

doi:10.3788/gzxb20134210.1244

一种基于模糊 C 均值聚类和边缘提取算法的红外偏振图像的模式识别方法

虞文俊, 顾国华

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

摘要:为了解决红外偏振图像不能很好地对目标物进行分类的问题,通过分析红外偏振图像在各个偏振角度下的冗余性和互补性,基于模糊 C 均值聚类算法和边缘提取算法,提出了一种适合红外偏振图像的模式识别方法.该方法分别使用模糊 C 均值聚类算法和边缘提取算法对图像进行处理,然后采用加权法对图像进行融合得到最后的结果.计算并比较了本文的识别方法和直接使用模糊 C 均值聚类算法获得图像的总准确度、生产准确度和用户准确度.结果表明:本文的模式识别法不仅可以达到识别人造目标的目的,而且能够对人造目标进行清楚的分,实现了计算机和观察者对图像中物体的识别分类.

关键词:红外偏振成像;模糊 C 均值聚类;模式识别

中图分类号:TP391.4

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2013)10-1244-4

A Polarization Image Pattern Recognition Method Based on Fuzzy C-means Clustering and Edge Detection Algorithms

YU Wen-jun, GU Guo-hua

(Electronic Engineering and Optoelectronic Technology Institute, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to solve the problem that infrared polarization image cannot be suitable for classifying targets, by analyzing the infrared polarization image at each polarization angle of redundancy and complementarity, a pattern recognition algorithm is proposed that is based on Fuzzy C-means clustering algorithm and edge extraction algorithm. Fuzzy C-means clustering algorithm and edge detection algorithm are respectively used for image processing, and then weighting method for image fusion is used to obtain the final result. The full accuracy, production accuracy and user accuracy of the obtained image are calculated and compared with the proposed algorithm and Fuzzy C-means clustering algorithm. The results show that the proposed algorithm is able to identify man-made targets clearly and classify them, which makes computers and observers recognize and classify the objects in the picture. Infrared polarization image pattern recognition makes infrared polarization imaging widely used in the area of detection, and it can detect man-made object under the background of mixed natural and obtain highly accurate results effectively and quickly.

Key words: Infrared polarization imaging; Fuzzy C-means; Pattern recognition

0 引言

偏振光强度在整个光强度中的比例^[3],即

$$D = I_p / (I_p + I_n) \quad (1)$$

将偏振探测引用到红外领域并应用于军事探测

式中 I_p 为偏振光的强度, I_n 为非偏振光的强度, D

基金项目:江苏省青蓝工程基金和总装预研基金(No. 62301020303)资助

第一作者:虞文俊(1988-),男,硕士研究生,主要研究方向为光电信息探测与图像处理. Email:kuailongyuan@163.com

导师:顾国华(1966-),男,教授,主要研究方向为光电信息探测与信号处理. Email:gghnjust@jssmail.com.cn

收稿日期:2013-03-29;录用日期:2013-06-05

可以有效快速地检测出混杂在自然背景下的人造目标物并取得高准确度的结果^[1]。目前国内外对偏振图像的模式识别只是采用了各种聚类算法,如模糊 C 均值和 mean-shift 算法^[2],但聚类算法只能粗略将物体分类,分类效果和所采用的聚类算法有关,所以不能细致的分辨人造目标^[3-4]。本文综合利用红外强度信息和偏振度信息进行聚类处理,在模糊 C 均值(Fuzzy C-Means, FCM)聚类算法和边缘提取算法的基础上提出了一种适合红外偏振图像的模式识别方法。本文的方法可以对图像中的物体进行分类以达到识别人造目标而且对人造目标进行分类的目的。

