

文章编号 1004-924X(2007)02-0272-05

PCB 走线检测的预处理算法

李志敏,林越伟,黄俊,张凤阳,万睿,张晶,黄凡
(重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室,重庆400044)

摘要:介绍了一种PCB待测图像预处理算法,它包括对待测图像的去噪和二值化分割两个部分。该方法使用Harr小波对待测图像的灰度直方图进行平滑处理来消除其中的“伪谷值点”,再充分利用标准图像的先验信息来确定一个二值化分割阈值的大致范围,最后在这个范围内找到直方图的谷值,这即是所需的阈值。实验表明,该预处理算法能够得到一个满意的图像二值化阈值,处理后的待测图像目标边界清晰,很好地保留了所有走线缺陷,同时消除了大部分可能影响后续匹配的噪声,处理时间也较短,可以达到实时检测的要求。

关键词:预处理;小波变换;先验信息;二值化阈值

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

Preprocess algorithm of PCB line detection

LI Zhi-min, LIN Yue-wei, HUANG Jun, ZHANG Feng-yang,
WAN Rui, ZHANG Jing, HUANG Fan

(*Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems,
Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China*)

Abstract: A preprocess algorithm consisting of denoising and binarization for PCB test image is proposed. The algorithm smooths the gray histogram of the test image with Harr wavelet to remove the “pseudo valley”, and fixes a range of the threshold according to the prior information in the standard image, and then finds out the valley of the histogram in the range and that is the threshold. The experimental results show that the preprocess algorithm is able to obtain a satisfactory threshold for the binarization of the test image. After the preprocess, the objects in the binarized test image have clear boundaries and all the defects are preserved, while the noise which could influence on subsequent processes has been almost removed. In addition, the process speed has met the requirement of the real-time inspection.

Key words: preprocess; wavelet transformation; prior information; threshold

1 引言

随着电子技术的迅速发展,印刷电路板(PCB)的实时检测技术受到 PCB 生产行业的普遍关注。

很多学者对 PCB 的缺陷识别方法作过研究,提出了不少算法^[1-3],归纳起来有三类:参考比较法、非参考校验法和混合法。非参考校验法不需要任何参考图像,它依据预先定义的 PCB 设计规则来判断待检 PCB 是否有缺陷。如果它不符合设计规则,就认为有缺陷。因此,这种方法也称为设计规则校验法。这种方法虽然在检测线宽、线距违例这类缺陷时能够收到很好的效果,但是其算法复杂,运算量大,而且具有易漏检线、焊盘丢失等较大缺陷;参考比较法将待测图像与标准图像进行点对点(或特征对特征)的比较。这种方法的算法简单,容易实现,但是它容易由于小的噪声而造成较高的错报率;混合法是前述两种方法的综合,在一定程度上克服了前两种方法的缺点,但目前这种方法还不是很成熟,且自适应性、系统扩展能力差,算法也较复杂,还不能满足实时检测的要求。

基于以上分析,选用二值图像参考比较法。即将参考图像保存为黑白二值图像;将待测板的灰度图像通过预处理得到二值化图像,再进行对比。由于噪声对该方法的影响很大,所以对于待测板图像的预处理就显得非常关键。该预处理有两个目的^[4],其一是要对采集到计算机的待测板的灰度图像进行二值化处理,其二是要对图像进行去噪处理。

基于以上目的,笔者采用的预处理算法分为两个处理过程:去噪处理和阈值分割处理。

2 预处理算法

图 1 是一幅待测板的图像。它为多层 PCB 中的一层,黑色的为走线,白色的为孔,预处理算法的目的是将黑色的走线部分和背景及孔分开,实现图像的二值化分割,并去除其中的噪声。

2.1 去噪处理

由于图像的采集受各种因素的影响,不可避免的会存在噪声,所以必须要有一个有效的去噪

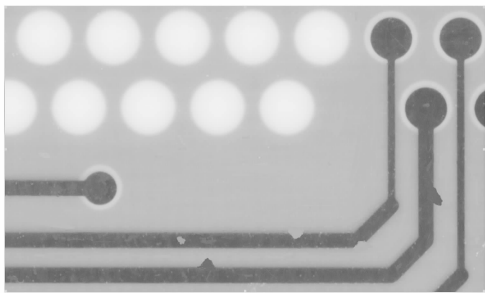


图 1 待测图像(有缺陷的图像)

