

离焦模糊图像增强技术的研究

何志彪 张新芳 朱光喜

(华中科技大学电信系, 湖北, 武汉 430074)

摘要 针对红外离焦图像处理后的图像模糊效应问题, 提出一种基于 LIP 模型的 Lee 图像增强算法的去模糊图像的算法, 它能够有效地处理图像增强后的模糊效应, 实现图像的清晰成像, 该算法便于实现, 可广泛地应用于图像显示技术, 文中介绍了该算法的原理并对电力设备红外离焦图像处理结果进行了分析。

关键词 红外离焦图像, 图像增强, 图像恢复。

IMAGE ENHANCEMENT TECHNOLOGY FOR OUT-OF-FOCUS BLURRED IMAGE

HE Zhi-Biao ZHANG Xin-Fang ZHU Guang-Xi

(Department of Electron and Information of Huazhong University
of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract An algorithm to solve the blur problem of processed infrared defocused image based on the LIP model of Lee algorithm of image enhancement was presented. It can solve the blur problem after image enhancement to get clear image, and is easily realized and applied widely to image display technology. The principle of the algorithm was introduced and the results of the algorithm to deal with the infrared defocused image of electrical device were analyzed.

Key words infrared defocused image, image enhancement, image restoration.

引言

图像增强是提高图像显示质量的一种技术, 它包括直方图增强和灰度函数变换增强, 实现后者的算法有多种^[1,2]。为进行图像增强处理, Lee^[3]提出通过灰度值的拉伸改变图像的动态范围的图像增强的简单算法; Jourlin 和 Pinoli^[4]研究出非线性运算的对数图像处理 (LIP) 的数学结构算法; Deng、Cahill^[5]等提出基于 LIP 模型的 Lee 图像增强的新方法和多尺度算法, 它们可以增强图像的对比度和边缘, 但它们同时会增强图像的噪声, 影响了成像的质量, 它们在去噪和保护图像的细节方面都不能两全齐美。

上述几种方法能基本上解决了图像增强的显示问题, 但是这些算法有的是在增强细节时增强了图像的噪声, 有的是在抑制噪声的同时削弱了图像的细节, 因此它们远未达到理想的程度。为了解决抑噪图像增强后图像的细节削弱的问题, 本文提出对增

强后的图像以离焦模糊图像确定其退化模型参数的图像恢复的算法, 以解决图像增强中细节的模糊显示问题。

1 基于 LIP 模型的图像增强算法

Lee^[3]提出的实现图像增强的简单算法可以表示为

$$x'(i, j) = \alpha A(i, j) + \beta [x(i, j) - A(i, j)] + \gamma, \quad (1)$$

式 (1) 中 $x(i, j)$ 为原始图像的像素亮度值, $x'(i, j)$ 为处理后图像的像素亮度值, $A(i, j)$ 是以 (i, j) 为中心的 $n \times n$ 窗的算术平均值, α, β 和 γ 为实数。

Deng^[5]等根据对数图像处理模型提出实现图像增强的新方法: 通过灰调函数的归一补变换来简化算法, 灰调函数的归一补变换定义为

$$f' = 1 - f/M, \quad (2)$$

式 (2) 中 f 定义在 $[0, M]$, 对 8-bit 图像, $M=256$ 。

经简化后的算法可以表示为

$$\log(f'(i, j)) = \alpha \log(a'(i, j)) + \beta [\log(f(i, j)) - \log(a'(i, j))], \quad (3)$$

式(3)中 $f(i, j)$ 为原始的灰调函数, $f'(i, j)$ 为处理后的灰调函数, $a'(i, j)$ 为

$$\log(a'(i, j)) = \frac{1}{n \cdot n} \sum_{s=i-n/2}^{i+n/2} \sum_{t=j-n/2}^{j+n/2} \log(f'(s, t)), \quad (4)$$

