

基于小波包变换与 Wiener 滤波的 SMT 焊点图像去噪技术

赵辉煌¹ 周德俭^{2,3} 吴兆华³

(西安电子科技大学机电工程学院 西安 710071)¹ (广西工学院机械工程系 柳州 545006)²

(桂林电子科技大学机电工程学院 桂林 541004)³

摘 要 针对目前 SMT(surface mount technology)焊点图像去噪效果不理想的问题,提出了一种基于小波包变换与 wiener 滤波的 SMT 焊点图像去噪新方法。利用小波包对图像进行分解,可以同时 SMT 焊点图像的低频和高频部分进行多层分解,有利于保留图像信息,减少噪声对图像的影响。通过对图像的小波包系数的分析,对小波包树高频系数进行 Wiener 滤波,保留低频系数;然后进行小波包反变换,重构得到 SMT 焊点去噪后图像。实验表明,提出的方法不仅可以有效地去除 SMT 焊点图像的噪声,而且能很好地保留原图像的边缘信息,与传统方法相比,去噪性能和去噪效果有一定的提高。

关键词 SMT 焊点,图像去噪,小波包变换,Wiener 滤波

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

SMT Solder Joint Image Denoising Based on Wavelet Packet Transform and Wiener Filter

ZHAO Hui-huang¹ ZHOU De-jian^{2,3} WU Zhao-hua³

(School of Mechano-Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)¹

(Department of Mechanical Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China)²

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)³

Abstract A novel image processing approach was proposed to reduce the noise in surface mount technology(SMT) solder joint image, based on wavelet packet transform and Wiener filter. At first, by the using wavelet packet transform, the approach not only decomposed the image into the low frequency part but also into the high frequency part of image in several scales so that the noise could be eliminated and the image useful information could be reserved. Then, after analyzing the wavelet packet tree coefficients, they were processed with the use of the Wiener filter, and leaved the wavelet packet tree low frequency coefficients without change. At last, the inverse wavelet packet transform was applied to reconstruct the SMT solder joint denoised image. The experimental results have illustrated that the proposed approach can accomplish a better result in image denoising compared with the conventional methods and can retain most image edges.

Keywords Surface mount technology solder joint, Image denoising, Wavelet packet transform, Wiener filter

由表面组装技术(surface mount technology, SMT)形成的电路模块产品,其 SMT 焊点具有既要保障电气性能畅通、又要保障机械连接可靠的特征,它的组装质量与可靠性是 SMT 产品的生命。对 SMT 焊点图像进行分析研究,有利于指导改善 SMT 焊点质量及其焊接工艺,提高 SMT 焊点质量自动检测能力,同时推动智能鉴别技术的发展^[1]。由于在 SMT 焊点图像采集、生成、扫描、传输和变换等过程中都会因各种各样的因素产生不同性质的噪声。这些噪声降低了 SMT 焊点图像质量,使图像变得模糊,甚至还会淹没某些有效特征,给图像分析带来困难。因此,在 SMT 焊点图像研究中,图像去噪十分重要。图像去噪的主要目的是在保留图像原有重要且有效信息的前提下降低或消除噪声,从而获得高质量的图像。传统的 SMT 焊点图像去噪方法主要是根据经

验采用低通滤波或中值滤波去噪^[2],去噪效果不是很理想,并且容易破坏图像的边缘信息。

小波具有低熵性、多分辨率性、去相关性和小波基选择的多样性等其他工具无法比拟的优势^[3]。因此,小波技术在图像去噪中得到了广泛的应用,已成为图像去噪的主要方法之一^[4]。小波包是小波概念的推广,小波包分析(wavelet packet analysis)能够为信号提供一种更加精细的分析方法,由于它不仅将低频带进行多层次划分,而且对多分辨分析没有细分的高频部分也进行进一步的分解,即小波包分析具有能使随着尺度的增大而变宽的频谱窗口进一步分割变细的优良性质,这就克服了正交小波变换的不足。因此小波包技术具有更广泛的应用价值^[5],已被应用到模式识别、图像处理等许多领域^[6,7]。Wiener 滤波器是一种经典的线性平滑滤波器,对

到稿日期:2009-10-20 返修日期:2010-01-26

赵辉煌(1982—),男,博士生,主要研究方向为制造自动化、图像处理, E-mail: zhaohuihuang278@163.com;周德俭(1954—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为制造自动化、微电子制造;吴兆华(1959—),女,教授,主要研究方向为制造自动化。

