7 操作系统。图 3a 和图 4a 为仿真采集的原始红外图像,图像的信息相对较复杂,图

3a 有桥、人等组成,图 4a 有船、岛等组成,图像的具体清晰度参考表 1。

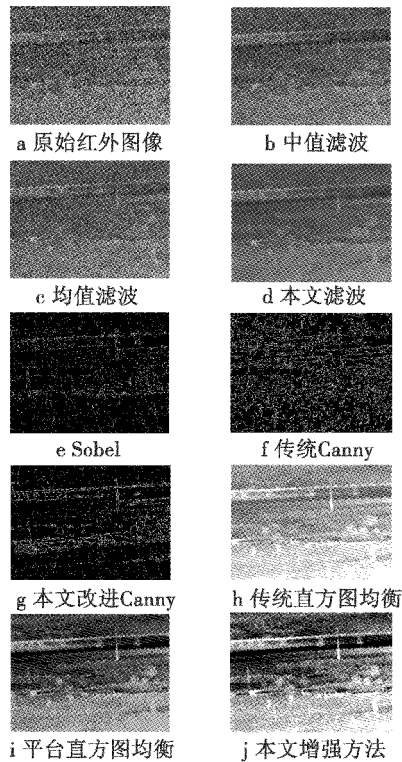


图 3 仿真结果图组 A

Fig. 3 Simulation result of image group A

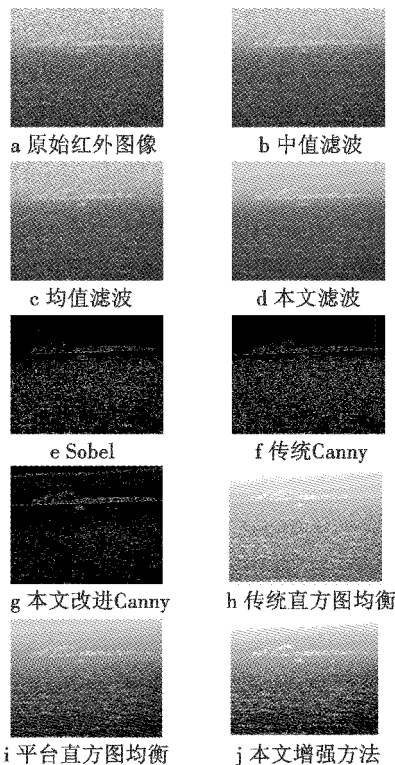


图 4 仿真结果图组 B

Fig. 4 Simulation result of image group B

在仿真结果上,用本文滤波方法分别与中值滤波

和均值滤波做了对比,从结果图上可明显看出,本文滤波方法噪声(图 3d 和图 4d)去除较好,优于中值(图 3b 和图 4b)和均值(图 3c 和图 4c)滤波法。

用本文边缘确定算法与文献[3]中 Sobel 算法和传统的 Canny 算法进行比较,这里参数 $k^s = 0.25$ 。通过表 1 可以看出,Sobel 算法计算速度最快,传统 Canny 算法次之,本文算法比传统 Canny 算法稍微慢些。但通过对图 3 和图 4 的观察可以看出,Sobel 算法(图 3e 和图 4e)得到的边缘不连续,不够准确,传统 Canny 算法(图 3f 和图 4f)得到的虚假边缘过多,易受噪声干扰,本文边缘确定算法(图 3g 和图 4g)得出的边缘连续、准确,比较理想。

表 1 各种边缘检测算法时间对比

Table 1 Comparison of detection time of different algorithms

输入原始 红外图像	各算法检测所用时间/s		
	Sobel	传统 Canny	本文改进 Canny
图 3a	0.14381	0.37108	0.40087
图 4a	0.18014	0.46377	0.51634

在最终图像增强的结果上,用传统直方图方法(图 3h 和图 4h)和自适应平台直方图均衡法^[9](图 3i 和图 4i)与本文增强方法(图 3j 和图 4j)进行对比,可以看出,本文方法处理的图像既能适当增强图像对比度,又能在细节和边缘突出方面优于传统方法和自适应平台直方图均衡法。并且从表 2 可以看出,本文方法处理后的图像的模糊性指数较低,所以本方法在红外图像细节等综合因素的增强上优于传统方法和自适应平台直方图均衡法,相对这两种方法,本文提出的方法具有一定的优势。

表 2 红外图像增强前后模糊性指数 F_B 对比表

Table 2 Fuzzy index contrast

红外图像	仿真原始 红外图像	传统直方图 均衡方法	自适应平台直方 图均衡方法	本文方法
图 3 图组	0.3989	0.2049	0.1916	0.1812
图 4 图组	0.2984	0.2007	0.1858	0.1733