式(3)中第1项 $\alpha \log(a'(i, j))$ 可以完成对图像的非常暗或亮的区域细节进行增强, $0 < \alpha < 1$ 时该变换可以扩展图像暗区域的动态范围, 当 $\alpha > 1$ 时可以对亮区的动态范围进行扩展; 第2项 $\beta [\log(f(i, j)) - \log(a'(i, j))]$ 能够实现图像锐化处理, 当 $\beta > 1$ 时图像的中心像素和周围像素均值的差值会被非线性放大, 如果 β 越大, 那么图像的边缘增强越明显, 因此式(3)能够完成图像的增强处理, 它既能改善图像的对比度显示, 又能实现图像的特征提取, 但该算法存在明显的不足, 它在增强图像的同时也对噪声进行了增强。

为解决上述算法对噪声敏感的问题, Deng 和 Cahil^[5] 采用了多尺度算法, 将图像在各个尺度分别处理, 然后结合处理后结果为输出图像, 为此在 $n \cdot n$ 窗口, 定义窗口内像素的 LIP 下的平均运算为 $L(\cdot)$. 如果 $p_0(i, j) = f(i, j)$ 为原始图像, $p_1(i, j)$ 为平均图像, 则 $p_1(i, j) = L(p_0(i, j))$. 同理类推得到 $p_n(i, j) = L(p_{n-1}(i, j))$. 这样经改进后的算法为

$$\log(\bar{f}'(i, j)) = \gamma \log(\overline{p_n(i, j)}) + \sum_{k=1}^n [\eta_k ((\log \overline{p_{k-1}(i, j)}) - \log \overline{p_{k-1}(i, j)})], \quad (5)$$

新算法比老算法具有更多的自由度, 参数 η_k 能够用来抑制细节、噪声或增大目标边缘. 但它在抑制噪声的时候, 图像的细节得到了削弱; 另外当目标尺寸放大时, 噪声变得明显. 为解决图像增强过程中因抑制噪声而使细节模糊的问题, 特采用如下的去模糊算法对图像进行恢复。

2 图像去模糊算法

2.1 去模糊原理

在几何光学条件下, 原图像函数 $f'(x, y)$ 和其离焦模糊图像函数 $g(x, y)$ 有如下关系式:

$$g(x, y) = h_r(x, y) * f'(x, y) + n(x, y), \quad (6)$$

式(6)中 $n(x, y)$ 为随机噪声函数, $h_r(x, y)$ 为离焦成像系统的点扩展函数(即退化模型^[6]), 可表示为

$$h_r(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2}, & \text{当 } x^2 + y^2 \leq r^2 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中 r 为模糊宽度, 即是要辨识的参数. 只要找到合适的函数点扩展函数 $h_r(x, y)$ 就可以实现去模糊, 设 $f_0(x, y)$ 为去掉模糊后恢复的图像, 由最小二乘法原理定义:

$$\varepsilon_1(f_0, g, r) = \int_{-\infty}^{+\infty} (g(x, y) - (h_r(x, y) * f_0(x, y)))^2 dx dy, \quad (8)$$

$$\varepsilon_2(g, r) = \min_{f_0} \{\varepsilon_1(f_0, g, r)\}, \quad (9)$$

对不同的 g 可得不同的 $\varepsilon_2(g, r)$, 利用求 $\varepsilon_2(g, r)$ 的极小值的方法可以求出模糊宽度 r , 而极小值可由 Fibonacci^[7] 算法搜寻。

2.2 算法描述

根据上述去模糊原理, 清晰图像的获得依赖于点扩展函数 $h_r(x, y)$, 而 $h_r(x, y)$ 由模糊宽度 r 唯一确定. 模糊宽度 r 为基于梯度图像的细长区域的平均宽度算出. 当模糊图像经 Sobel 算子处理后, 可以进行模糊宽度 r 的求取。

