

doi: 10.7690/bgzd.2018.05.008

红外目标测量图像高精度定位方法

李晓冰

(中国人民解放军 92941 部队 96 分队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要:为解决红外目标图像定位算法易受干扰而影响定位精度的问题,根据红外目标测量图像的灰度分布特性,依据测量目标定位的要求,利用红外目标图像中每层灰度质心位置恒定的特点,提出了一种基于多质心的红外目标图像高精度定位方法。通过对每层灰度质心的聚类处理,成功地避开了测量图像噪声及背景灰度非均衡的影响,有效地提高了质心算法的定位精度。实验结果表明:该方法定位精度高,抗噪声能力强,算法效率高,易于实现,已在实际图像测量中得到充分应用。

关键词: 红外图像; 定位; 目标; 质心; 灰度

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

High Precision Location Method for Infrared Target Measurement Image

Li Xiaobing

(No. 96 Team, No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: In order to solve the problem that the infrared target image localization algorithm is susceptible to interference and the positioning accuracy is easy to be affected, and according to the gray target distribution of the infrared target in image, a high precision positioning method of infrared target image based on multi-centroid is proposed based on the requirement of measurement target location in the infrared target image. Through the clustering of each gray scale's centroid, the influence of the measurement image noise and the non-equilibrium of the background gray scale is successfully avoided, which effectively improves the positioning accuracy of the centroid positioning algorithm. The experimental results show that the method has high positioning accuracy, strong anti - noise ability, high efficiency and easy implementation, and it has been applied in practical image measurement.

Keywords: infrared image; positioning; target; centroid; gray scale

0 引言

随着红外传感器技术的发展,空中目标的红外图像测量方式得到了广泛的应用。由于红外图像为辐射成像,因此,目标在红外图像上一般为光团形状。其高精度定位方法主要有插值法和拟合法 2 类。其中插值法主要包括质心法、双线性插值法等,此类方法对峰值周围的弱信号依赖性较大,抗噪声能力较弱;拟合法主要包括高斯曲面拟合、抛物线拟合等,此类方法的前提是必须准确提取目标边缘。这 2 类高精度定位方法都要求确定目标图像的区域,但是,由于红外目标图像都会受到光学系统误差、传感器噪声、采样误差、电路噪声的影响^[1],实际上的目标灰度分布不可能成标准正太分布,且边缘灰度变化非常平缓;所以,对于红外图像确定目标的区域是极其困难的。目前红外目标图像高精度定位方法方面研究的文献很少,大部分都是集中在弱目标跟踪上^[2],仅有的一些也是关于如何抑制噪声及目标窗口的确定上^[3-4],或者是利用高斯曲

面拟合目标的形状,以消除光斑漂移影响,再通过降低像元灰度弥散的方法,提高定位精度^[5]。但是,这些方法对于实际的红外测量图像都是很难实现的,而且这些都不是影响定位精度的主要因素。笔者在长期的红外测量图像处理中发现:影响定位精度的主要因素是目标周围像素灰度的均衡性,而且,对于实际红外测量图像,其边缘梯度很小,很难准确区分目标和周围的背景像素;因此,笔者根据长期的红外测量图像处理经验,提出了另一种思路,利用红外目标中心点能量最强的特点,按灰度分层对目标图像分别求取质心,在所得的质心序列中,最稳定的质心数据即为所求目标中心。通过对得到的每层质心进行聚类处理,将第一聚类的中心作为目标质心,从而有效地提高质心定位精度,并且避开了噪声及背景灰度非均衡的影响,在实际应用中效果良好。

1 影响定位精度的因素分析

目标图像的质心实际是灰度分布函数的平衡

收稿日期: 2018-02-20; 修回日期: 2018-03-22

作者简介: 李晓冰(1967—),男,河北人,硕士,高级工程师,从事测量图像处理方面研究。

点, 一幅红外测量图像的像素灰度为: $f(x,y)(\geq 0)$, x, y 为像素坐标, 则目标质心坐标^[6-7]为

$$\hat{x} = \frac{\iint_{(x,y) \in S} xf(x,y) dx dy}{\iint_{(x,y) \in S} f(x,y) dx dy}, \quad \hat{y} = \frac{\iint_{(x,y) \in S} yf(x,y) dx dy}{\iint_{(x,y) \in S} f(x,y) dx dy} \quad (1)$$

其中: S 为目标图像区域; \hat{x}, \hat{y} 为目标质心坐标。对其离散化后为:

$$\hat{x} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n xf(x,y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n f(x,y)}, \quad \hat{y} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n yf(x,y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n f(x,y)} \quad (2)$$

$$\hat{x} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n xf(x,y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x,y) + N(x,y)]} \left(1 - \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n N(x,y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x,y) + N(x,y)]} \right) + \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n xN(x,y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x,y) + N(x,y)]} \quad (4)$$

