

文章编号: 1001-3806(2016)02-0270-04

## 基于高斯型点扩展函数的红外图像热源复原

陈树越, 朱双双, 蒋星, 徐扬

(常州大学 信息科学与工程学院, 常州 213164)

**摘要:** 为了复原红外图像的热源, 采用高斯点扩展函数的方法来增强热源的清晰度和对比度。首先, 确定热源图像的高斯点扩展函数, 建立其退化模型; 然后, 采用维纳滤波的方法复原红外图像中的热源, 对复原图像通过  $YIQ$  变换来复原其温度场彩色信息; 最后, 通过边缘锐度和标准差评价分析热源复原的质量, 并与盲复原算法对比。结果表明, 边缘锐度边缘锐度和标准差分别提高了 0.502% 和 0.124%。基于高斯型点扩展函数的方法对红外图像的热源复原具有明显的效果。

**关键词:** 图像处理; 热源复原; 高斯点扩展函数; 维纳滤波; 质量评价

**中图分类号:** TN911.73

**文献标志码:** A

**doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2016.02.025

### Heat source restoration of infrared images based on Gaussian point spread function

CHEN Shuyue, ZHU Shuangshuang, JIANG Xing, XU Yang

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** In order to restore the heat source in infrared images, Gaussian point spread function (PSF) was presented to improve the definition and contrast of infrared heat source. Firstly, the PSF of the heat source images was determined and the degradation model was established. Wiener filtering was used to restore the infrared radiation source and the color information of temperature field was restored by  $YIQ$  transform. Finally, the restoration image was evaluated quantitatively by edge acutance value (EAV) and standard deviation, and the restoration method was compared with blind restoration algorithm. The results show that EAV and standard deviation increase 0.502% and 0.124% respectively. The restoration method of heat source of infrared images based on Gaussian point spread function is effective obviously.

**Key words:** image processing; heat source restoration; Gaussian point spread function; Wiener filter; quality evaluation

### 引言

红外热成像广泛应用于工业领域的故障检测、温度场分布以及热效率分析<sup>[1-6]</sup>, 构件中的发热源成为关注的目标。由于热图像在成像中的退化, 使得热源模糊而不易分辨。随着红外照相机技术的改进, 目前可精确测量物体的温度场。物体温度场的产生可以分为 3 种形式<sup>[7]</sup>: (1) 热源通过物体的材质产生; (2) 物体内部的热传导; (3) 物体与外界的热交换。在实践中, 有 2 种热源检测的方法: 第 1 种方法是所谓的“逆问题”, 它包括缩小实际温度场和理论温度场的误差, 然而这种误差很难解决, 因为实验的温度场总是存在噪声, 而且红外照相机只提供物体表面的数据, 不能反映

热源的相关信息。第 2 种方法是直接使用热扩散方程计算温度场的热源。

为了复原红外热源, 前人也研究了许多的方法。通过测量样品内部点的温度, 运用热传导方程研究时变热源的逆问题来重建<sup>[8]</sup>。使用多光谱系统复原, 根据退化的程度, 在红外光谱中分离退化的热源图, 然后在可见光谱中消除这种退化来增强和复原热源图<sup>[9]</sup>。由红外技术获得图像热源的原始数据, 通过选择最佳滤波方法并且解决逆热传导问题来复原热源<sup>[10]</sup>。

通过红外热成像技术获得的红外热源图像是一个退化图像, 这种退化图像丢失了红外图像热源的信息, 红外图像的热源复原重建了退化图像的原始红外信息, 提高了热源图像的清晰度和对比度, 它可以被广泛地运用于各个领域, 其研究具有重要的实践意义与理论价值。

本文中采用的红外图像热源复原的方法是一个逆问题的求解过程, 通过分析红外图像热源的特点, 利用红外图像热源的高斯型点扩展函数 (point spread function, PSF) 并对其进行建模, 进而利用典型的维纳滤波

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51176016)

作者简介: 陈树越(1963-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为检测技术、数字图像处理。

