

林地背景下伪装目标偏振成像检测算法

刘 晓^{1,2}, 薛模根³, 王 峰³, 乔延利¹

- (1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所 通用光学定标与表征技术重点实验室 信息工程系, 安徽 合肥 230031; 2. 解放军电子工程学院, 安徽 合肥 230037; 3. 解放军炮兵学院 信息工程系, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 综合利用了偏振特征和偏振融合图像的分形特征, 提出了一种林地背景下伪装目标偏振成像检测算法。首先通过模糊聚类的方法分割出偏振图像中目标的潜在区域, 通过形态学方法去除微小干扰, 然后在潜在区域提取分形特征, 利用伪装目标与背景分形维数的差异排除背景奇异区域的干扰, 最后对记录的目标区域进行判决, 得到真实目标的位置和形状特征, 从而检测出伪装目标。实验结果表明, 伪装目标区域的分形维数在 2.0~2.3 之间, 而林地区域的分形维数较大, 变化幅度小, 且与目标的分形维数差值在 0.2 左右。利用伪装目标与林地背景分形维数的差异可以有效地进行伪装目标检测。

关键词: 偏振成像; 模糊聚类; 分形维数; 伪装目标检测

中图分类号: TN911.73 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2011)11-2290-05

Algorithm for camouflage target detection based on polarization imaging in woodland background

Liu Xiao^{1,2}, Xue Mogen³, Wang Feng³, Qiao Yanli¹

- (1. Key Laboratory of Optical Calibration and Characterization, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 2. Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037, China; 3. Department of Information Engineering, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: Synthetically utilizing polarization characteristics and fractal characteristics, an algorithm based on polarization imaging was proposed to detect camouflaged target in woodland background. Firstly, fuzzy clustering method was used to segment the regions containing potential target in polarization image, and the morphological method was used to remove the small interference. The information of these regions was recorded. Secondly, fractal features were exacted from these regions. The fractal differences were used to select out the background. Finally, regions with different fractal features were judged. The position and shape of the targets were determined. The experimental results of real scene show that the fractal dimension of camouflage target is between 2.0 and 2.3, the fractal dimension of woodland background is higher while its change is little and the difference between each other is about 0.2. It proves that this method is validity and reliability of the scheme which based on the fractal dimension difference between the camouflage target and woodland background.

Key words: polarization imaging; fuzzy clustering; fractal dimension; camouflaged target detection

收稿日期: 2011-03-09; 修订日期: 2011-04-14

基金项目: 国家自然科学基金(40876095)

作者简介: 刘晓(1984-), 男, 博士生, 主要从事偏振信息解析技术研究。Email: liuxiao_0007@163.com

导师简介: 乔延利(1958-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事偏振遥感技术研究。Email: yljiao@aiofm.ac.cn

0 引 言

复杂自然背景中人造目标的检测是目标检测识别领域中的热点课题,而检测复杂自然背景中经过伪装的目标是该领域中一直存在的难题。通过国内外针对偏振成像技术的研究发现:在一定条件下利用偏振成像方式获取的伪装目标与自然背景的偏振信息存在较大差异^[1-3]。文中对获取的偏振信息进行融合增强,利用偏振信息进一步增加了伪装目标与背景之间的差异,突出了目标与背景的细节特征^[4]。

综合利用自然背景(林地背景)和伪装目标在偏振和分形特征上的差异,提出了一种基于偏振成像方式的林地背景下伪装目标检测算法。该算法结合了偏振成像和分形理论的优势,用信息互补的方式提高了算法的检测效能,比传统方法更具应用优势。

1 林地背景下伪装目标偏振图像分割

1.1 林地背景下伪装目标偏振图像分割特点

从林地背景和伪装目标的偏振特征来看,伪装目标表面较光滑,表面起偏效应较明显,体现出较高的偏振度,而且具有一致性的特点;而林地背景通常组成比较复杂,表面杂乱,体现出较低的偏振度,从而造成偏振特征较弱,而且分布不均匀^[5]。这一点是实现伪装目标与林地背景分割的重要依据之一。