已知噪声分布的噪声具有能很好的去噪声特性。文中提出一种新的基于小波包理论的 SMT 焊点图像去噪方法,采用小波包技术结合 Wiener 滤波,利用中值绝对方差估计方法估计原图像的噪声,对 SMT 焊点图像去噪。该方法具有既能较好地消除图像中的噪声,又能保留原图像边缘信息的特点,通过实验,与传统方法对比,采用文中提出的方法,去噪性能更好。

1 基于小波包变换与 Wiener 滤波的 SMT 焊点图像去噪原理

1.1 图像小波包变换算法

小波变换中,小波基函数的频域窗口随尺度减小而增大。小波变换具有小尺度大频窗、大尺度小频窗的时频分布规律,适宜于分析任意尺度的信号^[8]。但由于小波变换的多分辨率分解只在 V (尺度)空间进行,即 $V_0 = V_1 \oplus W_1 = V_2 \oplus W_2 \oplus W_1 = \dots$,而没有对 W (小波)空间进行进一步的分解,而通过小波包可以将 W_j 进一步分解^[9]。按照不同的尺度因子,多分辨率分析把 Hilbert 空间分解为所有子空间的正交和。为将小波子空间进行频率细分,一种做法是将尺度子空间 V_j 和小波子空间 W_j 用一个新的子空间 U_j^n 统一起来表示。若令 $U_j^n = V_j \cup W_j$ ($j \in \mathbb{Z}$),则 Hilbert 空间的正交分解 $V_{j+1} = V_j \cup W_j$,即可用 U_j^n 的分解统一为

$$U_{j+1}^n = U_j^n \oplus U_j^n, j \in \mathbb{Z} \quad (1)$$

定义子空间 U_j^n 是函数 $\mu_n(t)$ 的闭包空间,而 U_j^{2n} 是函数 $\mu_{2n}(t)$ 的闭包子空间,并令 $\mu_n(t)$ 满足如下双尺度方程

$$\begin{cases} u_{2n}(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k u_k(2t-k) \\ u_{2n+1}(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k u_k(2t-k) \end{cases} \quad (2)$$

式中, h_k 和 g_k 为多分辨率分析中定义的共轭滤波器, $g_k = (-1)^k h(1-k)$, 即两系数也具有正交关系。当 $n=0$ 时,以上两式直接给出

$$\begin{cases} u_0(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k u_0(2t-k) \\ u_1(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k u_0(2t-k) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\mu_0(t)$ 和 $\mu_1(t)$ 分别为尺度函数和母小波函数,即小波包是由小波进一步推广得到的。

对小波子空间进行二进细分,就可以得到

$$W_j = U_{j-1}^{2k} \oplus U_{j-1}^{2k+1} \oplus \dots \oplus U_{j-1}^{2k+m} \oplus \dots \oplus U_{j-1}^{2k+1}$$

式中, $k=1, 2, \dots, j; j=1, 2, \dots$, 与子空间序列 U_{j-1}^{2k+m} 对应的规范正交基 $\{2^{(j-k)/2} \omega_{2k+m}(2^{j-k}t-l); l \in \mathbb{Z}\}$ 称为小波包基。

SMT 焊点图像的小波包分解可以用一个四叉小波包树来表示,小波包二层分解,如图 1 所示。

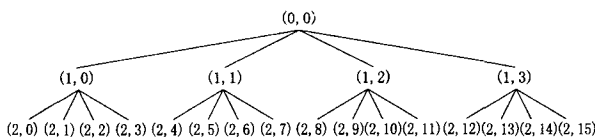


图 1 小波包分解成小波树

对 SMT 焊点图像进行分解,是按小波包分解算法逐层进行分解,其不仅对低频段进行分解,而且对高频段也进行分解。由于通过小波包对 W_j 空间进行进一步的分解,可以提高频率分辨率,因此它不仅是一种比小波多分辨率分析更加精细的分解方法,而且具有更好的时频特性。文中的方法,就是

采用 Wiener 滤波对小波包树中的小波包系数进行处理,结合小波包去噪,从而达到对 SMT 焊点图像去噪的效果。

1.2 图像小波包变换系数的 Wiener 滤波

Wiener 滤波器是一种经典的线性平滑滤波器,是基于最小均方误差原则而得到的一种局部自适应线性滤波器,它能够根据局部方差来调整输出^[10]。在已知噪声分布的情况下, Wiener 滤波具有能很好地滤除高斯噪声的特点。与通常所采用的经验 Wiener 滤波的方法不同,它先充分利用噪声系数分布特点进行 Wiener 滤波,估计出图像的小波包系数 $\hat{W}_f(t)$,再进行小波包重构,实现图像去噪。选取局部邻域大小为 $m \times n$,则图像的区域方差为

$$\sigma^2 = \frac{1}{Q} \sum_{(i,j) \in L} [W_g^2(s, J) - \Gamma^2 W_g(s, J)] \quad (4)$$

