

基于双重 Sigmoid 变换的 PCB 图像增强算法

郭峰林, 管庶安

武汉工业学院计算机与信息工程系, 武汉 430023

摘要 在基于边缘的 PCB 缺陷检测中提出了一种新的图像变换方法——双重 Sigmoid 变换, 并导出了 Sigmoid 变换算子。试验表明, 采用该变换对 PCB 图像进行增强能有效地锐化边缘, 对边缘附近的噪声滤除能力强, 有利于精确定位边缘, 对原图像的清晰度及均匀性要求不高。

关键词 图像增强; PCB 缺陷检测; Sigmoid 变换; Sigmoid 算子

中图分类号 TP391.41

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.28.006

PCB Image Enhancement Algorithm Based on Double Sigmoid Transform

GUO Fenglin, GUAN Shu'an

Department of Computer and Information Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China

Abstract In the Printed Circuit Board (PCB) defect detection based on Automatic Optic Inspection (AOI), the actually collected PCB images are often blurred over the edge, especially in the area of dense vertical lines. Therefore, to eliminate noise and enhance the image to highlight the edge, which makes the alignment between PCB sample and the detected PCB easier and more precise and avoid missing and false detection, are needed. The main target for enhancing PCB images is to sharpen the edges, at the same time to effectively suppress noise, especially the noise near the edges. From the perspective of the edge sharpening, the differential operation should be used. However, for filtering out the noise, integral operation should be applied to. Based on the above features, a new image transformation i.e. double Sigmoid transformation, which imposes a double transformation on the original image and at the same time uses the results with the transformation to enhance the original image, is presented. At first, a definition of Sigmoid transformation is given, and then double Sigmoid operators are deduced. In order to simplify the computing, only a set of special feature value is taken to calculate the sigmoid operator, which makes the computing speed faster. Experiments show that the Sigmoid algorithm could effectively sharpen PCB image edges, at same time, filter out noise in the image. Even if the original PCB image is not distinct enough and uniform brightness, the algorithm is still able to precisely locate circuit edge, which could make the edge extracting and edge recognition easier.

Keywords image enhancement; PCB defect detection; Sigmoid transform; Sigmoid operator

0 引言

在基于自动光学检测 (Automatic Optic Inspection, AOI) 技术的裸板印刷电路板 (Printed Circuit Board, PCB) 缺陷检测中, 通常采用线阵或面阵的工业相机采集图像。由于相机镜头的畸变和相机分辨率的限制, 实际采集的 PCB 图像往往边缘较模糊, 特别是在细密的竖直/水平布线区域, 如图 1 所示 (分辨率为 620dpi)。因此, 在对图像进行分割、分析之前要对

原图像进行增强, 消除噪声, 突出边缘特性。

图像增强的方法主要分两大类: 空间域方法和频率域方法^[1]。频率域方法是对图像进行傅里叶变换, 然后在频率域内实施图像增强, 最后再进行傅里叶反变换。空域法图像增强主要包括灰度变换、直方图均衡化、移动平均法 (均值滤波法)、中值滤波等。其中, 灰度变换和直方图均衡化并未增加原图像的灰度级数, 重要的轮廓没有突出, 对精确定位边缘

收稿日期: 2011-02-21; 修回日期: 2011-09-19

基金项目: 湖北省自然科学基金项目 (2004ABA033); 湖北省教育厅科学技术研究项目 (B20101703)

作者简介: 郭峰林, 副教授, 研究方向为图像处理、智能检测、嵌入式系统, 电子信箱: cflguo@gmail.com

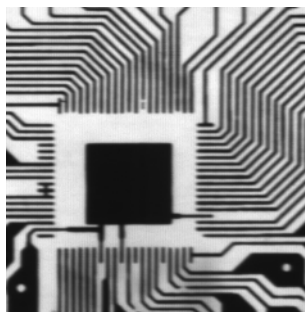


图 1 典型 PCB 的原图像

Fig. 1 Typical original image of PCB

的贡献有限;均值滤波会去除图像中的颗粒噪声,但同时也使图像变得模糊;中值滤波对孤立的噪声点(即椒盐噪声)效果明显,但对模糊的边缘起不到增强作用。空域法和频域法有一个共同的缺点:增强图像的同时放大了噪声^[2]。