Fig. 1 Testing image (with defects)

手段来对采集到的图像进行处理。去噪的方法有很多,本算法选取了高斯滤波的方法。

高斯滤波是根据高斯函数来选择权值的线性平滑滤波,它实际是一个低通滤波过程,能够有效地去除图像中服从正态分布的随机噪声。

一维和二维高斯函数表达式分别为:

$$G(x, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-x^2/(2\sigma^2)], \quad (1)$$

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-(x^2 + y^2)/(2\sigma^2)]. \quad (2)$$

将上面的函数表达式离散化后,并令 $\sigma=1$, 得到 3×3 的高斯模板:

1	2	1
2	4	2
1	2	1

图 2 高斯模板

Fig. 2 Gauss template

用该模板对图像作一次卷积,即对图像做了一次高斯滤波。

由于图像的数据量大,采用这种算法不能保证图像处理的实时性。为提高运算速度,需要对算法进行优化。根据高斯函数的可分离性^[5],对图像的二维高斯卷积可等效为一次高斯行卷积和一次高斯列卷积(见图 3)。对于一个 3×3 的二维高斯模板,一次二维卷积的运算量为 9 次乘加,而两次一维卷积的运算量为 6 次乘加。高斯卷积的可分离性可以减小卷积 $1/3$ 的运算量。

2.2 阈值分割处理

传统的基于直方图的图像阈值分割技术的基

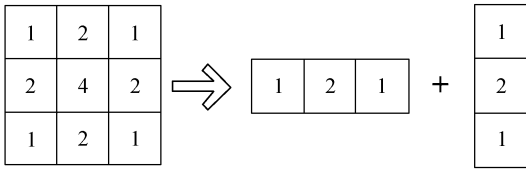


图 3 二维高斯卷积分解为两次一维卷积

Fig. 3 Two-dimensional Gauss convolution can be decomposed into two one-dimensional convolutions

本思想是:图像由可以分离的具有不同灰度等级的一种或多种物体和背景组成,它们在直方图中会呈现多个峰值,每个峰值对应一种物体或是背景,要将不同的物体分离开,可以以谷值点为阈值来划分相邻峰值^[6,7]。如果直方图有明显的谷值点,那么阈值比较容易选择。但是在实际应用中,由于噪声的存在,直方图中有毛刺的现象,这样就会形成“伪谷值点”,所以,很难选取到合适的阈值。

本文利用小波变换的原理对灰度直方图进行处理,处理后的直方图用于阈值分割,能有效地避免噪声的影响^[8]。该方法的基本思想是^[9,10]:原直方图分别经过小波函数对应的高通滤波器 g 和尺度函数对应的低通滤波器 h ,再进行二元采样,可以得到一个代表细节信息(高频)的子图和一个仅保留粗糙信息(低频)的子图,而低频子图又可以进一步的分解,这样就构成了对灰度直方图的一个多分辨率分解。这个过程可以通过图 4 来表示。

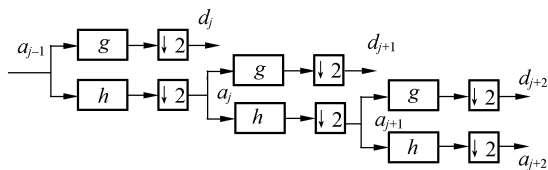


图 4 Mallat 算法示意图

Fig. 4 Mallat algorithm

由图 4 可以得到下面的关系:

$$a_j(2x) = 2^{-1/2} \sum_{n=0} a_{j-1}(x-n)h(n), \quad (3)$$

其中的 j 表示尺度为 2^j 。对直方图做小波变换所得到的低频子图,保留了原直方图波峰、波谷位置的全部信息,并且消除了其中的毛刺。

本算法利用 Harr 小波来进行处理,Harr 小波的尺度函数为 $\phi(x)$:

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & x \in [0, 1) \\ 0 & x \notin [0, 1) \end{cases}, \quad (4)$$

