

多干扰高温辐射体图像目标的分类识别方法

李 晟¹⁾ 彭小奇^{1,2)} 孙 元¹⁾ 李玉晓¹⁾

¹⁾(中南大学物理科学与技术学院,长沙 410083) ²⁾(湖南工业大学,株洲 412008)

摘 要 在基于 CCD 图像传感器的非接触高温温度场软测量中,为了计算高温图像目标的温度,必须先从辐射图像中准确识别待测目标。由于工业现场采集的高温熔体图像中存在多种噪声,导致图像目标难以准确识别。提出一种目标图像分类识别方法,即先利用多光谱图像分割方法来减少甚至消除各种高温噪声;然后运用改进的最大类间方差法进一步分割以去除烟雾干扰;最后运用数学形态学方法消除分割图像中的游离点和孔洞,使目标边缘光滑。实验结果表明,该方法能够从多种干扰图像中准确识别出高温辐射体图像目标,有较强的实用性。

关键词 目标识别 多光谱图像分割 最大类间方差法 辐射测温

中图法分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2009)06-1169-04

Classification Recognition Method of High-temperature Radiation Image with Various Interferences

LI Sheng¹⁾, PENG Xiao-qi^{1,2)}, SUN Yuan¹⁾, LI Yu-xiao¹⁾

¹⁾(School of Physics Science and Technology, Central South University, Changsha 410083)

²⁾(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008)

Abstract In order to measure the temperature of radiation image target, the measured target must be recognized accurately from radiation images in the non-contact soft measurements of temperature field based on CCD image sensor. It is difficult to recognize the image target because of the existence of various interferences in radiation images captured in industrial locale. A classification recognition method is proposed. By multi-spectrum segmenting, various high-temperature noises in the radiation color image are reduced or even eliminated. And then with the improved Ostu segmentation algorithm, the interference of smog is eliminated. Finally, the morphology method in mathematics is applied to process the segmented image and remove the dissociations and narrow holes to smooth the image's edge. The experimental results show that the method can recognize high-temperature melt target from high-temperature radiation image with various interferences accurately and it has an excellent practicability.

Keywords target recognition, multi-spectrum segmentation, Ostu method, radiation temperature measurement

1 引言

基于 CCD(电荷耦合器件)图像传感器的非接触高温温度场软测量技术是高温检测领域近年来的研究热点^[1]。对彩色 CCD 获得的高温辐射图像进行温度计算前,必须先从辐射图像中准确识别待测

目标^[2-3]。由于工业现场环境恶劣、工况复杂,粉尘干扰严重,高温辐射体的上方和周围往往弥漫着烟雾,导致工业现场采集到的高温辐射体图像存在多种噪声干扰。因为这些图像噪声在亮度上与图像目标较为接近,运用传统的图像目标识别方法往往无法识别,使高温辐射体的温度难以准确测量。

提出一种多干扰情况下图像目标的分类识别方

基金项目:国家自然科学基金项目(50374097);博士点专项科研项目(20030533008);湖南省自然科学基金项目(06JJ2066)

收稿日期:2007-07-09;改回日期:2008-01-16

第一作者简介:李 晟(1982 ~),男,中南大学电路与系统专业硕士研究生。主要研究方向为数字图像处理、模式识别等。

E-mail:feitiansou2005@yahoo.com.cn

法。先根据高温辐射体图像中常见噪声的特点,通过对红、绿基色图像分别进行分割来减小甚至消除高温辐射体图像中的各种噪声;然后对分割结果运用改进的最大类间方差法进行再次分割以去除烟雾干扰,达到准确分割的目的;最后运用数学形态学方法对再分割结果进行后处理,以消除分割图像中的游离点和孔洞,使目标边缘光滑。实验结果表明,与传统的灰度双峰法和最大类间方差法比较,本文方法能够在有多种噪声干扰情况下准确识别出高温辐射体,有较强的实用性。

2 多光谱图像分割方法

彩色 CCD 摄像机在 CCD 光敏单元的表面镶有红、绿、蓝三基色的滤光片,能方便地对彩色图像进行分色采集,采集到的图像通过红、绿、蓝三色通道分别输出^[4]。CCD 采集的高温辐射体图像往往带有很多噪声,主要包括由环境光源造成的噪声和由于烟雾散射、折射高温辐射体的辐射光造成的噪声。前者大多处于短波段,主要干扰绿基色图像;后者大多处于长波段,主要干扰红基色图像。因此,可以将彩色 CCD 采集到的多光谱图像分解为多幅对应各个光谱波段的单一光谱图像,再利用不同类型的噪声处于不同光谱波段的特点进行识别,从而去除图像噪声^[5]。