文献[3]和文献[4]采用 HAAR 小波变换进行图像增强,但仅在垂直和水平方向对图像进行 2 级尺度分解,以便突出细节;由于 PCB 图像像素灰度值在各方向上的非连续性,在斜向边缘上容易产生失误,而且没有考虑噪音的影响。文献[5]采用小波变换和模糊理论对图像增强的同时消除了噪声,但该算法不适合于 PCB 图像。

在基于机器视觉的 PCB 缺陷检测中,增强 PCB 图像的主要目标是增强边缘轮廓,同时还要求能有效地抑制噪声,尤其是靠近边缘的噪声。PCB 板线条或焊盘与基板之间的图像边缘呈现阶跃特性。采集到的 PCB 图像的典型特征是图像直方图统计的双峰特性明显,椒盐噪声较少,但在浓密线条区域部分模糊,线条边缘不突出。按照常规的图像增强算法,如果需要增强边缘,进行边缘锐化,一般采用微分运算来突出边缘。而从滤除噪声的角度看,图像增强应采用积分运算。PCB 图像的这一特性就决定了其增强算法不能简单地采用常规算法。

经过反复研究和试验测试,本文提出了一种针对 PCB 图像的新的图像增强算法——双重 Sigmoid 变换。该算法以具有阶跃特征的 Sigmoid 函数为基函数,对原图像施加双重变换,用变换结果对原图像进行增强,突出了边缘信息,同时有效地抑制了图像中的噪声。在算法中,通过适当选择尺度因子和增强系数,可以使图像增强效果达到最佳。

1 双重 Sigmoid 变换的定义

设 PCB 灰度图像为 $f(x, y)$,考虑以 (x, y) 点为中心的圆区域,其规模为 2σ ,见图 2(其中, ρ 为径向轴, ρ 与 x 轴之间的夹角为 θ)。

将 $\zeta[f(x, y)]_\theta$ 定义为 $f(x, y)$ 在 (x, y) 点的、关于方向 θ 的一阶 Sigmoid 梯度变换,即

$$\zeta[f(x, y)]_\theta = \int_{-\sigma}^{\sigma} f(x + \rho \cos \theta, y + \rho \sin \theta) s(\rho) d\rho \quad (1)$$

式中, $s(\rho)$ 为 Sigmoid 函数,且 $s(\rho) = \frac{1 - e^{-\rho^a}}{1 + e^{-\rho^a}}$,见图 3。其中, a 为

尺度因子,当 a 增加时,曲线在 ρ 方向上拉伸。

可见, $\zeta[f(x, y)]_\theta$ 就是 $f(x, y)$ 在 ρ 轴上与 $s(\rho)$ 的卷积。由 $s(\rho)$ 的特性可知,当 $f(x, y)$ 像素灰度沿 ρ 轴上升时, $\zeta[f(x, y)]_\theta$ 取正值;反之,当 $f(x, y)$ 像素灰度沿 ρ 轴下降时, $\zeta[f(x, y)]_\theta$ 将取负值;当 $f(x, y)$ 像素灰度不变时, $\zeta[f(x, y)]_\theta$ 为 0。

