

基于 ROI 灰度压缩的电路板红外图像配准

王 力, 曾佩佩, 郝建新

(中国民航大学航空自动化学院, 天津 300300)

摘 要:电路板红外图像配准技术是电路板红外热成像故障检测系统的核心。针对传统图像配准算法精度和效率较低等不足,为了提高电路板红外图像配准精度和效率,设计了一种基于 ROI 灰度压缩的图像配准算法。首先,利用 Otsu 法提取出电路板红外图像 ROI。然后,将 ROI 内灰度值进行线性压缩。最后将灰度压缩后的图像进行互信息量运算和图像 x 平移、 y 平移、旋转、缩放变换参数寻优。仿真结果表明,基于 ROI 的灰度压缩算法能够显著减小配准时间,当两幅图像环境温度差异较大时其配准精度相比其他灰度压缩算法有明显优势。

关键词:图像配准;灰度压缩;感兴趣区域;Otsu 法

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.03.021

Infrared image registration of circuit board based on ROI gray compression

WANG Li, ZENG Pei-pei, HAO Jian-xin

(Aviation Institute of Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Infrared image registration technique is the core of circuit board fault detection system. In order to improve the accuracy and efficiency of circuit board infrared image registration, an image registration algorithm based on ROI gray compression is proposed. First, Otsu method is used to extract circuit board infrared image ROI. Then, the ROI gray value is made linear compression. Finally the best image transform parameters are searched like x translation, y translation, rotation, scaling by mutual information calculation. The simulation results show that the image compression algorithm base on ROI can significantly reduce the registration time. The environment temperature difference of two images is larger, the registration accuracy is better.

Key words: image registration; gray-scale compressed; ROI; Otsu

1 引 言

电路板红外故障检测系统通过对比正常电路板工作时段红外图像和故障电路板工作时段红外图像来查找故障,由于两次拍摄时电路板与红外热像仪的相对位置不可能完全不变,因此正常电路板红外图像和故障电路板红外图像中对应电路板区域存在相对位移,造成无法对比图像来得出故障,因此需要高精度的图像配准算法来解决这一问题。

目前图像配准技术主要分为两类:基于特征的图像配准算法和基于像素的图像配准算法。基于特征的图像配准算法必须提取图像的点、线、边角等特

征,配准的精度往往受到特征提取算法的制约,而电路板红外图像由于反映了电路板上元器件的发热状况,这些广义上的特征不太明显,提取难度较大,且提取精度不高。相比之下,基于像素的图像配准算法由于是对图像中全体像素点进行匹配,不需要提取特征信息,是一种鲁棒性很强的算法。

基金项目:中央高校基本科研业务项目(No. ZXB2011A003);中国民航大学科技基金项目(No. 2010kyE07);中国民航大学校级科研(No. 2011kyE01);中国民航机务维修科研基地资助。

作者简介:王 力(1973-),男,博士,副教授,研究方向是控制系统的设计与仿真。

收稿日期:2013-07-05; **修订日期:**2013-08-11

基于互信息^[1]的图像配准方法是公认的一种配准精度较高的图像配准方法,互信息量计算是基于互信息的图像配准算法的关键内容,互信息量计算复杂度与图像像素级和图像灰度级相关。故当今研究主要从两个方面入手,一是压缩图像像素级,如唐斌兵等人^[2]利用小波分解与重构对图像进行像素级压缩,提高了配准效率,但压缩掉的图像高频部分所包含的信息也一并去除了,图像配准精度受影响较大。二是压缩图像灰度级,如周志勇等人^[3]利用图像梯度进行灰度压缩,对图像整体进行灰度压缩,也会丢失掉一部分图像信息。

本文提出基于 ROI 的灰度压缩则是对包含图像信息量最大的 ROI 部分进行灰度压缩,不仅减小了图像灰度级,图像信息丢失也非常小,能够在提高配准效率的前提下使配准精度不受影响。综上所述,只要能够准确提取电路板红外图像 ROI,并基于 ROI 对图像进行灰度压缩,就能达到优化互信息量计算,进而优化图像配准算法的目的。