由(4)可以推出 $h(0) = h(1) = 1/2$ 。将其代入式(3)可得:

$$a_j(2x) = 2^{-3/2} (a_{j-1}(x) + a_{j-1}(x-1)), \quad (5)$$

设直方图函数为 $H_0(x)$,它表示每个灰度等级的频度(即像素的个数),其中的 x 范围为 $[0, 255]$ 的整数,它表示灰度等级。它可以被看成是 $j=0$ 级,即尺度为 2^0 的图,利用式(5)可以将其进行逐级分解。由于直方图函数 $H_0(x)$ 长度为 256,是 2 的整数次幂,所以分解的时候不需要做边界处理。

根据实验,当分解到 $j=2$ 时,效果最好。即:

$$H_2(4x) = \frac{1}{8} [H_0(4x) + H_0(4x+1) + H_0(4x+2) + H_0(4x+3)], \quad (6)$$

为了后面的阈值搜索过程更加方便,实验中将由小波分解的子图 $H_2(4x)$ (长度只为原来的 $1/4$) 进行分段线性插值,得到一个变换后的直方图函数 $H[m]$,其长度仍为 256。

变换前的灰度直方图如图 5,变换后的灰度直方图如图 6。图中横坐标为灰度等级,纵坐标为各个灰度等级对应的像素数。

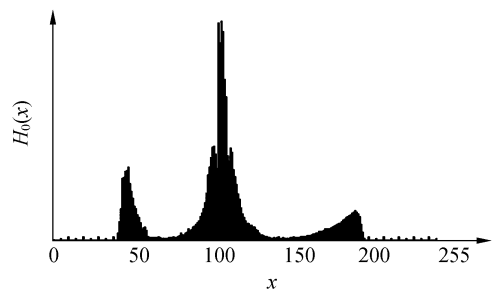


图 5 变换前灰度直方图

Fig. 5 Gray histogram before transformation

比较图 5 和图 6,可以明显看出,图 5 中存在毛刺和“伪谷值点”,图 6 是对图 5 的一个平滑,消除了其中的“伪谷值点”,并且很好地保留了波峰、波谷的位置。

由图 5 和图 6 可以看到,直方图呈明显的三峰特性,而本算法又是使用单一阈值来进行二值化分割,所以在没有先验信息的情况下,就无法知

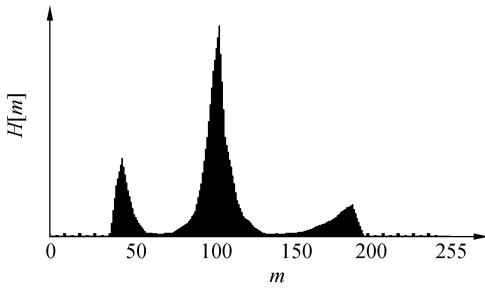


图 6 变换后灰度直方图

Fig. 6 Gray histogram after transformation

道到底哪一个波谷是所需的阈值。这时,就需要用到参考图像中的信息了。

由于参考图像是由计算机直接生成的二值化图像,可以容易得到标准走线在整个图像中所占的面积比 p 。如标准图里走线的灰度等级为 0,背景的灰度等级为 255,于是,可以直接用灰度等级为 0 的像素个数除以图像的大小(以像素为单位)来得到 p 。得到这个值以后,就可以通过对直方图进行扫描来大致确定阈值的范围。

首先,求出所有 $H[m]$ 的和 total,这个值即是图像的总像素个数。因为走线区域由灰度等级最低的像素组成,所以从 $m=0$ 开始对图 6 中的直方图进行扫描^[11],将每个灰度等级的像素数进行累加。在理想情况下,二值化阈值应该是满足 $\sum_{m=0}^T H[m] = p * \text{total}$ 时 m 所对应的值 T 。但是对于一个待测板,由于其缺陷、噪声、及各种图像采集偏差的存在,只能对阈值确定一个搜索范围,根据实验选择范围定为: $[p-0.05, p+0.05]$ 时,可以得到较精确的阈值。然后再在这个范围里面找到像素数最小的灰度等级(直方图的波谷)作为最后的阈值。

搜索阈值范围上下限的流程如下:

(i) 判断 $\sum_{m=0} H[m] \geq (p-0.05) * \text{total}$ 是否成立,若不成立, $m=m+1$,继续执行(i);若成立执行(ii);若 $(p-0.05) \leq 0$, $\min=0$,执行(iii)。

(ii) 将此时 m 的值赋给阈值搜索范围的下限 \min ; $\min=m$,执行(iii)。

(iii) 判断 $\sum_{m=0} H[m] \geq (P+0.05) * \text{total}$ 是否成立,若不成立, $m=m+1$,继续执行(iii);若成立执行(iv);若 $(p+0.05) \geq 1$, $\max=255$ 。