式(4)可简写为: $\hat{x} = \bar{x}(1 + \eta_1) + \eta_2$ 。

$$\text{其中: } \bar{x} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n xf(x,y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x,y) + N(x,y)]},$$

$$\eta_1 = - \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n N(x,y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x,y) + N(x,y)]},$$

$$\eta_2 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n xN(x,y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x,y) + N(x,y)]}.$$

由式(4)可以看出: 由于灰度不均衡及噪声的引入, 造成了一个乘性误差 η_1 和一个加性误差 η_2 , 导致质心法的定位精度下降。

为了尽可能地消除误差, 最直接的方法就是尽可能地缩小目标区域, 而对于红外图像, 由于其图像灰度变换平缓, 目标边缘梯度很小, 采用边缘提取等算法确定目标图像的范围很不现实; 因此, 一般采用阈值法, 但是, 准确确定阈值相当困难。同时, 由于红外图像中目标与背景的灰度差距较大, 高亮的目标灰度会拉高整体的统计值, 使得到的阈值偏高, 导致提取的目标不完整。另一种方法是对灰度进行加权, 即加权形心法, 但这需要建立在目标区域灰度明显大于背景区域灰度的条件下, 而实际上在这种情况下, 即使不加权, 质心定位效果也

从质心定位坐标公式可以看出: 目标质心实际是一个正太分布的顶点, 要求目标和其连接的背景灰度分布是一个类似正太分布, 一旦目标的一侧出现灰度峰值, 如噪声或灰度不均衡等, 其质心必定偏向峰值一侧。笔者以 x 方向为例, 分析质心算法的定位精度, 设 $N(x,y)$ 为背景灰度不均衡值或噪声, 或为二者共同产生的误差, 则质心 x 的坐标为

$$\hat{x} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n x[f(x,y) + N(x,y)]}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [f(x,y) + N(x,y)]} \quad (3)$$

进一步变换为

不错, 否则变成了对误差的加权, 反而影响了定位精度; 因此, 实用价值不大。

2 多质心高精度定位方法

笔者总结图像处理经验发现: 标准红外点目标图像应当成高斯正太分布, 只不过由于飞行目标受气流影响, 导致一侧或多侧灰度分布往往不均衡, 此时进行质心计算必然产生重心偏离。由于目标发动机尾焰辐射温度较大, 往往成标准锥形, 如果在目标图像上单独求取某些灰度级的质心, 这些质心应当是重合的。当然, 文献[8]提出对目标灰度锥形进行拟合, 并求包络线等预处理方法, 根据笔者多年的经验, 这是不现实的, 对于红外测量图像作任何形状操作, 其产生的误差都是难以忍受的。所以, 笔者直接在目标灰度范围内不断提升灰度级别, 同时求灰度质心, 公式如下:

$$\left. \begin{aligned} \hat{x}_g &= \frac{\sum_{x=1}^{\text{col}} \sum_{y=1}^{\text{row}} xf(x,y) \delta[f(x,y) - g]}{\sum_{x=1}^{\text{col}} \sum_{y=1}^{\text{row}} f(x,y) \delta[f(x,y) - g]} \\ \hat{y}_g &= \frac{\sum_{x=1}^{\text{col}} \sum_{y=1}^{\text{row}} yf(x,y) \delta[f(x,y) - g]}{\sum_{x=1}^{\text{col}} \sum_{y=1}^{\text{row}} f(x,y) \delta[f(x,y) - g]} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中: g 为灰度级, $g \in (0, 255)$, 当 $f(x,y)$ 的灰度级等于 g 时, $\delta[f(x,y) - g] = 1$, 即 (x,y) 位置处的像素灰

度值在 g 级内; col、row 为目标区域的长和宽; (\hat{x}_g, \hat{y}_g) 为 g 灰度级的目标质心, 将所有有效的质心坐标组成一个矩阵质心 $w_i(i=1,2,\dots,N)$, N 为质心坐标总点数。由于图像背景灰度不均衡、噪声等因素的影响, 各灰度层质心重合的并不多。此时, 为了消除干扰, 提高质心定位精度, 以最小类内平方误差和为聚类准则, 对质心坐标矩阵 w_i 进行聚类^[9-10]处理。利用质心坐标矩阵 w_i 中每个质心坐标作为加权隶属度^[11], 对目标函数进行反复迭代优化, 如下式:

$$J_m = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^N u_{ki}^m \|w_i - v_k\|^2 \quad (6)$$

