

印刷电路板光板缺陷图像预处理研究

乔闹生¹ 张奋^{2*} 黎小琴¹

¹湖南文理学院物理与电子科学学院, 湖南 常德 415000

²湖南文理学院计算机科学与技术学院, 湖南 常德 415000

摘要 为了更好地对印刷电路板光板缺陷图像进行预处理,提出了一种改进的基于全变分模型自适应图像预处理方法。分析了基于全变分范数的图像预处理模型,指出了其存在的缺点。讨论了基于 L^{1+p} 范数的广义的全变分图像预处理模型,分析了其优点与不足之处。提出了一种改进的基于全变分模型自适应图像预处理方法,该方法能尽可能地去掉印刷电路板光板缺陷图像中的噪声,同时可克服缺陷图像去噪后存在的边缘模糊与阶梯效应,使去噪后的图像得到增强且具有更加光滑、细腻的视觉效果。对实际获取的印刷电路板光板缺陷图像采用四种图像预处理方法或模型进行了主观与客观实验比较,结果表明,该方法对印刷电路板光板缺陷图像预处理有较好的效果。而且,针对不同的印刷电路板光板缺陷采用该方法都能很好地检测出结果。

关键词 图像处理;印刷电路板图像;全变分模型;Euler-Lagrange方程

中图分类号 O439

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.021003

Defect Image Preprocessing of Printed Circuit Board

Qiao Naosheng¹ Zhang Fen² Li Xiaoqin¹

¹School of Physics and Electronic, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China

²School of Computer Science and Technology, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China

Abstract In order to actualize image preprocessing of defect image on printed circuit board better, an improved self-adaptive image preprocessing method based on the total variation model is proposed. The image preprocessing model based on the total variation norm is analyzed, and its shortcomings are pointed out. The generalized total variation image preprocessing model based on L^{1+p} norms is discussed, the advantages and disadvantages are analyzed. An improved self-adaptive image preprocessing method based on the total variation model is proposed, the defect image noise of printed circuit board can be eliminated as far as possible by using the proposed method. At the same time, the edge faintness and ladder effect existed in the defect image can be overcome better after denoising, and the image after denoising has more slippery and exquisite visual effects. The subjective and objective experimental comparisons among the four image preprocessing methods or models are achieved aiming at the defect image of actual printed circuit board, and the result indicates that the proposed method has good effect on defect image preprocessing of printed circuit board. What is more, the results are all detected better by adopting the proposed method for different printed circuit board defects.

Key words image processing; printed circuit board image; total variation model; Euler-Lagrange equation

OCIS codes 100.1160; 100.2980; 200.3050; 110.4280; 350.4600

1 引言

在光电图像采集过程中由于受光照设备、外界环境及设备传输等因素影响,所获取的印刷电路板光板

收稿日期: 2014-08-14; 收到修改稿日期: 2014-09-22; 网络出版日期: 2015-01-13

基金项目: 国家自然科学基金(61475045)、湖南省科技计划项目(2014FJ3027, 2011FJ3076)、湖南省教育厅科学研究重点项目(13A062)、中国博士后科学基金(2012M521553)、光电信息集成与光学制造技术湖南省重点实验室(067)、湖南文理学院重点学科建设项目(光学)(2013004)、湖南省光电信息技术校企联合人才培养基地(1303)

作者简介: 乔闹生(1971—),男,博士,副教授,主要从事光电信息检测与处理方面的研究。

E-mail: naoshengqiao@163.com

*通信联系人。E-mail: 738722002@qq.com

图像会不可避免地出现噪声与模糊现象^[1-3]。对获取的图像进行增强、去噪、滤波、去模糊等一系列的预处理是印刷电路板光板图像处理、分析与识别的前提,在印刷电路板光板图像边缘检测、分割、识别、特征提取等领域具有广泛的应用前景^[1-3]。