2.2.1 模糊宽度 r 的初值估计 r_0

(1) 以一定的阈值 g_T 将梯度图像二值化。

(2) 应用边界线的跟踪技术求出二值图像的边界点集 (EF), 并从 EF 中删除属于周长很短的边界曲线的边界点。

(3) 采用非极大值抑制技术求出梯度图像局部梯度幅值极大值点, 这些点构成的集合记为点集 PF 。

(4) 对 PF 中的任一点 A , 以该点梯度的正、负方向搜索 EF 中的点. 如果在正、负方向搜索到的 EF 中的第一点分别为 B_1, B_2 , 满足: $|A - B_1| < d_t$, $|A - B_2| < d_t$, 则 B_1, B_2 之间的距离为 A 点对应的模糊边缘宽度, 否则将 A 点从 PF 中清除. 最后求出 PF 中所有点的模糊边缘宽度的平均值 r_a 。

2.2.2 据 Fibonacci^[7] 算法计算模糊宽度 r_0

设 Δr 为给定的误差范围, l_0 为给定步长, 令:

$$a = r_a - \Delta r, \quad (10)$$

$$b = r_a + \Delta r. \quad (11)$$

式中 a 为模糊边缘宽度的平均值 r_a 的下界值, b 为模糊边缘宽度的平均值 r_a 的上界值。

系数因子 v_{n+1} 由下式确定:

$$\frac{b-a}{v_{n+1}} < \Delta r, \quad (12)$$

则 r_0 由 Fibonacci^[7] 最优搜索法确定(以 C 语言形式给出):

```

 $a_n = a; b_n = b;$ 
for (i=0; i<n; i++)
{
 $c_{i+1}^1 = \frac{v_{n-1-i}}{v_{n+1-i}}(b_i - a_i) + a_i;$ 
 $c_{i+1}^2 = \frac{v_{n-1}}{v_{n+1-i}}(b_i - a_i) + a_i;$ 
if ( $D\epsilon_2(G_{i+1}, c_{i+1}^1) < D\epsilon_2(G_{i+1}, c_{i+1}^2)$ )
{
 $a_{i+1} = a_i;$ 
 $b_{i+1} = c_{i+1}^1;$ 
}
else
{
 $a_{i+1} = c_{i+1}^2;$ 
 $b_{i+1} = b_i;$ 
}
}
 $r_0 = a_n + b_n;$ 

```

其中 a 、 b 分别为循环迭代初始下边界值 a_0 和上边界值 b_0 的初始值,

a_i 、 b_i 分别为循环迭代 i 次时的下边界值和上边界值,

i 为迭代次数, n 为循环次数,

v_i 为系数因子,

G_n 为去噪图像.

$D\epsilon_2(G_n, c_{i+1}^1)$ 可由(8)和(9)式导出,定义为

$$D\epsilon_2(G_n, c_{i+1}^1) = \min_{f_0} \{ (h_r f_0 - G_0)^T (h_r f_0 - G_n) \},$$

(14) [1] WANG Hui, ZHANG Ji-Hong. An algorithm of edge

式(14)具体求解参见文献[7].

求得模糊宽度 r_0 后就可以获得离焦成像系统的点扩展函数 $h_r(x, y)$,经傅立叶变换得转换函数 $H_r(u, v)$,由去噪图像变换关系得去模糊图像的函数 $F_0(u, v)$,因此由傅里叶反变换即可求得最终的恢复图像 $f_0(x)$.

3 结果讨论

图1为按照上述算法处理电力设备红外增强图像的流程图,图1(a)为电力设备红外图像,图1(b)为采用基于LIP模型的多尺度图像增强算法抑噪增强图,图1(c)为根据退化模型去噪算法实现的去模糊图,所估算图像的模糊宽度初值为 $r_0 = 7.8$, $\Delta r = 2.7$,据Fibonacci最优搜索方法计算的模糊宽度 $r_n = 7.4$.由图1可见采用LIP模型的多尺度抑噪增强图像的算法(选用的窗口大小为 3×3 , $\gamma = 0.25$, $\eta_1 = 0.85$, $\eta_2 = \eta_3 = 0$)时,图像的噪声得到了明显地降低,但图像的细节却变得模糊,而经退化模型去噪算法对模糊图像进行恢复后图像的清晰度得到提高,因此本文提出的模糊去噪算法解决了这类图像抑噪的增强显示问题,它具有广泛的适用性.

