

文章编号:1004-4213(2011)07-1046-5

一种改进的球栅阵列封装焊点射线图像阈值分割算法

李伟^{a,b},张硕^a

(长安大学 a. 信息工程学院; b. 陕西省工程研究中心,西安 710064)

摘 要:球栅阵列封装焊点的射线图像具有信噪比差、背景不均匀等特点,故传统的阈值分割方法无法将目标焊点与背景图像很好的分割. 本文通过对球栅阵列封装焊点射线图像直方图的分析,利用了自适应维纳滤波对阈值分割前的图像进行了预处理. 根据图像的差异来调整该滤波器的参量,对局部差异大的地方进行小的平滑操作,对局部差异小的地方进行大的平滑操作. 在最大类间方差法的基础上,对分割后的图像进行了进一步的分析并提出了改进的二次分割方法. 改进的方法为并不直接通过 OTSU 法进行二值化处理来去除背景,而是在阈值分割得到的两个灰度级内通过计算中值和统计最大灰度像素的方法得到了更优化的阈值,使得去除背景后的焊点图像整体更加清晰和均匀. 在背景灰度级内寻找了一个合适的灰度级作为处理后的灰度图像新背景,实验证明该方法明显改进了传统最大类间方差法对球栅阵列封装焊点射线图像的阈值分割效果.

关键词:球栅阵列封装; X 射线; 阈值分割; 维纳滤波

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20114007.1046

0 引言

在数字电路功能日益强大的今天,高密度的球栅阵列封装(Ball Grid Array, BGA)形式已经被广泛的应用在各种高端的半导体芯片上. 在 BGA 器件焊接好后,传统的可见光检测方法不能够看到封装后芯片内部的线路虚焊、桥接等问题. X 射线数字化成像技术是解决这一问题的关键. 目前应用图像阈值分割技术可以减少 X 射线数字成像系统成像过程中由于硬件设备问题所产生的噪点^[1],并且可以使图像明暗不均匀程度得到很好地改善^[2].

根据图像本身的特点以及处理要求的不同,可有多种阈值选择方法,大体归纳为三类:1)基于点的全局阈值方法;2)基于区域的全局阈值方法;3)局部阈值方法和多阈值方法^[3-5]. 全局阈值分割方法在图像处理中应用比较多,它在整幅图像内采用固定的阈值分割图像. 经典的阈值选取以灰度直方图为处理对象. 根据阈值选择方法的不同,可以分为模态方法、迭代式阈值选择等方法. 这些方法都是以图像的直方图为研究对象来确定分割的阈值的. 日本学者 OTSU 提出的最大类间方差法是基于二维直方图

的,又称为 OTSU 法. 该方法是一种自动的无监督无参量的,并且是在判决分析最小二乘法原理的基础上推导得出的阈值分割方法^[6-9]. 一维 OTSU 法具有模式别的理论基础和良好的分割性能,因而在众多的阈值分割方法中,是最为流行的阈值化方法之一.

1 基于最大类间方差的阈值分割

1.1 阈值分割原理

阈值分割法是一种基于区域的图像分割技术,其基本原理是:通过设定不同的特征阈值,把图像像素点分为若干类. 在实际过程中,图像目标和背景之间并不具备截然不同的灰度,随着成像系统参量的变化,目标和背景的亮度均要发生变化. 因此阈值的正确选择十分重要,直接影响着目标分割的准确度及图像描述分析的正确性.

最简单的阈值分割灰度图像的方法为:首先对一幅灰度取值在 g_{\min} 和 g_{\max} 之间的图像确定一个灰度阈值 $T(g_{\min} < T < g_{\max})$,然后将图像中每个像素的灰度值与阈值 T 相比较,并将对应的像素根据比较结果(分割)划为两类:像素的灰度值大于阈值的

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(No. CHD2009JC080)、长安大学基础研究支持计划专项基金和陕西省工程研究中心开放基金资助

第一作者:李伟(1981-),男,讲师,博士,主要研究方向为 X 射线数字成像及其图像处理技术. Email:grandy@chd.edu.cn

收稿日期:2010-12-10; **修回日期:**2011-01-22

为一类,像素的灰度值小于阈值的为另一类.这两类像素一般对应图像中的两类区域.