在图像去噪去模糊等预处理领域中^[4],基于全变分及其改进模型的预处理方法具有非常重大的研究意义,已得到广泛应用。1992年,Rudin等^[5]首先提出了基于全变分范数的图像去噪去模糊预处理模型,后来不少学者对其模型进行了改进,提出了一系列基于全变分的改进图像去噪去模糊方法或模型。如1997年,Alliney^[6]提出了当全变分去噪去模糊模型中约束条件为 L^1 范数时的图像恢复模型,讨论了该模型对一维噪声信号的恢复效果;2002年,Nikolova等^[7]讨论了全变分模型对多维信号的去噪去模糊效果;2003年,Song等^[8]提出了一种基于 L^{1+p} 范数的广义全变分图像预处理模型,克服了去噪后产生的阶梯效应;2005年,Osher等^[9]提出了一种具有较好收敛性的全变分迭代模型,从而较好地去除了图像噪声与模糊现象;2007年,Marzek等^[10]利用全变分模型与小波变换相结合的方法进行图像去模糊与去噪,取得了较好的效果;2007年,Yin等^[11]将全变分模型应用于多尺度分解,得到了较好的去噪效果;2012年,邵晓鹏等^[12]利用自适应全变分去噪方法去除重建后的高分辨率图像的伪影。但上述方法或模型都不能很好地对实际获取的印刷电路板光板缺陷图像进行去噪去模糊等预处理,且都存在一些明显的预处理缺陷。

本文在Rudin等^[5]提出的全变分去噪去模糊模型及Song^[8]提出的基于 L^{1+p} 范数的广义的全变分预处理模型基础上,结合文献[13]的收敛性,提出了一种改进的基于全变分自适应印刷电路板光板缺陷图像预处理方法,使去噪去模糊等预处理效果更加明显,实验对比结果进一步证明了本文方法的正确性与有效性。

2 基本原理

光电图像在成像过程中会不可避免地带来噪声污染与模糊现象,而噪声污染通常认为是加性的且与信号无关的白噪声。设 $f(x,y)$ 为原始无噪声图像信号, $g(x,y)$ 为被噪声污染的图像信号, $n(x,y)$ 为具有零均值、方差为 δ^2 的随机噪声信号,则

$$g(x,y)=f(x,y)+n(x,y). \quad (1)$$

1992年,Rudin等^[5]提出了基于全变分范数的图像去噪去模糊预处理模型。它的图像去噪可以归结为最小化问题

$$\min J_p(f)=\int_{\Omega}|\nabla f|dx dy, \quad (2)$$

式中 $|\nabla f|=\sqrt{f_x^2+f_y^2}$, $\Omega\in R^n$ 是图像的定义域, $\lambda/2$ 为正则化参数, p 为确定扩散强弱的参数。

为了保留原图像特性和降低图像失真度,给(2)式加上数据保真项后变为

$$\min_f J_p(f)=\int_{\Omega}|\nabla f|dx dy+(\lambda/2)\int_{\Omega}|f-g|^2 dx dy, \quad (3)$$

(3)式满足的约束条件为

$$\int_{\Omega}f(x,y)dx dy=\int_{\Omega}dx dy, \quad (4)$$

$$(1/|\Omega|)\int_{\Omega}(f-g)^2 dx dy=\delta^2, \quad (5)$$

式中 δ^2 表示噪声的方差。

其导出的Euler-Lagrange方程为

$$-\nabla\cdot(|\nabla f|^{-1}\nabla f)+\lambda(f-g)=0. \quad (6)$$

但该模型有时会误将噪声当成边缘检测出来,从而使恢复的图像产生了假边缘,去模糊现象也不太明显。

2003年,Song^[8]提出的基于 L^{1+p} 范数的广义全变分图像预处理模型克服了该缺点,其最小化为

$$\min_f J_p(f)=(1/p)\int_{\Omega}|\nabla f|^p dx dy+(\lambda/2)\int_{\Omega}|f-g|^2 dx dy, \quad 1<p<2. \quad (7)$$

