·光学设计·

基于红外图像的自动调焦技术

王建瑞

（中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308）

摘 要:基于图像处理的自动调焦技术是自动调焦的主要发展方向,其中图像清晰度评价函数是调焦能否成功的关键。红外图像因为其成像细节要小于可见光图像,简单的图像清晰度评价函数的无偏性和单峰性大打折扣,因此传统的自动调焦方式不能适用于红外图像。在传统的自动调焦方式上,提出了基于粗精结合的两段式快速搜索自动调焦方法。该方法将自动调焦分为两个步骤,首先通过粗调,迅速找到正焦大致位置,然后通过精调,最终找到正焦的精确位置。实验表明,该方法可以很好的对红外图像成像系统进行自动调焦,并且系统有着良好的稳定性和实时性。

关键词:自动调焦;图像处理;红外图像

中图分类号:TN214 **文献标识码**:A **文章编号**:1673-1255(2018)-03-0001-05

Auto Focusing Technology Based on Infrared Image

WANG Jian-rui

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308*, China)*

Abstract: Auto focusing technology based on image processing is the main direction of auto focusing, in which the image sharpness evaluation function is the key to the success of focusing. The imaging details of infrared images are less than those of visible images, the unbiased and single peak characteristics of the simple image sharpness evaluation function are discounted, so the traditional auto focusing method is not suitable to the infrared images. A two segment fast searching auto focusing method is proposed based on the combination of coarse and fine auto focusing methods. The method divides the auto focusing into two steps. First, the focal position is found quickly by coarse tuning. And second, the precise position of the focal point is finally found by fine tuning. Experiments show that this method can automatically focus the infrared imaging system, and the system has good stability and real-time characteristics.

Key words: auto focusing; image processing; infrared image

红外图像主要通过红外热像仪成像,相比于可见光CCD成像仪,其细节成分要少的多,但是对背景的不敏感性,使红外探测成为了现代光电系统中的一个重要领域[1-2]。尤其在空基平台,人力资源紧张,空中平台驾驶员不可能单独对成像系统进行操作,因而在近地侦察或者对低空慢速目标进行侦察时,都要用到红外图像的自动调焦技术。

红外图像的自动调焦技术的主要发展方向是基于图像处理的自动调焦技术[3]。其原理是成像系统通过对采集的红外图像进行某种运算,得到各个离焦量下图像清晰度评价数值,通过比较在不同离焦量下图像清晰度评价数值,得到图像在最清晰时所对应的离焦量,进而控制相应调焦电机,使红外成像系统成像最清晰,最终达到自动调焦的目的。

基于数字图像处理的自动调焦技术引起了很多专家学者的兴趣,近年来,其图像处理算法也有

收稿日期:2018-03-18

作者简介:王建瑞(1982-),男,山东冠县人,硕士研究生,主要研究方向为光电系统电路设计.

了很大的发展[4-5]。数字图像自动调焦算法大致可分为灰度梯度函数、灰度熵函数和频域类函数。这些算法基本上是对原图像或者是对图像进行一定的预处理(比如滤波和灰度变换等)后进行运算的[6]。这些算法中有的算法对噪声敏感,当图像不含噪声时,这些算法能保持一定的灵敏度和单峰性,但当图像含有噪声时,算法可能失效;有的算法易受图像对比度的影响,处理低对比度图像时,算法的灵敏度大大下降;有的算法对调焦区域的选择条件苛刻,当调焦区域中背景像素较多时,算法灵敏度下降;有的算法处理一帧图像的平均时间过长,不仅大大增加了系统的负荷量,还不利于实时性的实现。

为了避免上述上面算法所带来的问题,提出了一种基于粗精结合的两段式快速搜索自动调焦方法。基于本技术,在开始自动调焦命令后,信号处理器并不对每一帧图像进行图像清晰度运算,而是通过控制调焦电机,红外热像仪首先进入粗调焦阶段,选取三个离焦量下图像的清晰度运算,通过对三幅图像清晰度数值进行比较,得出其变化规律,系统再判断出下步调焦的方向,然后找到大致正焦位置,之后切换到精调阶段,通过同样的过程,找到精确的正焦位置,进而实现红外图像的自动调焦功能。这样,可以很好的解决红外图像噪声以及低对比度导致的图像评价函数不能正确反应图像清晰度而产生的调焦失败问题。

