

文章编号: 1672-8785(2016)10-0041-07

基于红外图像帧关联的 自动阈值分割方法

苗晓孔 王春平 付 强

(军械工程学院电子与光学工程系, 河北石家庄 050003)

摘 要: 针对目前单帧图像阈值分割中分割易受突变影响、目标背景分割不明显以及分割效果较差等问题, 提出了一种基于红外图像帧关联的自动阈值分割方法。该方法利用自动阈值分割法简单分割单帧图像, 然后根据图像帧关联信息对图像进行分组处理, 再对每帧图像进行权重分配, 最终确定每帧图像的分割阈值, 以提高分割的抗干扰性, 改善分割效果。通过理论分析和实验仿真验证了该算法的有效性和可行性, 并将其与其他算法进行了对比实验。实验结果表明, 本文提出的分割算法的抗干扰性较强, 能够将目标图像从背景中清晰地分割出来, 具有更好的分割效果和更强的应用性。

关键词: 红外图像; 阈值分割; 帧关联; 目标检测

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.10.008

Automatic Threshold Segmentation Method Based on Infrared Image Frame Association

MIAO Xiao-kong, WANG Chun-ping, Fu Qiang

(Department of Electronic and Optical Engineering, Ordnance
Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In the current single-frame image threshold segmentation, the segmentation is susceptible to mutations, the background segmentation is not obvious and the segmentation effectiveness is poor. To solve these problems, an automatic threshold segmentation method based on infrared image frame association is proposed. Firstly, the automatic threshold segmentation method is used to segment a single-frame image simply. Secondly, the image is processed group by group according to the frame-related information. Then, the weights are assigned to each frame. Finally, the segmentation threshold of each frame is determined to improve the anti-interference and segmentation effectiveness. The validity and feasibility of the method are verified through theoretical analysis and experimental simulation. Compared with other algorithms, the proposed method is stronger in anti-interference ability. It can segment the target image clearly from the background and has better segmentation effectiveness and applicability.

Key words: infrared image; threshold segmentation; frame association; target detection

收稿日期: 2016-07-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61141009)

作者简介: 苗晓孔 (1991-), 男, 河北石家庄人, 硕士生, 主要从事信息处理理论与方法研究。

E-mail:miao_xk@163.com

0 引言

图像分割作为计算机视觉领域的经典问题之一,其目的在于将图像划分成为各具特性的区域^[1],并把待识别的目标图像从原始图像中分割出来^[2]。图像分割具体可以分为阈值选取和目标分割两个过程,是目标跟踪系统中极其关键的一个环节。阈值分割是图像分割领域中使用最普遍的一类简单有效的方法。采用合理的阈值分割方法可以确定出恰当的阈值,从而将目标和背景明显地区分开,为图像的目标检测和跟踪观测等提供重要的保障。

上世纪 50 年代以来,人们研究了很多阈值分割算法,如全局阈值法、局部阈值法、最大熵法和最大类间方差法(Maximum Between-class Variance,Otsu)等。目前大多数阈值分割算法都是对某些特定条件下的图像具有较好的分割效果,且大多数阈值选取都是根据单帧图像的特征来确定相关参数,很少会有效应用图像帧与帧之间的关联信息。虽然,Reddi 等^[3]部分学者提出了递推、迭代和降维等算法,但也仅是针对单帧图像阈值计算的一种改进。尽管这种方法被推广至二维,并应用于 Otsu、最大熵和交叉熵等准则函数的最优化^[4-6],但是其仍未利用图像帧与帧之间的关系,其分割效果虽有所改善,但效果一般。同时,随着各个学科领域的知识交叉和综合发展,阈值选取准则函数的改进方案也越来越多,其分割算法也得到了不断完善和优化,如遗传算法^[7]、模拟退火算法^[8]、粒子群算法^[9]、蜂群算法^[10]以及萤火虫算法^[11]等。这类阈值分割算法需要处理的数据规模庞大,对处理器的要求较高,因此对一些军事装备上的硬件设施来说,其实际的应用价值不高。