2.1 利用绿基色图像分割去除长波段噪声

原图像中的绿基色图像可以视作绿色波段光谱图像,由于烟雾散射、折射高温辐射体的辐射光造成的噪声主要集中于红色波段,因此对绿色光谱图像进行分割可以有效地去除这类干扰。设 $\mathbf{c}(x, y)$ 为原图像中坐标 (x, y) 处的彩色空间向量,即

$$\mathbf{c}(x, y) = \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix} \quad (1)$$

对绿基色图像设定分割阈值 T_G , 利用式(2)对其进行分割,得到二值图像 I_G :

$$I_G(x, y) = \begin{cases} 1 & G(x, y) \geq T_G \\ 0 & G(x, y) < T_G \end{cases} \quad (2)$$

利用二值图像 I_G 与原彩色图像 $\mathbf{c}(x, y)$ 逐点相乘,得到利用绿基色图像分割后前景图像的彩色空间向量:

$$\hat{\mathbf{c}}_G(x, y) = \mathbf{c}(x, y) \times I_G(x, y) =$$

$$\begin{bmatrix} R(x, y) \times I_G(x, y) \\ G(x, y) \times I_G(x, y) \\ B(x, y) \times I_G(x, y) \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.2 利用红基色图像分割去除短波段噪声

将原图像的红基色图像视为红色波段光谱图像,由环境光源造成的噪声处于绿色波段,因此对红色光谱图像进行分割可以有效去除环境光源噪声。设 $\mathbf{c}(x, y)$ 为原图像的彩色空间向量,对红基色图像设定分割阈值 T_R , 利用式(4)、式(5)可以得到利用红基色图像分割后前景图像的彩色空间向量 $\hat{\mathbf{c}}_R(x, y)$:

$$I_R(x, y) = \begin{cases} 1 & R(x, y) \geq T_R \\ 0 & R(x, y) < T_R \end{cases} \quad (4)$$

$$\hat{\mathbf{c}}_R(x, y) = \mathbf{c}(x, y) \times I_R(x, y) \quad (5)$$

2.3 高温熔体图像初分割方法

对高温辐射体的红、绿基色图像进行分割后,若取分割结果的交集作为高温辐射体图像的识别结果,则可以同时消除长波段噪声和短波段噪声。设 $\mathbf{c}(x, y)$ 为原图像的彩色空间向量,利用式(6)、式(7)可以得到初次分割后的彩色图像:

$$I_{RG}(x, y) = \begin{cases} 1 & R(x, y) \geq T_R \text{ 且 } G(x, y) \geq T_G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

$$\hat{\mathbf{c}}_{RG}(x, y) = \mathbf{c}(x, y) \times I_{RG}(x, y) \quad (7)$$

3 改进的最大类间方差法

CCD 采集到的高温辐射体图像中往往弥漫着很浓的烟雾,由于其亮度与图像目标相近,导致灰度直方图的双峰和低谷都不明显,因此仅使用多光谱图像分割难以克服烟雾干扰,准确识别出目标。由于最大类间方差阈值法对这种缺乏明显双峰特性的图像可以得到很好的分割效果^[6],因此选择最大类间方差法对初分割结果进行再次分割,以准确识别图像目标。

3.1 最大类间方差法

记 $f(i, j)$ 为 $M \times N$ 图像 (i, j) 点处的灰度值,灰度级为 L , $f(i, j)$ 取值范围为 $[0, L-1]$ 。记 $p(k)$ 为 $f(i, j)$ 灰度值为 k 的频率,则有

$$p(k) = \frac{1}{MN} \sum_{f(i, j)=k} 1 \quad (8)$$

假设用灰度值 T 为阈值分割出的前景与背景分别为 $\{f(i, j) \leq T\}$ 和 $\{f(i, j) > T\}$, 则前景所占比例为

$$\omega_0(T) = \sum_{i=0}^T p(i) \quad (9)$$

前景区域的灰度均值为

$$\mu_0(T) = \frac{1}{\omega_0} \sum_{i=0}^T i \cdot p(i) \quad (10)$$

背景部分所占比例为

$$\omega_1(T) = \sum_{i=T+1}^{L-1} p(i) \quad (11)$$

背景区域的灰度均值为

$$\mu_1(T) = \frac{1}{\omega_1} \sum_{i=T+1}^{L-1} i \cdot p(i) \quad (12)$$

整幅图像的灰度均值为

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot p(i) \quad (13)$$

同一区域具有灰度相似的特性,不同区域之间则表现为明显的灰度差异。类间方差是描述这种差异的有效参数,其表达式为

$$\sigma_B^2 = \omega_0(T)(\mu_0(T) - \mu)^2 + \omega_1(T)(\mu_1(T) - \mu)^2 \quad (14)$$