1 偏振度的定义

自然光在传播过程中,外界的影响造成各个振动方向上的强度不等,使其一方向的振动比其他占优势,这种光叫做部分偏振光^[5]。偏振度是表示完全

为偏振度。

偏振光通常也使用斯托克斯矢量描述法。Stokes(斯托克斯矢量)描述法是由 I, Q, U, V 四个参量来描述^[6-8]。因为自然中圆偏振很少,所以假设 $V=0$ 。式(2)是 I, Q, U 的具体表达式^[9], D 表示偏振度,如式(3)

$$\begin{aligned} I &= \frac{2}{3} [I(0^\circ) + I(60^\circ) + I(120^\circ)] \\ Q &= \frac{4}{3} \left[I(0^\circ) - \frac{1}{2}I(60^\circ) - \frac{1}{2}I(120^\circ) \right] \\ U &= \frac{2}{\sqrt{3}} [I(60^\circ) - I(120^\circ)] \\ D &= \frac{\sqrt{(Q^2 + U^2)}}{I} \end{aligned} \quad (2)$$

$$D = \frac{\sqrt{(Q^2 + U^2)}}{I} \quad (3)$$

式中, $I(0^\circ)$ 、 $I(60^\circ)$ 和 $I(120^\circ)$ 分别表示偏振角度为 0° 、 60° 和 120° 拍摄到的图像, I, Q, U 分别是计算中间量, D 是最后计算得到的偏振度图像,结果如图 1。

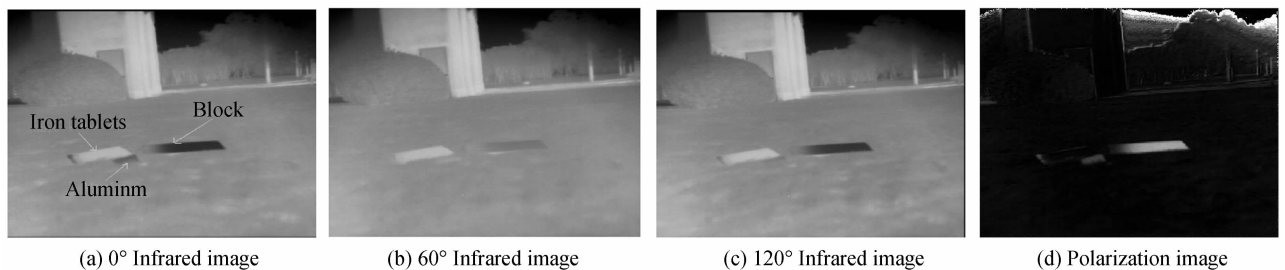


图 1 红外与偏振度图像

Fig. 1 Infrared image and polarization image

2 红外偏振图像的模式识别

2.1 FCM 聚类算法

FCM 聚类^[2]方法属于基于目标函数的模糊聚类算法的范畴。FCM 聚类方法是基于目标函数的模糊聚类算法理论中最为完善、应用最为广泛的一种算法。FCM 算法最早从硬聚类目标函数的优化中导出的。为了借助目标函数法求解聚类问题,人们利用均方逼近理论构造了带约束的非线性规划函数来求解聚类问题。至此类内平方误差和组内误差平方和(Within-Groups Sum of Squared Error, WGSS)^[3]成为聚类目标函数的普遍形式。随着模糊划分概念的提出,Dunn 首先将其推广到加权 WGSS 函数,后来由 Bezdek 扩展到加权 WGSS 的无限族,形成了 FCM 聚类算法的通用聚类准则。从此这类模糊聚类蓬勃发展起来,目前已经形成庞大的体系。FCM 聚类算法目标函数^[2]为

$$\min J_m(U, Z) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^C (u_{ij})^m d^2(\mathbf{x}_j, \mathbf{z}_i) \quad (4)$$

如果 p 表示每一个样本 \mathbf{x}_j 的维数, $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3 \dots \mathbf{x}_N\}$ 是一个 $p \times N$ 的矩阵; N 代表样本数