式中: c 为质心坐标矩阵 w_i 所要分的类数; N 为矩阵单元总数, 即质心坐标总点数, 且 $2 \leq c \leq N-1$; $\|\bullet\|$ 为欧拉距离; m 为模糊加权指数, 且 $1 < m < \infty$, 取 1.5; $V = \{v_k\}(k=1,2,\dots,c)$ 为其聚类的中心矩阵; $U = \{u_{ki}\}(k=1,2,\dots,c; i=1,2,\dots,N)$ 作为模糊隶属度矩阵, 约束条件为:

$$\left\{ u_{ki} \in [0,1] \left| \sum_{k=1}^c u_{ki} = 1, \forall i, 0 < \sum_{i=1}^N u_{ki} < N, \forall k \right. \right\} \quad (7)$$

式中: u_{ki} 的含义为质心坐标矩阵中的 w_i 属于第 k 类的程度, 即隶属度; v_k 是第 k 类的中心。聚类中心和隶属度函数的迭代表达式为:

$$u_{ki} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c \left(\frac{\|x_i - v_k\|}{\|x_i - v_l\|} \right)^{2/(m-1)}}; \quad (8)$$

$$v_k = \sum_{i=1}^N u_{ki}^m x_i / \sum_{i=1}^N u_{ki}^m \quad (9)$$

因为在聚类结果中, 数据间相关性最强并且数据间相差较近的作为第一个类, 而各灰度级的质心坐标一般在第一个类中; 因此, 可将结果第一个聚类的中心值作为目标质心坐标。

本算法通过灰度分层, 将经典质心法的灰度质心, 变为多个灰度层分别的质心, 使目标实际质心与受干扰的质心分开, 并利用 FCM 聚类法得到最集中的灰度层质心, 从而剔除干扰, 最后, 将第一聚类的中心作为目标质心, 从而有效地提高质心定位精度。

3 实验结果与分析

采用 3 幅图像验证本定位算法, 2 幅定位目标居于窗口一侧的图像。其中: 一幅图像为检测其他弱目标的干扰对定位精度的影响; 另一幅图像检测不对称背景对定位精度的影响; 第 3 幅图像检测当目标位于窗口中心时, 不均衡背景对目标定位精度的影响。检测结果如图 1—图 3 所示。