式中, L 为所选取的 $m \times n$ 邻域,包含的像素个数为 Q ; $W_g(s, J)$ 是尺度为 s 时的原始图像的小波包系数, $\Gamma W_g(s, J) = \frac{1}{Q} \sum_{(i,j) \in L} W_g(s, J)$, $J=1, 2, 3, N$ 分别表示第 s 层的小波包系数。文中,采用的 Wiener 滤波应用法则如下

$$\hat{W}_f(s, J) = \Gamma W_g(s, J) + \frac{\max(\sigma^2 - v^2, 0)}{\max(\sigma^2 - v^2)} [W_g(s, J) - \Gamma W_g(s, J)] \quad (5)$$

式中, v^2 为噪声系数的方差,采用正交小波变换时计算公式 $v^2 = \sigma^2/s$ 。由于噪声的方差未知,需要先对噪声进行估计。噪声经过小波包变换以后,其能量大部分都集中在高频部分的子图上,因此,可以选用第 1 层小波包分解系数高频部分的子图的方差来估计 σ 。采用鲁棒的中值绝对方差估计^[11]

$$\hat{\sigma} = \frac{\text{Median}(|c_{1,k}(s)|)}{0.6745} \quad (6)$$

式中, $c_{1,k}$ 为第 1 层小波包分解系数; $k=1, 2, 3, 4$; 0.6745 为高斯白噪声标准偏差调整系数。

2 基于小波包变换与 Wiener 滤波的 SMT 焊点图像去噪算法

经小波包分解后, SMT 焊点图像被分解成高频部分、低频部分, SMT 焊点图像噪声主要集中在高频部分,而图像有用信息主要集中在低频部分。传统采用阈值的方法可以把图像系数保留,而把大部分噪声系数减少至零。所以在实际应用中选取合适的阈值对小波包分解系数进行量化处理,将小于或等于阈值的小波包系数作为零处理。因此,阈值选择得当与否直接影响去噪算法的有效性。阈值选择过大,使得过多的小波包分解系数被置为零,就破坏了过多的图像细节;阈值过小,又不能达到预期的去噪效果^[12]。文中根据图像在各个频带上的小波包分解系数的不同表现,对小波包系数进行处理。首先用小波包对 SMT 焊点图像进行分解,生成小波包树,使用中值绝对方差估计方法对第 1 层小波包分解系数高频部分的子图的方差来估计噪声;然后采用 Wiener 滤波对小波包高频系数进行处理,得到新的小波包系数,最后利用小波包重构图像,对图像进行第二次去噪处理,最终得到 SMT 焊点去噪图像。

基于小波包变换结合 Wiener 滤波方法的 SMT 焊点图像去噪算法如下:

(1) 小波包分解。选择小波包分解的最高层次 N , 计算图像在各层的小波包系数。

(2)图像噪声估计。结合鲁棒的中值绝对对方差估计,对 SMT 焊点图像的噪声系数进行估计。

(3)小波包高频系数 Wiener 滤波。利用 Wiener 滤波方法,对 SMT 焊点图像小波包系数的高频部分进行滤波处理。

(4)小波包重构。根据计算得到的第 N 层的小波包重构系数,进行图像的小波包重构,对 SMT 焊点图像进行第二次去噪处理,得到去噪后的 SMT 焊点图像。

基于小波包变换与 Wiener 滤波的 SMT 焊点图像去噪算法流程如图 2 所示。

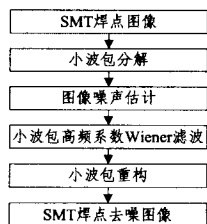


图 2 基于小波包变换与 Wiener 滤波的 SMT 焊点图像去噪算法流程

3 实验比较

为了对各种方法的去噪效果进行评价,先给出去噪质量的评价标准。评价方法分为主观评价和客观评价。主观评价有两种:一是作为观察者的主观评价,简单有效;二是模糊综合评判的方法,它往往依赖于专家经验的确定。常见的客观

的评价标准有最小均方误差(minimize the mean squared error, MSE)、信噪比(signal to noise ratio, SNR)和峰值信噪比(peak signal to noise ratio, PSNR)。其定义(设图像尺寸为 $M \times N$)如下

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\hat{f}(i, j) - f(i, j))^2 \quad (7)$$

$$SNR = 10 \lg \left(\frac{\sigma_f^2}{MSE} \right) \quad (8)$$

$$PSNR = 10 \lg \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (9)$$

式中, $\hat{f}$ 为重建图像, f 为原图像未含噪声, $\sigma_f^2 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f^2(i, j)$ 。这里采用 MSE 和 PSNR 作为客观评价指标。