阈值法是一种传统的图像分割方法,因其实现简单、计算量小、性能较稳定而成为图像分割中最基本和应用最广泛的分割技术,已被应用于很多的领域.本文研究的通过 X 射线成像系统的 BGA 焊点数字图像符合图像分割的特点,其中 BGA 焊点可看作是目标,其他部分可看作背景来进行分割.

1.2 用于阈值分割的 X 射线图像预处理

在 X 射线数字化成像系统中,由于系统随机噪声和系统固有噪声原因造成的图像质量下降^[1],不是所有的射线图像的灰度直方图都能呈现出双峰.当图像背景区域的明暗度比较不均匀时,灰度直方图的波谷可能并不明显,灰度直方图出现多峰现象,如图 1 和图 2.图 1 是一幅 BGA 焊点图像,图 2 为其灰度直方图,明显可看出其灰阶很不丰富,而且在灰度值为 0 处有大量像素,并且在高灰阶部分存在多峰.因此直接对这类图像直接进行阈值分割,必定无法达到预期效果.

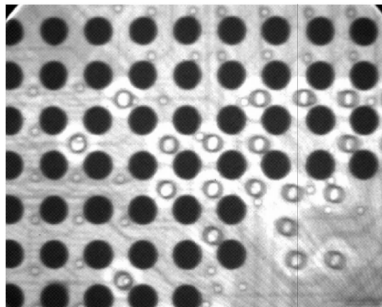


图 1 BGA 焊点的 X 射线数字化图像
Fig. 1 The digital X-ray image of BGA

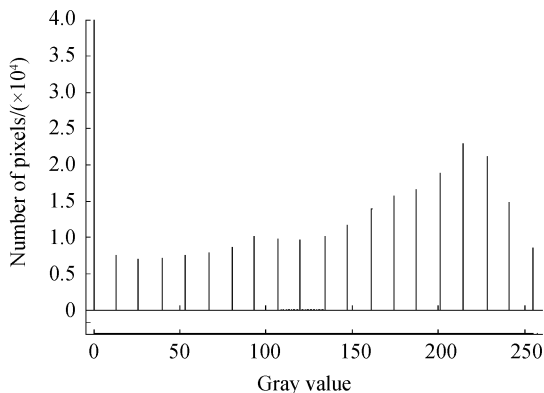


图 2 BGA 焊点图像的灰度直方图
Fig. 2 The gray histogram of BGA X-ray digital image

为了能使阈值分割方法能适用于背景灰度不均匀的射线图像,需要先对图像进行预处理,使图像的灰度直方图得到变换,然后再进行图像分割.本文选用自适应维纳滤波对原始图像进行处理.维纳滤波器是典型的线性降噪滤波器,如式(1).它是一种自适应滤波,是滤波后图像与原图像之间的均方误差

相对较小的滤波器之一.

$$\begin{aligned} \min MSE = \min E \{ e^2(x, y) \} = \\ \min E \{ \hat{f}(x, y) - f(x, y) \}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

对图像进行维纳滤波主要是为了降低图像背景中的灰度不均匀性,该滤波器根据图像的差异来调整该滤波器的参量,对局部差异大的地方进行小的平滑操作,对局部差异小的地方进行大的平滑操作.该方法的滤波效果比线性滤波效果好,对保留图像的边缘部分和其他高频部分很有用.

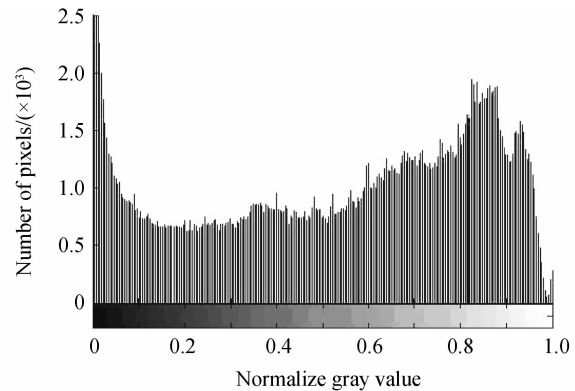


图 3 多次维纳滤波后灰度直方图
Fig. 3 The gray histogram of BGA X-ray digital image after multi-wiener filtering

1.3 OTSU 阈值分割法

根据射线图像的灰度特征,OTSU 法将射线图像划分为目标和背景两部分.目标和背景之间的类间方差越大,说明构成图像的两部分的差别越大^[2].当部分背景错分为目标或部分目标错分为背景时都会导致两部分的差别变小.因此,类间方差最大的分割意味着最小的错分概率,并且根据该准则选取最佳阈值使得目标和背景之间的分离性最好.