为了解决上述问题,也为了将阈值分割算法更好地应用到武器装备中,本文在原有自动阈值分割算法的基础上,提出了一种改进算法——基于红外图像帧关联的自动阈值分割方法。该方法主要利用红外观测视频中图像帧与帧之间密切的关联性,对传统的自动阈值分割算法进行权重分配处理。在处理过程中,对偏差较大的

相关数据进行除权和筛选,以保证数据处理的准确性和可靠性。

1 自动阈值分割技术

1.1 阈值分割的基本原理

对一幅尺寸大小为 $M \times N$ 、灰度级数为 L 的图像,每一个坐标点 (x, y) 的像素灰度值大小用 $f(x, y)$ 表示。单阈值分割是确定一个分割阈值 T ,并按照式(1)的函数关系进行逐一映射:

$$f(x, y) = \begin{cases} 0 & 0 \leq f(x, y) \leq T \\ L-1 & T < f(x, y) \leq L-1 \end{cases} \quad (1)$$

按照式(1)分割后的图像将只呈现 0 和 $L-1$ 的灰度值,这一过程也就是我们通常所说的“二值化”。这是单阈值分割最基本的方法,在目标像素和背景像素差别较大的情况下,其分割效果相对较好。

多阈值分割就是将图像中的灰度像素值按照多个区间段进行划分,并将符合区间条件的像素点统一设定成固定的灰度值。其映射函数表达式为

$$f(x, y) = \begin{cases} L_0 & 0 \leq f(x, y) \leq T_1 \\ L_1 & T_1 \leq f(x, y) \leq T_2 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ L_{n-1} & T_{n-1} \leq f(x, y) \leq T_n \\ L_n & T_n \leq f(x, y) \leq T_{L-1} \end{cases} \quad (2)$$

式中, T_1 、 T_2 、 $\dots$ 、 T_{L-1} 表示不同的阈值, L_0 、 L_1 、 $\dots$ 、 L_{n-1} 、 L_n 表示不同的灰度值。根据式(2)可以将整幅图像分割成不同的区域。这种多阈值分割方法对多目标提取且目标分布在不同灰度级区间的情况比较适合。不难看出,阈值分割的核心工作是最佳分割阈值的选取。单帧图像目标检测的一般步骤是先进行预处理,然后进行阈值检测。所以对单帧图像阈值分割来说,其预处理将会对分割结果产生很大的影响。而预处理阶段通常采用的较多方法是利用滤波器进行滤波处理。滤波方式如高通滤波^[12]、中值滤波、匹配滤波^[13]和空域滤波^[14]以及由以上几种滤波方式组成或改进构成的综合型滤

波。对于空中目标来说,除了噪声之外,背景会产生更大的干扰。对于背景干扰,中值滤波的效果不好;高通滤波则仅仅适用于小目标检测,匹配滤波适用的范围相对较窄;形态滤波在抑制噪声方面有些优势,但是效果和高通滤波相似。

1.2 自动阈值分割

自动阈值分割中产生影响最大、受关注度最高的是 1978 年日本学者 Otsu 提出的 Otsu 阈值选取法。它的基本原理是,以目标类和背景类之间的方差最大化为准则选取分割阈值。以一维灰度级直方图为例,其具体的计算方法步骤如下:

步骤 1: 计算灰度直方图中各灰度级的频率

$$p_i = h_i / (M \cdot N), p_i \geq 0, \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (3)$$

式中, h_i 表示灰度级为 i 的频数, $M \cdot N$ 表示整幅图像的大小, p_i 表示各灰度级的频率。

步骤 2: 计算目标类和背景类像素所出现的概率

目标类像素的概率为

$$\omega_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i \quad (4)$$

背景类像素的概率为

$$\omega_b(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - \omega_0(t) \quad (5)$$

式中, t 表示分割阈值,假设将整幅图像划分为 $[0, t]$ 的目标类和 $[t+1, L-1]$ 的背景类。其中, $\omega_0(t)$ 表示目标类像素出现的概率, $\omega_b(t)$ 表示背景类像素出现的概率。

步骤 3: 计算目标类和背景类像素的灰度级均值以及整幅图像的灰度级均值

整幅图像的灰度级均值为

$$\mu_T(t) = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i \quad (6)$$

目标类像素灰度级均值为

$$\mu_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^t i p_i}{\sum_{i=0}^t p_i} = \frac{\sum_{i=0}^t i p_i}{\omega_0(t)} \quad (7)$$