最后提出一种自适应多目标 ROI 提取算法,结合区域生长与 Otsu^[4]算法,在无人工干预情形下自动搜索多个区域生长种子点,利用 Otsu 算法自适应确定分割阈值,完成电路板红外图像多个芯片分割,分割的多块发热芯片区域即为本文需要的 ROI。结果表明,此算法能够快速准确提取电路板红外图像所有芯片发热区域,与目前图像分割算法相比不仅易于实现,自动化程度较高,分割精度也满足要求,在电路板红外图像分割中具有很高的实用性。

2 系统组成

电子板卡红外故障检测系统大致由采集图像、图像配准、图像比对及故障分析四部分组成。其系统流程图如图 1 所示。

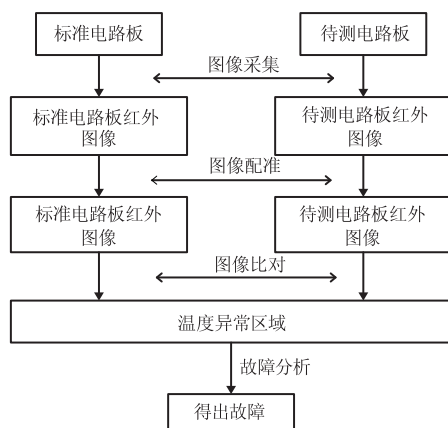


图1 电路板红外图像故障检测系统

(1)采集图像。利用 ImageIR 红外热像仪采集

在相同激励下采集标准电路板和待测电路板的红外图像,本项目所用电路板为 51 单片机开发板。

(2)图像配准。本文主要研究内容,由于后期图像比对需要对特定区域像素点进行比对,因此图像配准精度要求较高,要求为亚像素级,图像配准算法包含灰度压缩,图像变换(平移、旋转、缩放、差值算法^[5]等),互信息量计算。研究电路板红外图像 ROI 的灰度压缩算法,通过灰度压缩来优化互信息量计算,进而优化图像配准算法是本文的主要研究内容。

(3)图像比对。图像比对的目的是查找待测电路板红外图像的温度异常区域,具体方法有很多种,大致可以分为差分热图法和序列热图法^[6],差分热图法即将两张红外图像做差分运算,差分后即可观察出温度异常区域,序列热图法是对两块电路板工作时段的多幅红外图像进行比对,通过比较特定区域像素点的温度序列得出温度异常区域。

(4)故障分析。得出温度异常区域后,通过故障字典法,故障树法,专家系统等故障分析技术来分析故障。

3 基于 ROI 的灰度压缩算法

3.1 算法原理

分析某个芯片红外图像,如图 2 所示,电路板红外图像可以大致分为三个部分:①芯片发热部分;②芯片辐射热量部分,此部分围绕在芯片周围,离芯片越近,图像上显示的温度数值越高,离芯片越远,图像上显示的温度数值越低,受环境影响较大;③背景部分,除去芯片发热部分和辐射热量部分所剩下的区域,图像上显示的温度数值最低,与环境温度基本一致。分析上述特点,可以将芯片发热部分提取为图像 ROI,基于 ROI 的灰度压缩不仅尽可能保留了电路板红外图像信息,而且减少了灰度级数。

为了分析不同环境温度下芯片发热区域,辐射区域,背景区域温度所受影响,拍摄不同环境温度下芯片的红外图像,在三个区域内各取一点进行比较研究,比较结果如表 1 所示。

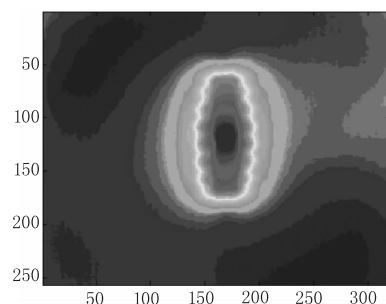


图2 芯片红外图像

从表1中可以看出:在不同的环境温度下,芯片核心发热区温度数值基本不变,芯片辐射区域改变稍大,背景区域改变最大。因此,将芯片发热区域作为ROI进行灰度压缩,可以降低灰度级,显著减少配准时间,特别是当两幅待配准红外图像环境温度差异较大时对灰度分布影响很小,保证了配准精度。