Euler-Lagrange方程为

$$-\nabla\cdot(|\nabla f|^{p-2}\nabla f)+\lambda(f-g)=0. \quad (8)$$

在规定范围内适当选择 p 值大小,可以克服阶梯效应。但因 p 值选择缺乏自适应调节能力,同时边缘处及远离边缘处信息难以保留,故去噪后的图像又会增加边缘模糊现象,难以保证图像复原的最佳效果。

为了减少将噪声误当作边缘而使得图像去噪不充分的可能性,同时克服图像去噪后存在的边缘模糊、阶梯效应。首先需要使用一个高斯滤波器对噪声图像进行滤波,其次需要兼顾图像去噪过程中图像边缘处及远离边缘处信息的去留,还要避免 $\nabla f=0$ 时的方程奇异。提出自适应全变分图像预处理模型

$$\min_f J_{p(x,y)}(f) = [1/p(x,y)] \int_{\Omega} (\sqrt{|\nabla f|^2 + \varepsilon})^{p(x,y)} dx dy + (\lambda/2) \int_{\Omega} |f - g|^2 dx dy, \quad (9)$$

式中 ε 为充分小的正整数,是为了避免方程奇异而设定的一个小扰动,当 $\varepsilon \rightarrow 0$ 时,扰动问题收敛到(1)式的解^[13]。其中 $p(x,y)$ 为确定扩散强弱的能够自适应调节的参数,定义为

$$p(x,y) = \begin{cases} 2, & |\Delta f| < \alpha \\ 1 + 1/[1 + |\nabla G_{\delta} * g(x,y)|^2], & \alpha \leq |\Delta f| \leq \beta \\ 1, & |\Delta f| > \beta \end{cases} \quad (10)$$

式中 G_{δ} 为高斯滤波器, $\delta > 0$ 。定义适当的门限 α 和 β ,若梯度模值大于 β ,则认为接近图像边缘,此时需要保留图像边缘。若梯度模值小于 α ,则认为远离图像边缘,此时需要对图像进行平滑处理。若梯度模值大于 α 而小于 β ,则(9)式这一模型能自适应选择参数 $p(x,y)$ 进行去噪,从而克服了去噪时带来的边缘模糊与阶梯效应。

此时的 Euler-Lagrange 方程为

$$-\nabla \cdot [(\sqrt{|\nabla f|^2 + \varepsilon})^{p(x,y)-2} \nabla f] + \lambda(f - g) = 0. \quad (11)$$

因 $p(x,y)$ 值的选择具有自适应调节能力,因此可尽可能地去掉图像中的噪声,同时克服图像去噪后存在的边缘模糊、阶梯效应,使去噪后的图像得到了增强且具有更加光滑、细腻的视觉效果。