背景类像素灰度级均值为

$$\mu_b(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i}{\sum_{i=t+1}^{L-1} p_i} = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i}{\omega_b(t)} = \frac{\mu_T(t) - \mu_0(t) \omega_0(t)}{\omega_b(t)} \quad (8)$$

步骤 4: 根据类间方差求取最佳阈值

$$\begin{aligned} \sigma_B^2(t) &= \omega_0(t)(\mu_0(t) - \mu_T)^2 + \omega_b(t)(\mu_b(t) - \mu_T)^2 \\ &= \omega_0(t)\omega_b(t)(\mu_0(t) - \mu_b(t))^2 \end{aligned} \quad (9)$$

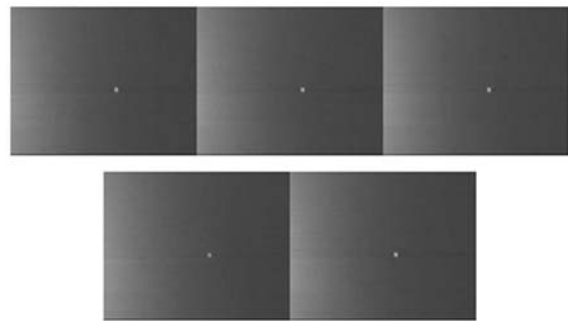
阈值选取准则为

$$t^* = \operatorname{argmax}_{0 \leq t \leq L-1} \{\sigma_B^2(t)\} \quad (10)$$

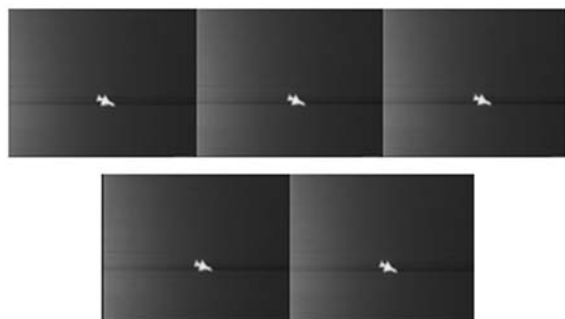
但这种方法仅适用于图像中目标和背景所占面积接近的情况。当两者所占面积较悬殊时, Otsu 分割方法将失效^[6]。

2 红外图像帧关联的自动阈值分割

通过观测红外序列图像可知,红外目标尤其是一些空中目标,由于其相对于成像系统的距离较远,红外成像系统的帧频较高,所以在相邻的两帧或多帧图像中目标的特征具有很强的相似(关)性。这为利用目标帧间相似(关)性来进行序列图像红外弱小目标检测提供了依据^[15],更为利用图像帧关联的特性进行自动阈值分割提供了理论基础。图 1 为连续几帧空中红外目标图像。



(a) 点目标序列图像



(b) 具备形状信息的红外序列图像

图 1 空中红外目标连续帧图像

图 1(a) 为空中点目标的红外序列图像, 图 1(b) 为空中具备基本形状信息的红外序列图像。观察图 1 可知, 红外目标图像在以“帧”为计量单位的时间间隔内, 相邻两幅图像间的变化不明显, 甚至在一段时间内图像与图像间的相似性也很强。经过对红外序列图像目标检测技术研究可知, 在点目标阶段, 目标往往只呈现几个像素的大小, 基于目标纹理和形状等特征的图像处理技术难以适用。因此, 基于目标运动信息的帧关联的自动阈值分割将是解决低信噪比条件下点目标检测和跟踪的有效途径。

目前, 利用目标的运动特性在序列图像中检测目标的研究已相当普遍, 但是利用序列图像或多帧图像信息进行阈值分割的研究则相对较少。虽然部分研究者采用多帧能量累加后的分割方法来剔除绝大部分噪声点, 但是其仍具有改进和完善的空间。

本文帧关联的自动阈值分割方法主要在以下两个方面进行了改进: (1) 对图像进行数组处理, 更新一帧图像相当于更新一次数组。(2) 对序列图像进行权值分配, 并对图像中偏离程度较大的野值数据进行除权处理。具体的帧关联自动阈值分割流程如图 2 所示。