目,通常表示图像像素数; C 表示聚类数目; $u_{ij} \subseteq U$ ($p \times N \times C$) 是矢量 \mathbf{x}_j 隶属于第 i 类的隶属度函,满足 $u_{ij} \in [0, 1]$ 且 $\sum_{i=1}^C u_{ij} = 1$, ($j = 1, 2, \dots, N$); 聚类中心 $\mathbf{Z} = \{\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_c\}$ 是 $p \times C$ 矩阵, u_{ij} 和 \mathbf{z}_i 更新等式分别为

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C (d(\mathbf{x}_j, \mathbf{z}_i) / d(\mathbf{x}_j, \mathbf{z}_k))^{2/(m-1)}} \quad (5)$$

$$\mathbf{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m \mathbf{x}_j}{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m}, (i = 1, 2, \dots, C) \quad (6)$$

对于每一个模糊隶属度,由 $m \in (1, \infty)$ 控制模糊度的权重指数; $d^2(\mathbf{x}_j, \mathbf{z}_i) = \|\mathbf{x}_j - \mathbf{z}_i\|^2$ 为相似性测度。其中: P 为数据样本维数(灰度图像时为 1); N 为像素点数目; \mathbf{x}_i 为像素 i 特征(灰度图像时表示灰度值); C 为图像分割类别数; u_{ij} 为像素点 j 属于第 i 类的隶属度; \mathbf{z}_i 为第 i 类聚类中心。

算法步骤:

- 1) 设置目标函数准确度 ϵ , 模糊指数 m (m 通常取 2), 最大迭代次数 T_m ;
- 2) 初始化模糊聚类中心;
- 3) 由式(3)~(5)更新模糊划分矩阵 $\mathbf{U} = \{u_{ij}\}$ 和聚类中心 $\mathbf{Z} = \{\mathbf{z}_i\}$;

4)若 $|J(t)-J(t-1)| < \epsilon$ 或 $c > T_m$ 则结束聚类; 否则, $t \leftarrow t+1$ 并转到步骤(3);

5)由 $U = \{u_{ij}\}$ 得到各像素点分类结果.

图2是红外偏振度图像. 通过观察 FCM 聚类得到的图像发现, 虽然已经可以识别人造物体了, 但是不能很好地分类其中的人造物体, 比如图中的铁片和铝片. 将红外偏振图像经过 FCM 聚类算法得到聚类图像(图3). 观察发现, 图3中的铁片和铝片可以分辨出来, 但是效果不是很理想.



图2 红外偏振度图像

Fig.2 Polarization image



图3 FCM聚类

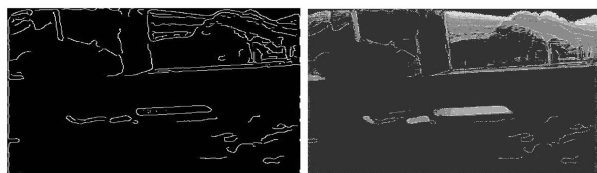
Fig.3 FCM clustering

2.2 红外偏振图像的模式识别方法

将红外偏振度图像经过 FCM 聚类后可以初步达到识别聚类图中人造物^[10]的目的, 但是效果不是很明显. 虽然图中的铁片和铝片被分为不同的类别, 但是铁片的许多信息丢失了. 为了克服这个缺点并根据红外偏振图像的特点, 本文选择了一种新的模式识别方法以达到最大化识别目标, 红外强度图像与偏振度图像的聚类之前必须对图像进行适当的预处理、配准等^[4,11]. 由于实验中采取的单通道系统, 获取的图像处于同一视场, 故图像无需配准处理即可达到较好的效果, 具体的方法为:

1)把经过计算得到的红外偏振度图像 D 利用文献[2]中的 FCM 聚类算法进行聚类得到偏振度聚类初始图像 D_1 , 如图3;

2)把得到的偏振度聚类初始图像 D_1 用 log 边缘提取图像边缘算法^[12] 得到偏振度边缘图像 D_2 , 如图4(a);



