

文章编号: 1000-5862(2016)04-0400-04

基于无损探伤的高精度电路板缺陷检测系统

程 磊¹, 田丽芳²

(1. 黄淮学院电子科学与工程系, 河南 驻马店 463000; 2. 黄淮学院信息工程学院, 河南 驻马店 463000)

摘要: 为了实现电路板焊盘、焊点焊接情况的快速缺陷分析, 采用无损探伤技术结合大比例成像结构设计了高精度电路板缺陷检测系统. 系统由 X 射线机、MV-M1000 型高分辨率图像采集卡以及 MN39750PA 型 CCD 探测器构成. 在分析了无损探伤基本原理的基础上, 设计了大比例电路板成像结构, 并提出了累计采样降噪算法. 针对存在焊接问题的电路板进行实验, 实验结果显示: 通过无损探伤系统可以清楚地观察电路板的焊接情况. 经光学系统计算分析可知, 对缺陷的检测精度可达 $30\ \mu\text{m}$, 可以有效地满足工业应用等的设计要求.

关键词: 无损探伤; 缺陷检测; 高精度; 累计采样降噪算法

中图分类号: TP 274 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2016.04.14

0 引言

随着电子仪器、电子设备等的不断更新换代, 电路板的大规模生产也成为时代的趋势^[1-2]. 为了保证电路板焊接的质量, 各种各样的电路板检测系统也应运而生, 对电路板的焊接情况给出分析成为了工业生产的重要保障手段^[3].

对电路板焊接的检查主要就是针对焊接过程中产生的虚焊、短路的检测, 保证每块电路板正常稳定的工作. 对于虚焊漏焊的情况而言, 往往肉眼是无法识别的, 尤其是针对焊接过程中细小的损伤^[4-5]. 其中, 球栅阵列结构的电路板在检测过程中更是如此, 而在集成电路中这类问题造成的电路问题也是较常见的. 传统的检测方法常常要将电路板破坏后才能进行全面的检测, 或者需要外接测试电路, 一点一点地排除缺陷位置, 这样的工作效率是非常低的. 在大规模生产过程中无法实现实时检测^[6]. 所以, 设计一种高精度实时电路板无损探伤系统具有非常实际的应用意义.

因此, 本文设计了一种大比例电路板成像结构, 开发了累计采样降噪算法, 克服了传统等比例成像需要扫描的缺点, 并且采用累计采样降噪算法避免了图像细节部分被噪声湮没的情况, 可以获得更好

的检测效果. 实现了对电路板进行无损探伤, 可以实时获取电路板的焊接影像, 从而分析电路板的焊接情况. 结合累计采样降噪算法完成图像中缺陷信息的有效提取, 并计算分析缺陷的具体尺寸及位置, 使系统在不破坏电路板的条件下完成电路板焊接质量的实时检测.

1 系统总体设计

系统由 X 射线机、被测电路板、图像增强器、CCD 探测器、图像采集卡以及电脑构成, 其工作原理框图如图 1 所示. 由于 X 射线为不可见光, 系统采用图像增强器和 CCD 探测器联用的方法将携带电路板焊接信息的 X 射线能量分布转化成灰度数据图像. 最后, 通过图像分析软件对电路板灰度图像进行分析处理, 从而获得电路板的焊接信息.

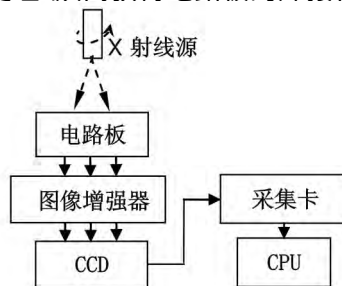


图 1 高精度无损探伤原理结构图

收稿日期: 2016-02-17

基金项目: 河南省科技厅重点攻关计划(132102210523)资助项目.

作者简介: 程 磊(1981-), 女, 湖北黄梅人, 讲师, 主要从事电子应用技术和计算机自动控制等研究.

