

文章编号: 1672-8785(2015)03-0030-04

红外轴温监测系统中的图像融合算法

刘建卓 孙 强

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033)

摘 要: 针对红外轴温监测系统中可见光与红外图像分辨率相差较大时图像融合效果不理想, 不利于列车热轴判定的问题, 提出了一种可见光与红外伪彩图像融合的算法。该算法对红外轴温系统中的红外图像与可见光图像视场相同部分进行像素灰度复制, 并对其他部分进行双线性插值, 以此完成红外图像与可见光图像的像素匹配; 接着对红外图像进行伪彩编码映射, 在 RGB 三通道内对可见光与红外图像进行加权融合。实验结果表明, 融合图像在色彩上更丰富, 红外目标位置更准确, 更便于人工辨认热轴的位置。结果满足红外轴温监测系统对红外与可见光图像的融合需求。

关键词: 轴温监测; 图像缩放; 图像融合

中图分类号: TP394.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.03.006

Image Fusion Algorithm for Infrared Hotbox Monitoring System

LIU Jian-zhuo, SUN Qiang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: For an infrared hotbox monitoring system, when its visible image and infrared image have a large difference in resolution, the fusion of the images is not ideal. This is unfavorable for the determination of the hotboxes of a train. To solve this problem, an algorithm for fusing a visible image with a pseudo-color infrared image is proposed. In the algorithm, the gray levels of the pixels in the same part in both a visible image and an infrared image are reproduced firstly and bilinear interpolation is implemented for other parts in the images, so as to match the pixels in the visible image with those in the infrared image. Then, the infrared image is mapped by pseudo-color coding, and weighted fusion is implemented for the visible and infrared images in three channels (RGB). The experimental result shows that the fused image is richer in color. The location of the infrared target in the image is more accurate and is more convenient for the manual identification of the position of a hot-axis. The algorithm can meet the need for fusing infrared and visible images in an infrared hotbox monitoring system.

Key words: hotbox monitoring; image scaling; image fusion

收稿日期: 2015-01-14

基金项目: 国家 863 计划项目 (NO.2013AA03A116); 国家重大科学仪器设备开发专项 (NO.2013YQ14051702); (CSTC2009CA2003); 吉林省科技厅项目 (NO.20140204030GX); 长春市科技局重大科技攻关计划 (NO.14KG011)

作者简介: 刘建卓 (1983-), 男, 吉林松原人, 博士, 副研究员, 主要从事嵌入式系统、红外图像处理等方面研究。

E-mail: ljz0220@163.com

0 引言

列车在运行过程中, 轴承内部受到损伤或外部受力不合理会导致轴承结构部件发生过度磨损或损坏。如果不及时对这些轴承故障发出警告, 会导致严重的列车安全事故。车辆轴箱温度过高是车辆轴承出现故障的一个重要表征, 而且轴承故障的严重程度与轴箱温度的高低有着密切关系^[1,2]。红外线轴温监测能够实时测量行进中列车车辆的轴箱温度, 并能根据是否出现热轴判断车辆轴承状态是否异常, 发出警告, 从而防止出现列车热切轴事故。

目前的红外轴温探测系统对强热、激热预报兑现率低, 对运输秩序、运输计划、机力调配和车辆周转的影响较大。采用红外测温与可见光成像结合的探测技术能够减少由阳光干扰和轴承密封罩摩擦热造成的误报。

红外图像和可见光图像有着良好的互补性: 可见光具有丰富的细节; 红外线具有较强的测温能力, 但成像分辨率较低, 图像目标边缘不精确。将两者融合在一幅图像中能更好地实现目标识别和定位。近年来, 图像融合一直是研究热点, 有着良好的应用前景。

1 系统组成

红外轴温成像探测系统由 5 个红外单点探测器和 512×1 线阵电荷耦合器件 (Charge Coupled Device, CCD) 探测器组成, 排列结构如图 1 所示。

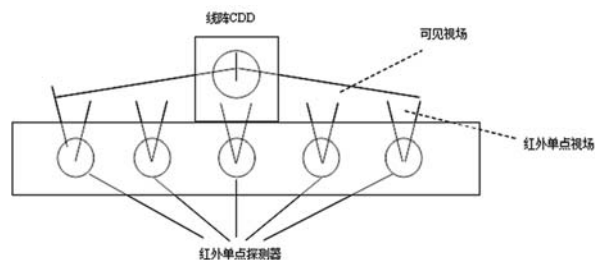


图 1 系统组成示意图

可见光线阵 CCD 的光学镜头的成像视场与多点红外光学成像视场拼接重合, 可见视场为 12.8°, 单点红外视场约为 1°。系统固定于列车轨道下方, 当列车通过时, 列车经过红外轴温成

像探测系统上方, 列车与线阵探测器相对运动, 探测系统对列车车轴成像。

2 图像配准

本系统的红外图像的采样点数为 5, 可见光图像的分辨率为 512 线阵 CCD。可见光图像与红外图像融合前, 需要将红外图像与可见光图像配准。由于光学系统的装调保证了可见光与红外系统对目标成像的位置一致, 图像配准只需解决红外与可见光图像的分辨率匹配问题, 而分辨率匹配可看作是红外图像的缩放过程, 双线性插值方法在图像缩放过程中具有拉伸效果较好、计算速度快的优点^[3-5]。