设 F 是一幅具有 L 灰度级的图像,图像总的像素点个数为 N ,灰度级 i 为的像素点数为 N_i ,即

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} N_i \quad (2)$$

灰度级为 i 的像素点出现的概率定义为

$$P_i = \frac{N_i}{N}, P_i \geq 0, \sum_{i=0}^{L-1} P_i = 1 \quad (3)$$

假设根据阈值 k ,按照图像灰度级将各像素分成目标类 C_0 和背景类 C_1 .其中, C_0 类的像素灰度级为 0 到 k , C_1 类的像素灰度级为 $(k+1)$ 到 $(L-1)$.因此,目标类 C_0 和背景类 C_1 各自出现的概率及均值由式(4)~(7)定义

$$\omega_0 = P_r(C_0) = \sum_{i=0}^k P_i = \omega(k) \quad (4)$$

$$\omega_1 = P_r(C_1) = \sum_{i=k+1}^{L-1} P_i = 1 - \omega(k) \quad (5)$$

$$\mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^k iP_i}{\omega_0} = \frac{\mu(k)}{\omega(k)} \quad (6)$$

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=k+1}^{L-1} iP_i}{\omega_1} = \frac{\mu_T(k) - \mu(k)}{1 - \omega(k)} \quad (7)$$

式中 C_0 的出现概率是 ω_0 , C_0 的平均灰度级为 μ_0 ; C_1 的出现概率是 ω_1 , C_1 的平均灰度级为 μ_1 , 式中

$$\mu(k) = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i \quad (8)$$

$$\mu_T(k) = \mu(L-1) = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i \quad (9)$$

根据推算可以得出, 对于任何 k 值式(10)都能成立

$$\omega_0\mu_0 + \omega_1\mu_1 = \mu, \omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (10)$$

C_0 和 C_1 的方差可由式(11)和(12)求得

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^k (i - \mu_0)^2 P_r(i|C_0) = \sum_{i=0}^k (i - \mu_0)^2 \frac{P_i}{\omega_0} \quad (11)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 P_r(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^{L-1} (i - \mu_1)^2 \frac{P_i}{\omega_1} \quad (12)$$

类内方差定义为

$$\sigma_w^2 = \omega_0\sigma_0^2 + \omega_1\sigma_1^2 \quad (13)$$

类间方差定义为

$$\sigma_k^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (14)$$

总体方差定义为

$$\sigma_T^2 = \sigma_k^2 + \sigma_w^2 \quad (15)$$

引入一些评判的函数, 用来评估阈值的优劣

$$\lambda = \frac{\sigma_k^2}{\sigma_w^2}, \kappa = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_k^2}, \eta = \frac{\sigma_k^2}{\sigma_T^2} \quad (16)$$

这里将 λ , κ 和 η 定为最大判决准则, 这三个准则能够得到最佳阈值 k , 使得 C_0 和 C_1 之间分离性最好, 并且彼此是等价的. 由于 σ_k^2 是基于二阶统计特性, σ_w^2 是基于二阶统计特性, 而 σ_T^2 与 k 值无关, σ_k^2 和 σ_w^2 是阈值 k 的函数, 因此三个准则中 η 最为简便, 所以选用其作为准则可得最佳阈值 k . 令 k 从 1 到 L 变化, 计算不同 k 值下的类间方差 $\sigma_k^2(k)$, 使 $\sigma_k^2(k)$ 最大值 k 值就是所求的最优阈值, 即

$$k = \text{Argmax}\{\sigma_k^2(k)\} \quad 0 \leq k < L \quad (17)$$

图 4 为未经阈值分割的 BGA 焊点图像, 图 5 为 OTSU 阈值分割后的 BGA 焊点图像.