帧关联自动阈值分割算法的步骤是:

步骤 1: 采用一维 Otsu 法的自动阈值分割技术, 确定单帧红外图像的自动分割阈值 T_i

$$T_i = \operatorname{argmax}_{0 \leq t \leq L-1} \{\sigma_B^2(t)\} \quad (11)$$

式中, T_i 为每帧图像的自动分割阈值, $\sigma_B^2(t)$ 为自动阈值分割中需要计算的部分。

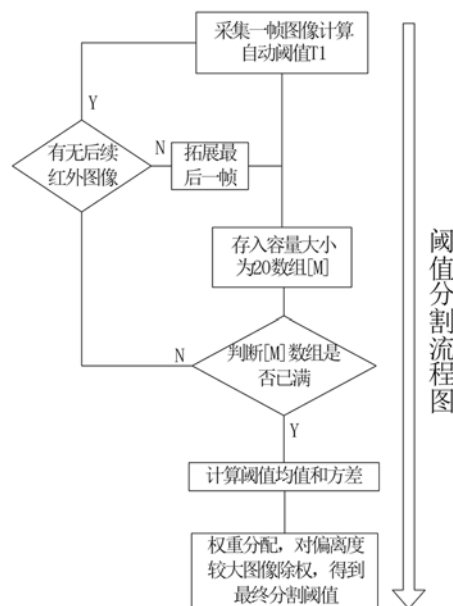


图 2 帧关联自动分割阈值的流程图

步骤 2: 对数组中的阈值进行权值分配

$$W_i = \frac{\frac{1}{i^2+1} + i^e}{\sum_{i=1}^{20} i^e} \quad (12)$$

式中, W_i 表示每帧图像所占的比例系数。 i 表示第几帧图像, e 表示自然对数的底数。通过观察可知, 每帧图像除了与自身最相关之外, 与距离自己时间越近的图像的相关性越大, 也就是说, 数组中从最开始到最后一帧图像所占的比重越来越大。所以文中采用了一个经过实验论证和测试的权重分配系数, 即式 (12)。需要特别注意的是, 对未满足数组需进行拓展处理。拓展方式是, 对最后一帧图像采取不同方式进行预处理, 进行滤波和去噪, 将每种方式处理后的图像存入数组, 直至数组填满。

步骤 3: 计算数组中的阈值平均值和标准差

$$\bar{T} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} T_i, \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{20} (T_i - \bar{T})^2}{20} \quad (13)$$

式中, $\bar{T}$ 为 20 帧图像的阈值平均值, σ^2 为该数组的阈值方差。

步骤 4: 对数组中的数据进行判断, 将偏离程度较大的数值进行除权处理, 并计算最终的分割阈值

$$\begin{cases} W_i = 1/2W_i & \text{if } |T_i - \bar{T}| \geq 10\sigma \\ W_i = W_i & \text{if } |T_i - \bar{T}| < 10\sigma \end{cases} \quad (14)$$

$$T_{last} = W_i T_i \quad (15)$$

式 (14) 为判断阈值偏离程度的公式, T_{last} 为最终所求的阈值。

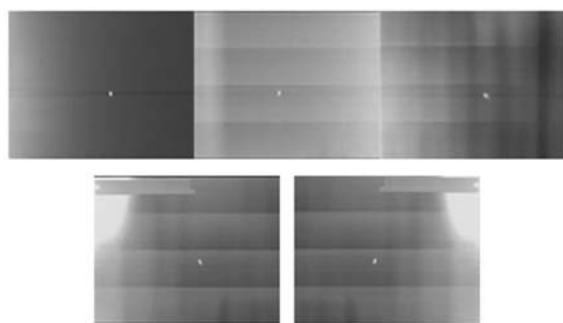
经过上述步骤处理的分割阈值, 由于采用了关联帧的信息, 所以可以很好地将数据中受光照或其他突变带来的影响降至最低, 使分割效果更符合实际情况。