3 实验结果及分析

为了进一步验证理论分析的正确性,对实际获取的印刷电路板光板图像应用上述基本原理进行图像预

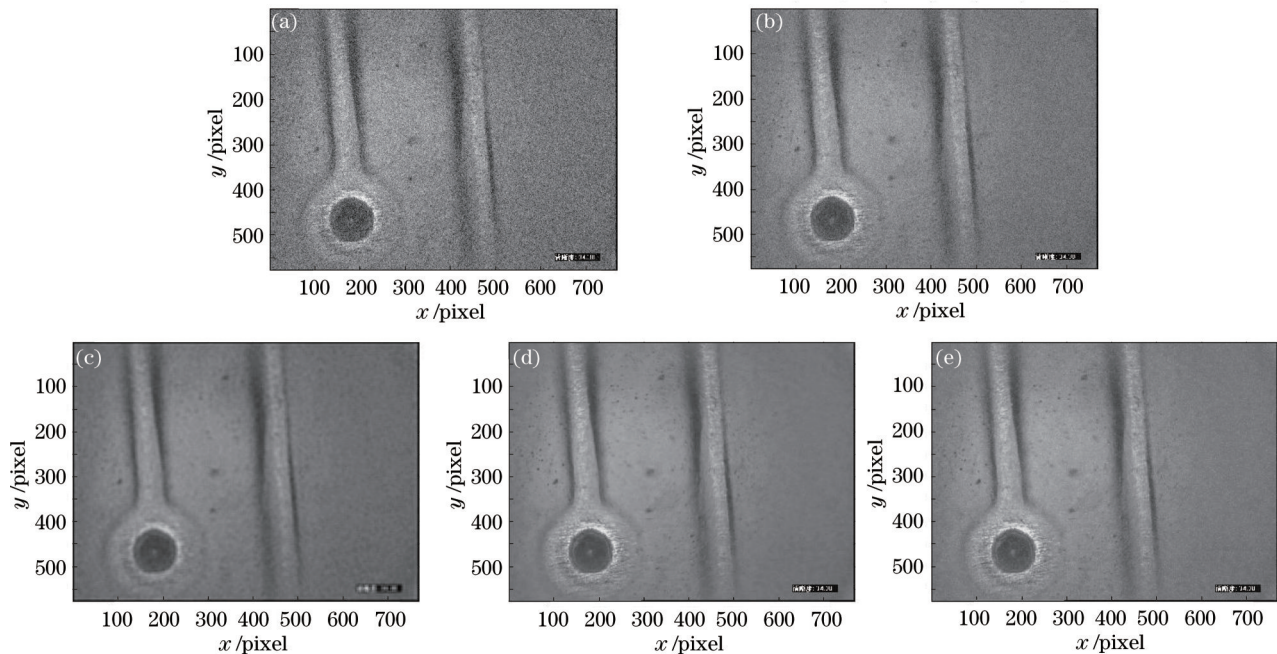


图1 对实际获取的印刷电路板缺陷图像用不同去噪模型或方法去噪的结果。(a)原图;(b)文献[5]处理结果;(c)文献[8]处理结果;(d)文献[9]处理结果;(e)本文方法处理结果

Fig.1 Results of actual printed circuit board defect image by adopting different denoising models or methods. (a) Original image; (b) result by Ref.[5]; (c) result by Ref.[8]; (d) result by Ref.[9]; (e) result by the proposed method

处理实验。实验中取 $\lambda = 0.52$ 、 $p = 1.7125$ 、 $\varepsilon = 0.0011$ 、 $\alpha = 56$ 、 $\beta = 0.61$ 。图 1(a)为实际获取的含有噪声与模糊的印刷电路板光板缺陷图像;图 1(b)为经文献[5]提出的全变分模型预处理后所得到的图像;图 1(c)为经文献[8]提出的基于 L^{1+p} 范数的广义全变分模型预处理后所得到的图像;图 1(d)为经文献[9]提出的具有较好收敛性的全变分迭代模型预处理所得到的图像;图 1(e)为经本文方法预处理后所得到的图像。

由图 1 可知,用文献[5]模型去噪后的图像边缘比较粗糙且保留了少数噪声而产生了假边缘现象;文献[8]模型能较好地去除噪声,但去噪后的图像边缘出现了少许模糊现象;文献[9]模型因具有较好收敛性而消除了模糊现象,也没产生假边缘;用本文提出的改进的基于全变分模型自适应图像预处理方法无论在去噪声、去阶梯效应、边缘保持及视觉效果等方面都表现较好。

为了客观衡量图像的去噪效果,采用峰值信噪比 P_{SNR} 与归一化均方误差 N_{MSE} 作为评价指标, P_{SNR} 越大或 N_{MSE} 越趋近于 0,表明去噪后图像与原始清晰图像越逼近。

根据文献[14],对含噪声 Lena 图像的 P_{SNR} 和 N_{MSE} 比较,可近似反映出对主要含有较小比例高斯噪声的印刷电路板图像的 P_{SNR} 和 N_{MSE} 比较情况。

设 $F = \{f(i,j)\}_{M \times N}$ 表示未受污染的无噪声原始图像, $G = \{g(i,j)\}_{M \times N}$ 表示去噪后的最终图像,图像大小为 $M \times N$, P_{SNR} 和 N_{MSE} 分别表示为^[14-19]

$$P_{\text{SNR}} = 10 \log \frac{255^2 MN}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(i,j) - g(i,j)]^2}, \quad (12)$$

$$N_{\text{MSE}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - g(i,j)]^2}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(i,j)]^2}. \quad (13)$$