E-mail: csyue2000@163.com

收稿日期: 2015-01-23; 收到修改稿日期: 2015-03-23

的方法达到复原红外图像热源的目的。

## 1 红外图像复原原理

### 1.1 红外图像的高斯点扩展函数

高斯型点扩展函数在光学和成像系统中很常见,一种典型的高斯点扩展函数<sup>[11]</sup>为:

$$f_{\text{PSF}}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

式中, $\sigma$ 称为高斯函数的方差, $x$ 和 $y$ 是红外图像的坐标点。

根据(1)式典型的高斯点扩展函数的退化模型,红外图像热源的高斯点扩展函数<sup>[12]</sup>可表示为:

$$f_{\text{PSF}}(x,y) = A \exp\left[-0.5\left(\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{\sigma}\right)^r\right] \quad (2)$$

式中, $A$ 是常数; $1 \leq r \leq 2$ ,本文中取 $r=2$ ,是高斯型退化; $\sigma$ 的选取通过实验获得。

作者利用 Flir E40 型热像仪对电源插头进行实验。热像仪垂直于电插头的边缘来获取其线扩展函数(line spread function, LSF)。由于边缘的线扩展函数近似于阶跃函数,它的1阶导数可看作点扩展函数。因此,对线扩展函数求导计算,线扩展函数及其导数的曲线如图1所示。对曲线进行拟合,可得到 $\sigma = 5.655$ 。

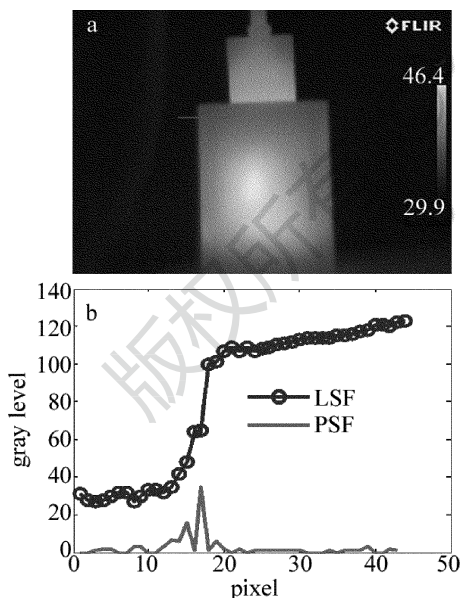


Fig. 1 PSF and infrared image of electric plug

a—infrared gray image of plug and the marked line b—LSF and derivative of the marked line

### 1.2 维纳滤波复原

维纳滤波是去除退化图像的模糊和噪声的理想滤波器<sup>[13-14]</sup>。原图像在频域的最佳估计值可表示为:

$$F(u,v) =$$

$$\left\{ \frac{1}{H(u,v) |H(u,v)|^2 + \gamma[S_n(u,v)/S_o(u,v)]} \right\} \times G(u,v) \quad (3)$$

式中, $H(u,v)$ 为退化函数, $G(u,v)$ 为原图像的傅里叶变换, $u$ 和 $v$ 为图像频域的横纵坐标。若 $\gamma=1$ 时,则为标准维纳滤波器, $S_n(u,v)$ 和 $S_o(u,v)$ 分别表示噪声的功率谱和原图像的功率谱。

在实际应用中, $S_n(u,v)$ 和 $S_o(u,v)$ 经常是未知的,因此可用常数 $k$ 来表示噪信功率比,得到原图像最佳估计的近似值:

$$\hat{F}(u,v) \approx \left\{ \frac{1}{H(u,v) |H(u,v)|^2 + k} \right\} G(u,v) \quad (4)$$

### 1.3 温度场的YIQ变换还原

在温度场的YIQ变换还原中, $Y$ 代表的是亮度, $I$ 代表的是色调, $Q$ 代表的是饱和度,亮度是灰度信息,色调和饱和度是彩色信息<sup>[15]</sup>。从RGB( $R$ 为红色分量, $G$ 为绿色分量, $B$ 为蓝色分量)到YIQ的转换关系是:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