X射线是通过高压电子束照射金属钨获得的,由于X射线具有穿透能力强的特点,所以采用X射线做电路板检测的光源可以将肉眼不可见的虚焊、焊点中的气泡都检测出来,通过检测X射线的强度可以得到被测位置上的焊接情况^[7-8]。携带了被测电路板焊接信息的X射线由微通道板图像增强器放大,转变成可见光灰度图像输出。再利用高性能CCD探测器采集可见光图像,最终通过计算机显示出来。

2 大比例成像结构

2.1 成像机理

给电路板照X射线所得的灰度图像效果与光源的位置、距离、角度等均有较大的关系^[9]。为了提高检测精度,获得电路板中焊接数据,设计了大比例成像方法。在传统的成像方法上作出改进,利用投影关系,放大了被测电路板的细节部分,使焊接情况更便于观察。该大比例成像结构的比例系数与CCD探测器像元尺寸共同决定了图像分辨率,即焊点检测精度。传统成像方法和大比例成像方法的对比如图2所示。

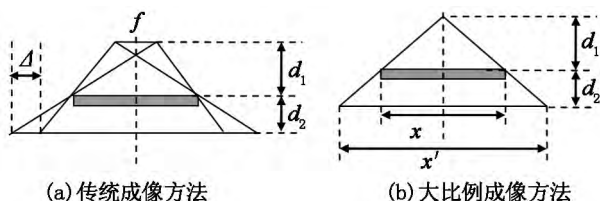


图2 2种方法工作原理图

由图2可知,传统成像方法中焦点 f 尺寸较大,其对应的图像分辨精度低,而采用大比例成像方法,实际上是通过光学系统形成微焦距的方式提高系统成像精度。下面通过系统精度公式给出分析。

在成像系统中,焦点尺寸决定其最小分辨力有

$$\Delta = fd_2/d_1,$$

其中 f 为X射线的焦点尺寸, d_1 为光源到电路板的距离, d_2 为电路板到图像增强器的距离。因为光学系统一定时,几何放大率是固定的,而几何放大率可以表示为

$$k = (d_1 + d_2)/d_1,$$

所以,系统的成像精度公式可以化简为

$$\Delta = (k - 1)f. \quad (1)$$

由公式(1)可知,系统成像的最小尺寸取决于

几何放大率和焦点尺寸。而几何放大率是光学系统决定的,在采用相同的光学系统的条件下,系统成像精度完成取决于焦点尺寸。所以采用大比例成像系统比传统成像方式可以获得更高的成像分辨率。

2.2 成像分辨率

市面上密集型BGA封装器件的焊点尺寸检测要求为0.3 mm,焊点间距检测要求为0.5 mm。根据电路板焊接判断标准,标准焊点超过焊点总量的90%。根据焊点可区分的基本原则,系统分辨率为30 μm 才能满足要求。设X射线焦点尺寸为 f ,物体可分辨最小尺寸为 s ,当最小物体尺寸边界两点相交时认为其不可能分辨。当系统X射线的焦斑 s 为35 μm 时,希望焦点尺寸 f 仍能满足30 μm 的设计要求,则几何放大率 k 满足图3的曲线关系式。

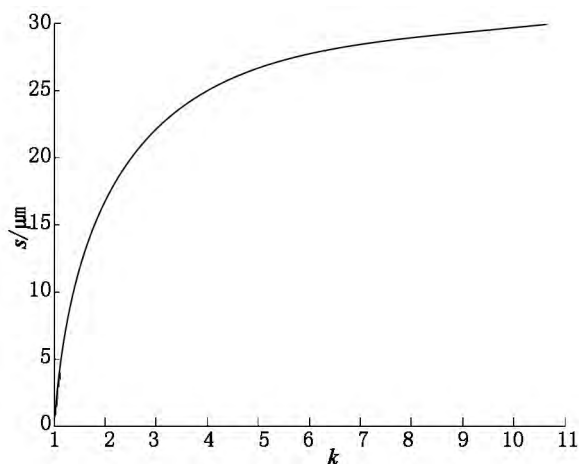


图3 当 $f = 30 \mu\text{m}$ 时的 s/f 曲线图

如图3所示,当焦点尺寸为35 μm 时,几何放大率与物体可分辨最小尺寸的函数关系可以满足 Δ 为30 μm 设计要求。当 k 进一步增大时,经计算可知分辨率趋近于29.7 μm 。