1.2 模糊 C 均值聚类图像分割算法

在诸多的图像分割算法中,基于模糊 C 均值(FCM)的分割算法是最常见的一种。该算法具有良好的局部收敛特性;适合在高维特征空间中进行像素的分类。为此,文中选择模糊 C 均值聚类图像分割算法,基本思路如下。

将样本集 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 划分成 c 个模式子集 S_i ($i=1, 2, \dots, c$), 则有:

$$X = \bigcup_{i=1}^c S_i, S_i \cap S_j = \emptyset, i \neq j, 1 \leq i, j \leq c \quad (1)$$

该算法所定义的代价函数为:

$$J_m(U, V, X) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n \mu_{ik}^m \|x_k - v_i\|^p \quad (2)$$

式中: U 为模糊划分矩阵,将数据样本点和聚类模式联系起来; μ_{ik} 表示 x_j 属于 i 类 S_i 的隶属度; $V =$

$\{v_1, v_2, \dots, v_c\}$ 为各类模式的聚类中心; $\|x_k - v_i\|^p$ 为某种范数,表示 x_j 与 v_i 的距离,度量的是数据点与聚类原型的相似性; m 为模糊加权指数,控制数据划分过程的模糊程度,经验取值区间为 $[1.5, 5]$ 。

极小化公式(2)所得到的模式划分即为 FCM 的分类结果。极小化代价函数 J_m 是通过迭代优化算法来实现的,需要反复计算 U 和 V , 公式如下:

$$U^{(k)} = \mu_{ij}^{(b)} \frac{\left\{ \|x_j - v_i^{(b)}\| \right\}^{\frac{-p}{m-1}}}{\sum_{k=1}^c \left[\left(\frac{1}{\|x_j - v_i^{(b)}\|} \right)^{\frac{p}{m-1}} \right]}, \forall i, j \quad (3)$$

$$v_i^{(b+1)} = \frac{\sum_{j=1}^n (\mu_{ij}^{(b)})^m x_j}{\sum_{j=1}^n (\mu_{ij}^{(b)})^m}, \forall i \quad (4)$$

若 $\|x^{(b+1)} - v^{(b)}\| < \varepsilon$, 停止; 否则,令 $b=b+1$, 则继续计算。经过多次迭代之后,通过相应的模糊聚类有效性函数来评价聚类效果,从而确定最优的聚类划分,得到最终的分割图像。

1.3 形态学后处理

经过模糊 C 均值聚类分割后的结果仍然存在噪声,无法准确检测目标。基于形态学的分割后处理可将图像中细小的噪声去除。

基于二值图像的腐蚀和膨胀是最基本的形态学运算。腐蚀具有收缩图像的作用,膨胀具有扩大图像的作用^[6]。

2 伪装目标偏振分形特征提取

对于分割图像中的较大区域的错误判断,文中利用误判区域和目标区域的纹理差异即分形维数的差异对分割结果进行进一步矫正。

2.1 林地背景伪装目标偏振图像的分形特征

由于偏振信息能够揭示突出目标的细节信息,如目标表面的纹理特征。经过融合处理后的伪装目标偏振图像不仅偏振特征突出,而且纹理特征明显^[7]。伪装目标表面纹理呈现出一定的规则,而背景的纹理则相对杂乱。因此,图像的纹理特征也是实现伪装目标与林地背景分割的依据之一。在处理纹理特征时,可以运用分形理论^[8]。分形方法对多种自然背景环境和人造目标类型具有适应性,可共用一套程序,

甚至无需调整参数。由于人造目标的检测性能不受目标姿态、运动、灰度极性变化的影响,因此,分形方法抗干扰、抗畸变,可靠性更高;尤其是在远距离、大搜索区域内对于特殊复杂背景、有遮盖的小目标检测与识别方面,解决了传统方法无法解决的问题^[9]。

文中选择经过偏振融合处理后的两幅林地背景下伪装目标偏振融合图像作为试验样本^[10]。在各幅图像中选取伪装目标和背景区域(如图 1(a)和(b)所示)分别进行分形维数的估计,其估算值如表 1 所示。可以看出,目标区域相对于背景区域,其分形维数差值具有明显差别。

