

红外热像校正技术的仿真研究及其实时应用

——双阈值分割算法结合伪彩色变换

葛曼玲¹, 魏孟佳¹, 杨皓宇², 师鹏飞¹, 陈 营¹, 付晓璇¹, 张吉昌¹, 陈玉民¹

(1.河北工业大学电磁场与磁性材料省部共建国家重点实验室, 电气工程学院, 天津 300130;

2.北京华夏聚龙自动化股份公司, 北京 100070)

摘要:近年来, 红外热像可应用于变压器等电力设备的监测和过热点定位, 受到现代电力行业的关注, 但红外热像仪呈现的温度分布多为灰度图, 不利于人眼观察和辨识, 而且图像模糊, 影响检测质量, 因此, 实现红外热图像彩色显示和校正是必要的。文章提出了一种图像增强的方法, 即双阈值分割算法, 经过算法的仿真实验后将其应用在红外热像仪采集的变压器灰度图的伪彩色变换中, 并在 DSP642 + FPGA 组成的处理系统运行了这些算法。结果表明: 伪彩色算法结合图像校正算法可较为精确地实现色彩变换, 获得较好的视觉效果, 可比原图显示更多的图像细节, 解决了红外图像处理中细节不清楚的问题。

关键词: 阈值分割; 红外热像; 伪彩色; 变压器

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2015)04-0272-05

Simulation and Real-time Application of Infrared Thermal Image Rectification Technology of Rectification Algorithm of Double Threshold Segmentation in Pseudo-color Conversion

GE Man-ling¹, WEI Meng-jia¹, YANG Hao-yu², SHI Peng-fei¹,
CHEN Ying¹, FU Xiao-xuan¹, ZHANG Ji-chang¹, CHEN Yu-min¹

(1. The Key Laboratory of Electromagnetic Field and Electrical Apparatus Reliability, Department of Electrical Engineering,
Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

2. Beijing Huaxia Julong Automation Co. Ltd, Beijing 100053, China)

Abstract: Recently, the technology of infrared thermal imaging is being paid more attention to for its advantage of monitoring the image and localizing the faults of electrical equipment such as transformer. However, the temperature picture supplied by the infrared imager is gray and blurring, not easy to eye observation and monitoring, so it is necessary for the infrared thermal image to be displayed in a pseudo-color manner and to be rectified. Here, an algorithm of image enhancement termed as double threshold segmentation was proposed, and was applied to the pseudo-color conversion for original gray images of electrical transformer after algorithm simulation. Additionally, the algorithm ran in the double-chip processing system of DSP642 + FPGA. It was resulted that the combining algorithms of pseudo-color conversion and rectification could complete precisely the color conversion for a better visual color image to be shown with more details than the original gray image, and the problem of unclear image details was solved in infrared image processing.

Key words: threshold segmentation, infrared thermal image, pseudo-color, transformer

0 引言

近年来, 红外热成像技术在电气工程故障检测

领域受到了许多应用, 如排查电力线和电器接头松动或接触不良, 电气设备不平衡负荷造成的过载和过热等^[1]。变压器是电力系统中使用最多的设备之一,

收稿日期: 2014-11-21; 修订日期: 2015-02-18.

作者简介: 葛曼玲 (1965-), 女, 教授, 辽宁营口人, 主要研究方向为电工理论与新技术。

基金项目: 河北省高等学校科学技术研究项目, 编号: ZD2014026。

传统的故障检测技术主要包括油温检测、变压器油的溶解气体分析、振动检测、高频局部放电等^[2-4]，这些技术大多依赖局部测试数据和经验值来判断故障类型及严重程度，利用红外热成像的光电传感器则可得到变压器表面的温度分布图像，易于实时监控、定位过热点，为现代电力行业提供一种先进的检测和诊断手段^[5-6]。