2.1 双线性插值

双线性插值是利用原始图像像素点周围的四个像素点的相关性, 通过双线性算法计算得出的。若计算缩放后图像的一点 $P(x, y)$, 而原图像中与 P 点相邻近的四点 $Q_{11}(x_1, y_1)$ 、 $Q_{12}(x_1, y_2)$ 、 $Q_{21}(x_2, y_1)$ 和 $Q_{22}(x_2, y_2)$ 为已知, 首先在 X 方向上进行线性插值。

$$f(R_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}), R_1 = (x, y_1) \quad (1)$$

$$f(R_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}), R_2 = (x, y_2) \quad (2)$$

如图 2 中所示的 R_1 和 R_2 点。

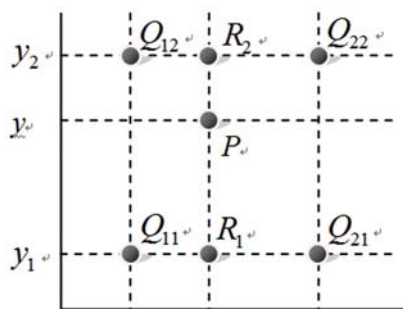


图 2 双线性插值示意图

在 X 方向进行插值后, 再做 Y 方向的点 R_1 和 R_2 插值, 由 R_1 和 R_2 计算 P 点。

$$f(p) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2) \quad (3)$$

在对红外图像进行缩放时, 简单地使用双线性插值方法将 5 像素映射到 360 像素进行缩

放,如图3所示,图像的缩放效果不好,这是由于该方法将红外图像一像素点对应的视场大小看作与可见光图像像素点所对应的目标视场大小一样而导致的。在实际情况下,红外图像一个像素与可见光图像一个像素所对应的目标视场是不一样的,因此,在缩放过程中,还需要考虑视场匹配。

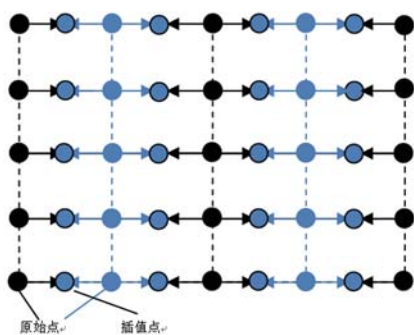


图3 红外图像双线性插值缩放示意图

2.2 本系统的图像缩放方法

根据图1所示的探测器排列方式,每个红外探测单元对应目标视场为 1° ,红外探测器间隔对应的目标视场也为 1° ,红外探测器拼接后所对应的目标视场为 9° 。可见光探测器对应的目标视场为 12.8° ,线阵探测器的分辨率为512个像素,可见光对应的 1° 目标在探测器成像的像素大约为40个像素。为满足本系统对图像缩放需求的特殊性,首先对原红外图像的像素值进行复制,复制的大小为 1° 可见光图像所对应的像素数,即将红外图像放大40倍,由于红外探测器排列方式的原因,还有部分可见光图像所对应的目标无法成像于红外探测器上。对于这些点,我们采用2.1中所提的双线性插值进行像素值的计算,如图4所示。

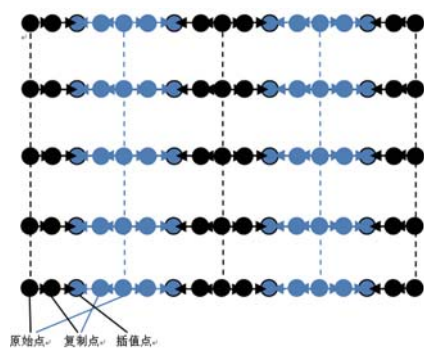


图4 改进的红外图像缩放方法

3 图像融合

本系统用于测量车轴温度,判断是否出现热切轴,可见光图像用于确定热轴轮廓位置,红外图像表示温度梯度,并用于人工或自动判断车轴状态。将红外伪彩增强图像用于图像融合中能够增强融合图像的可辨识性。

3.1 红外图像伪彩增强

伪彩增强是将灰度图像的灰度值用相应的彩色值替换^[6-8]。在彩色空间上找到一个与灰度值匹配的点后,将灰度值映射成对应的彩色值。其对应关系可表示为

$$C[f(x,y)] = (T_R[f(x,y)], T_G[f(x,y)], T_B[f(x,y)]) \quad (4)$$

式中, $f(x,y)$ 为 (x,y) 点的图像灰度值; T_R 、 T_G 和 T_B 分别为图像灰度值与红绿蓝 (Red、Blue、Green) 彩色空间值的映射函数。 $C[f(x,y)]$ 表示对应点 (x,y) 的彩色值, 包括红 (Red, R)、绿 (Green, G) 和蓝 (Blue, B) 三部分。当采集的红外图像的灰度均衡分布在 $[0,255]$ 之间, 伪彩色增强效果较好, 但是, 通常情况下图像的灰度分布并不均衡, 采用固定灰度映射的伪彩色变换不能得到期望的效果。本系统中采用平台直方图的方法对红外图像进行灰度拉伸, 然后再进行伪彩编码。