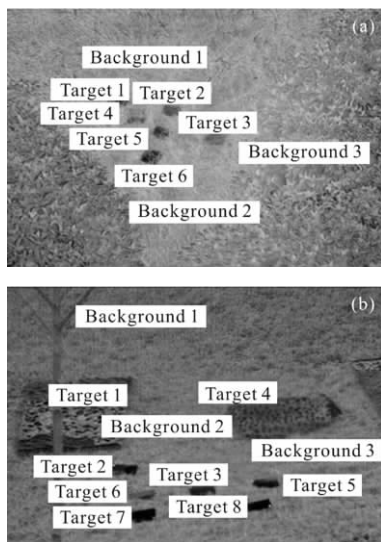


图 1 林地背景下伪装目标偏振融合图像

Fig.1 Polarization fusion image of camouflaged target in woodland background

对于二维图像映射而成的灰度表面,有意义的分形维数值应界定于 2 和 3 之间。图 1(a)、(b)中,目标区域的分形维数分布在 2.035 781~2.312 543 之间,图像中所选择的林地背景区域的分形维数分布在 2.383 425~2.471 873 之间。通过对所得数值的比较分析可知,分形维数可以作为区分图像中伪装目标与背景的特征参数。在不同的图像中,由于环境与成像条件不同,目标与背景表现出来的分形维数也不同,对比分析不同图像的分形维数可知,伪装目标区域的分形维数较小,而变化幅度较大,通常位于 2.0~2.3 之间;背景区域的分形维数较大,而变化幅度小,且与目标区域的分形维数差值在 0.2 左右。

表 1 各区域分形维数估算值

Tab.1 Regional estimated value of fractal dimension

Item	Fractal dimension	
	Figure 1(a)	Figure 1(b)
Target 1	2.287 555	2.310 672
Target 2	2.284 573	2.110 170
Target 3	2.290 155	2.280 564
Target 4	2.156 871	2.270 516
Target 5	2.274 851	2.035 781
Target 6	2.292 415	2.312 543
Target 7	-	2.105 647
Target 8	-	2.214 518
Background 1	2.425 935	2.419 532
Background 2	2.383 425	2.471 873
Background 3	2.416 203	2.397 284

2.2 图像分形参数的估计方法

在偏振图像分割的基础上,需要对提取出的潜在区域提取分形特征,利用林地背景与伪装目标在分形特征上的差异来排除背景的干扰。

常用的分形维数估计方法中,“盒子”维由于易于数学计算和实验测量而被普遍使用,因此,文中选择“盒子”维估计分形维数。

B.B.Chaudhuri 基于最基本的计算分数维的公式提出了一种“盒子”维方法,即差分盒维数法(DBC)。该方法将图像表面视为三维空间,灰度值视为三维空间中的 z 方向上的值,而 x 和 y 方向上的值表示图像的灰度值所在的坐标位置。由于自相似性,可以用一定尺度的一叠盒子去覆盖相应区域,通过改变尺度来达到计算自相似性的目的,此处一叠盒子的个数与灰度值有关。其基本思想如下。

若一幅图像视为三维空间中的一个表面 $(x,y,f(x,y))$, $f(x,y)$ 是图像在 (x,y) 处的灰度值。将 (x,y) 平面划分为 $S \times S$ 个相等区域,同时以图像的总灰度级 G 除以 r ,将三维空间中的竖轴划分为高度 $h=G/r$ 的盒子,从上到下给盒子逐一编号,然后给出第 i 个区域中灰度值的最大值 B_{\max} 和最小值 B_{\min} ,并将它们落入盒

子的序号分别记为 I_i 和 k_i , 可以得到:

$$n_r = I_i - k_i + 1 = (B_{\max} - B_{\min}) / h + 1 \quad (5)$$

遍历整幅图像的所有区域, 得到 $N_r = \sum_{i=1}^{S \times S} n_r$, 可进一步表示为:

$$N_r = \sum_{i=1}^{S \times S} n_r = \sum_{i=1}^{S \times S} [(B_{\max} - B_{\min}) / h + 1] = \sum_{i=1}^{S \times S} [n_r (B_{\max} - B_{\min}) \times r / G + 1] = r^2 + r / G \sum_{i=1}^{S \times S} n_r (B_{\max} - B_{\min}) \quad (6)$$