1 自动调焦的原理

基于图像处理的自动调焦方法直接针对采集到的图像信息进行处理,通过计算图像的清晰度评价值,判断成像是否清晰,调焦是否准确,然后驱动镜头到正焦位置,实现系统的自动调焦。其系统组成由成像目标、成像镜头、红外相图像处理模块和调焦电机五部分组成。图像显示系统作为辅助设备,实时显示成像,以确定自动调焦的最终效果。各个部分之间的连接关系如图1所示。

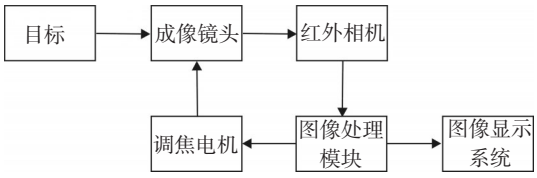

图1 自动调焦系统组成

这种调焦方法是通过图像在离焦的情况下,对成像的模糊程度进行判断,采用红外相机扫描方法,获取离焦红外图像,经算法处理,得到不同图像的灰度分布的过程。其自动调焦工作流程如图2所示。

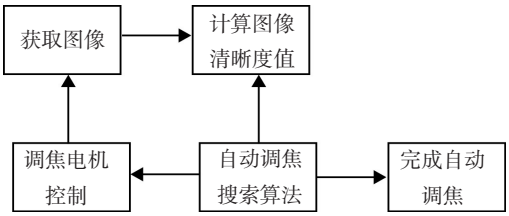

图2 自动调焦工作流程

调焦过程中红外相机接收红外图像,经过光学系统采集,进行必要的图像处理和特征提取,得到不同离焦量下图像的清晰度评价值[7]。当处理完一幅图像后,再由图像处理模块发出驱动指令完成焦距转换。随着调焦电机在调焦范围内对最佳调焦位置的搜索,就可得到红外相机在不同离焦的情况下的一系列数字图像,通过对比此系列图像的数学模型,就可准确地判断出红外相机的最佳对焦位置。

2 图像清晰度评价函数

图像清晰度评价函数是基于图像处理算法的自动调焦的关键技术,是建立在搜索算法上的自动调焦方法[8]。它通过图像清晰度评价函数对不同对焦位置所成像的清晰度进行评价,利用正确对焦时图像最清晰这个特征找到正确的对焦位置。该方法中最关键的是图像清晰度评价函数的选取。理想的清晰度评价函数应具备无偏性、单峰性和高信噪比的特点。灰度差分法就是常用的清晰度评价函数。

灰度差分法是通过检测图像的轮廓边缘实现图像清晰度评价的。图像的轮廓边缘越清晰,则它的亮度梯度就越大,或者说边缘处景物和背景之间的灰度熵值就越大。反之,离焦的像,轮廓边缘模糊不清,亮度梯度或灰度熵值下降;离焦越远,灰度熵值越低[9]。

灰度差分法是利用图像的相邻像素(左侧及上侧像素)差的绝对值之和作为焦距评价函数,即

$$F=\sum_{x}\sum_{y}\left\{\left|f(x,y)-f(x,y-1)\right|+\left|f(x,y)-f(x-1,y)\right|\right\} \tag{1}$$

式(1)中，$f(x,y)$表示第x行、第y列像素的灰度值，像素的相对位置如表1所示。

表1　图像中像素的相对位置

$f(x-1,y-1)$	$f(x,y-1)$	$f(x+1,y-1)$	$f(x+2,y-1)$
$f(x-1,y)$	$f(x,y)$	$f(x+1,y)$	$f(x+2,y)$
$f(x-1,y+1)$	$f(x,y+1)$	$f(x+1,y+1)$	$f(x+2,y+1)$
$f(x-1,y+2)$	$f(x,y+2)$	$f(x+1,y+2)$	$f(x+2,y+2)$

实验中对于亮度比较均匀的图像，其聚焦效果不理想，为此设计提出一种改进的灰度差分法作为焦距评价函数。其算法描述如下

$$F=\sum_{x}\sum_{y}\{|f(x,y)-f(x,y-1)|+|f(x,y)-f(x-1,y)|+|f(x,y)-f(x,y+1)|+|f(x,y)-f(x+1,y)|\} \tag{2}$$

式(2)中选取了邻近的四个像素(左侧、左上侧、上侧及右上侧像素)作比较，增大了焦距评价函数的绝对值。搜索曲线尖锐，容易找到最佳位置[10]。

当图像聚焦良好时，图像边缘清晰，灰度熵值较大；当图像聚焦欠佳时，图像边缘模糊，灰度熵值较小。因此，可对图像灰度熵值范围进行判断，当灰度熵值大于某一阈值时，即可认为图像聚焦清晰。