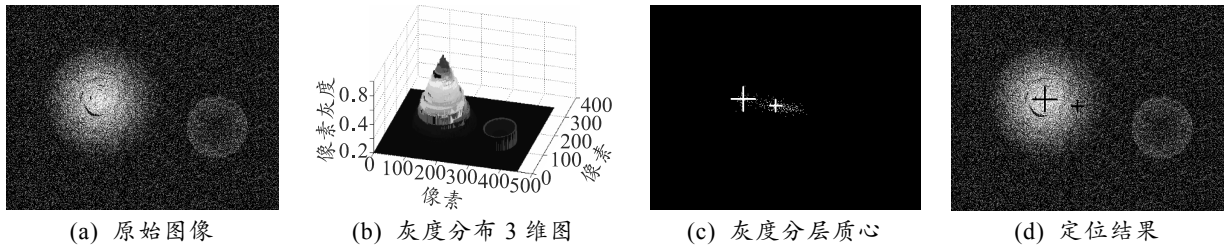


图 1 定位窗口取偏时假目标的干扰

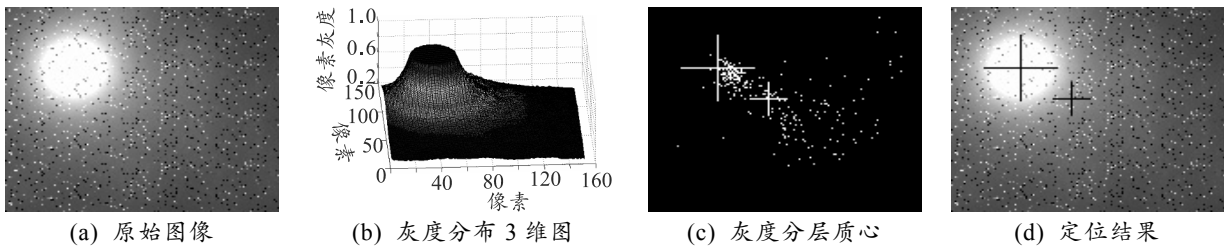


图 2 定位窗口取偏时背景的干扰

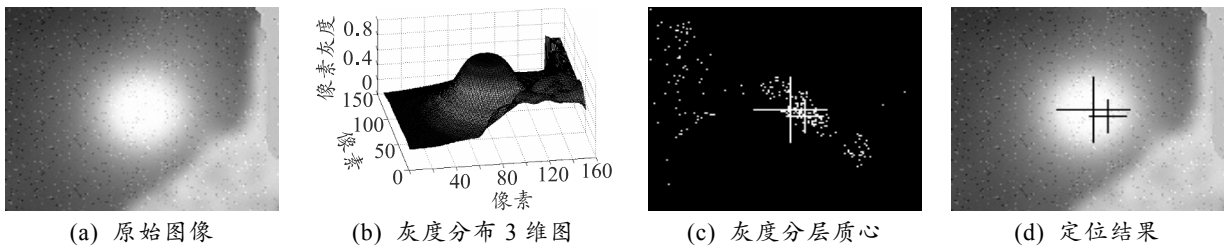


图 3 定位窗口取中时背景的干扰

从图 1—图 3 可以看到: 当目标位于定位窗口一侧时, 窗口另一侧存在一弱目标, 如图 1(a)、图 1(b)或大片背景区域如图 2(a)、图 2(b), 其中, 图 1(b)和图 2(b)表示灰度 3 维图。此时直接对目标进行灰度质心定位, 定位精度必然受到影响, 如图 1(c)和图 2(c), 其中小十字代表目标的质心定位结果。可以看出: 受假目标和高亮背景像素灰度的影响, 使目标偏向其一侧。但是, 通过分层质心的分布可以看出: 对于高于假目标和背景的灰度, 其分层质心点均集中在目标中心区域, 而干扰灰度分层质心分布明显分散。所以, 对其进行均值聚类, 目标中

心必然位于第一个分类中, 如图 1(c)、图 1(d)和图 2(c)、图 2(d)中的大十字所示。第 3 幅图像表示: 即使目标位于窗口中心, 如图 3(a), 只要目标周围背景灰度不完全均衡, 目标质心定位结果就会受到影响, 如图 3(c)的小十字所示, 而目标周围背景灰度完全均衡实际上是不可能的; 因此, 此种情况下, 文中定位方法也可取得准确的定位结果, 如图 3(d)所示。

笔者对文中算法的定位精度进行分析, 所有图像以图像左上角为坐标原点, 向下、向右均为正, 其定位精度评估结果如表 1。

表 1 定位精度评估 像素

图像	目标实际位置		标准质心算法				文中算法			
			定位坐标		定位精度		定位坐标		定位精度	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	155	153	209.07	164.54	54.07	11.54	155.33	153.79	0.33	0.79
2	78	63	86.54	67.44	8.54	4.44	78.17	63.76	0.17	0.76
3	38	37	66.11	56.77	28.11	29.77	38.81	37.52	0.81	0.52

从表中可以看出: 无论标准质心定位方法还是文中所用方法, 受到图像背景灰度不均衡的影响, 其定位结果均偏右; 但是文中算法的定位误差均小于 1 个像素, 远远高于标准质心算法的定位精度。

4 结论

笔者提出的红外目标测量图像高精度定位方法提高了红外测量图像的目标定位精度, 解决了测量图像目标定位过程中灰度变化影响定位精度的问题。同时, 该算法较为简单, 易编程实现, 对图像质量具有较强的适应性。在实际应用过程中, 可根据图像质量及定位精度要求, 对迭代次数进行适当调整。当然, 也可通过其他方法实现迭代次数的自动调整, 但会增加计算量。经实验证明: 采用固定迭代次数, 可满足一般红外测量目标的定位, 使得该方法具有广泛的适用性。该方法已在实际图像测量中得到充分应用, 效果良好。

参考文献:

[1] 穆治亚, 魏仲慧, 何昕, 等. 采用多经纬仪的红外多目标实时跟踪系统设计[J]. 光电子技术, 2012, 32(4): 217-225.
 [2] 黄成都, 彭定明, 王小青. 复杂背景下弱小目标的稳定跟踪控制[J]. 兵工自动化, 2006, 25(1): 62-63.

[3] 孙瑾秋, 周军, 张臻. 基于能量累加的空间目标星像质心定位[J]. 光学精密工程, 2011, 19(12): 3043-3048.
 [4] 史少龙, 尹达一. 改进型灰度质心实时算法研究[J]. 光电工程, 2013, 40(12): 18-24.
 [5] 王洪涛, 罗长洲, 王渝, 等. 一种改进的星点质心算法[J]. 光电工程, 2009, 36(7): 55-59.
 [6] SINGER M H. A general approach to moment calculation for polygons and line segments[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(7): 1019-1028.
 [7] HU M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. IRE Transactions on Information Theory, 1962, 8(1): 179-187.
 [8] 王伟华, 史永敏, 李丹凤, 等. 视觉测量红外光点图像中心精确提取[J]. 激光与红外, 2016, 46(12): 1508-1512.
 [9] BEZDEK J C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms[Z]. New York: Plenum, 1981.
 [10] 孙煜杰, 杨欢, 吴政隆. 基于灰度投影的跑道线提取方法[J]. 兵工自动化, 2015, 34(11): 9-13.
 [11] CHEN W J, GIGER M L, BICK U. A fuzzy c-means(FCM)-based approach for computerized segmentation of breast lesions in dynamic contrast-enhanced MR images[J]. Academic Radiology, 2006, 13(1): 63-72.