由于红外热成像仪的原始图像大多是与温度对应的灰度图，不利于人眼的辨识和观察，精确并实时地将灰度图转化为伪彩色图是最为经济实用的方案。伪彩色处理图像技术利用模拟彩色显示的方法已被广泛运用于许多领域，如遥感图像处理、卫星图片以及生物医学图像等^[7-12]。而其它图像处理技术可进一步提高伪彩色图像质量，阈值图像分割方法是其中最为简单和有效的图像增强技术，根据图像中阴影、光照的不均匀性以及对比度等实际情况选择阈值是其基本思路^[13]。本文首先采用了分段线性变换的伪彩色变换方法，并利用双阈值分割的算法校正了伪彩色图像，增强了图像的细节，解决了变压器红外图像处理中细节模糊的问题，取得了很好的显示效果。并在DSP642+FPGA处理系统中运行，获得了较好的实时性。

1 方法

1.1 红外热像灰度图的伪彩色变换技术

定义图像温度范围对应的灰度级为0~255，通过非线性变换函数，把每个像素点所对应的温度值转换成相应的灰度值^[14]。在伪彩色变换过程中，需要选取一个映射函数，这个函数可以是线性的，也可以是非线性的，用来完成一对三的映射，“一”指的是原灰度图像的每一个像素，“三”指的是该像素在转换后图像中相应的R、G、B值，最后把3个分量值进行融合叠加。

1.2 红外热像灰度图和伪彩色图的阈值校正算法

模糊阈值分割的实质是对图像直方图进行加权平均，平滑后的直方图即为模糊率曲线，其斜率跟图像清晰度有关，通过编程动态地调节各段温度范围的大小^[10,15]，即可实现阈值校正的目的。

假设*i*表示红外热图像的温度阈值[*a*, *b*]数目，*w*代表红外热图像温度范围的大小，*x*表示红外热图像某点温度值，*f*(*x*)为最终计算得到的红外热图像的灰度值大小，温度值与灰度值之间转换的数学表达式可用式(1)~(3)来表示^[10]：

当*i*=1时，有：

$$f(x) = \begin{cases} \frac{127 \times x + 127 \times (-a)}{w_1 - a} & a \leq x < w_1 \\ \frac{128 \times x + 255 \times b - 255 \times w_1}{b - w_1} & w_1 \leq x < b \end{cases} \quad (1)$$

当*i*=2时，有：

$$f(x) = \begin{cases} \frac{85 \times x + 85 \times (-a)}{w_1 - a} & a \leq x < w_1 \\ \frac{85 \times x + 85 \times w_2 - 170 \times w_1}{w_2 - w_1} & w_1 \leq x < w_2 \\ \frac{85 \times x + 170 \times b - 255 \times w_2}{b - w_2} & w_2 \leq x < b \end{cases} \quad (2)$$

当*i*=3时，有：

$$f(x) = \begin{cases} \frac{64 \times x + 64 \times (-a)}{w_1 - a} & a \leq x < w_1 \\ \frac{64 \times x + 64 \times w_2 - 128 \times w_1}{w_2 - w_1} & w_1 \leq x < w_2 \\ \frac{64 \times x + 128 \times w_3 - 192 \times w_2}{w_3 - w_2} & w_2 \leq x < w_3 \\ \frac{63 \times x + 192 \times b - 255 \times w_3}{b - w_3} & w_3 \leq x < b \end{cases} \quad (3)$$

在伪彩色图像中应用该校正算法，方法同上。

1.3 嵌入伪彩色变换和双阈值校正算法的DM642+FPGA红外热像处理系统

红外热图像处理系统由DM642和FPGA组成^[14]，伪彩色变换算法嵌入于DSP中，系统启动后，通过PC配置传感器参数，采集一帧图像，FPGA从Photon320红外探测器中采集一帧raw格式的灰度图像数据，它输出的数字视频信号可以是8位或14位的，由于DSP642的视频接口(VP口)是8位的，本文采用了8位的图像数据。并将其切换到DM642的VP0口，DM642利用核心算法计算该图像，得出三段式线性区间分割算法参数；再通过由Mcbasp扩展出来的SPI接口传回FPGA进行参数配置。FPGA则对图像数据进行RGB通道数据提取，按1/3原始数据帧大小重新组成数据包发送到DM642的VP1口。DM642通过配置EDMA完成RGB通道数据搬运，然后将各个数据通道传到校正算法线程进行处理，最终转换成一帧校正的RGB图像，通过EMAC接口按照TCP/IP协议传输格式将图像传输到上位机进行图像实时显示和后续算法处理，硬件系统总体框架如图1所示。