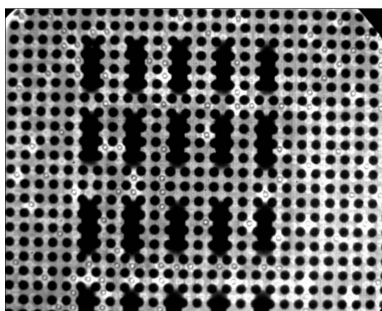


图 4 未经阈值分割的 BGA 焊点图像
Fig. 4 The original BGA X-ray digital image



图 5 OTSU 法处理后焊点图像
Fig. 5 The X-ray digital image after OTSU threshold segmentation

2 改进的 OTSU 阈值分割法

由于传统 OTSU 法只是一个单阈值的分割方法, 在使用该算法将图像分为两个类之后, 对于这两个类内的目标将不再进行区分. 但是在这两个类内有可能存在另外需要区分的目标, 那么就需要对这两个类进行进一步的分割. 如果不再进行进一步的分割, 则对于某些背景灰度与目标灰度相近的 BGA 焊点射线图像的阈值分割效果不尽人意, 如图 6 和图 7.

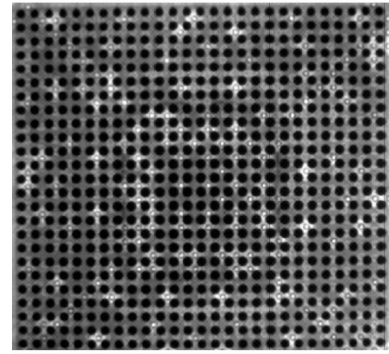


图 6 未处理的 BGA 焊点图像
Fig. 6 The original BGA X-ray digital image

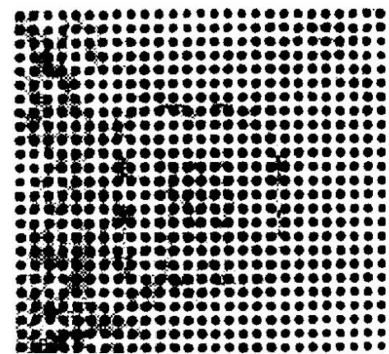


图 7 OTSU 法处理后焊点图像
Fig. 7 The X-ray digital image after OTSU threshold segmentation

针对直接对 BGA 焊点射线图像进行 OTSU 算法分割的缺陷, 本文将 OTSU 阈值分割法改进:

1) 首先全局范围内利用 OTSU 法求得阈值 k , $0 \leq k < 255$; 2) 在 0 到 k 灰度级范围内, 寻找出现概

率不为 0 的最小灰度值 st 和概率不为 0 的最大灰度值 nd , 然后计算出灰度范围的中值 k' 作为新的全局阈值; 3) 在 k' 到 255 灰度级范围内, 提取该图像的直方图中纵坐标与横坐标, 并找到纵坐标最大值, 即直方图峰值, 也就是 k' 到 255 灰度级范围内最多的图像像素点个数 N_m , 并利用 N_m 寻找到其对应的灰度级 m ; 4) 将 k' 到 255 灰度级范围内的所有像素的灰度级统一为灰度级 m .

上述四步以一维 OTSU 阈值分割法为基础, 求出阈值后并不是单纯的进行图像二值化, 而是考虑到预处理后的灰度图像边缘仍然存在少许焊点目标和背景之间明暗模糊的问题, 因而在需要保留的焊点目标灰度级内进行了再次阈值选取, 已达到更好地去除背景效果, 并且在背景灰度级内寻找一个合适的灰度级作为处理后的灰度图像的新背景, 使得去除背景后的数字焊点图像整体更加清晰和均匀, 如图 8.

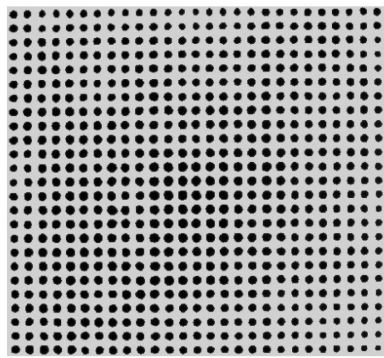


图 8 改进分割算法后的 BGA 焊点图像

Fig. 8 The X-ray digital image after improved OTSU threshold segmentation

3 结论

传统的阈值分割方法通过 OTSU 法来确定焊点图像的灰度直方图中峰谷位置, 但是在实际的阈值分割过程中, 有些目标焊点和背景间明暗度模糊或不均匀, 以致其灰度直方图双峰并不明显. 针对这种情况本文提出了一种改进的阈值分割方法, 在分割之前对图像做自适应维纳滤波预处理, 使得焊点图像灰度直方图中双峰更明显, 效果较好. 接下来, 并没有直接通过 OTSU 法进行二值化处理来去除

背景, 而是在阈值分割得到的两个灰度级内通过计算中值和统计最大灰度像素的方法得到了更优化的阈值, 使得去除背景后的焊点图像整体更加清晰和均匀.