理想的清晰度评价函数曲线具有单峰性，峰值位置对应最佳聚焦位置，在峰值两侧评价曲线单调递减。搜索过程如图3所示。其中箭头指向表示搜索方向。

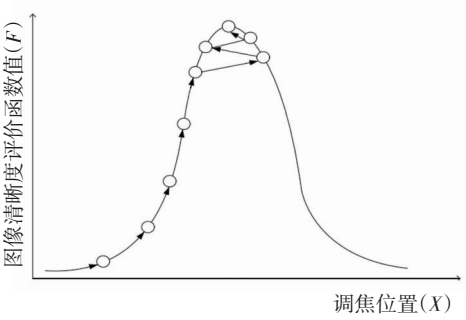

图3　理想清晰度评价函数下搜索过程示意图

调焦开始时，设置调焦搜索方向和一个较大的步长值，首先在同一方向连续采集两幅图像，系统对采集到的图像进行处理，假设计算出的图像清晰度评价值为F_1、F_2，将两次的评价值进行比较，如果$F_1>F_2$，说明调焦电机移动方向移动正确，搜索方向正确，应继续往该方向搜索；如果$F_1<F_2$，说明搜索方向有误，应改变调焦搜索方向，继续搜索。当前图像的评价值第一次小于前一幅图像的评价值时，说明已经过了聚焦位置，应改变搜索方向，并减小搜索步长。如此反复，最终确定最佳成像位置，调焦搜索过程结束。

3　基于粗精结合的两段式快速搜索自动调焦方法设计

图像清晰度函数是评价离焦量的一个重要参数，因其受到红外图像特性和噪声的影响，导致图像清晰度函数不是理想的，其单峰性和无偏性得不到保证，会给自动调焦控制芯片传输错误的信息，不仅没能实现自动调焦，反而会将原图像调的更加模糊，最终导致自动调焦失败。又由于其庞大的运算量，大大增加了系统的功耗，导致其实时性得不到保障。为了克服其缺点，文中在这种算法的基础上提出了基于粗精结合的两段式快速搜索自动调焦方法。

系统进入自动调焦后，首先进入粗调阶段，粗调阶段采用灰度差分函数，大步长搜索到焦点位置附近，精调阶段选小步长搜索到聚焦位置。

搜索过程开始时，首先在同一方向连续采集三幅图像，分别计算出它们的灰度熵值F_1、F_2、F_3，如果$F_1<F_2<F_3$，说明正在靠近聚焦位置，搜索方向正确，继续往该方向搜索；如果$F_1>F_2>F_3$，说明搜索方向相反，应往反方向搜索，且每次反向搜索时，搜索步长变为原来的$\frac{3}{4}$；如果出现$F_1>F_2$且$F_2<F_3$的情况，说明受到局部噪声的影响，应继续往前搜索；如果出现$F_1<F_2$且$F_2>F_3$的情况，说明已经过了聚焦位置，应反向搜索。

进入精调阶段，初始步长约为此时粗调阶段步长的$\frac{1}{3}$，如此往复，且每次改变搜索方向时，搜索步长变为原来的$\frac{3}{4}$。同理，当再次出现$F_1<F_2$且$F_2>F_3$的情况时，说明已经过了聚焦位置，应往回搜索，进入第二次精调阶段，步长变为此时步长的$\frac{1}{3}$，直至