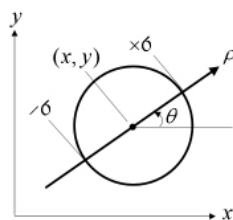


图 2 变换坐标系

Fig. 2 Coordinate transformation system

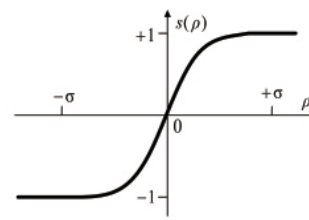


图 3 Sigmoid 函数

Fig. 3 Sigmoid function

将 $\zeta^2[f(x, y)]_\theta$ 定义为 $f(x, y)$ 在 (x, y) 点的、关于方向 θ 的双重 Sigmoid 梯度变换:

$$\zeta^2[f(x, y)]_\theta = \zeta[\zeta[f(x, y)]_\theta]_\theta \quad (2)$$

$\zeta^2[f(x, y)]_\theta$ 就是对 $\zeta[f(x, y)]_\theta$ 再次施行 Sigmoid 梯度变换的结果,显然,当 $f(x, y)$ 像素灰度沿 ρ 轴上升时, $\zeta^2[f(x, y)]_\theta$ 由正变负;反之,当 $f(x, y)$ 像素灰度沿 ρ 轴下降时, $\zeta^2[f(x, y)]_\theta$ 由负变正;当 $f(x, y)$ 像素灰度不变时, $\zeta^2[f(x, y)]_\theta$ 为 0。

现在推导双重 Sigmoid 变换算子。式(1)的离散表达式为

$$\zeta[f(x, y)]_\theta = \sum_{\rho=-\sigma}^{\sigma} f(x + \rho \cos \theta, y + \rho \sin \theta) s(\rho)$$

不难推导出式(2)的离散表达式为

$$\zeta^2[f(x, y)]_\theta = \sum_{\lambda=-\sigma}^{\sigma} \sum_{\rho=-\sigma}^{\sigma} f(x + (\rho + \lambda) \cos \theta, y + (\rho + \lambda) \sin \theta) s(\rho) s(\lambda) \quad (3)$$

记 $k = (\rho + \lambda)$, 由于 $\rho \in [-\sigma, \sigma]$, $\lambda \in [-\sigma, \sigma]$, 故 $k \in [-2\sigma, 2\sigma]$; 将 $f(x + k \cos \theta, y + k \sin \theta)$ 简记为 f_k , 将式(3)按 f_k 展开,有

$$\zeta^2[f(x, y)]_\theta = \sum_{k=-2\sigma}^{2\sigma} \alpha_k f_k \quad (4)$$

记双重 Sigmoid 变换算子 $A = [\alpha_k]$, $F = [f_k]$, 则式(4)可表示为

$$\zeta^2[f(x, y)]_\theta = A \cdot F^T \quad (5)$$

结合实际情况,取 $\sigma = 3$, $a = 2/3$, 计算得到 $A = [0.957, 1.77, 2.062, 1.15, -0.839, -2.92, -4.358, -2.92, -0.839, 1.15, 2.062, 1.77, 0.957]$ 。

2 图像增强算法及试验结果

用双重 Sigmoid 算子对 PCB 图像进行增强,增强后的图像记为 $h(x, y)$,且

$$h(x, y) = f(x, y) - \beta \times \zeta^2[f(x, y)]_\theta \quad \text{取} \quad \max_{\theta} \{ |\zeta^2[f(x, y)]_\theta| \} \quad (6)$$

式中的约束关系指明,要选择关于 θ 的、绝对值最大的 $\zeta^2[f(x, y)]_\theta$, β 为增强系数, β 越大,增强效果越明显。但 β 过大会使原图像中的纹波干扰变得突出。增加尺度因子 a 可以降低原图

像中的噪声干扰。

为减少计算量,仅取 $\theta=0,45^\circ,90^\circ,135^\circ$ 来计算 $\zeta^2[f(x,y)]_0$ 。当 $\theta=45^\circ$ 和 135° 时, $f(x+k\cos\theta,y+k\sin\theta)$ 为亚像素点,则按相邻点线性插值算出其值。