表1 不同环境温度下三个区域所受影响

区域中某点	环境温度 (20℃)	环境温度 (25℃)	环境敏感度 $(T_2 - T_1) / (E_2 - E_1)$
核心发热区域(170,118)	28.4	29.1	0.14
辐射区域(118,145)	24.1	27.2	0.62
背景区域(44,206)	20.2	25.1	0.98

3.2 ROI提取以及ROI灰度压缩

由于电路板红外图像温度梯度分布十分均匀,因此利用阈值分割能够将芯片发热区域进行提取,但由于不同芯片发热区域温度不相同,因此分割阈值必须根据发热区域温度不断变化,Otsu算法是一种自适应温度分割方法,能够自适应确定分割阈值,实验结果证明Otsu算法能够准确提取芯片发热区域。

接下来对ROI进行灰度压缩,以压缩成256灰度级为例,步骤如下:

(1)扫描ROI,求得ROI最高点与最低点,定义为maxtemp与mintemp。

(2)对ROI每一像素点进行灰度压缩运算,ROI中像素点温度值为temp(x,y),其中x,y为像素点在红外图像中的坐标值,灰度压缩运算公式如下:

$$I(x,y) = \frac{\text{temp}(x,y) - \text{mintemp}}{\text{maxtemp} - \text{mintemp}} \times 255 \quad (1)$$