出现$F_1<F_2$且$F_2>F_3$的情况，调焦结束。调焦流程如图4所示。

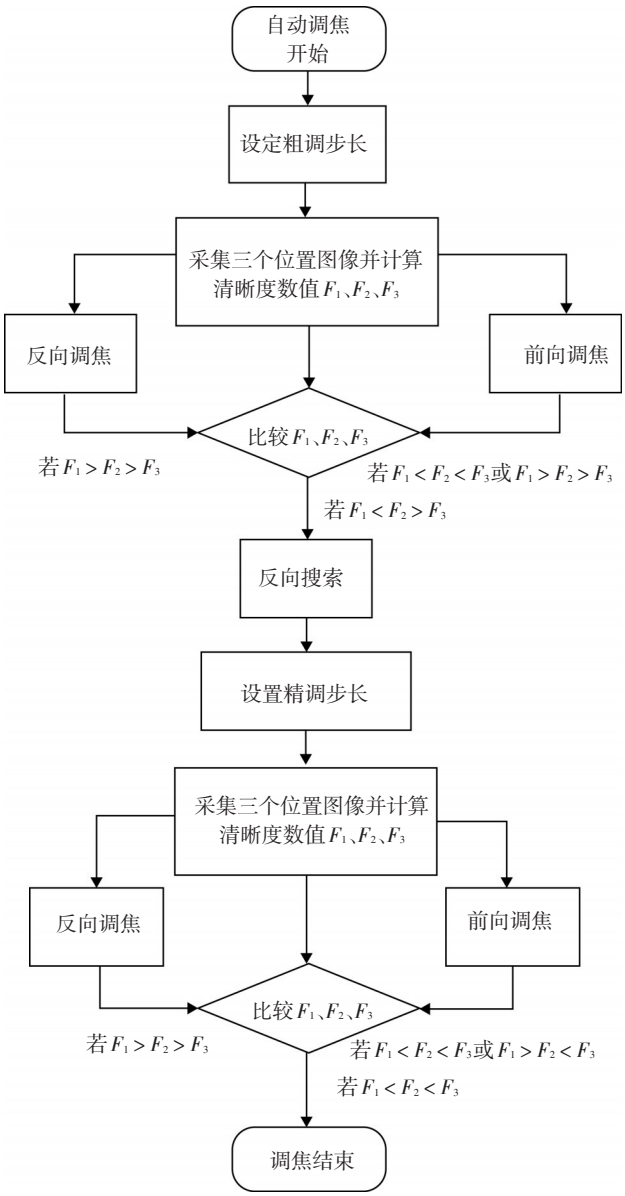

图4 基于粗精结合的两段式快速搜索自动调焦流程图

提出的粗精结合的搜索策略，粗调阶段采用大范围搜索到焦点位置附近，由于采用大步长，加快了搜索速度，提高了搜索效率；而精搜索阶段采用在正焦位置附近小范围搜索，由于该评价函数具有灵敏度高、抗噪性好的优势，因此可以准确定位聚焦位置，提高调焦精度；并且由于采用连续三幅图像比较的方法确定搜索方向，大大地减少了局部极值的影响和出现误判的概率，提高了系统的抗干扰性能。因此，该算法具有精度高、抗干扰性强以及效率高的优点。

4 系统效果及稳定性分析

为了测试本方法的性能和效率，选取了典型的红外成像系统，红外探测器采用制冷型红外探测器，其成像分辨率为640×480，帧频50 Hz，镜头采用F数为4、焦距为60.0 mm、视场角14.6×11.7、入瞳距72 mm、总长372.7 mm的红外大口径镜头。红外探测器与镜头之间的调焦范围为0~70 mm。镜头固定，红外探测器固定在位移台上，通过调节位移台位置，改变红外探测器与镜头之间的距离，实现调焦功能。

系统性能的评价主要从调焦的性能和稳定性以及实时性三个方面进行分析。

(1)自动调焦的效果分析

通过观测室外场景，同时将在不同离焦位置时的灰度差分值输出并记录，实验结果如图5所示。

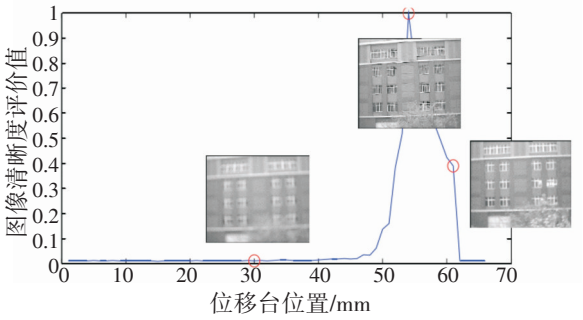

图5 自动调焦图像效果图像

通过图像，可以看出，灰度差分值与观测到的图像清晰程度相符，符合人眼观察的主观视觉，自动调焦取得了良好的调焦效果。

(2)自动调焦的稳定性分析

为了测试评价函数的稳定性，当搜索到正焦位置之后，在正焦位置保持一段时间，将评价值记录下来，所产生的评价曲线如图6所示。

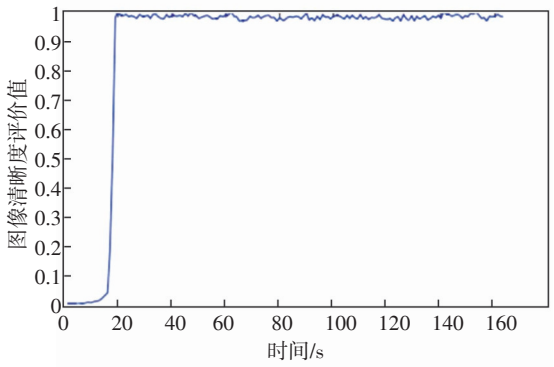

图6 自动调焦的稳定性图像

由图6可以看出,与其他评价函数相比,自动调焦结束后,在正焦位置附近的波动范围比较小,也有着很好的收敛稳定性。可见该自动调焦方法有着很好的稳定性。

(3)自动调焦的实时性分析

自动调焦的实时性也就是自动调焦所消耗的时间多少。自动调焦过程所消耗的时间主要包括图像采集时间、图像处理时间、电机运行时间。实验中,起始位置位于0 mm处,准焦位置位于相对调焦行程53.2 mm位置处,调焦过程总耗时20.95 s,下面分析影响调焦速度的各方面因素。