3 实验效果和分析

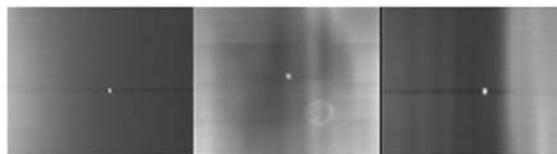
为了检查算法的性能和效果, 本文通过实验对算法进行了验证。本文的仿真实验平台是基于硬件平台 32 位操作系统的 Intel Core i5 CPU 和 8GHz RAM 计算机, 软件平台是 Windows 7 操作系统和 MATLAB R2011b。选取实验样本的红外图片的尺寸为 640×480 。

3.1 帧关联自动阈值分割的实验效果

本实验从 3 组受到不同程度干扰的序列图像中分别选取一帧, 并对其进行自动阈值分割。图 3 为原始红外序列图像。图 3(a) 为一组受到严重干扰时空中红外目标的序列图像, 图 3(b) 为选取的三组不同序列图像中受到严重干扰时的一帧图像。用本文算法计算其分割阈值并对其进行处理之后的分割效果如图 4 所示。



(a) 受严重干扰的红外序列图像



(b) 三组序列图像中受干扰的帧图像

图 3 原始红外图像

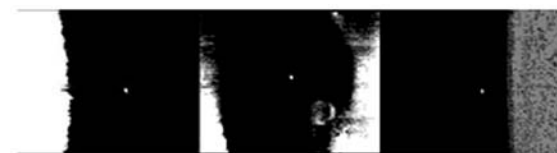
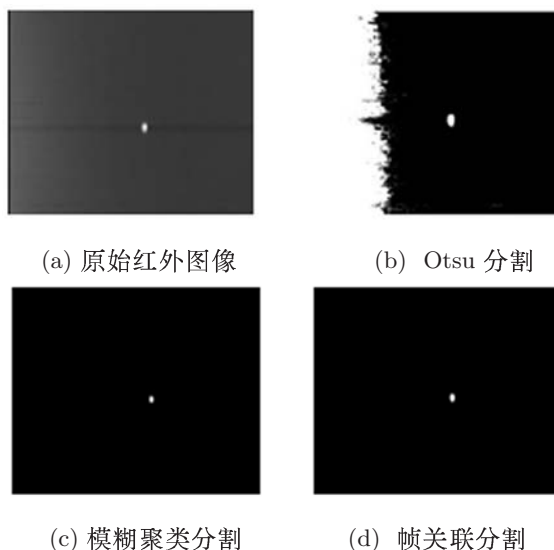


图 4 分割后的图像

从图 4 可以看出, 在红外图像受到严重干扰时, 由于有效利用了帧关联信息, 仍旧可以把分割阈值设定在一个合理的区间, 既能保证把目标和背景有效地分割开, 同时也提高了目标检测的能力。

3.2 与其他方法的对比实验

为了更进一步分析和验证本文方法的有效性, 选取自动阈值分割中使用最普遍的 Otsu 算法和文献 [13] 中模糊聚类^[16]的方法作了对比实验。对比实验效果如图 5 所示。



(a) 原始红外图像

(b) Otsu 分割

(c) 模糊聚类分割

(d) 帧关联分割

图 5 简单目标和背景的阈值分割效果

从图 5 可知, 原始红外图像的左侧受到的光照较强, 对整幅图像产生了光照不均的影响。在该图像进行自动阈值分割时, 不同算法的分割

效果分别如图 5(b)、图 5(c) 和图 5(d) 所示。由观察可知, 图 5(c)、图 5(d) 的分割效果明显优于图 5(b), 且图 5(d) 分割出的目标区域比图 5(c) 更明显。表 1 为三种分割方法的具体分割阈值和计算时间 (分割时间为测量 10 次实验数据的统计平均值), 其中采用一种较常用的分割评价指标误分类误差 (Misclassification Error, ME)^[17] 对比分析了分割结果的优劣。ME 的值越接近 0, 说明分割效果越好。

表 1 图 5 中三种分割算法的相关参数

算法名称	分割阈值	处理时间 (ms)	ME
Otsu 分割	0.32	0.83	0.152
模糊聚类分割	0.43	0.81	0.106
帧关联分割	0.49	0.95	0.087

根据图 5 的分割效果, 结合表 1 中测量的不同算法的相关参数可知, 帧关联的分割阈值获得了整体提升, 但花费时间相对较长。ME 指标显示帧关联分割最小, 说明其分割效果最佳。