(a) The degree of polarization of the edge image D_2 (b) Clustering intermediate image of the degree of polarization D_3

图4 偏振度边缘图像 D_2 与偏振度的聚类中间图像 D_3
Fig.4 The degree of polarization of the edge image D_2 and clustering intermediate image of the degree of polarization D_3

3)再把偏振度聚类初始图像 D_1 和偏振度边缘图像 D_2 合并得到偏振度的聚类中间图像 D_3 , 如图4(b);

4)接着把红外偏振图像(经过偏振片角度为 60°

的图像)用 log 边缘提取图像边缘后和红外偏振图像合并得到红外偏振图像被提取的图像 I , 如图5;



图5 红外偏振图像被提取的图像 I

Fig.5 Infrared polarization image of the extracted image I

5) D_3 和 I 图像分别含有偏振图像聚类后的边缘和原红外图像的边缘信息, 所以当 D_3 和 I 图像中灰度值为 255° 时就代表了物体边缘信息; I 图像主要包含红外图像的强度信息, D_3 图像主要包含聚类后的物体类别信息, 通过将 D_3 和 I 图像进行加权既保留了物体分类信息也保留了原图像的强度信息^[13], 所以就得到了式(7); 最后把偏振度的聚类中间图像 D_3 和红外偏振图像被提取的图像 I 用式(7)进行加权合并得到最终的偏振度聚类图像 D_4 , 如图6.

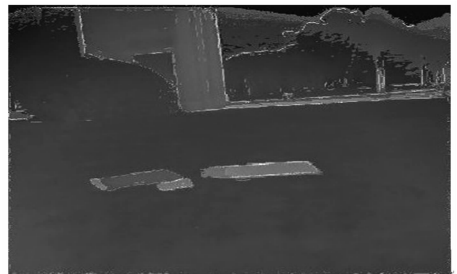


图6 最终的偏振度聚类图像 D_4

Fig.6 The final polarization degree of clustering image D_4

$$D_4(i, j) = \begin{cases} 255, D_3(i, j) = 255 \\ 255, I(i, j) = 255 \\ (D_3(i, j) + I(i, j)) / 2, \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

式中 i, j 分别代表图像的纵坐标和横坐标.

最终得到的偏振度聚类图像 D_4 和直接对偏振度进行 FCM 聚类得到的聚类图像 D_1 相比, 图中的3个人造目标被分成不同的3个类, 并且背景也被完全分开了, 达到了不仅识别了目标而且对目标进行分类的目的, 提高了目标识别率.

3 分类准确度评价

分类准确度评价主要有3类评价标准分别是总准确度、生产准确度和用户准确度^[13-14]. 总准确度是所有正确分类的点数与总样本点数的比值, 表达了样本的正确分类概率. 生产准确度是对某类正确分类的像素点数与实际像素点数的比值, 表达了该类实际所在区域的分类质量. 用户准确度是对某类

正确分类的像素点数与分类结果图中该类像素点数的比值,表达了该类别分类结果与实际的匹配程

度^[15]. 使用本文的模式识别方法和直接使用 FCM 获得的图像的评价准确度如表 1.

表 1 分类准确度评价指标

Table 1 Classification accuracy evaluation

	FCM clustering D_1 in Ref. [2]			Final polarization degree of clustering D_4		
	Production accuracy/(%)	User accuracy/(%)	Total accuracy/(%)	Production accuracy/(%)	User accuracy/(%)	Total accuracy/(%)
Iron tablets	10.23	25.48		99.32	97.65	
Aluminum	95.64	76.39	36.57	100	100	95.48
Block	92.67	85.87		100	98.36	

从表 1 中可以明显发现使用本文的模式识别方法可以提高聚类的准确度,增强了目标分类的准确性,为目标识别奠定了很好的基础.