3.2 红外可见图像融合

加权图像融合方法具有简单直观、适合实时处理的优点^[9-12]。假设两个源图像分别为 A、B, 图像大小为 $M \times N$, 经融合后得到的融合图像为 F, 那么, 对 A、B 两个源图像的像素灰度值加权平均融合过程可以表示为

$$F(m,n) = \omega_1 A(m,n) + \omega_2 B(m,n) \quad (5)$$

式中, m 为图像中像素的行号, $m=1, 2, \dots, M$; n 为图像中像素的列号, $n=1, 2, \dots, M$; 加权系数: $\omega_1 = \frac{A(m,n)}{A(m,n)+B(m,n)}$, $\omega_2 = 1 - \omega_1$; 当 $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$ 时为平均融合。

本系统采用平均融合的方法对红外伪彩图像与可见光灰度图像进行融合, 可见光灰度图像可看作是 R、G、B 通道相同的彩色图像,

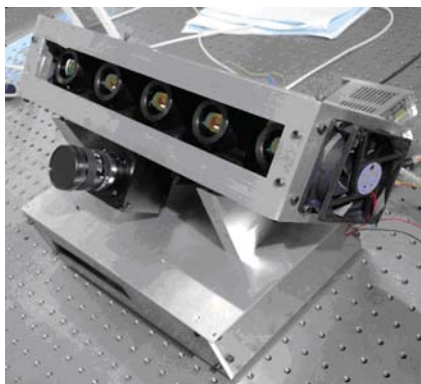
假设红外伪彩图像为 IR , 可见光图像为 VI , 融合后的图像为 FU , 融合过程可表示为

$$\begin{aligned} FU_R &= IR_R + VI_R \\ FU_G &= IR_G + VI_G \\ FU_B &= IR_B + VI_B \end{aligned} \quad (6)$$

FU_R 、 FU_G 、 FU_B 后的图像分别对应于 R 、 G 、 B 通道的数值, IR_R 、 IR_G 、 IR_B 红外伪彩图像对应于 R 、 G 、 B 通道的数值, VI_R 、 VI_G 、 VI_B 可见光图像对应于 R 、 G 、 B 通道的数值。

4 实验分析

在实验室条件下, 通过旋转桶壁带有车轮图像的圆桶, 模拟线阵相机的线扫成像结果。桶壁下方有一矩形开口, 在开口处放置高温物体来测试红外成像效果, 图 5(a) 为轴温监测系统相机部分, 图 5(b) 为模拟实验使用的装置。



(a) 轴温监测系统相机

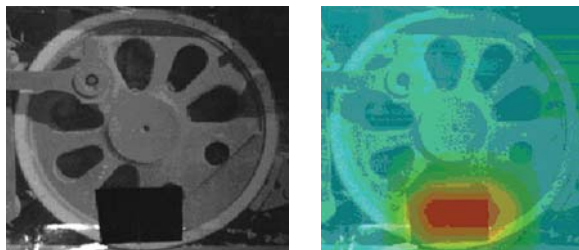


(b) 实验运动模拟装置

图 5 轴温监测系统相机与实验实物

图 6(a) 为拍摄的可见光图像, 图 6(b) 为通过本文方法融合后的图像。通过图 6 可以看出,

本文所提出的图像融合方法能很好地对可见光图像与红外图像进行融合, 但由于可见光相机与红外探测器的装调存在误差, 导致红外图像与可见光图像在水平方向上有些相对位移, 以后的工作还需对相机位置进行进一步调整。



(a) 可见光线阵 CCD 图像 (b) 本文方法融合后的图像

图 6 可见光图像与融合后的图像

5 结论

用本文的可见光与红外图像融合方法, 对红外轴温监测系统的线扫描可见光图像与红外图像进行了融合。融合后的图像能够直观地层次清晰地表示出热切轴的位置和温度梯度, 并且能够实时测量行进中的列车车辆的轴箱温度, 判断是否出现热轴, 从而判断出车辆轴承的状态。融合后的图像提供了形象、客观的判断依据, 更有利于人工判断热轴位置, 减少热轴判定的虚警率。

参考文献

- [1] 张志建, 马千里, 王新华, 等. 车轮高温对红外轴温探测影响的试验研究 [J]. 铁道车辆, 2012, 50(7): 4-9.
- [2] 赵长波, 陈雷. 红外线轴温探测系统的发展与思考 [J]. 铁道车辆, 2009, 47(1): 28-30.
- [3] 蔡泽锋, 闻晓晨, 郑学仁. 基于行列不同插值算法的图像缩放引擎的设计 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(4): 597-600.
- [4] Ouwerkerk J D van. Image Super-resolution survey [J]. Image and Vision Computing, 2006, 24(10): 1039-1052 .
- [5] Lehmann T M, Gonner C, Spitzer K, et al. Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1999, 18(11): 1049-1075.

(下转第 44 页)