

文章编号: 1672-8785(2012)07-0006-05

浅析国内基于红外技术的电路板故障检测方法

官明文 李云霞 蒙 文 李 达 魏 新

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要: 基于红外技术的电路板故障检测方法是一种全新的非接触式故障检测方法。结合电路板故障红外检测的基本组成要素, 介绍了各种相关技术的基本知识和国内的研究情况。着重分析了红外信息提取过程中存在的一些不确定因素, 提出了在状态识别中用支持向量机完成电路板故障红外智能诊断的方法。通过分析已有的研制成果, 阐述了当前基于红外技术的电路板故障检测仪在实际应用过程中存在的不足, 为电路板故障红外诊断技术的深入研究指出了关键点。

关键词: 红外; 电路板; 故障检测

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.07.002

Analysis of Domestic Circuit Board Fault Detection Technology Based on Infrared Technology

GONG Ming-wen, LI Yun-xia, MENG Wen, LI Da, WEI Xin

(Telecommunication Engineering Institute, AFEU, Xi'an 710077, China)

Abstract: The circuit board fault detection method based on an infrared technology is a new non-contact detection method. According to the basic elements of infrared circuit board fault detection, the basic knowledge of various related technologies and the research status in China are presented. Some uncertain factors in infrared information extraction are analyzed. The method in which a support vector machine is used to implement infrared intelligent diagnosis of circuit board faults is proposed. Through analysis of the existing research achievements, the shortages of the current infrared circuit board fault detectors used in practical applications are described and the key points are pointed out for the further study of infrared circuit board fault diagnosis.

Key words: infrared; circuit board; fault detection

0 引言

随着电路板制造工艺和集成电路技术的迅猛发展, 电路板上的元器件越来越密集, 电路也日趋复杂。传统的接触式故障检测方法会影响板间电路的分布参数, 甚至根本无法对一些故障点的信号进行测量, 当然更不可能用于高频电路的实时故障诊断, 导致其检测效果受到了极大

的限制^[1]。为了弥补接触式电路板故障诊断方法的不足, 人们开始尝试使用非接触式电路板故障诊断技术。随着红外探测技术和计算机图像处理技术的发展, 基于红外技术的电路板故障诊断方法以检测速度快、费用低、通用性强以及易于为基层修理人员所掌握等优点, 逐渐引起广大专家学者的重视。国外早在 20 世纪 70 年

收稿日期: 2012-06-05

作者简介: 官明文 (1983-), 男, 山西朔州人, 硕士研究生, 主要研究方向为电路板故障红外检测。

E-mail: g0o0n0g00000@163.com

代就已经开始研究电路板故障红外诊断技术, 并相继研发了针对各种特殊需求的电路板故障红外诊断仪^[2]。但由于国外对涉及红外技术的相关研究进展和产品关键技术实行保密措施, 近几年关于国外电路板故障红外检测技术的报道很少。庆幸的是, 我国许多研究所及院校也在积极开展基于红外技术的电路板故障检测方法的研究工作, 并取得了令人瞩目的成绩^[13]。

1 电路板故障红外检测的原理及基本组成

电路板故障红外检测集电子电路技术、计算机图像信号处理技术和人工智能技术等学科于一体。它是通过用红外热像仪探测电路板上各电子器件的温度分布, 然后根据温度变化来判断电路板上各元器件的工作状态的。其具体步骤可以分为红外信息提取、红外图像处理和基于红外图像的状态识别三部分。图 1 为电路板故障红外检测的基本组成框图。