为比较其它方法与本文提出的方法的去噪效果,以“Lena”图像(512×512)作为测试对象,添加高斯噪声 $N(0, \sigma^2)$ 。对含有不同程度噪声的“Lena”图像通过不同去噪方法去噪得到相应最小均方差和信噪比,以此比较不同方法的去噪性能。对于加噪图像,分别采用以下方法进行去噪:文献[2]所描述的是中值滤波、Wiener 滤波、Wavelet 软阈值、Wavelet packet 软阈值以及本文方法,其中采用小波为 sym8 正交小波, Wavelet 软阈值采用小波二层分解, Wavelet packet 软阈值采用小波包二层分解,中值滤波和 Wiener 滤波的滤波器窗口选择 3×3 大小。所得结果如表 1 所列。

表 1 几种方法的去噪性能比较

Methods	$\sigma=10$		$\sigma=15$		$\sigma=20$		$\sigma=25$		$\sigma=30$	
	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR	MSE	PSNR
中值滤波	39.2312	32.1945	62.1124	30.1990	92.8929	28.4510	131.6136	26.9378	178.5393	25.6135
Wiener 滤波	35.1427	32.6724	48.5501	31.2689	64.9462	30.0053	84.4456	28.8650	107.2664	27.8262
Wavelet 软阈值	59.3197	30.3988	75.3908	29.3576	91.0023	28.5403	107.6378	27.8112	126.1195	27.1230
Wavelet packet 软阈值	34.5687	32.7440	51.7586	30.9910	70.6013	29.6427	91.4547	28.5187	114.6041	27.5388
本文方法	33.065	32.937	45.775	31.525	59.266	30.403	73.392	29.474	88.259	28.673

从表 1 可以比较出,采用本文得出的去噪方法,图像的最小均方差和信噪比都有较好的提高,本文提出的方法去噪性能比其它传统几种方法都要好。

4 SMT 焊点图像去噪结果

文中选取 0805 片式电阻焊点作为对象,通过 CCD 图像采集设备,采集到的相应的 SMT 焊点及电阻图像如图 3 所示。从图中可以看出,焊点表面存在很多噪点。文中小波包变换使用 sym8 正交小波,通过比较,选择 2 层小波包分解, Wiener 滤波的滤波器窗口选择为 3×3 大小。然后,根据前面所描述的基于小波包的 SMT 焊点图像去噪原理,按照图 2 所示的 SMT 焊点图像去噪算法流程,得到 SMT 焊点去噪图像,结果如图 4 所示。



图 3 SMT 电阻及焊点图像

图 4 基于小波包变换与 Wiener 滤波 SMT 焊点图像去噪结果

由图 4 与图 3 比较可以得出,图 4 中的左、右两个焊点的大部分噪点已消除,其中包括右边焊点亮的部分中的几个噪点,去噪目的达到,并且边缘信息保存良好。

对于图 3 所示的 SMT 电阻及焊点图像,分别采用中值滤波(窗口大小 3×3)、Wiener 滤波(窗口大小 3×3)、小波软阈值和小波包软阈值方法进行去噪,并以此比较它们去噪效果,去噪结果分别如图 5—图 8 所示。



图 5 基于中值滤波 SMT 焊点图像去噪结果

图 6 基于 Wiener 滤波 SMT 焊点图像去噪结果



图 7 基于小波软阈值 SMT 焊点图像去噪结果

图 8 基于小波包软阈值 SMT 焊点图像去噪结果

采用文献[2]所描述的中值滤波方法,对图 3 进行去噪处理,其结果如图 5 所示。由图 5 可以得出,中值滤波方法去除小的噪点有一定的效果,但对于相对较大的噪点,去除效果不是很好,仍被保留在图像中,其中包括右边焊点亮的部分中的一些高斯噪点。

对于右边焊点,由图 6,图 7 与图 4 比较可以得出,焊点

(下转第 286 页)