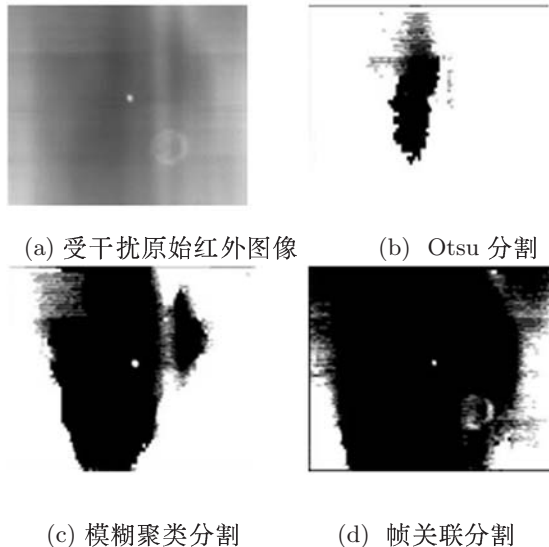


图 6 受干扰时目标和背景的阈值分割效果

图 6(a) 为一帧受到严重干扰时的红外目标图像。经典的 Otsu 法在对该图像进行阈值分割时由于受整体画面偏亮的影响, 没有将目标和背景很好地分割出来。模糊聚类的方法能够大致将目标和背景区域区分开来。而通过帧关联的分割算法由于有效结合了序列图像之间的影响,

不是单独针对该帧图像求取分割阈值, 所以其分割效果比图 6(b) 和图 6(c) 好很多, 说明本文基于帧关联的自动阈值分割算法的抗干扰性和适应性更强。

4 总结

针对自适应阈值分割算法, 结合序列图像之间的联系, 提出了一种基于红外帧关联的自动阈值分割算法。通过理论和实验, 分析了算法的有效性和可行性, 同时和经典的 Otsu 法以及模糊聚类的方法进行了实验对比。实验表明, 本文算法具有较好的分割效果和较强的抗干扰性。帧关联分割算法分割效果的 ME 值比模糊聚类分割方法提升了 0.019, 分割效果更加明显。本文算法由于需要处理的数据较多, 算法的流程相对复杂, 所以在对单帧图像处理的实时性上还可继续完善。目前已将该方法用于实验电路板中, 并正在进行相关测试。

虽然本文提出的基于红外图像帧关联的分割算法能在一定程度上优于其他的阈值分割算法, 但是针对目前各种复杂的情况以及众多的分割算法来说, 尚不存在一种适用于所有情况的“万能”最优分割算法。所以很多时候需要根据具体情况分析具体问题, 选取最合适的分割算法, 只有这样才能达到最理想的分割效果。

参考文献

- [1] 杨名字, 李刚. 利用区域信息的航拍图像分割 [J]. 中国光学, 2014, 7(5): 779-785.
- [2] 李久权, 王平, 王永强. CT 图像分割几种算法 [J]. 微计算机信息, 2006, 2(1): 240-242.
- [3] Reddi S S, Rudin S F, Keshavan H R. An Optimal Multiple Threshold Scheme for Image Segmentation [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1984, 14(4): 661-665.
- [4] 吴一全, 吴文怡, 潘喆. 二维最大类间方差阈值分割的快速迭代算法 [J]. 中国体视学与图像分析, 2007, 12(3): 216-220.
- [5] 吴成茂, 田小平, 谭铁牛. 二维 Otsu 阈值法的快速迭代算法 [J]. 模式识别与人工智能, 2008, 21(6): 746-757.
- [6] Zhou M. Low SNR Infrared Weak Target Image Segmentation Algorithm [J]. Laser and Infrared, 2004, 34(3): 225-228.