为了比较全面地增强红外图像,本文采用了大量的自适应算法,计算量较大。为了提高其应用性,可以根据实际应用情况对本算法或在硬件设计上做适当改进。如:若应用条件允许图像分割,可以尝试用文献[13]提到的子区生长的方法来分割,可以适当减少计算量;或者直接对原图像进行特征信息提取,仅对需要的特征信息进行处理。在硬件设计时,可以采用 DPS + FPGA 并行图像处理的方法对图像数据进行快速处理^[14-15]。这些将是下一步研究的重点。

7 结论

本文在分析红外成像特性的基础上,通过对一些

常用的红外图像滤波、分割和增强方法进行研究,提出了一种新的基于融合的红外图像增强方法。仿真结果表明,本算法有效可行,并且其所主要采用的空域处理方法易于硬件实现。红外增强是红外识别和决策的基础,因此本文方法具有一定的实际价值。

参考文献

- [1] 管志强. 红外搜索系统中目标探测与识别技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2009.
- [2] 白俊奇,陈钱,王娴雅. 红外图像噪声滤波对比度增强算法[J]. 红外与激光工程,2010,39(4):778-780.
- [3] 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.
- [4] 许新征,丁世飞,史忠植,等. 图像分割的新理论和新方法[J]. 电子学报,2010,38(2):76-82.
- [5] 刘刚,梁晓庚,张京国. 基于轮廓波变换和改进模糊c均值聚类的红外图像分割[J]. 系统工程与电子技术,2011,33(2):443-448.
- [6] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Trans,1979,62-66.
- [7] 蔡梅艳,吴庆宪,姜长生. 改进 Otsu 法的目标图像分割[J]. 电光与控制,2007,14(6):118-119,151.
- [8] 吴一全,吴加明,占必超. 一种可有效分割小目标图像的阈值选取方法[J]. 兵工学报,2011,32(4):469-475.
- [9] 史德琴,李俊山,杨威. 一种新的红外图像自适应增强算法[J]. 电光与控制,2008,15(9):18-20.
- [10] 王巍,赵俊鹏,杜治芸. 双阈值映射自适应红外图像处理算法[J]. 红外与激光工程,2010,39(6):1184-1187.
- [11] VICKERS V E. Plateau equalization algorithm for real-time display of high-quality infrared imagery[J]. Optical Engineering,1996,35(7):1921-1926.
- [12] 舒金龙,于振红,朱振福. 一种改进的红外图像模糊增强方法[J]. 系统工程与电子技术,2005,27(6):957-959.
- [13] 张铭钧,历妍,杨杰. 基于子区生长的移动机器人视觉分割[J]. 北京理工大学学报,2009,29(6):608-612.
- [14] 白瑞林,相恒伟,尚佳良. 嵌入式 CCD 图像数据采集系统设计[J]. 控制工程,2020,17(6):811-814,635.
- [15] 刘鑫,王涌天,刘越. 基于 DSP 的红外标志点跟踪方法研究[J]. 仪器仪表学报,2010,31(12):2654-2660.

(上接第7页)

误差配准算法相比,本文算法可以在部分单目标估计效果较差的情况下提高误差估计精度,并且收敛速度很快,具有稳健的估计效果,适合工程应用。

参考文献

- [1] NABAA N, BISHOP R H. Solution to a multisensor tracking problem with sensor registration errors [J]. IEEE T-AES,1999,35(1):354-363.
- [2] LEUNG H, BLANCHETTE M, HARRISON C. A least squares fusion of multiple radar data[C]//Proceedings of Radar 1994, Paris, 1994:364-369.
- [3] 董云龙,何友,王国宏,等. 基于 ECEF 的广义最小二乘误差配准技术[J]. 航空学报,2006,27(3):463-467.
- [4] ZHOU Yifeng, LEUNG H, YIP P C. An exact maximum likelihood registration algorithm for data fusion[J]. IEEE T-SP,1997,45(6):1560-1573.
- [5] 王波,王灿林,董云龙. RTQC 误差配准算法性能分析[J]. 系统仿真学报,2006,18(11):3067-3069.
- [6] 廖海军,王卫星. 一种多传感器配准与目标跟踪算法研究[J]. 电光与控制,2008,15(7):12-16.
- [7] 董云龙,何友,王国宏. 一种新的雷达组网实时误差配准算法[J]. 南京航空航天大学学报,2005,37(5):330-334.
- [8] 陈垒,王国宏,王学敏. 基于 ECEF 坐标系的三种误差配准算法比较[C]//第二届信息融合学术年会,2010:180-186.
- [9] 何友,修建娟,张晶炜,等. 雷达数据处理及应用[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2009:282.
- [10] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004:116-117.