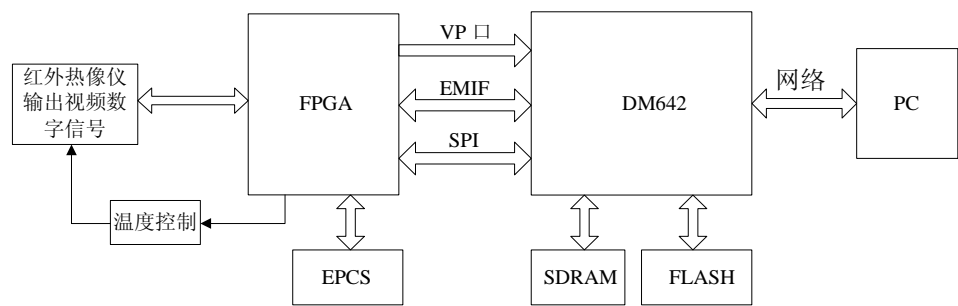


图 1 硬件系统总体框架图

Fig.1 Flowchart of hardware system

2 实验结果与分析

2.1 在红外热像灰度图上的阈值校正算法的仿真实验

为了很好地观察到校正算法的效果，本文在信息较为简洁和明确的热水杯红外热像图上进行了阈值校正算法的仿真。

假定图像的温度范围是 $-1.3\sim45.1^{\circ}\text{C}$ ，图 2 给出了不同阈值数目时热水杯灰度图的校正效果。

实验结果发现：当阈值数目为 1 时，所映射出的灰度图像背景较为模糊，效果较差；当阈值数目为 2 时，处理后的灰度图像将周围桌子一角和墙角的一些细节显示得较为清晰；当阈值数目为 3 时，红外热图像的部分信息虽然变得更清晰，可是一些细节信息如背景等却被隐藏掉了，所校正的红外热成像效果图与原始灰度图相似。实验证明：采用双阈值的图像显示

效果更好，细节较原图更清晰^[9-10]。

2.2 在伪彩色图上的阈值校正算法的仿真实验

将以上温度范围在调色板中的位置对应为 1~120，通过伪彩色变换算法^[14]，图 3 给出了在不同分段线性变换的阈值数目时对热水杯伪彩色图的校正效果。

实验发现了与灰度图仿真实验类似的结果：当阈值数目为 1 时，所生成的伪彩色红外热图像目标和背景以及物体边缘轮廓最模糊，校正效果较差；当阈值数目为 2 时，目标和背景细节信息较为丰富，只是物体边缘轮廓较模糊；当阈值数目为 3 时，目标的像素得到显著增强，但与没经过校正的伪彩色图像（如图 3(d)所示）质量相当。在伪彩色图像上运行校正算法的实践证明：采用双阈值校正的图像显示效果更好，与没有经过校正的伪彩色图像比较，更多细节被显示出来。