3. 将红外图像非ROI像素点像素值置零,完成灰度压缩运算。

3.3 灰度压缩效果分析

将芯片在20°和25°环境温度下分别作64级灰度压缩,观察灰度直方图,如图3~6所示。

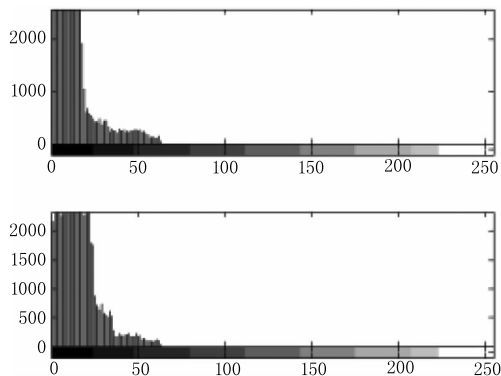


图3 线性灰度压缩直方图

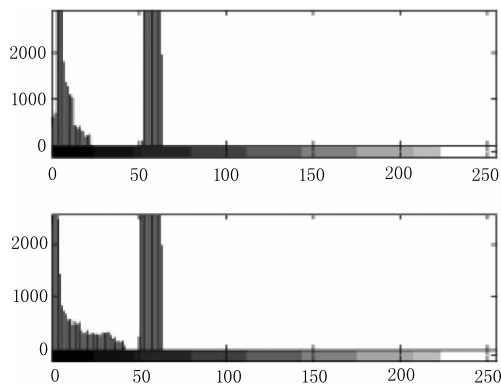


图4 分段线性压缩直方图

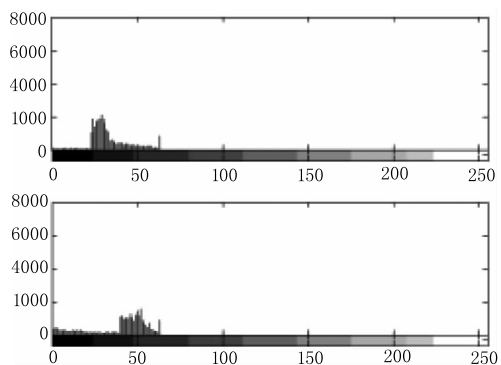


图5 基于统计直方图的灰度

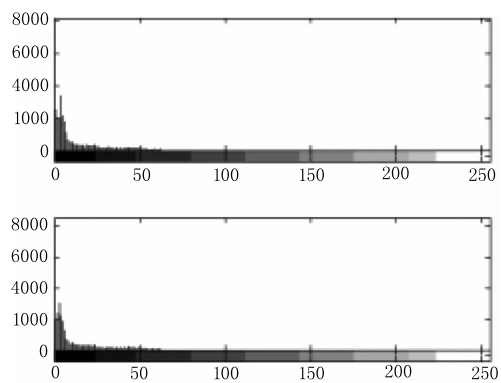


图6 基于ROI的灰度压缩直方图

从以上灰度直方图可以看出,基于ROI的灰度压缩在环境温度变化时灰度分布基本没有变化,而线性灰度压缩,分段线性灰度压缩和基于统计灰度压缩的压缩方法都是针对红外图像全局进行灰度压缩,对于受环境影响大的辐射区域和背景区域也进行相同尺度的灰度压缩,因此压缩结果受环境影响较大。

再分析本文灰度压缩算法和其他灰度压缩算法在不同环境温度下互信息量变化情况,计算芯片红外图像在18℃,20℃,22℃,25℃环境温度下的互信息量,以25℃环境温度下芯片红外图像作为基准图像,分别计算18℃,20℃,22℃环境温度下芯片红外图像与基准图像的归一化互信息量。计算结果如表2所示。

表2 不同环境温度下灰度压缩后
归一化互信息量比

环境温度 / °C	基于 ROI 的灰度压缩算法(64 灰度级下同)	线性灰度压缩算法	分段线性灰度压缩算法	基于统计直方图的灰度压缩算法
18	1.48	1.25	1.29	1.32
20	1.48	1.28	1.35	1.38
22	1.49	1.31	1.37	1.42

从表2可以看出,在不同环境温度下,基于ROI的灰度压缩算法归一化互信息量最高,对环境温度最不敏感,在环境温度变化时,不同环境温度下红外图像由基于ROI的灰度压缩算法压缩后灰度分布基本一致,因此计算出的互信息量也基本保持不变。

4 多目标 ROI 提取方法

4.1 图像预处理

红外图像噪声比较大,对后续区域增长算法造成干扰,因此必须对红外图像进行去噪处理。红外图像噪声大多属于椒盐噪声,中值去噪算法^[7]对于去除椒盐噪声有很好的效果,且算法比较成熟,在此不过多叙述。

4.2 多目标 ROI 提取

电路板红外图像中有多个发热区域,不同发热区域温度不尽相同,单个芯片发热区域温度相差不大,在外围辐射区域中,随着与芯片发热区域距离不断扩大,温度逐渐减小,因此,利用区域增长算法可以很容易的将芯片发热区域和芯片辐射区域进行提取,再利用 Otsu 算法可提取核心发热区域,算法流程如下:

步骤一:扫描全图 I ,找到温度最高的点作为初始种子点,记为 $P_1:(x_1, y_1)$;

步骤二:确定种子生长规则:

(1) 设定阈值 H_dist ,若 $I(x_1, y_1) - I(x, y) < H_dist$,则生长,反之,则停止生长。

(2) 若 $I(x, y) < I(x_1, y_1)$,则生长,反之不生长。

(3) 定义环境温度为 E_temp ,设定阈值 L_dist ,若 $I(x_1, y_1) > E_temp - L_dist$,则生长,反之不生长。其中 H_dist 和 L_dist 都随着红外图像种子点自适应变化。

$$H_dist = \frac{(E_temp + I(x_1, y_1))}{I(x_1, y_1)} \quad (2)$$

$$L_dist = \frac{E_temp + I(x_1, y_1)}{E_temp} \quad (3)$$

按照种子生长规则进行区域增长,增长范围为种子点周围 3×3 领域的像素,选择符合种子生长规则的新像素点作为新的种子点。

步骤三:按照步骤二重复进行区域增长,直到没有新的种子点为止,将生长的区域记为 M_1 , M_1 中包含了一块芯片的发热区域和辐射区域。在图像 I 中将 M_1 区域像素置零,得到新的红外图像 I_1 。重复步骤一和步骤二,得到新的生长区域 M_2 。