## 2 图像清晰度评价

作者对复原的红外热源的清晰度评价并判断图像复原效果。由于红外热源图像具有边界模糊的特点。因此,可采用边缘锐度(edge acutance value, EAV)的算法来评价红外热源复原的清晰度<sup>[16]</sup>。复原的红外热源图像越清晰,其边缘也越清晰,边缘的灰度变化也越剧烈。清晰度评价的计算式如下:

$$f_{\text{EAV}} = \frac{\sum_a^b \left(\frac{dI}{dx}\right)^2}{|I(b) - I(a)|} \quad (6)$$

式中, $f_{\text{EAV}}$ 表示清晰度计算结果,其值越大表示图像越清晰, $\frac{dI}{dx}$ 是边缘方向的灰度变化率, $|I(b) - I(a)|$ 是方向总体灰度变化的绝对值。

另外,也可根据红外热源复原图像的标准差来判断复原的质量<sup>[17]</sup>,其标准差越大,图像的对比度越大,即复原图像越清晰。该标准差的计算如下:

$$f_{\text{std}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F(i,j) - \bar{F}]^2}{M \times N}} \quad (7)$$

式中, $F(i,j)$ 表示点 $(i,j)$ 的灰度值, $\bar{F}$ 表示其平均灰度值。

## 3 实验结果与分析

将电插头和电加热片作为实验对象,用红外热像

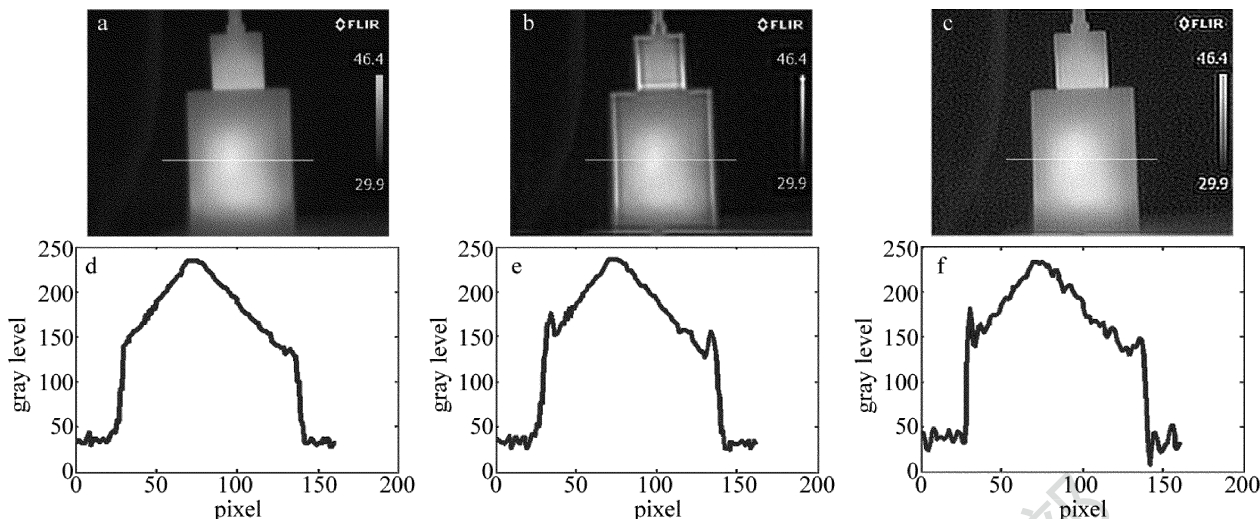


Fig. 2 Comparison of electric plug restoration methods

a—original image b—blind restoration c—Gaussian restoration d—gray-level of the marked line of original image e—gray-level of the marked line of blind restoration f—gray-level of the marked line of Gaussian restoration