4 结论

本文分别使用模糊 C 均值聚类算法和边缘提取算法对图像进行处理,使用加权法将图像进行融合得到最后的结果. 通过比较本文方法和直接使用模糊 C 均值聚类法获得结果的总准确度、生产准确度和用户准确度,发现采用本文方法得到图像的总准确度、生产准确度和用户准确度都比直接使用模糊 C 均值聚类算法得到结果高. 提高了目标识别效率高,使红外偏振成像能更好地应用于军事探测,可以有效快速检测出混杂在自然背景下的人造目标物并取得准确度的结果.

参考文献

- [1] van der VALK N C, van der MAREL W A, PLANKEN P C, et al. Terahertz polarization imaging [J]. *Optics Letters*, 2005, **30**(20): 2802-2804.
- [2] WANG Xing, FENG Zi-liang. Based on the initial value of the FCM clustering adaptive image segmentation [J]. *Computer Technology and Development*, 2010, **40**(3): 101-104.
王兴,冯子亮. 基于自适应初始值的 FCM 聚类图像分割[J]. *计算机技术与发展*, 2010, **40**(3): 101-104.
- [3] WOLFF L B. Applications of polarization camera technology [J]. *IEEE Export*, 1995, **10**(5): 30-38.
- [4] LEVITT J A, MATTHEWS D R, AMEER-BEG S M, et al. Fluorescence lifetime and polarization-resolved imaging in cell biology [J]. *Analytical Biotechnology*, 2009, **20**(1): 28-36.
- [5] ZHAO X, BERMAK A, BOUSSAID F, et al. Liquid-crystal micropolarimeter array for full Stokes polarization imaging in visible spectrum [J]. *Optics Express*, 2010, **18**(17): 17776-17786.
- [6] CHEN Zhen-yue. Polarimetric and multi-spectral image fusion based on HSI color system and wavelet transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(1): 43-47.
- [7] ZENG Hai-fang, GUGuo-hua, HE Wei-ji, et al. Adaptive visible polarization image fusion algorithm [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(1): 132-135.
曾海芳,顾国华,何伟基,等. 可见光偏振图像的自适应融合算法 [J]. *光子学报*, 2011, **40**(1): 132-135.
- [8] ZHAO Yong-qiang, PAN Quan. Method of stokes images calculation based on adaptive unsubsampling lifting scheme [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(8): 1270-1273.
赵永强,潘泉. 基于自适应无下采样提升框架的 Stokes 图像获取方法 [J]. *光子学报*, 2005, **34**(8): 1270-1273.
- [9] ZHOU Pu-cheng, ZHANG Hong-kun, XUE Mo-gen. Polarization image fusion method using color transfer and clustering-based segmentation [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(1): 149-153.
周浦成,张洪坤,薛模根. 基于颜色迁移和聚类分割的偏振图像融合方法 [J]. *光子学报*, 2011, **40**(1): 149-153.
- [10] 赵永强,潘泉,程咏梅. 成像偏振光谱遥感及应用 [M]. 北京:国防工业出版社, 2011. 228-245.
- [11] DOU An-ping. A number of key technology research of imaging polarization [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006.
都安平. 成像偏振探测的若干关键技术研究 [D]. 西安:西北工业大学, 2006.
- [12] 贾永红. 数字图像处理 [M]. 武汉:武汉大学出版社, 2007: 10-95.
- [13] WANG Dao-rong, ZHAO Yong-qiang, PAN Quan. Classification of spectropolarimetric imagery based on fuzzy cluster and evidence theory [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(12): 2365-2370.
王道荣,赵永强,潘泉. 基于模糊聚类和证据理论光谱偏振图像分类 [J]. *光子学报*, 2007, **36**(12): 2365-2370.
- [14] 高新波. 模糊聚类分析及其应用 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2004: 49-61.
- [15] YU Guo-ping, WANG Xiao-feng. Research of polarization image [J]. *Physical Experiment*, 2009, **29**(7): 38-42.
于国萍,王晓峰. 偏振图像的研究 [J]. *物理实验*, 2009, **29**(7): 38-42.