实验中采用无噪声的大小为 512 pixel \times 512 pixel 的 Lena 图像为原始图像,使均值为 0、方差为 0.040 的高斯噪声污染原始图像而得到噪声图像。

分别采用 P_{SNR} 和 N_{MSE} 的客观评价结果如图 2、3 所示。

由图 2 和图 3 可知,在几种图像预处理模型中,当所加高斯噪声的均方差相同时,采用本文改进模型的 P_{SNR} 最大且 N_{MSE} 最小,说明该方法的去噪效果较好。

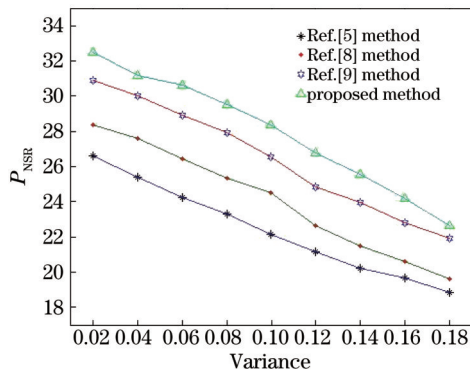


图 2 不同去噪模型或方法的信噪比

Fig.2 P_{SNR} of different denoising models or methods

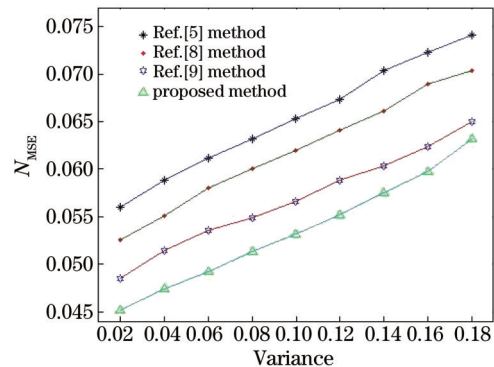


图 3 不同去噪模型或方法的归一化均方误差

Fig.3 N_{MSE} of different denoising models or methods

为了更好地体现该方法的应用效果,现对含有噪声及模糊的常见的断路、短路、凸起、凹坑及空洞五种不同的印刷电路板光板缺陷图像进行实验。图 4(a)含有空洞缺陷,图 4(b)含有断路、短路与凹坑缺陷,图 4(c)含有断路与凸起缺陷,经本文方法处理后结果分别如图 4(d)~(f)所示。