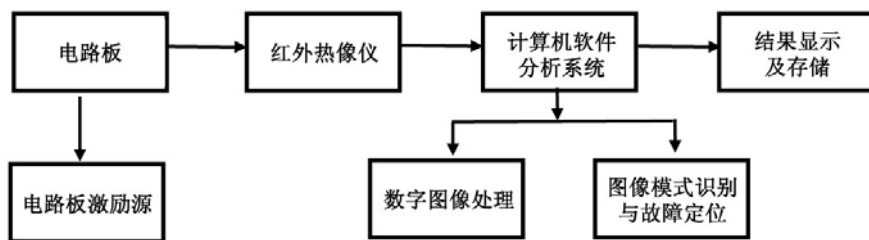


图 1 电路板故障红外热像检测的组成框图

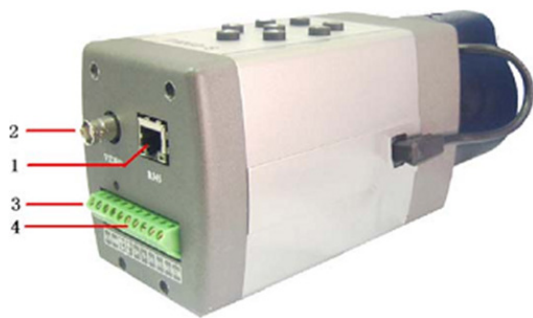


图 2 国内某公司生产的红外热像仪的实物图

化等因素的影响^[12]。热像仪测得的物体表面的

2 红外信息提取技术

红外信息提取就是用热像仪拍摄电路板在工作时所产生的热图, 其核心器件是热像仪。热像仪的性能高低直接决定所采集的红外热图是否能够用于相关分析。随着半导体技术和计算机技术的快速发展, 红外热像仪的硬件性能日益提高, 软件功能不断完善。红外热像仪不仅测温分辨率和测温范围能够满足电路板故障检测的要求, 而且还集成了强大的图像分析与处理功能, 比如图像的预处理、任意点的目标辐射率自动校正以及图像的自动分割与拼接技术。这些都是电路板故障红外检测的基础条件。当前, 我国使用的热像仪一般都是从国外进口的, 国产热像仪也有一定的市场, 但在稳定性和耐用性方面与国外还有一定的差距。

当然在实际的检测过程中还必须考虑拍摄时的环境温度、电路板上电子器件的辐射率变

实际温度为

$$T_0 = \left\{ \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{1}{\tau_a} T_r^n - \left(\frac{1}{\tau_a} - 1 \right) T_a^n - (1 - \varepsilon) T_u^n \right] \right\}^{1/n} \quad (1)$$

式中, T_0 为被测物体的表面温度 (真实值); ε 为被测物体表面的发射率; τ_a 为大气透过率; T_r 为热像仪指示的辐射温度, 直接反映了热像仪接收到的辐射强度; T_a 为大气温度; T_u 为环境温度; n 的取值随热像仪工作波段的不同而变化。在 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段, 取 $n = 9.2554$; 在 $8 \sim 13 \mu\text{m}$ 波段, 取 $n = 3.9889$ 。由此可见, 热像仪的指示温度与被测物体的实际温度之间还存在较多的不确定关系, 测量温度的误差会受 T_r 、 T_u 、

T_a 、 ε 、 τ_a 的误差的影响。就电路板而言,其表面发射率会因各种器件的材质不同而不一致,或者是因温度变化的快慢而不一致,这些都给电路板故障诊断带来了不确定性^[11]。再加之电路板被测元器件的温度还是由自身电流热量、其他元器件的热传导和周围空气的热对流综合确定的,导致故障检测变得更加困难。针对各个影响因子,人们也采取了一些可行的办法,但这些办法大多不够全面,只是作了一些理想状态的处理,导致器件温度检测具有较大误差。对于电路板故障检测中的红外信息提取,国内也有研究人员研究影响热像仪测温精度的因素,但在实际应用中他们还没能给出可以很好地克服这些影响因素的有效办法。

3 红外图像处理技术

红外图像处理技术是借助于可见光图像处理方法对红外图像进行相关处理的。这些处理方法包括图像预处理、图像配准、图像拼接与融合和图像特征提取方法。国内的图像处理技术相对比较成熟,方法也多种多样,关键在于需要针对不同的电路板红外图像找出最合适的算法。

图像预处理主要是对图像进行滤波和增强处理。其中,滤波是为了抑制待处理图像中的噪声。图像在拍摄和传输时难免会产生各种噪声。根据与信号的关系,这些噪声可以分为加性噪声和乘性噪声两种。假定二维图像函数为 $f(x, y)$, 噪声图像函数为 $n(x, y)$, 加性噪声即为噪声与信号相互独立,在图像中两者直接相加;乘性噪声往往被近似认为是加性噪声,按两者相加进行近似计算。滤波可以分为空域滤波和频域滤波两种。其中,频域滤波是先把图像变换到频域,然后再利用各种频域滤波算法进行图像噪声抑制的。这是一种间接方法。在频域实现对噪声的抑制后,再把图像从频域变换回空域,算法计算复杂且运算量大,不适用于实时性要求较高的场合。而空域滤波则无需经过任何变换,直接在图像空间中对像素点作平滑处理,极大地满足了系统在处理时间性能上的要求。常用的空域滤

波方法主要包括邻域均值法和中值滤波法。图像对比度增强是为了强化图像边缘,突出图像的细节信息,从而使图像变得更加清晰。通常,调整灰度值或者对图像颜色值进行索引可以实现图像的对比度增强,同时可以避免使用算子模板而遍历整幅图像(运算速度较快)。其常用方法主要包括分段线性变换增强、非线性变换增强以及直方图均衡化增强等。