步骤四:重复步骤三,设定阈值 D_temp ,当扫描全图得到的温度最高点 $I(x, y) - D_temp \leq E_temp$ 时,认定完成所有芯片发热区域和辐射区域提取,记为 $M_1 \sim M_n$ 。

步骤五:利用 Otsu 算法对区域 $M_1 \sim M_n$ 进行阈值分割,得出每块芯片的核心发热区域,记为 $S_1 \sim S_n$,即为图像 ROI。

电路板红外图像如图7所示。运用本文算法进行 ROI 提取,提取结果如图8所示。



图7 电路板红外图像



图8 提取结果

5 实验结果分析

为分析基于ROI的灰度压缩算法对于配准精度和配准速度的影响,对不同环境温度下电路板红外图像进行配准,实验所用PC机配置如下:CPU为Core2-i5 2410M,内存8G;软件环境为Mat-

lab2009R,将线性灰度压缩,分段线性灰度压缩,基于统计直方图的灰度压缩的电路板红外图像配准结果作为对比。浮动图像为 20℃ 环境温度下的电路板红外图像,参考图像为 25℃ 环境温度下同一电路板的红外图像,配准结果如表 3~6 所示。

表 3 基于 ROI 的灰度压缩红外图像配准结果

灰度级	互信息单次计算时间/s	归一化互信息	配准结果 (x 平移, y 平移,旋转,缩放)
256	0.023	1.29	7.1, -10.1, -5.2, 1.01,
64	0.012	1.27	7.2, -9.9, -5.1, 1.02,
32	0.009	1.24	6.8, -10.5, -4.8, 0.97,

表 4 基于线性灰度压缩红外图像配准结果

灰度级	互信息单次计算时间/s	归一化互信息	配准结果 (x 平移, y 平移,旋转,缩放)
256	0.023	1.12	7.2, -10, -4.9, 1.03
64	0.012	1.11	5.7, -10.8, -4.2, 1.05
32	0.009	1.11	9.1, -8.4, -3.7, 0.99

表 5 基于分段线性灰度压缩红外图像配准结果

灰度级	互信息单次计算时间/s	归一化互信息	配准结果 (x 平移, y 平移,旋转,缩放)
256	0.023	1.18	6.0, -10.3, -5.3, 1.01
64	0.012	1.17	6.1, -9.1, -4.1, 1.06
32	0.009	1.15	9.3, -10.9, -6.1, 0.96

表 6 基于统计灰度直方图的灰度压缩
红外图像配准结果

灰度级	互信息单次计算时间/s	归一化互信息	配准结果 (x 平移, y 平移,旋转,缩放)
256	0.023	1.24	7.2, -10.1, -4.9, 1.00
64	0.012	1.22	6.3, -8.9, -3.1, 1.02
32	0.009	1.20	5.5, -6.9, -4.0, 0.97

从理论上分析,根据文献[1]互信息量计算方法,灰度级越小,计算速度越快,但相应的图像信息丢失越多,配准精度越低,本文算法主要针对 ROI 进行灰度压缩,而其余三种灰度压缩算法针对全图进行灰度压缩,根据前文论证,在相同灰度级下,由于 ROI 所占图像信息量最大,因此基于 ROI 的灰度压缩能够保留更多图像信息,配准精度更高。

从配准结果可知,在灰度压缩至 64 灰度级时,基于 ROI 的灰度压缩算法相比其他灰度压缩算法拥有更高的配准精度,在压缩至 32 灰度级时,这三种算法得出了完全错误的结论,而基于 ROI 的灰度压缩算法由于是对环境温度不敏感的芯片发热区域进行灰度压缩,在环境温度改变时 ROI 内灰度分布基本不变,故在 256 灰度级,64 灰度级,32 灰度级时基于 ROI 的灰度压缩算法配准结果基本一致。而其余压缩算法将芯片发热区域、辐射区域、背景区域进行全局灰度压缩,而辐射区域和背景区域对环境温度比较敏感,因此造成灰度压缩后的基准图像和浮动图像灰度差异较大,配准结果误差较大,配准结果与理论预期基本一致。