由图 4 可知,采用本文方法能很好地对模糊且含噪声的常见的断路、短路、凸起、凹坑及空洞五种不同的印刷电路板缺陷图像进行预处理。

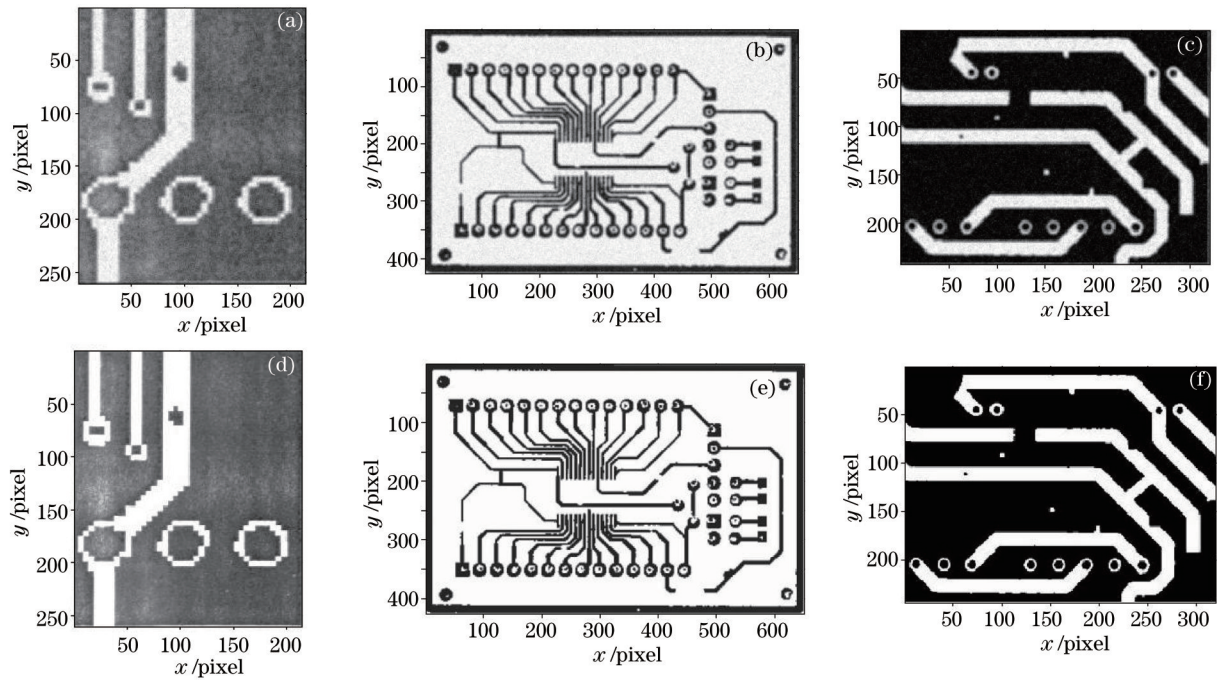


图4 对常见印刷电路板缺陷图像采用本文方法预处理结果。(a)空洞缺陷;(b)断路、短路和凹坑缺陷;(c)断路和凸起缺陷;
(d)图(a)处理结果;(e)图(b)处理结果;(f)图(c)处理结果

Fig.4 Preprocessing results of usual printed circuit board image by adopting the proposed method. (a) Inanition defect;
(b) open circuit, short circuit and notch defect; (c) open circuit and gibbosity defect; (d) result by image (a); (e) result by
image (b); (f) result by image (c)

4 结 论

通过分析基于全变分图像预处理模型及其改进模型,提出了一种改进的基于全变分模型自适应图像预处理方法,并应用几种模型或方法对含噪声且模糊的印刷电路板光板缺陷图像进行预处理主观实验和客观评价。主观与客观结果表明,相对于文献[5]、文献[8]和文献[9]的图像预处理模型,本文提出的自适应印刷电路板光板缺陷图像预处理方法的效果更加明显,克服了图像去噪后存在的边缘模糊、阶梯效应及假边缘现象。在高斯噪声均值为0且方差相等的情况下,采用本文图像预处理方法得到的去噪后图像的 P_{SNR} 相对较大且 N_{MSE} 相对较小。而且,针对常见的断路、短路、凸起、凹坑及空洞五种不同的印刷电路板光板缺陷采用该方法都能得到较好的检测结果。

参 考 文 献

- 1 Qiao Naosheng, Ye Yutang, Mo Chunhua, *et al.*. Study of capturing and preprocessing of printed circuit board photoelectric image [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(4): 984-988.
乔闹生, 叶玉堂, 莫春华, 等. 印刷电路板光电图像获取与预处理研究[J]. *光学学报*, 2010, 30(4): 984-988.
- 2 Qiao Naosheng, Sun Ping. Circuitry detection in printed circuit board [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, 42(11): 1355-1359.
乔闹生, 孙萍. 印制电路板线路检测研究[J]. *光子学报*, 2013, 42(11): 1355-1359.
- 3 Qiao Naosheng, Ye Yutang, Mo Chunhua, *et al.*. Method for the detection of concentric circles of photoelectric image of circular hole in printed circuit board [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(1): 75-78.
乔闹生, 叶玉堂, 莫春华, 等. 印刷电路板圆孔光电图像的同圆心检测方法[J]. *光学学报*, 2010, 30(1): 75-78.
- 4 Li Yingying, Zhang Zhiyi, Yuan Lin. Survey on linear structured light stripe center extraction [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2013, 50(10): 100002.
李莹莹, 张志毅, 袁林. 线结构光光条中心提取综述[J]. *激光与光电子学进展*, 2013, 50(10): 100002.
- 5 Rudin L I, Osher S, Fatemi E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms [J]. *Physica D*, 1992, 60(1): 259-268.