图 4 表示对某 PCB 的原图像中的第 y 行进行增强的操作过程。图 4(b)为第 y 行的灰度波形,图 4(c)为仅按 $\theta=0$ 对图 4(b)进行变换的波形;图 4(d)为用图 4(b)对图 4(c)进行增强得到的波形,增强系数 β 取 0.25,并作了限幅处理。对比图 4(b)和图 4(d)可以看出,增强后的灰度值在边缘处的上升和下降速度大大增加,因此有利于边缘的精确定位;原图像中较窄的导线上的灰度值不够低,较窄的非敷铜区的灰度值不够高,给准确分割带来困难。增强后,其灰度值分别达到位图图像的最小灰度值 0 和最大灰度值 255,大大降低了对分割阈值的准确性要求。在大多数情况下,分割阈值直接取 128 即可。

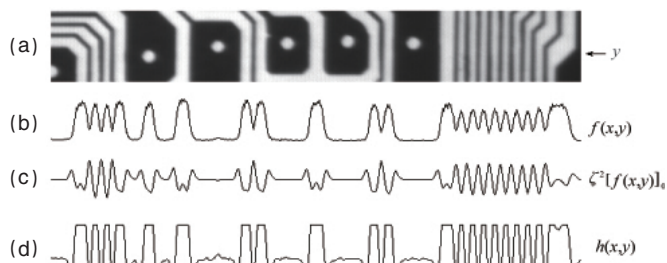


图 4 第 y 行图像增强处理过程

Fig. 4 Image enhancing process of y th line

图 5 是根据式(6)对图 1 进行增强的结果。可见,细密的布线变得很清晰,突出了缺陷部位。图 6 是对另一幅 PCB 图像进行增强前后的结果。

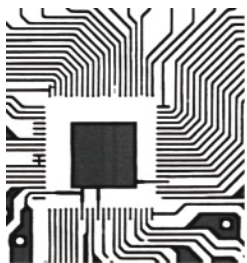
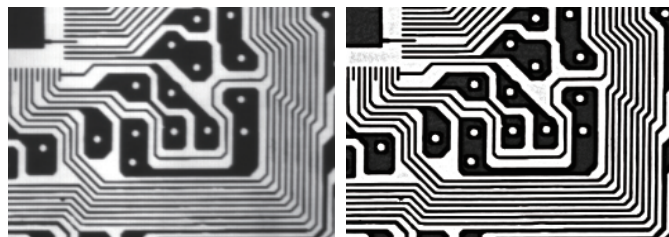


图 5 对图 1 进行增强的结果

Fig. 5 Results of enhanced Fig.1



(a) 原图像

(b) 增强后图像

(a) Original image

(b) Enhanced image

图 6 PCB 图像

Fig. 6 PCB image

3 结论

本文针对 PCB 图像的特点,提出了一种新的图像变换方法——双重 Sigmoid 变换。试验表明,采用该变换对 PCB 图像进行增强,在使边缘尽可能锐化的同时,还有效地抑制了噪声,尤其是靠近边缘的噪声。从而有利于精确定位边缘,对检测边缘上发生的缺陷极为有利;本方法对原图像的清晰度及其均匀性要求不高,对细密的布线区域增强效果很好。为便于编程实现,还导出了 Sigmoid 算子。本方法已在某 PCB 缺陷检测系统中得到应用。

参考文献 (References)

- [1] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. 2nd ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 2002.
- [2] 刘兴森, 王仕成, 赵静. 基于小波变换与模糊理论的图像增强算法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30(4): 183-186.
Liu Xingmiao, Wang Shicheng, Zhao Jing. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 30(4): 183-186.
- [3] Ibrahim Z, Al-Attas S A R. Wavelet-based printed circuit board inspection system [J]. Integrated Computer-Aided Engineering, 2005, 12 (2): 201-213.
- [4] 张波, 李锐华, 彭年才, 等. 基于小波变换的 PCB 缺陷视觉检测技术研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1864-1866.
Zhang Bo, Li Ruihua, Peng Niancai, et al. Journal of System Simulation, 2004, 16(8): 1864-1866.
- [5] 万睿, 李志敏, 林越伟, 等. 一种 PCB 走线质量检测的预处理方法[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2007, 30(6): 15-17.
Wan Rui, Li Zhimin, Lin Yuewei, et al. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2007, 30(6): 15-17.

(责任编辑 孙秀云)