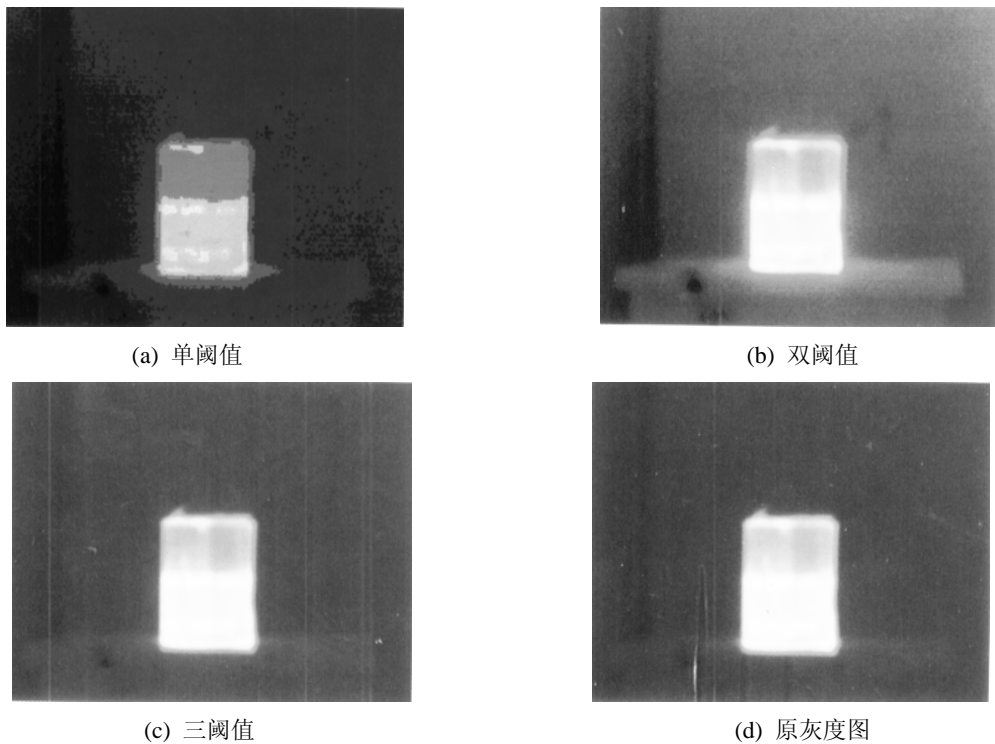


图 2 在不同阈值数目时校正的红外热像灰度图

Fig.2 Gray images processed by different threshold values of rectification

除了阈值，调色板颜色也是影响校正效果的重要因素，为了进一步完善图像质量，本文实验了一种改进算法。如图 3(e)所示，在经过双阈值分割算法校正后，通过对色彩值进行直方图均衡，应用间隔插值的线性算法将颜色扩充到 240 色，可见显示出来的图像信息更加丰富，轮廓更加清晰，克服了目标（如图 3(b)所示）四周边缘出现的红晕现象^[7-10,16]。