- 6 Alliney S. A property of the minimum vectors of a regularizing functional defined by means of the absolute norm [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1997, 45(4): 913–917.
- 7 Nikolova M. Minimizers of cost-functions involving nonsmooth data fidelity terms Application to the processing of outliers [J]. SIAM J Numer Anal, 2002, 40(3): 965–994.
- 8 Song B. Topics in Variational PDE Image Segmentation, Inpainting and Denoising [D]. Los Angeles: University of California Los Angeles, 2003.
- 9 Osher S, Burger M, Goldfarb D, *et al.*. An iterative regularization method for total variation based image restoration [J]. Multiscale Modeling and Simulation, 2005, 4(2): 460–489.
- 10 Marzek P, Weickert J. From two-dimensional nonlinear diffusion to coupled Haar wavelet shrinkage [J]. J Vis Commun Image R, 2007, 18(2): 162–175.
- 11 Yin W, Goldfarb D, Osher S. The total variation regularized L1 model for multiscale decomposition [J]. Multiscale Modeling and Simulation, 2007, 6(1): 190–211.
- 12 Shao Xiaopeng, Zhong Cheng, Du Juan, *et al.*. Super-resolution imaging method using multi-value compressed coded aperture [J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2012, 23(6): 1189–1195.
邵晓鹏, 钟 成, 杜 娟, 等. 多值压缩编码孔径超分辨率成像方法[J]. 光电子·激光, 2012, 23(6): 1189–1195.
- 13 Acar R, Vogel C R. Analysis of bounded variation penalty methods for ill-posed problems [J]. Inverse Problems, 1994, 10(6): 1217–1229.
- 14 Qiao Naosheng, Deng Lei, Zeng Youbing, *et al.*. Study of noisy and darker PCB photoelectricity image edge detection [J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2013, 24(4): 740–745.
乔闹生, 邓 磊, 曾友兵, 等. 含噪声且较模糊的印刷电路板光电图像边缘检测研究[J]. 光电子·激光, 2013, 24(4): 740–745.
- 15 Zhou Zhisheng, Xiangli Bin, Zhang Wenxi, *et al.*. Image reconstruction method of Fourier telescope based on iteration [J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(5): 0511005.
周志盛, 相里斌, 张文喜, 等. 基于迭代的傅里叶望远镜图像重构方法[J]. 光学学报, 2014, 34(5): 0511005.
- 16 Chen Chao, Zhao Shengmei. Study on high order difference sifted ghost imaging scheme [J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(6): 0611002.
陈 超, 赵生妹. 高阶差值筛选鬼成像方案研究[J]. 光学学报, 2014, 34(6): 0611002.
- 17 Zhang Baohua, Liu He. Infrared image denoising algorithm based on sub-band component threshold estimation [J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(8): 0809002.
张宝华, 刘 鹤. 采用子带分量阈值估计的红外图像去噪方法[J]. 中国激光, 2014, 41(8): 0809002.
- 18 Qian Fang, Sun Tao, Guo Jin, *et al.*. Assessment algorithm of laser-dazzling effects based on the feature-point distributing characteristic [J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(5): 0509001.
钱 方, 孙 涛, 郭 劲, 等. 基于特征点分布特性的激光干扰效果评估算法[J]. 中国激光, 2014, 41(5): 0509001.
- 19 Gao Shan, Li Cheng, Bi Duyan. An effective method of high-intensity mixed noise filtering for images [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2012, 24(5): 656–661.
高 山, 李 成, 毕笃彦. 有效滤除高强度图像混合噪声的方法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2012, 24(5): 656–661.

栏目编辑: 苏 岑