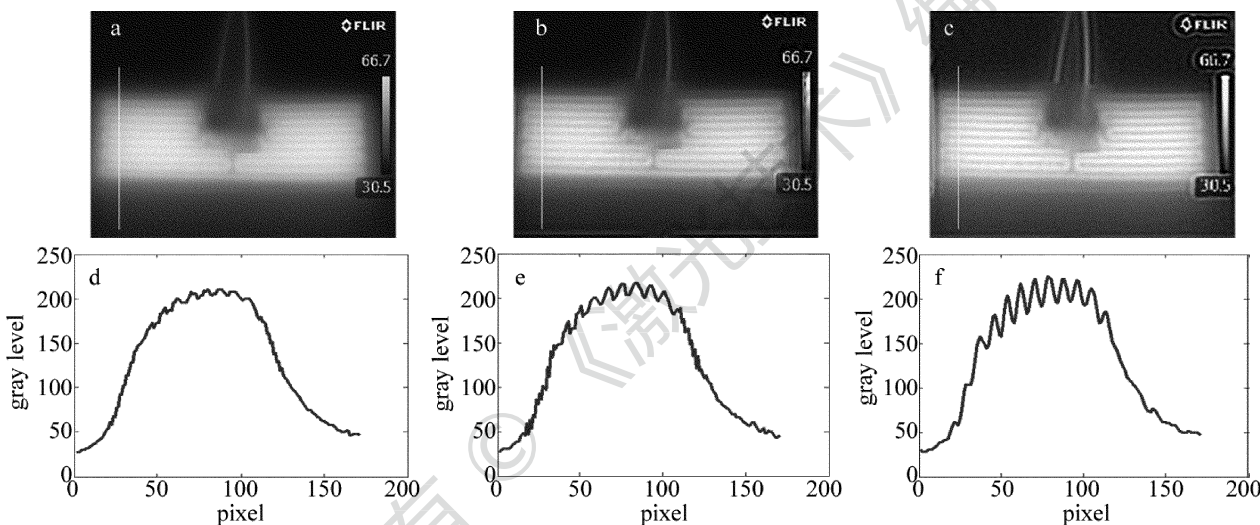


Fig. 3 Comparison of electric heating sheet restoration methods

a—original image b—blind restoration c—Gaussian restoration d—gray-level of the marked line of original image e—gray-level of the marked line of blind restoration f—gray-level of the marked line of Gaussian restoration

仪对其红外热成像,然后进行复原处理。首先根据高斯点扩展函数建立红外热源图像的高斯点扩展函数的模型,再利用维纳滤波复原的方法复原。由于复原过后的图像是灰度图像,所以需对复原图像进行温度场还原。作者采用YIQ的方法进行温度场还原处理。

由于用肉眼不能准确地识别红外图像热源复原的清晰度,因此可以选取热源图像的一行,观察热源复原前后的灰度曲线。盲复原是一种常用复原方法,它在不确定点扩展函数的情况下直接对热源图像进行复原,因而容易丢失热源图像的信息。实验中,将高斯点扩展函数复原与盲复原的实验结果做了对比。图2和图3分别为电插头和电加热片的热图像、盲复原与高斯复原的对比实验,其中所有曲线均表示为标示线上的灰度曲线。由电插头的灰度曲线(见图2d、图2e、图

2f)可知,高斯复原后灰度曲线更加陡峭,表明其图像更为清晰;另外,图3d、图3e、图3f表明,高斯复原后

Table 1 Comparison of heat source restoration evaluation

experimental subject	heat source image	EAV (increased proportion)	standard deviation (increased proportion)
electric plug	original image	1.5624(0)	0.1146(0)
	blind restoration	2.7636(0.768%)	0.1174(0.024%)
	Gaussian restoration	7.9754(4.104%)	0.1475(0.287%)
electric heating sheet	original image	1.49(0)	0.1268(0)
	blind restoration	2.3479(0.585%)	0.1286(0.014%)
	Gaussian restoration	3.1097(1.087%)	0.1443(0.138%)

电加热片灰度曲线的细节波动幅度更大,使得复原后的加热丝更加清晰可见。结果表明,高斯点扩展函数复原方法增强了热源图像的清晰度,并优于盲复原方法。在定量评价分析上,采用了 EAV 参量和标准差来评价热源复原的清晰度,如表 1 所示。由表 1 可知,高斯点扩展函数的热源复原比盲复原效果好。