2.3 伪彩色变换和双阈值校正算法在变压器红外热像中的应用

以上的仿真实验证实了双阈值校正算法的优越性，故本文将直接应用于变压器红外热像的处理中。

图 4 为变压器局部的红外热像原图和在双阈值校正下的伪彩色图，可见校正后的伪彩色图像不仅精确地还原了灰度图的信息，还清晰地显示了其中模糊的细节。

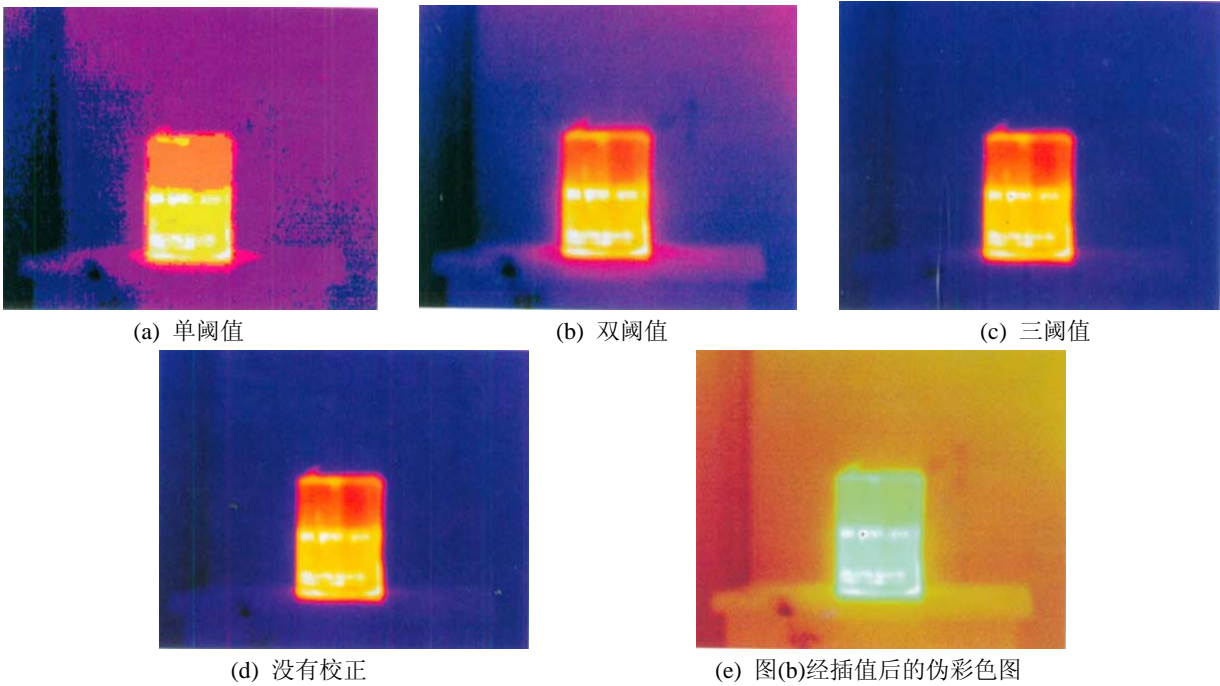


图 3 在不同阈值数目时校正的红外热像的伪彩色图及其改进

Fig.3 Rectification by different threshold values and improvement on pseudo-color images

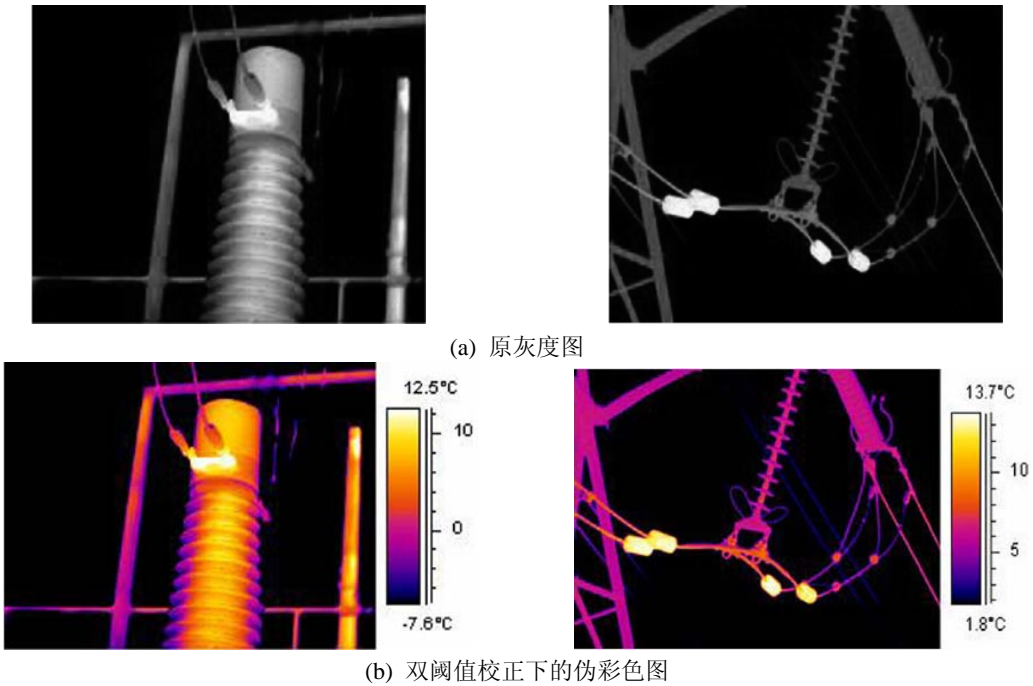
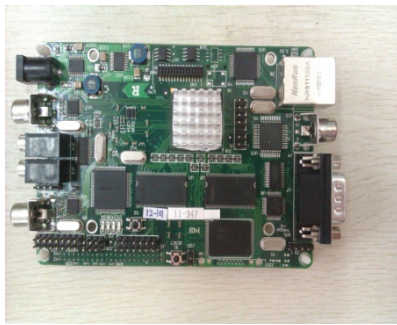