这里所讲的图像配准主要是为了完成所拍摄的红外图像与实际电路板上各电子器件对应点之间的匹配。由于电路板上各相邻点的温度差异不是那么明显,红外图像中高温器件的红外热点较大,而低温(接近于环境温度)器件在红外图像上又没有太多的显示,这会使各电子器件的位置在红外图像上不能精确地反映出来。当前人们主要是通过对可见光图像与所拍摄的红外图像进行配准来完成各电子元器件在红外图像上的位置识别的,这样可以取得较为满意的效果。

当所拍摄的电路板大于红外热像仪的拍摄视场时,一幅图像不能完成拍摄,这便需要两幅甚至更多的图像。为了便于图像的后续处理,需要将多幅图像拼接起来,以恢复电路板的整体热图。图像拼接具体包括图像投影变换、图像匹配和图像融合三个步骤。其中,图像匹配是图像拼接的关键步骤,它要对不同角度或不同位置上所获取的两幅或多幅具有一定重叠区域的图像序列进行最佳位置匹配。这就需要寻找图像对之间的变换关系,然后在两幅图像之间建立像素点间的对应关系。图像在经过特征提取与图像配准步骤后,还需要进行图像融合以去除图像拼接后留下的拼接缝。图像融合算法的性能高低将会直接关系到合成图像的清晰度以及全景图的视觉效果。只有在每一步都运用合适的算法,整个全景图拼接系统才能达到理想的效果^[10]。

4 基于红外图像的状态识别技术

基于图像处理技术选择能够表征电路板上电子器件温度异常变化明显的特征量, 进而利用相关算法对其进行分析和处理。当前应用神经网络和故障树的智能故障诊断较多。美军用于诊断与维修 F-16 战斗机控制盒内 PCB 板卡的系统就是基于神经网络的。近年来, 关于采用神经网络进行故障识别的研究也一直没有停止, 而且支持向量机也正是人们在研究神经网络的过程中发现的。神经网络故障诊断问题可以被看作是模式识别。通过对一系列过程参量进行测量, 并用神经网络从测量空间映射到故障空间, 从而实现故障诊断^[4]。利用故障树模型进行故障源搜索既兼顾了规则和基于定量模型诊断的优点, 又为复杂系统的故障搜寻提供了一种有效途径。但是建立故障树是相当复杂的, 费时又费力; 加之人的差异影响较大, 对于含有复杂控制回路的系统, 建树是相当困难的^[6]。

神经网络诊断技术是基于传统机器学习理论发展起来的。它只考虑经验风险最小化原则, 并在样本数目足够多的前提下进行研究。只有在样本数趋向无穷大时, 所提出的各种方法的性能才有理论保证。但是电路板故障诊断中不可能去采集大量故障数据, 因此用神经网络诊断就容易产生欠学习或过学习问题。这在一定程度上制约了神经网络对电路板故障诊断的精确度。基于结构风险的支持向量机正是在这种情况下被应用到电路板故障诊断中的。支持向量机是基于统计学习理论发展起来的。它在解决小样本、非线性及高维模式识别问题中表现出了许多特有的优势。通过引入松弛因子, 它既可满足准确分类的要求, 又可具有较强的推广能力^[9]。

5 已有的研制成果

我国一直比较重视红外探测技术的发展, 但将其应用于电路板故障诊断的研究比国外起步晚, 原因是接触式自动检测技术在一定阶段内基本上还能满足一般故障诊断的需要。值得一

提的是, 研究人员在接触式故障诊断中已经用到了非常先进的状态识别方法, 如神经网络等智能诊断技术。正是随着智能诊断技术、计算机图像处理技术和红外探测技术的不断发展, 电路板故障红外诊断技术才凸显出其强大的优势和深远的潜力。

我国针对电路板故障红外诊断技术的研究已经引起人们相当的重视。有越来越多的大学和科研院所积极参与研究, 有代表性的成果是: 20 世纪 80 年代末 90 年代初, 石家庄军械研究所张广喜、王格芳等人利用电子工业部第十一研究所生产的 HR-2 型热像仪开发了一种印制电路板故障红外诊断仪, 但由于受各种技术参数的制约, 其故障诊断效率不高; 在设计时只是将其定位于增强现存的 ATS, 不能单独实现对电路板故障的自动、快速、精确定位。再就是到 21 世纪初, 电子科技大学的叶玉堂、余学才等人成功研制了 TIP-1 型电路故障红外诊断仪^[5]。该仪器已经具备了当前我们所设想的先进红外诊断仪的完整技术构建, 包括比较精确的红外图像提取、先进的图像处理方法和状态识别技术。但是在实际应用中, 由于受红外信息提取过程中各种因素的影响, 故障判断的准确性还有待于进一步提高。另外, 该仪器在故障状态的智能推断上表现得还不够全面。