参考文献

- [1] JIANG J A, CHANG H Y, WU K H. An adaptive image segmentation algorithm for X-ray quarantine inspection of selected fruits[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, **60**(2): 190-200.
- [2] BHATTACHARYA M, DAS A. Fuzzy logic based segmentation of microcalcification in breast using digital mammograms considering multiresolution[C]. *Machine Vision and Image Processing Conference*, Kildare, 2007: 98-105.
- [3] LENOIR N, BORNERT M, DESRUES J. Volumetric digital image correlation applied to X-ray microtomography images from triaxial compression tests on argillaceous rock[J]. *An International Journal for Experimental Mechanics*, 2007, **43**(3): 193-205.
- [4] ZHAO Bao-sheng. Image quality appraisal of the X-ray image intensifier[J]. *Acta Photonica Sinica*, 1991, **20**(3): 292-299. 赵宝升. X 射线像增强器像质评价[J]. *光子学报*, 1991, **20**(3): 292-299.
- [5] WANG Hai-yang, PAN De-lu, XIA De-shen. A fast algorithm for two-dimensional OTSU adaptive threshold algorithm[J]. *Automatica Sinica*, 2007, **33**(9): 968-971. 汪海洋, 潘德炉, 夏德深. 二维 OTSU 自适应阈值选取算法的快速实现[J]. *自动化学报*, 2007, **33**(9): 968-971.
- [6] FAN Jiu-lun, ZHAO Feng. Two-dimensional OTSU's curve thresholding segmentation method for gray-level images[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2007, **35**(4): 751-755. 范九伦, 赵凤. 灰度图像的二维 OTSU 曲线阈值分割法[J]. *电子学报*, 2007, **35**(4): 751-755.
- [7] HAO Ying-min, ZHU Feng. Fast algorithm for two-dimensional OTSU adaptive threshold algorithm[J]. *Chinese Journal of Image and Graphics*, 2005, **10**(4): 484-488. 郝颖明, 朱枫. 2 维 OTSU 自适应阈值的快速算法[J]. *中国图象图形学报*, 2005, **10**(4): 484-488.
- [8] WU Yi-quan, WU Wen-yi, PAN Zhe. A fast iterative algorithm for image segmentation based on 2D maximum between-cluster variance[J]. *Chinese Journal of Stereology and Image Analysis*, 2007, **12**(3): 216-220. 吴一全, 吴文怡, 潘喆. 二维最大类间方差阈值分割的快速迭代算法[J]. *中国体视学与图像分析*, 2007, **12**(3): 216-220.
- [9] TANG Ying-gan, LIU Dong, GUANG Xin-ping. Fast image segmentation based on particle swarm optimization and two-dimension OTSU method[J]. *Control and Decision*, 2007, **22**(2): 202-205. 唐英干, 刘冬, 关新平. 基于粒子群和二维 OTSU 方法的快速图像分割[J]. *控制与决策*, 2007, **22**(2): 202-205.

An Improved Thresholding Segmentation Algorithm of Ball Grid Array X-ray Digital Image

LI Wei^{a,b}, ZHANG Shuo^a

(a. *School of Information Engineering*; b. *Shaanxi Engineering Research Centre, Chang'an University, Xi'an 710064, China*)

Abstract: The X-ray image of BGA has low SNR characteristic and nonuniformity characteristic. Traditional threshold segmentation is unable to segment BGA solder from background accurately. By analyzing of the histogram of the BGA X-ray image, Wiener filtering was used in the image preprocessing procedure. The filter parameter was adjusted for different images. Low and high smooth operations were used in minor and bigger differences, respectively. OTSU method was implemented to select a initial threshold, and an improved threshold segmentation algorithm was used to segmented images based OTSU method. It meanted that the BGA image would not be processed directly by OTSU method. In fact, a better threshold would be found by calculating the mean value and calculating the max statistic of pixels. A new pixel value was chosen to replace all pixels value of the background in BGA image. The experimental results show that this algorithm improves the segmented effect compared with the traditional OTSU method.

Key words: BGA; X-ray; Threshold segmentation; Wiener filtering