计算每一个尺度 r 便可以得到一个新的 N_r 。根据最小二乘法, 用一条直线去拟合点 $\log N_r$ 和 $\log(1/r)$ 点, 所得直线的斜率就是对应图像的分形维数。

3 检测算法描述与流程

该算法的思想是利用图像子区域的分形维数作为图像的主要分析参数, 在一副包含人造目标的自然背景图像中, 由于人造目标的几何线条通常比较简单, 表面光滑, 具有较小的分形维数。大量实验研究表明: 人造目标的分形维数通常介于 2.0~2.3 之间; 而自然背景则通常具有比人造目标粗糙的纹理特性, 其分形维数大于人造目标。由于对整幅图像进行分形维数计算的时间较长, 故在计算分形维数之前对原始图像进行模糊 C 均值聚类分割, 以减少运算时间。

基于分形维数的图像分割算法基本流程为:

- (1) 对图像进行去噪处理;
- (2) 对图像进行模糊 C 均值聚类分割;
- (3) 对分割结果进行形态学运算, 去除较小的干扰;
- (4) 对步骤(3)中的不同区域进一步处理, 计算不同区域内的分形特征;
- (5) 根据自然背景和伪装目标在分形特征上的差异, 排除自然背景奇异区域的干扰, 从而检测出复杂自然背景的伪装目标。

4 实验及结果分析

为了检验算法的效果, 针对不同场景中的伪装目标偏振图像进行了实验。采用 Matlab7.0 仿真平

台, 待处理图像大小为 1024×1024 (pixel), 如图 2(a) 和图 3(a) 所示。图 2(a) 为对涂有伪装涂料的金属目标检测, 背景为高密度草丛; 图 2(b) 给出了经过模糊聚类分割和形态学处理后的图像, 可以明显看出, 去除了一部分背景的干扰, 但图像中仍存在大量噪声, 无法准确判断目标; 图 3(c) 为经过文中算法后的最终结果, 由于目标和背景的分形特征和分形维数存在较大差异, 利用其差异进行分割, 结果基本上反映了目标的轮廓。

图 3(a)~3(c) 为低密度草丛背景下伪装目标的图像, 图中的情况与图 2 相同。由于伪装目标中的伪装网表面花纹比较杂乱, 所以无法检测到伪装网的完整轮廓。但已从分割出的部分仍然可以得到表征目标属性的轮廓结构。