到其他类视频。因为采用了运动补偿,所以对视频帧间的运动具有较强的鲁棒性,例如在广告视频片段2中有一段汽车广告的视频帧间的运动幅度较大,但是并不影响检测效果。

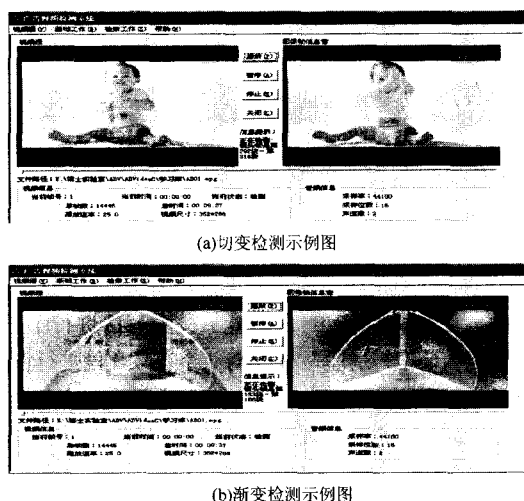


图9 基于本文算法的镜头分割示意图,其中图(a)检测出的是一个切变,图(b)检测出的是一个渐变

结束语 镜头分割是视频检索的重要的结构化基础。本文针对广告视频提出了一种镜头分割算法。首先对视频中的图像帧进行运动补偿,然后在此基础上计算两帧图像间的像素值不变点数,并基于滑动窗口获得局部自适应的双阈值,对镜头的切变和渐变进行检测。实验证实该算法不仅能有效地检测切变和渐变,而且还可以推广到其他类视频,为后续的广

告视频检索提供视频结构化基础。

参考文献

- [1] Cao J R, Cai A N. Algorithm for Shot Boundary Detection Based on Support Vector Machine in Compressed Domain[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(1): 203-208
- [2] Zhang N, Xiao G Q, Jiang J M, et al. BPNN Algorithm towards Shot Boundary Detection[J]. Journal of Computer Application, 2009, 29(5): 1369-1372
- [3] Zhi M, Cai A N. Shot Boundary Detection with Main Color[J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 33(6): 654-657
- [4] Zhao N, Lv N, Liu H Y. Content-Based Cut Shot Detecting Algorithm of NewsVideo[J]. Journal of Jilin University: Information Science Edition, 2009, 27(1): 50-55
- [5] Zhang H J, Kankanhalli A, Smoliar S W. Automatic partitioning of full motion video[J]. Multimedia System, 1993, 1(1): 10-28
- [6] Wang J Y, Luo W. A Self-adapting Dual-threshold Method for Video Shot Transition Detection[C]//IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. 2008, 4: 704-707
- [7] Ma K K, Hosur P I. Performance Report of Motion Vector Field Adaptive Search Technique (MVFAST) [R]. MPEG2000/M5851. 2000
- [8] Zhu S, Ma K K. A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(2): 287-290
- [9] Zhuang Y T, Pan Y H, Wu F. Web-based Multimedia Information Analysis and Retrieval[M]. Beijing: Tsinghua University Publishing House, 2002, 9: 76
- [10] 熊江. 基于小波变换的图像去噪[J]. 计算机科学, 2007, 34(7): 232-234
- [11] Pajares G. A wavelet based image fusion tutorial [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(9): 1855-1872
- [12] 江泽民, 徐德, 杨月全, 等. 基于小波包分解的图像清晰度判定[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(6): 717-722
- [13] Tikkanen P E. Nonlinear wavelet and wavelet packet denoising of electrocardiogram signal [J]. Biological cybernetics, 1999, 80(4): 259-267
- [14] Jorge S, Narayanan, Shrikanth S. Discriminative Wavelet Packet Filter Bank Selection for Pattern Recognition [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57(5): 1796-1810
- [15] Brechet L, Lucas M F, Doncarli C, et al. Compression of Biomedical Signals With Mother Wavelet Optimization and Best-Basis Wavelet Packet Selection [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2007, 54(12): 2186-2192
- [16] Cristan A C, Walden A T. Multitaper Power Spectrum Estimation and Thresholding: Wavelet Packets Versus Wavelets [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(12): 2976-2986
- [17] Ercelebici E, Koc S. Lifting-based wavelet domain adaptive Wiener filter for image enhancement [J]. IEEE proceedings. Vision, image and signal processing, 2006, 153(1): 31-36
- [18] Hu Shaoxiang, Liao Zhiwu. Signal denoising using wavelet packet hidden Markov model [C]//2004 International Conference on Communications, Circuits and Systems. Wuhan, 2004: 751-755
- [19] Toliyat H A, Abbaszadeh K, Rahimian M M, et al. Rail Defect Diagnosis Using Wavelet Packet Decomposition [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2003, 39(5): 1454-1461
- [20] 周德俭, 黄春跃, 吴兆华, 等. SMT 焊点虚拟成形和 SMT 产品虚拟组装技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(8): 1267-1272
- [21] Kong Fanhui, Wang Yongxin. Reconstruction of solder joint surface based on shape from shading [C]//IEEE Third International Conference on Natural Computation. New York, 2007: 58