- [7] 张怀柱, 向长波, 宋建中, 等. 改进的遗传算法在实时图像分割中的应用 [J]. **光学精密工程**, 2008, **16**(2): 333–337.
- [8] 郑毅, 刘上乾. 基于模糊指数熵和模拟退火的图像分割 [J]. **红外技术**, 2006, **28**(7): 395–399.
- [9] 郭已秋, 许廷发, 王洪庆, 等. 改进的粒子群优化目标跟踪方法 [J]. **中国光学**, 2014, **7**(5): 759–767.
- [10] Ma M, Liang J H, Guo M, et al. SAR Image Segmentation Based on Artificial Bee Colony Algorithm[J]. *Applied Soft Computing*, 2011, **11**(8): 5205–5214.
- [11] 陈恺, 陈芳, 戴敏, 等. 基于萤火虫算法的二维熵多阈值快速图像分割 [J]. **光学精密工程**, 2014, **22**(2): 517–523.
- [12] Zang H, Zhao B J, Mao E K. A Real-time Effective Method for Infrared Point Target Detection in Spatially Varying Clutter [C]. Beijing: CIE International Conference on Radar, 2001.
- [13] Muller M. Saliency Measures in Cluttered IR Images for ATR [C]. *SPIE*, 1999, **3699**: 150–154.
- [14] 王刚, 陈永光, 杨锁昌, 等. 采用图像块对比特性的红外弱小目标检测 [J]. **光学精密工程**, 2015, **5**(23): 1424–1433.
- [15] 阳芬. 红外序列图像目标轨迹关联算法研究与硬件设计 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
- [16] Liu H Q, Zhao F, Jiao L C. Fuzzy Spectral Clustering with Robust Spatial Information for Image Segmentation [J]. *Applied Soft Computing*, 2012, **12**(3): 3636–3647.
- [17] 刘春燕. 图像分割评价方法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.

(上接第 29 页)

单峰谱线经测量系统后, 光谱得到了展宽。而双峰谱线经过系统后, 谱线出现了展宽和重叠, 分辨率降低。对以上仿真数据分别采用非线性坐标变换与 FSD 结合、非线性坐标变换与非线性迭代反卷积结合的方法进行了处理, 对两种方法处理的结果进行了对比和分析。

结果表明, 处理后单峰光谱和双峰光谱的半高宽均减小, 半高宽改善比例在经非线性坐标变换与 FSD 结合方法处理后平均减小了 31.4%, 用非线性坐标变换与非线性迭代反卷积结合方法处理后平均减小了 53.1%。对称双峰光谱双峰间的谷深得到加强, 前一种处理方法可以将峰谷比平均提升 1 倍, 后一种处理方法可以提升 4.6 倍。并且非对称双峰光谱经分辨率提升后, 原来

的重叠变为可分辨开。通过数学算法在一定程度上改善了 AOTF 测量光谱分辨率的缺陷, 使 AOTF 光谱得到了细分。

参考文献

- [1] 王建宇, 舒嵘, 刘银年, 等. **成像光谱技术导论** [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [2] 刘书勤. AOTF 性能测试系统 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- [3] Kauppinen J, Partanen J. Fourier Transforms in Spectroscopy [M]. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2001.
- [4] 徐睿. 深空探测 AOTF 红外成像光谱仪系统定标技术研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2013.
- [5] 邹某炎. **反卷积和信号复原** [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [6] 刘卫静. 基于光谱采样率的反卷积算法分析 [J]. **激光与光电子学进展**, 2012, **49**(4): 150–155.
- [6] 刘磊, 李霄, 许晓军, 等. 连续波光参量振荡器定向红外干扰 [J]. **强激光与粒子束**, 2012, **24**(9): 2027–2030.
- [7] 王世勇, 付有余, 郭劲. 远场光电探测器系统受激光干扰与损伤效果估计 [J]. **光学技术**, 2002, **28**(1): 28–30.
- [8] 陈芳芳, 耿蕊, 吕勇. 激光红外大气传输透过率模型研究 [J]. **红外技术**, 2015, **37**(6): 496–500.
- [3] 柴栋, 童中翔, 芦艳龙, 等. 机载定向激光红外对抗技术与仿真研究 [J]. **激光与红外**, 2010, **40**(9): 981–984.
- [4] 马翔, 肖立志, 戴杰. 机载激光定向红外干扰效能研究 [J]. **舰船电子对抗**, 2010, **33**(4): 50–53.
- [5] 唐聪, 殷松峰, 凌永顺, 等. 定向红外对抗系统干扰性能研究 [J]. **激光与红外**, 2015, **45**(1): 73–78.

(上接第 34 页)