3 累计采样降噪算法

在X射线无损探伤系统中,主要的噪声源有散射噪声、图像增强器转换噪声、光源不稳定、CCD探测器系统噪声等^[10-11]。由于穿通产生的X射线灰度图像的幅值偏低^[12-13],所以需要设计相应的算法提高信息特征的提取能力,从而避免图像细节部分被噪声淹没^[14-15]。为了提高电路板图像质量,设计了累计采样降噪算法,其基本的设计思路是对同一电路板多次照射,累计采样,对存在信号的像素位置累计叠加,而背景区域累加效果低,从而使信号区域信噪比提

高. 累计采样降噪原理可以通过如下计算表示. 设无噪声图像为 $M(x, y)$, 叠加了噪声的图像为 $f(x, y)$, 则有

$$f(x, y) = M(x, y) + N(x, y).$$

累计采样 n 幅图像然后求平均, 可以得到

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i(x, y), \quad (2)$$

从而无限逼近原图像 $M(x, y)$, 其中的估计误差可以表示为

$$\sigma^2 = E\left(\left(\hat{f}(x, y) - M(x, y)\right)^2\right) = E\left(\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i(x, y)\right)^2\right). \quad (3)$$

因为检测中产生的噪声基本上可以看做是随机的, 所以可以将其相关系数约等于 0, 则有

$$\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i(x, y)\right)^2 = \frac{1}{n} \sigma_N^2.$$

由(2)式和(3)式可知

$$\sigma^2 = \sigma_N^2/n.$$

由(2)式可知, 当采用累计采样的方式求解时, 可得当多幅图像叠加后, 电路板中焊盘、焊点的图像信噪比会明显提高, 其中当信号放大 N 倍时, 噪声只放大 \sqrt{N} 倍, 从而更便于观察焊点的焊接情况.

4 电路板缺陷检测实验

实验采用 HAWK 型 X 射线机、MV-M1000 型高速图像采集卡及 MN39750PA 型 CCD 探测器等, 对多个已知存在不同焊接问题的电路板进行检测. 实验采集的灰度图像如图 4 所示.

图 4(a) 和图 4(b) 分别表示传统成像法和累计采样降噪法获得的正常焊点的 X 射线图, 由此可以看出, 采用累计采样降噪的方法可以通过累加有效信息的方式将图像中的焊点大小、形状更好的展现出来.

图 4(c) 为存在小球型焊接缺陷和球缺型焊接缺陷的电路板图像; 图 4(d) 为存在桥连型焊接缺陷的电路板图像. 通过图像采集软件中的测量工具可以测得, 其小球型焊接缺陷的尺寸与正常焊点相差 $360 \mu\text{m}$, 识别精度为 $30 \mu\text{m}$, 完全满足分辨缺陷电路板的设计要求. 通过图像采集系统不但可以快速得到问题焊点的位置, 而且可以知道问题焊点的缺陷种类以及缺陷程度. 后两幅图均为累计采集处理后的焊点阵列图像, 由于篇幅限制, 原图不重复给出了, 去噪优化后效果对比与图 4(a) 和图 4(b) 相近.

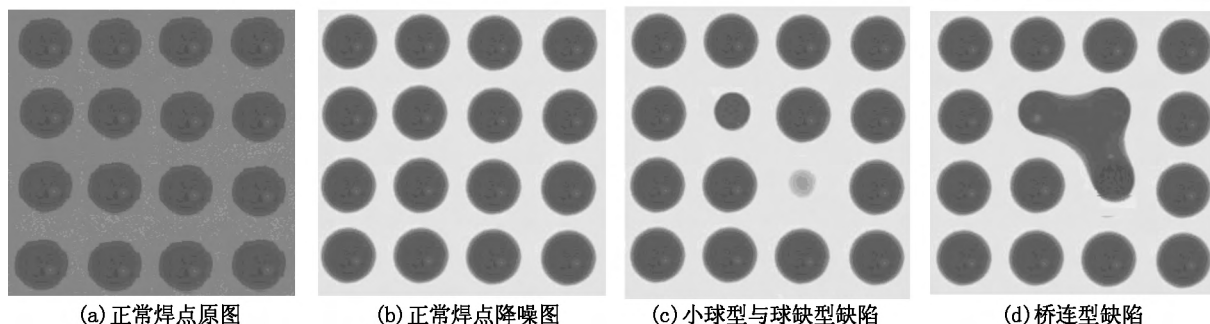


图 4 电路板无损探伤效果图

测精度. 设计的累计采样降噪算法提高了图像的信噪比, 使焊点图像更为清晰.