(iv) 将此时 m 的值赋给阈值搜索范围的下限 \max ; $\max=m$;

然后,对 $m \in [\min, \max]$ 的每个 $H[m]$ 进行扫描,找出最小的 $H[m]$,这时,所对应的 m 即是所要求的阈值。

最后根据阈值对图像进行二值化处理。

通过上述步骤之后,可以得到如下得到实验结果(见图 7)。

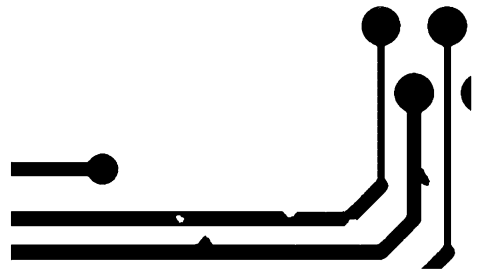


图 7 实验结果

Fig. 7 Results of test

3 结 论

通过图 7 可以看到待测板图像的目标边界清晰,所有缺陷部分都予以很好的保留,而对于可能影响到后续匹配的噪声大都去除了。

笔者通过 Visual C++ 6.0 实现该算法,并在 CPU: Intel P4 XE 3.46G, 内存: 512M DDR400 环境下对图 1 进行了实验,图 1 是一幅 831×460 的图像,整个预处理过程用时 < 10 ms,完全可以达到实时性的要求。实验证明,预处理是有效的,结果令人满意,它为 PCB 的走线检测打下良好的基础。

参考文献:

- [1] DARWISH A M, JIAN A K. A rule based approach for visual pattern inspection[J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 1998; 10(1): 56-68.
- [2] KOO J H, YOO S I. A structural matching for two-dimensional visual pattern inspection [C]. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 1998, 15: 4429-4434.

- [3] YE Q Z, DANIELSSON P E. Inspection of printed circuit boards by connectivity preserving shrinking[J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 1988, 10(5):737-742.
- [4] 周贤, 刘义伦. 炭素制品缺陷的 X 射线自动检测技术研究[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(3):503-508.
ZHOU X, LIU Y L. X-ray automatic inspection techniques for carbon product defects[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3):503-508. (in Chinese)
- [5] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
JIA D Y. *Machine vision*[M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)
- [6] 张涛. 用修正的直方图法进行实时视频图像分割[J]. *光学精密工程*, 1994, 2(5): 93-97.
ZHANG T. Video image segmentation using a modified histogram[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1994, 2(5): 93-97. (in Chinese)
- [7] 徐瑞鑫, 刘伟宁. 基于自适应模板的实时跟踪算法[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(4): 365-420.
XU R X, LIU W N. Adaptive model-based real time tracking algorithm[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(4): 365-369. (in Chinese)
- [8] 王建平, 盛军. 基于小波分析的二值化阈值选取[J]. *合肥工业大学学报*, 2001, 24(4):559-562.
WANG J P, SHENG J. Binary threshold selection based on wavelet analysis[J]. *J. Hefei Univ. Technol.*, 2001, 24(4):559-562. (in Chinese)
- [9] MALLAT S G. A theory for multiresolution signal decomposition; the wavelet representation[J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 1989, 11(7): 674- 693.
- [10] 解成俊, 宋建中, 顾海军. Mallat 算法在图像处理中的约束条件[J]. *光学精密工程*, 2000, 8(5): 416-420.
XIE C J, SONG J ZH, GU H J. Restrained condition of Mallat algorithm in image processing[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000, 8(5): 416-420. (in Chinese)
- [11] 张旭光, 孙巍, 韩广良, 等. 一种弹孔自动识别算法的研究[J]. *光学精密工程*, 2005, 13(6):747-753.
ZHANG X G, SUN W, HAN G L, *et al.*. An automatic recognition algorithm for bullet hole[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(6):747-753.

作者简介:李志敏(1955—),男,重庆人,副教授,主要从事计算机图像处理、机器视觉、光学智能仪器的研究;E-mail:lzm@cqu.edu.cn.

林越伟(1982—),男,重庆人,硕士研究生,主要从事计算机图像处理、机器视觉的研究。