#### 4 结 论

本文中提出了利用高斯型点扩展函数的方法复原红外图像的热源,并与盲复原的热源复原方法进行了比较。可知,采用高斯型点扩展函数的方法能够较好地复原红外图像的热源的清晰度和对比度。通过实验对比,从主观上看,高斯点扩展函数的复原和盲复原都能复原红外图像的热源,使得热源边界清晰,对比度增强,达到热源复原的目的;从客观上看,电加热片利用高斯点扩展函数复原电加热片后的 EAV 和标准差分别提高了 1.087% 和 0.138%,利用盲复原电加热片后的 EAV 和标准差分别提高了 0.585% 和 0.014%,因此,高斯点扩展函数复原比盲复原的 EAV 和标准差分别提高了 0.502% 和 0.124%。显然,高斯点扩展函数对热源的复原比盲复原的效果要好,边界更清晰、对比度更强,能够较好地保留热源的信息。这对红外热成像领域的热源的分析研究有着一定的实践意义与理论价值。

#### 参 考 文 献

- [1] AVDELIDIS N P. A look on thermography: from passive to active NDT & E surveys [J]. Proceedings of the SPIE, 2007, 6541: 654115.
- [2] ROGALSKI A. Recent progress in infrared detector technologies[J]. Infrared Physics & Technology, 2011, 54(3): 136-154.
- [3] LI Y H. Temperature measurement technology and its application research based on infrared thermal imaging[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010: 1-13 (in Chinese).
- [4] YU Z Q. Infrared thermal imaging technology in the application of the turbine fault diagnosis [D]. Daliann; Daliann Maritime University, 2013:14-18 (in Chinese).
- [5] LI M X, LU G J, HU Zh R, *et al.* Research on fire endurance of tempered glass based on infrared imaging technology[J]. Procedia Engineering, 2014, 84: 553-557.
- [6] WANG R, HE X J, ZHOU H Ch, *et al.* Design of infrared signal detection circuit in a temperature calibration system[J]. Laser Technology, 2013, 37(2): 247-250 (in Chinese).
- [7] DELPUEYO D, BALANDRAUD X, GRÉDIAC M. Heat source reconstruction from noisy temperature fields using an optimised derivative Gaussian filter[J]. Infrared Physics & Technology, 2013, 60: 312-322.
- [8] YANG L, DEHGHAN M, YU J N, *et al.* Inverse problem of time-dependent heat sources numerical reconstruction[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2011, 81(8): 1656-1672.
- [9] HEDJAM R, CHERIET M. Historical document image restoration using multispectral imaging system[J]. Pattern Recognition, 2013, 46(8): 2297-2312.
- [10] JOACHIMIAK M, CIA ZKOWSKI M. Optimal choice of integral parameter in a process of solving the inverse problem for heat equation [J]. Archives of Thermodynamics, 2014, 35(3):256-280.
- [11] STALLINGA S, RIEGER B. Accuracy of the Gaussian point spread function model in 2-D localization microscopy[J]. Optics Express, 2010, 18(24): 24461-24476.
- [12] CHEN Sh Y, LU H N. The scattering and its correction of the industrial X-ray imaging [J]. Introducing Journal of China Ordnance, 2004, 25(2):163-166(in Chinese).
- [13] REINDL K, ZHENG Y, KELLERMANN W. Analysis of two generic Wiener filtering concepts for binaural speech enhancement in hearing aids[C]//18th European Signal Processing Conference (EUSIPCO-2010). Aalborg, Denmark: The European Association for Signal Processing (EURASIP), 2010: 989-993.
- [14] BOZZOLI F, PAGLIARINI G, RAINIERI S. Experimental validation of the filtering technique approach applied to the restoration of the heat source field[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2013, 44: 858-867.
- [15] LUE W, TSAI C. Method for estimating white point shift for auto white balance: US,7177467[P]. 2007-02-13.
- [16] WANG H, ZHONG W, WANG J, *et al.* Research of measurement for digital image definition [J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(7): 828-831.
- [17] MANDHARE R A, UPADHYAY P, GUPTA S. Pixel-level image fusion using brovey transform and wavelet transform[J]. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 2013, 2(6): 2692-2693.