5 结论

本文针对传统电路板成像过程中图像质量差、等比例成像视场小等问题进行了分析, 在分析了系统工作机理后, 提出了大比例成像结构及累计采样降噪算法, 实现了系统快速获取电路板 X 光图像的功能. 系统可实现对电路板高速、高精度无损探伤, 电脑可实时显示反映电路板焊接情况的灰度图像. 利用大比例成像方法在不改变光学系统放大倍率的条件下提高了系统最小分辨率, 实现了 $30 \mu\text{m}$ 的检

6 参考文献

- [1] 王格芳, 庞郁, 沙晓光, 等. 神经网络在电路板无损检测系统中的应用 [J]. 仪器仪表学报, 2005, (S1): 18-19.
- [2] 董昌灏, 童莉, 曾磊, 等. 基于改进 Graph Cuts 的印刷电路板 CT 图像分割算法 [J]. 信息工程大学学报, 2013, 1(1): 71-75.
- [3] 王汪, 谭辉, 黄亮, 等. 高能 X 射线成像装置数据采集与

- 传输系统设计 [J]. 核电子学与探测技术, 2008, 28 (6): 1087-1090.
- [4] Mardina Abdullah, Hal J Strangeways, David M A Walsh. Effects of ionospheric horizontal gradients on differential GPS [J]. Acta Geophysica 2007, 55(4): 509-523.
- [5] 曲肇文, 王明泉, 王玉. 高分辨力印制电路板 X 射线检测系统 [J]. 无损检测, 2010, 6(1): 43-45.
- [6] 罗锋华, 文方. 信息融合技术在电路板无损检测中的应用研究 [J]. 制造业自动化, 2010, 1(1): 28-30.
- [7] 李勇, 罗锋华. 基于信息融合技术的电路板无损检测 [J]. 煤炭技术, 2009, 11(1): 43-44.
- [8] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less low cost outdoor localization for very small device [J]. IEEE Personal Communications 2000, 7(5): 28-34.
- [9] 杜宣燕, 潘玉田, 刘智超. 基于图像采集卡的高分辨率 X 射线检测系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2011, 6(1): 113-115.
- [10] 刘伟, 周轶然. X 射线衍射仪故障与维修实例 [J]. 现代科学仪器, 2010, 5(1): 145-146.
- [11] Mazzaferri J, Ledesma S. Wavelet coefficients thresholding method applied to the correlation of noisy scenes [J]. Processing of SPIE 2004, 5622: 617-621.
- [12] 谢宏威, 张宪民, 邝咏聪. 等. 印刷电路板焊点的智能检测 [J]. 光学精密工程, 2011, 19(9): 2154-2162.
- [13] 刘杰, 崔成旺. 印刷电路板的功能检测 [J]. 煤炭技术, 2012, 31(4): 76-77.
- [14] 乔维维, 秦小文, 杨冈. 图像分割技术用于印刷电路板检测的研究 [J]. 山西电子技术, 2011(3): 87-89.
- [15] 张文, 方飞. 基于采集点的高分辨 X 射线检测系统 [J]. 核电子学与探测技术, 2010, 30(10): 1404-1407.

The High-Precision Non-Destructive Inspection Detection System for Circuit Board Defect

CHENG Lei¹, TIAN Lifang²

(1. Department of Electronic Science and Engineering, Huanghuai University, Zhumadian Henan 463000, China;

2. Department of Information Engineering, Huanghuai University, Zhumadian Henan 463000, China)

Abstract: In order to accurately obtain joints defects information of the circuit board pads, solder in any cases, high-precision nondestructive testing system is designed. The system consists of an X-ray machine, MV-M1000 high-resolution image acquisition card and MN39750PA type CCD detector composition. After analyzing the basic principle of non-destructive testing, a large proportion of the circuit board imaging structure is designed. Cumulative sampling noise reduction algorithm was proposed. Problems for the existing circuit board welding experiment. Experimental results show that, soldering the circuit board can be clearly observed in the case of non-destructive testing system. Calculated by the optical system analysis, the defect detection accuracy $30\mu\text{m}$ can effectively meet the design requirements of industrial applications.

Key words: NDT; defect detection; high-precision; cumulative sampling noise reduction algorithm

(责任编辑: 冉小晓)