当被分割的类间方差最大时,分割的效果最佳,由此确定阈值为^[7]

$$T_m = \arg \max_{T \in \{0,1,\dots,L-1\}} [\sigma_B^2(T)] \quad (15)$$

3.2 改进的最大类间方差法

灰度分布参数除了灰度均值外,还包括灰度方差,前景区域的平均灰度方差为

$$\sigma_0^2(T) = \frac{1}{\omega_0} \sum_{i=0}^T (i - \mu_0(T))^2 p(i) \quad (16)$$

背景区域的平均灰度方差为

$$\sigma_1^2(T) = \frac{1}{\omega_1} \sum_{i=T+1}^{L-1} (i - \mu_1(T))^2 p(i) \quad (17)$$

整幅图像的平均灰度方差为

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^2 p(i) \quad (18)$$

整幅图像的平均灰度方差反映了图像灰度分布的均匀性(离散程度)。图像前景区域与背景区域内部灰度分布较均匀,而区域边界处的灰度跃变较大,区域的平均灰度方差反映了区域边界的灰度跃变情况。如果分割出的前景和背景中,某部分的平均灰度方差与整幅图像的平均灰度方差很接近,说明可能出现错分,将整个边界及其附近点都分割到该部分了。因此可以用平均灰度方差代替传统的最大类间方差法中的灰度均值来计算阈值。改进的最大类间方差法求取阈值 T'_m 的公式为

$$T'_m = \arg \max_{T \in \{0,1,\dots,L-1\}} [\omega_0(T)(\sigma_0^2(T) - \sigma^2)^2 +$$

$$\omega_1(T)(\sigma_1^2(T) - \sigma^2)^2] \quad (19)$$

3.3 高温辐射体图像再分割方法

(1)将初分割结果 $\hat{c}_{RC}(x,y)$ 中前景的红基色分量组成一个列向量 \mathbf{v} ;

(2)运用改进的最大类间方差法求取 \mathbf{v} 的分割阈值 T_0 ,利用下式得到二值图像

$$I_0(x,y) = \begin{cases} 1 & R(x,y) \geq T_0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (20)$$

(3)对二值图像 I_0 首先进行闭操作以填充前景中的细小空洞,然后进行开操作以去除背景的孤立块,平滑前景区边缘,得到形态学处理后的二值图像 I_M ^[8];

(4)利用下式得到最终的分割结果。

$$\hat{c}_F(x,y) = \mathbf{c}(x,y) \times I_M(x,y) \quad (21)$$

4 实验结果

图1是对彩色 CCD 采集到的含有烟雾干扰的高温熔体的识别效果。利用灰度双峰法和最大类间方差法进行识别,难以在有浓烟雾干扰的情况下准确识别高温熔体。而利用分类识别法可以有效地去除烟雾干扰,准确识别出图像目标。

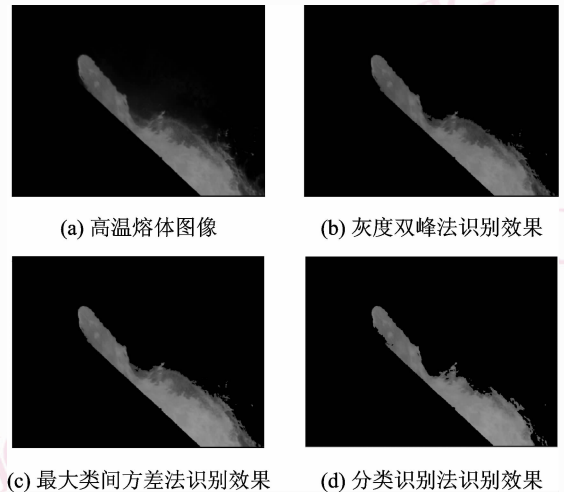


图1 高温熔体识别效果

Fig. 1 Recognition results of high-temperature melt

分别运用灰度双峰法和分类识别法对高温熔体图像进行识别后测温,利用一次性热电偶作为标准测温仪表,将其测温示值看作实际温度。实验结果如表1所示。可见,运用分类识别法进行目标识别后,测温结果更为准确。