①图像采集时间

系统所使用的红外相机采集图像的速度为50 Hz,采集一帧图像的时间就是0.02 s。整个调焦过程共采集图像62帧,耗时约1.24 s。

②图像处理时间

图像处理时间主要由计算调焦评价函数值的算法时间决定。实验中采用改进的灰度差分法作为调焦评价函数,调焦图像分辨率为640×480像元大小。将该算法写成独立的函数,对执行该函数所消耗的时间进行计时,计算单帧图像的清晰度耗时约30.8 ms,共62帧图像清晰度序列的计算耗时约1.909 s。

③电机运行时间

为了求取调焦过程电机运行时间,对单片机控制器编程,步进电机驱动镜头首先大步长遍历完调焦行程,然后小步长搜索极值点,运行期间不采集图像,不与上位机通信,仅仅控制步进电机运行实验中调焦过程的电机行程。电机运动时间大约17.95 s。具体所用时间占比如图7所示。

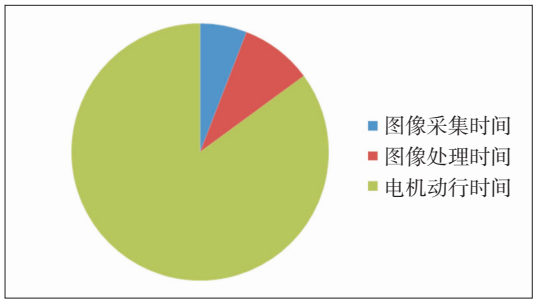

图7　自动调焦所用时间占比图

可见,在一次完整的自动调焦过程中,电机运行时间是主要的时间消耗所在。因此,如需进一步提升系统的实时性,可以从选择运动速度更快的调焦电机上着手。

5　结　论

设计了一种红外图像的自动调焦技术,该技术放弃了传统的对每幅图像均进行图像处理运算的方法,而采用了粗精结合的两段式快速搜索自动调焦方法,仅仅对很少部分的图像进行运算,通过粗调,迅速找到焦点附近,通过精调,锁定正焦位置。通过文中方法的图像清晰度函数运算,减小了采集的红外图像的噪声所带来的影响,其鲁棒性的得到了大大的提高。系统的实时性相对于传统的自动调焦,并未损失多少,但是效率上却有着明显的提高。

参考文献

[1] 翟蓬,林喜荣. 一种基于图像处理的自动调焦系统[J]. 电子技术应用,2002,10:33-35.

[2] 关文俊,和亮. 现代相机的自动功能(自动聚焦式相机)[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报,1999,6:76-79.

[3] 梁翠萍,李清安,乔彦峰,等.简析光学系统自动调焦的方法[J]. 2006,6:93.

[4] LI Bing, WANG Jian-lu, ZHANG Fei. Error analysis and compensation of single-beam laser triangulation measurement[C]//IEEE International Conference, 2009: 1223-1227.

[5] 严军,董志华.CCD超分辨率位置测量方法及性能分析[J]. 测试技术学报,2006,20(3):189-194.

[6] 范富明,程良伦,王晓芬,等.一种新型光学快速自动聚焦系统[J]. 光电工程,2010,37(5):127-132.

[7] 朱倩,姜威,贲晛烨,等. 梯度与相关性结合的自动聚焦算法[J]. 光学技术,2016,42(4):329-332.

[8] 高赞,姜威,朱孔凤. 基于最大梯度和阈值的自动聚焦算法[J]. 电子测量与仪器学报,2007,21(5):49-54.

[9] Fleetwood D M, Scofield J H. Evidence that similar point defectscause 1/f noise and radiation-induced-hole trapping in MOS transistors[J]. Phys Rev Lett, 1990, 64(5): 579-582.

[10] Vander Zier. Unified presentation of 1/f noise in electronic devices: fundamental 1/f noise sources[J]. IEEE, 1988, 76(3): 233-258.