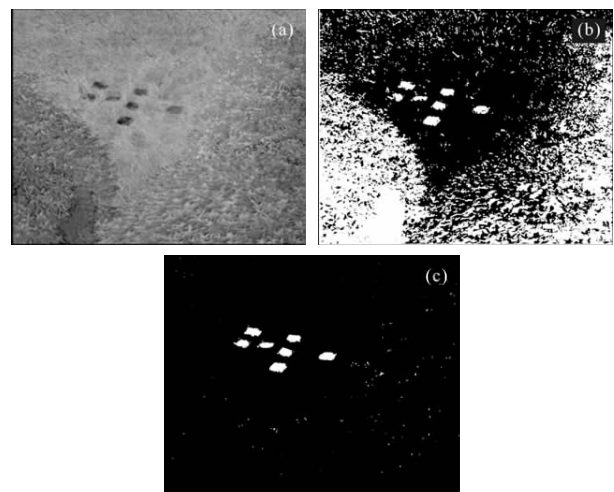


图 2 高密度草丛背景下伪装目标偏振图像检测结果

Fig.2 Experimental results in high-density lawn

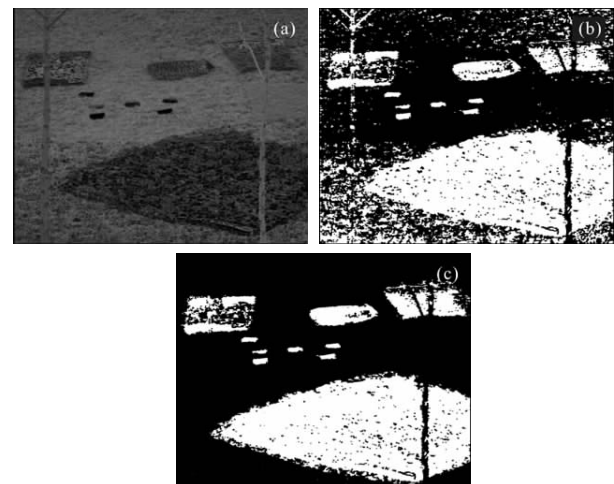


图 3 低密度草丛背景下伪装目标偏振图像检测结果

Fig.3 Experimental results in low-density lawn

5 结 论

提出了一种基于偏振图像的林地背景下伪装目标检测算法。以模糊 C 均值聚类作为分割方法,以图像的分形维数作为主要参数。实验结果表明,该算法对于林地背景下伪装目标偏振图像具有很好的分割效果。该算法新颖、独特,可以较好的对隐藏在林地背景下的伪装目标进行检测与分割。由于计算量及算法空间复杂性较小,是一种具有较强应用前景的伪装目标检测新算法。

参考文献:

- [1] Zhang Chaoyang, Cheng Haifeng, Chen Zhaohui, et al. Application of polarization remote sensing in camouflage detection and method of polarization stealth [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2008, 20(4): 553-556. (in Chinese)
张朝阳, 程海峰, 陈朝辉, 等. 偏振遥感在伪装目标识别上的应用及对抗措施 [J]. *强激光与粒子束*, 2008, 20(4): 553-556.
- [2] Zhang Chaoyang, Cheng Haifeng, Chen Zhaohui, et al. Geometrical optics solution for surface polarimetric scattering of camouflage materials[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(6): 1064-1067. (in Chinese)
张朝阳, 程海峰, 陈朝辉, 等. 伪装材料表面偏振散射的几何光解[J]. *红外与激光工程*, 2009, 38(6): 1064-1067.
- [3] Sun Xiaobing, Hong Jin, Qiao Yanli, et al. Analysis characteristic of multiband aerial polarization Image [C]// SPIE, 2005, 5832: 219-227.
- [4] Zhao Yongqiang, Pan Quan, Chen Yuchun, et al. Clutter reduction based on polarization imaging technology and image fusion theory [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2005, 33(3): 433-435. (in Chinese)
赵永强, 潘泉, 陈玉春. 基于偏振成像技术和图像融合理论杂乱背景压缩[J]. *电子学报*, 2005, 33(3): 433-435.
- [5] Liu Xiao, Wang Feng, Xue Mogen. The study of camouflage target detection based on polarization characteristics [J]. *Optical Technique*, 2008, 34(5): 787-790. (in Chinese)
刘晓, 王峰, 薛模根. 基于偏振特性的伪装目标检测方法研究[J]. *光学技术*, 2008, 34(5): 787-790.
- [6] Cui Yi. Image Processing and Analysis: Mathematical Metical Morphology and its Applications[M]. Beijing: Science Press, 2002: 75-76. (in Chinese)
崔屹. 图像处理与分析-数学形态学方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 75-76.
- [7] Du Anping, Zhao Yongqiang, Pan Quan, et al. Image enhancement algorithm based on polarization character [J]. *Computer Measurement & Control*, 2007, 15(1): 106-108. (in Chinese)
都安平, 赵永强, 潘泉, 等. 基于偏振特征的图像增强算法[J]. *计算机测量与控制*, 2007, 15(1): 106-108.
- [8] Pal N R, Pal S K. A review on image segmentation techniques[J]. *Pattern Recognition*, 1993, 26(9): 1277-1294.
- [9] Yu Tianhe, Dai Jingmin. Multifractal theory based infrared image enhancement technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 39(1): 184-188. (in Chinese)
于天河, 戴景民. 基于多重分形的红外图像增强技术[J]. *红外与激光工程*, 2011, 39(1): 184-188.
- [10] Liu Xiao, Wang Feng. The research of polarization image fusion method based on modulation in multi-scale space[C]// SPIE, 2011, 8194: 819412-1-819412-7.