表 1 不同识别方法的测温结果

Tab. 1 Measurement results based on different recognition methods

实际温度 (K)	灰度双峰法		分类分割法	
	测得温度	相对误差	测得温度	相对误差
	(K)	(%)	(K)	(%)
1 234. 4	1 213. 2	1. 72	1 229. 7	0. 38
1 243. 3	1 210. 7	2. 62	1 228. 5	1. 21
1 249. 4	1 210. 6	3. 11	1 233. 8	1. 28

5 结 论

(1) 高温辐射体图像目标的分类识别方法, 对于不同的噪声干扰采用不同的分割策略, 即对常见的高温噪声采用多光谱图像分割, 对烟雾干扰采用改进的最大类间方差算法分割, 以识别出目标图像。

(2) 多光谱图像分割方法针对高温噪声存在于不同光谱波段的特点, 通过对红、绿基色图像分别进行分割, 可以减小甚至消除高温辐射体图像的长波段噪声和短波段噪声。

(3) 改进的最大类间分割法显著减小了初次分割出的前景区的烟雾干扰, 并表现出了很好的自适应性, 不受灰度值的线性变化(图像对比度变化)和平移变化(图像亮度变化)的影响。

(4) 实验结果表明, 本文分类识别方法能够有效地减小高温辐射体表面的各类噪声干扰给测温带来的不利影响, 准确识别出图像目标, 使基于 CCD 图像传感器的测温结果更加准确, 因而具有较强的实用性。

参考文献 (References)

- 1 Wang Kui-hai, Li You, Wang Bo-zhong. The latest developing status of the technology of temperature measurement and the unique and practical measuring technologies [J]. Process Automation Instrumentation, 2001, 22(8): 1-7. [王魁汉, 李友, 王柏忠. 温度测量技术的最新动态及特殊与实用测温技术[J]. 自动化仪表, 2001, 22(8): 1-7.]
- 2 Song Hai-ying, Peng Xiao-qi, Liu Zhen, et al. Recognition method in contactless temperature measurement of high temperature melts [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2005, 36(3): 426-429. [宋海鹰, 彭小奇, 刘征等. 基于非接触式温度测量中的高温辐射体识别方法[J]. 中南大学学报, 2005, 36(3): 426-429.]
- 3 Ding Jian, Peng Xiao-qi, Liu Zhen. The application of bubble wavelet in the images segmentation of high temperature melt [J]. Energy Technology, 2005, 26(4): 139-154. [丁剑, 彭小奇, 刘征. Bubble小波在高温辐射体图像分割中的应用[J]. 能源技术, 2005, 26(4): 139-154.]
- 4 Liu Zheng, Peng Xiao-qi, Ding Jian, et al. The application and development of CCD measurement technology in foreign industrial fields [J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2005, (4): 65-69. [刘征, 彭小奇, 丁剑等. 国外 CCD 检测技术在工业中的应用与发展[J]. 工业仪表与自动化装置, 2005, (4): 65-69.]
- 5 Zhang Yu-jin. Image Segmentation [M]. Beijing: Science Publisher, 2001. [章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- 6 Wang Qiang. Research on choice of threshold value and realization of algorithm in cutting apart picture [J]. Computer & Modernization, 2006, (10): 54-56. [王强. 图像分割中阈值的选取研究及算法实现[J]. 计算机与现代化, 2006, (10): 54-56.]
- 7 Du Qi, Xiang Jian-yong, Yuan Sheng-chun. An improved method of maximum classes square error [J]. Infrared Technology, 2003, 25(5): 33-36. [杜奇, 向健勇, 袁胜春. 一种改进的最大类间方差法[J]. 红外技术, 2003, 25(5): 33-36.]
- 8 Xue Ji-wei, Zhang Wen-yin, Chen Dong-fang, et al. Image noise reduction by mathematical morphology [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2003, 27(4): 48-50. [薛继伟, 张问银, 陈冬芳等. 基于数学形态学的图像滤波方法[J]. 大庆石油学院学报, 2003, 27(4): 48-50.]