本文在讨论灰度函数的图像增强算法的基础上,分析了基于LIP模型的Lee图像增强算法的优缺点,从抑制图像噪声保护图像的细节特性出发,提出图像的去模糊恢复的新方法,通过实验的分析表明该算法对增强的图像的模糊性具有明显地恢复效果,因此本文的基于退化模型的去模糊算法具有可行性.

REFERENCES

[1] WANG Hui, ZHANG Ji-Hong. An algorithm of edge

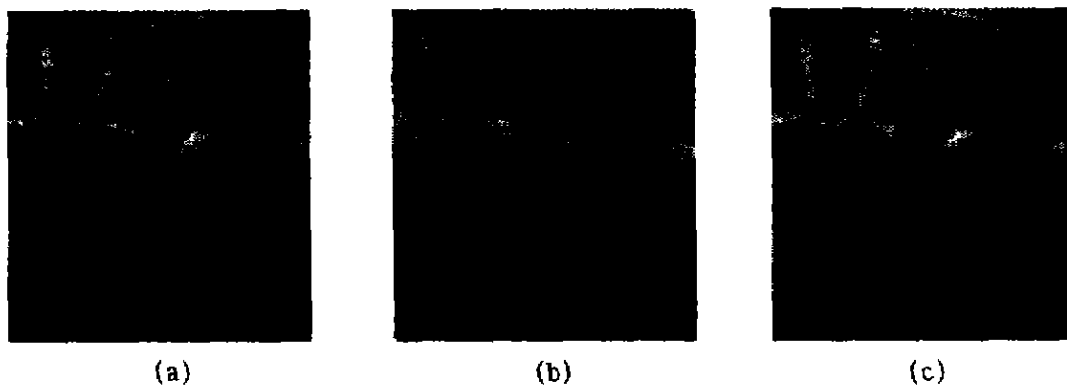


图1 图像处理过程示意图

(a) 电力设备红外图 (b) 抑噪增强图 (c) 去模糊图

Fig.1 The figure showing the process to deal with the image

(a) the infrared image of the electrical device (b) the enhanced image to suppress noise

(c) the no-blur image

- detection based on fuzzy enhancement of contrast among successive regions. *Acta Electronica Sinica* (王晖, 张基宏. 图像边界检测的区域对比度模糊增强算法. *电子学报*), 2000, **28**(1): 45—47
- [2] YUAN Xiao-Song, WANG Xiu-Tan, WANG Xi-Qin. An adaptive image enhancement algorithm based on human visual properties. *Acta Electronica Sinica* (袁晓松, 王秀坛, 王希勤. 基于人眼视觉特性的自适应的图像增强算法的研究. *电子学报*), 1999, **27**(4): 63—65
- [3] Lee J S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 1980, **PAMI-2**(3): 165—168
- [4] Jourlin M, Pinoli J C. Contrast definition and contour detection for logarithmic image. *J. Microscopy*, 1989, **156**(1): 33—40
- [5] Deng G, Cahill L W, Tobin G R. The study of logarithmic image processing model and its application to image enhancement. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1995, **4**: 506—512
- [6] LIU Ke, YANG Jing-Yu, QUAN Jun, *et al.* Blur identification and restoration of images with out-of focus blur. *Acta Automatica Sinica* (刘克, 杨静宇, 权军等. 离焦图像模糊辨识及复原方法研究. *自动化学报*), 1994, **20**(1): 58—65
- [7] Podilchuk C L, Manmone R J. Projection technique for image restoration. *Proc. SPIE*, 1989, **1199**: 1486—1493