5 结论

本文基于 ROI 的灰度压缩算法对电路板红外图像进行配准,在深入研究电路板红外图像区域性分布特点上,将芯片发热区域提取为 ROI,对 ROI 区域进行灰度压缩,将压缩后的图像进行配准。

该算法在选取 ROI 时选取了受环境影响极小的芯片发热区域,在环境温度发生变化时很好的保留了图像中的不变量,不同环境温度下灰度压缩结果基本一致,实验结果表明,在 64 灰度级和 32 灰度级时,配准时间明显小于 256 灰度级时的配准时间,配准精度基本不受影响,而其他三种灰度压缩算法配准精度都不如本文算法的配准精度。

参考文献:

- [1] Cui Wei, Liu Shengxia, Xu Qian, et al. Novel infrared -visual image registration based on combined mutual and gradient information [J]. Laser & Infrared, 2011, 41 (2): 224 - 227. (in Chinese)
崔伟,刘圣霞,徐骞,等.基于互信息和梯度的红外与可见光图像配准新方法[J].激光与红外,2011,41(2):224-227.
- [2] Tang Binbing, Chen Tuanqiang, Wang Zhengming. Novel image registration method based on wavelet transform [J]. Journal of Computer Applications, 2007, 27 (9): 2103 - 2105. (in Chinese)
唐斌兵,陈团强,王正明.基于小波变换的图像配准方法[J].计算机应用,2007,27(9):2103-2105.
- [3] Zhou Zhiyong, Zhang Tao. Grayscale compression based on image gradient in medical image registration [J]. Computer Engineering, 2011, 37 (7): 237 - 240. (in Chi-

nese)

周志勇,张涛. 医学图像配准中基于图像梯度的灰度压缩[J]. 计算机工程,2011,37(7):237-240.

- [4] Chen Zheng, Shi Yongpeng, Ji Shupeng. Improved image threshold segmentation algorithm based on OTSU method [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(5): 584-588. (in Chinese)

陈峥,石勇鹏,吉书鹏. 一种改进的 Otsu 图像阈值分割算法[J]. 激光与红外,2012,42(5):584-588.

- [5] Gong Changlai, Yang Dongtao. Improved image zooming algorithm based on bilinear interpolation[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(8): 899-901. (in Chinese)

龚昌来,杨冬涛. 一种改进的双线性插值图像放大算

法[J]. 激光与红外,2009,39(8):899-901.

- [6] Cui Wei. Research on key technologies for printed circuit board detection by infrared thermography [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011. (in Chinese)

崔伟. 电路板故障红外热像检测关键技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2011.

- [7] Zhao Qinpei. The research of infrared image preprocessing and small target detection under complex background [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007. (in Chinese)

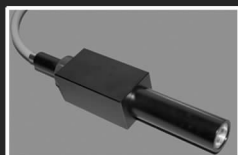
赵钦佩. 复杂背景条件下的红外图像预处理、检测方法研究[D]. 上海:上海交通大学,2007.

CASTECH[®]
福晶科技

全球专业的激光晶体和非线性光学晶体制造商

产品系列

扫描场镜
F-Theta Lenses



1064nm高功率光隔离器

1. 高隔离度
2. 低插入损耗及偏振相关损耗
3. 高回波损耗

适合于高功率光纤激光器及光纤放大器应用,并有自由空间型、光纤到自由空间型、准直光束输出型等三种型号可选。



LBO晶体



NdYVO4 晶体



光学产品

一、晶体

1. 非线性光学晶体
2. 激光晶体
3. 绿光、蓝光晶体组件
4. 闪烁晶体
5. 声光和电光晶体
6. 双折射晶体
7. 磁光晶体

二、精密光学元件

1. 球面和柱面透镜
2. 反射镜、棱镜、窗片
3. 波片、偏振元件
4. IBS, IAD高损伤阈值镀膜

三、激光及光通讯器件

1. 高功率光隔离器
2. 扫描场镜
3. 电光Q开关
4. 温控炉(仪)
5. 光准直器
6. 标准具