6 存在的问题

纵观国内电路板故障红外诊断技术的发展历程, 虽然理论研究比较多, 大家也都能看到电路板红外诊断技术的优势, 但当前还没有批量化生产的电路板故障红外诊断仪器, 说明还存在一些明显的不足。具体分析如下:

(1) 红外信息提取仍然不够精确, 与电路板上电子器件自身的温度有一定的差距。这需要一定的算法进行处理或者用统计理论进行估计。

(2) 状态识别中没能解决故障的智能推断。在电路板故障红外诊断过程中, 有些器件的耐热性比较好, 其本身虽已超出平时的温度范围, 但也能正常工作, 反而会引起周围器件的功能性异常; 有些异常高温点是由其他的高温点引

发的, 电路板故障红外诊断系统对于这些情况通常是不能够精确识别的。而电路板中电子元器件发生故障的关联性非常大, 这就给电路板红外诊断中的状态识别带来了困难。

(3) 电路板故障红外诊断仍然需要详细的电路图及各元器件的参数。当前人们只是基于红外探测技术进行研究, 而没有将其与电子技术很好地结合起来。

7 结论

随着越来越多的科研人员从事电路板故障红外检测工作, 针对各种相关技术的研究会逐渐深入, 检测结果也会越来越精确。另外, 支持向量机以其特有的优势也会参与到红外故障诊断中来。电路板故障红外检测仪器很快会成为非常有效的电路板故障诊断工具。

参考文献

- [1] 张永萍, 李景飞, 赵希. 电子故障红外检测研究 [J]. **中国表面工程**, 2006, **19**(5): 121-122.
- [2] 张勇, 王新赛. 基于红外的电路板故障诊断技术国内外发展现状 [J]. **科协论坛**, 2001, **2**: 81-82.
- [3] 华顺芳, 于胜学, 王卫国. 红外热成像技术诊断印刷电路板故障 [J]. **激光与红外**, 1996, **26**(2): 131-133.
- [4] 王格芳, 王学明, 陈国顺, 等. 基于神经网络的红外诊断系统研究 [J]. **红外与激光工程**, 2002, **31**(6): 526-529.
- [5] 杨先明, 叶玉堂, 吴云峰, 等. TIP- I 红外电路故障诊断仪 [J]. **红外与激光**, 2006, **36**(6): 463-465.
- [6] 张镭. 基于红外热像的设备状态识别 [D]. 北京: 北京化工大学, 2010.
- [7] 张恒. 红外目标检测与识别理论与技术研究 [D]. 沈阳: 哈尔滨工程大学, 2008.
- [8] 刘品, 杨润生, 刘栋. 电路板故障检测诊断系统的设计与实现 [J]. **科学技术与工程**, 2009, **19**(22): 6847-6851.
- [9] 杜峰, 施文康, 邓勇, 等. 红外序列图像的支持向量机分割方法 [J]. **光电工程**, 2005, **32**(3): 62-65.
- [10] 李琳娜. 基于特征匹配的图像拼接技术研究 [D]. 西安: 西北农林科技大学, 2010.
- [11] 范书彦. 红外辐射测温精度与误差分析 [D]. 长春: 长春理工大学, 2006.
- [12] 龚镇, 李运祯. 基于红外温度变化规律诊断电路故障 [J]. **电子技术**, 2009, **47**(8): 37-38.
- [13] 郭世苗, 魏臻, 吴建东. 红外光学成像技术在电路板上的应用 [J]. **天津理工大学学报**, 2009, **25**(5): 54-56.
- [14] 张海波, 叶晓慧. 一种改善微弱信号信噪比的小波变换消噪法 [J]. **现代电子技术**, 2009, **291**(4): 210-214.
- [15] 张智海, 莫祥霞, 郭媛君, 等. 微型 MOEMS 阿达玛变换近红外光谱仪 [J]. **光谱学与光谱分析**, 2011, **31**(7): 1975-1979.
- [16] 戴逸松. **微弱信号检测方法及仪器** [M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
- [17] 徐晗, 卢启鹏, 朴仁官. 基于锁相放大的近红外光谱信号提取电路研究 [J]. **微计算机信息**, 2009, **25**(8): 233-235.
- [18] 陈杜, 徐秀芳. 空间探测红外光谱仪信号处理技术 [J]. **红外技术**, 2006, **28**(4): 203-205.
- [19] 朱虹, 林君, 吴忠杰, 等. 近红外光谱仪中的数字锁相技术研究 [J]. **仪器仪表学报**, 2006, **27**(10): 1258-1261.
- [20] 朱蛻. 近红外光谱仪的智能检测系统 [D]. 镇江: 江苏大学, 2006.
- [21] 杨红岩. 基于 ARM-Linux 的便携式近红外光谱仪测控软件设计 [D]. 长春: 吉林大学, 2008.

(上接第 5 页)