图 4 变压器红外热像的伪彩色变换图 Fig.4 Pseudo-color conversion for the infrared thermal images of electrical transformer

2.4 伪彩色变换和双阈值校正算法在 DSP642+FPGA 处理系统中的实时实现

在 DSP642+FPGA 处理系统中运行伪彩色变换算法和双阈值校正算法,系统如图 5 所示^[14],一帧 752×480 灰度图转换为校正的伪彩色图的时间约为 17.5 ms。红外成像处理系统的主板电路如图 5(a)所示,

系统硬件连接图如图 5(b)所示,图 5(c)给出了硬件系统联调的效果。将伪彩色变换算法和双阈值校正算法嵌入到处理系统中,通过软件和硬件的联调实现了系统的稳定和快速工作,从而证明算法的可行性和实时性。



(a) 系统电路板



(b) 系统硬件连接图



(c) 红外热成像系统联调

图 5 基于双阈值校正算法的变压器红外热像伪彩色变换在 DSP642+FPGA 处理系统中的实现

Fig.5 Implementation of pseudo-color conversion and double threshold rectification on the infrared thermal images of electrical transformer in the DSP642+FPGA system

3 结束语

本文通过对比的方法分别在灰度图和伪彩色图上证实了双阈值校正算法在增强红外热像细节上所表现出的优良特性,在 DSP642+FPGA 处理系统上运行该算法的实践说明了该算法具有较好的实时性,可提高变压器等红外热像监测质量,有着较广的应用前景。

参考文献:

- [1] 邱卫东,曹海洋,张玉成,等.基于红外成像技术的电气设备热故障在线检测与诊断[J].煤矿机械,2012,33(11):284-286.
- [2] IEC Publication 599, First Edition: Interpretation of the analysis of gases in transformer and other oil-filled electrical equipment in service[S].
- [3] 虞海强.基于振动分析法的变压器状态检测研究[D].成都:西华大学,2012.
- [4] 黄兴泉,赵善俊,宋志国,等.用超高频局部放电测量法实现电力变压器局部放电的在线监测[J].中国电力,2004,37(8):56-60.
- [5] 付冬梅,李晓刚,唐征花.基于相对温差法的电器设备故障红外诊断方法与软件开发[J].红外技术,2002,24(5):60-62.
- [6] 关荣华,曹春梅.工业设备内部缺陷的红外诊断研究[J].激光与红外,

2001,31(4):228-229.

- [7] 刘会通,孔令彬.红外焦平面阵列非均匀性校正算法的分析和改进[J].半导体光电,2003,24(5):360-362.
- [8] 李晓刚,付冬梅.红外热像检测与诊断技术[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [9] 刘文萍,吴立德.一种对空中目标图像自适应分割方法[J].红外与毫米波学报,1996,15(4):19-23.
- [10] 陈果,左洪福.图像的自适应模糊阈值分割法[J].自动化学报,2003,29(5):791-796.
- [11] 蓝春生,蓝鹏,曹煜媛.医学图像的伪彩色处理[J].中国体视学与图像分析,2002,7(3):166-169.
- [12] 路建方,王新赛,肖志洋,等.基于灰度分层的FPGA红外图像伪彩色实时化研究[J].红外技术,2013,35(5):285-288.
- [13] 李佐勇,刘传才,程勇,等.红外图像统计阈值分割方法[J].计算机科学,2010,37(1):282-286.
- [14] 王磊,王宝珠,薛双苓,等.基于DSP+FPGA的红外热成像伪彩色变换系统[J].制造业自动化,2013,35(4):149-152.
- [15] 李俊山,杨威,张雄美.红外图像处理、分析与融合[M].北京:科学出版社,2009.
- [16] 陶唐飞,韩崇昭,代雪峰,等.综合边缘检测和区域生长的红外图像分割方法[J].光电工程,2004,31(10):50-53.