

红外图像弱小目标检测算法研究

武兴华

(国家开放大学 北京 100039)

摘要: 红外图像中弱小目标的检测是实现红外搜索跟踪、红外侦查预警等红外图像处理的核心技术之一。当目标距离成像系统较远,目标呈现出面积小、信噪比低等特点,增加了对其检测的难度。为了准确、快速地实现不同红外背景下的弱小目标检测,提出了一种基于多层数据融合的红外图像弱小目标单帧检测算法。

关键词: 红外图像弱小目标检测;数据融合;相关系数;聚类分析;信任度

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1008-3340(2019)02-0086-03

一、引言

随着红外技术的快速发展,红外图像弱小目标的检测技术已经广泛应用于军事领域和医学领域,如精确制导、自动控制和医疗成像等。上述应用需要准确而又快速地发现目标,对红外弱小目标检测算法的精度和速度的可靠性要求极高。近些年来,弱小目标检测的算法不断涌现,虽然这些算法能够检测出弱小目标,但或多或少存在某些缺陷。李欣等提出了基于模糊分类的微小目标检测方法,该方法需要提前建立类别区域,分别定义类别特征和类别核,设定相似系数和类别贴近度,不能实现不同背景下的微小目标进行检测,应用范围小。^[1]刘伟宁提出了基于背景抑制与特征融合的检测算法,该方法使用中值滤波器、形态学滤波器会削弱潜在目标的特征,同时也依赖于参数与结构元素的限制。^[2]杨帆等提出了基于小波域扩散滤波的弱小目标检测算法,该方法利用小波变换系数的方向特性和扩散滤波扩散方向的可选择性,很难同时满足实时性与检测效果两方面的要求。^[3]

综上所述,本文提出一种基于多层数据融合的红外图像弱小目标检测算法。算法通过高通滤波抑制背景,分析得出的特征间相关系数作为融合权值,对灰度、面积和质心偏移量三个特征进行加权特征融合。聚类分析结合信任度计算完成决策融合,使得融合数据重新整合,再依据信任区间

判断区域融合数据是否为目标。该算法提高了对背景和噪声的抗干扰性能以及容错性能,从而实现了弱小目标准确而又实时的检测。

二、背景抑制与参数估计

当目标距离红外成像系统较远,图像中目标与背景的对比度差、边缘模糊,弱小目标与噪声的辨析度下降,^[4]应采取背景抑制的方法减小背景与噪声对检测的影响。同时,由于不同背景下甚至是相同背景下不同时间所拍摄的红外图像噪声水平、信噪比等参数指标差异很大,应对不同红外图像进行分析得出融合过程中的参数。

(一) 高斯滤波与高通滤波

已知红外图像噪声近似为高斯分布,首先对图像进行高斯滤波以抑制在成像过程中所产生的高斯噪声,然后对图像进行高通滤波器滤波以将背景区域中缓慢变化部分滤除。

(二) 图像参数估计

一般情况下目标的灰度值和所在区域面积较大,两个特征具有一定的相关性,因此引入相关系数作为图像度量值。对于两个观测矢量 f_i 和 s_i ,其维数为 N ,两个矢量之间的相关系数定义为:

$$r_{fs} = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f}_c)(s_i - \bar{s}_c)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f}_c)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (s_i - \bar{s}_c)^2}} \quad (1)$$

收稿日期: 2019-02-28

作者简介: 武兴华(1990—), 硕士, 国家开放大学信息化部研究实习员, 研究方向: 国家开放大学管理信息化。

式中: r_{fs} 表示灰度值和区域面积的相关系数, 取值范围 $[-1, 1]$; f_i 为灰度非零像素灰度值; $\bar{f}_c = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i s_j$ 和 $\bar{s}_c = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k A_l$ 分别表示灰度非零像素集合的平均灰度和区域面积平均值。 s_i 表示灰度非零像素区域面积, 定义为:

$$s_i = \{ A_k | A_k = \Omega_{A_k} (f \mid IN_A(k)) \leq \bar{f}_c, IN_s(i) \in IN_A(k) \} \quad (2)$$

式中: A_k 为连通区域面积; Ω_{A_k} 为图像连通区域; IN_s 和 IN_A 分别为灰度非零像素和区域面积的行列值集合。

三、特征融合与标记滤波

对于背景复杂、信噪比低的红外图像, 若只提取弱小目标的单一特征进行特征融合, 检测结果的准确性将大打折扣。多特征提取及融合将会考虑目标的综合特征, 为进一步决策分析提供了可靠的依据, 因此选择像素灰度值、像素所属区域内接正方形面积和区域质心位置偏移作为每一个灰度非零像素点的特征。

(一) 多特征提取

在红外图像中目标灰度值高于背景, 因此可以提取灰度非零像素点的灰度值作为特征之一, $F_H(I, J)$ 为高斯滤波后图像:

$$f_i = \{ F_H(f(I, J)) \mid F_H(I, J) > 0 \} \quad (3)$$

由于弱小目标在红外图像上一般只占据 5×5 个像素大小, 选取像素所属区域内接正方形面积作为特征可以最大程度上贴近目标的特点。该特征充分体现出目标与噪声点的差异。定义 Ω_{SQ_i} 为以 f_i 像素点为中心的内接正方形区域, 与连通区域 Ω_{A_k} 有如下关系: 若 $IN_s(i) \in IN_A(k)$, 则有 $\Omega_{SQ_i} \cap \Omega_{A_k} = \Omega_{SQ_i}$; 若设内接正方形边长为 l_i , 则有 $l_i = \{ 2m-1 \mid m \in N^+ \}$ 。

仔细对目标区域分析可知, 灰度值较大的像素点集中于目标区域的中心, 即区域质心。对于真实目标, 质心位置偏移很小, 在内接正方形中心像素位置, 而背景区域质心位置具有不固定性, 偏移量较大。提取该特征可以很好地区分目标与背景。图1所示为区域模型, 灰色部分是该区域的内接正方形。

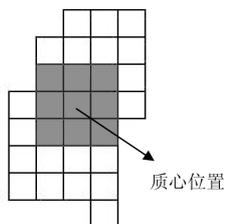


图1 红外图像区域模型

综上所述, 目标具有明显的灰度值特征, 另外两组特征具有互补的特点, 即内接正方形面积特征增加对噪声点的辨析度, 能明显区分目标与噪声点差异, 而质心位置特征对大面积背景区域有过滤作用。三组特征互相补充, 可对目标区域做出准确的描述。

(二) 特征融合算法实现

已知像素灰度和所属区域内接正方形面积具有一定的相关性, 所以采用特征值相乘的方式来融合, 并用相关系数等参数进行加权计算, 以达到不同特征间的作用最大化。特征融合公式定义为:

$$F^r(i, j) = r_{fs} \cdot (f_n)^{\bar{s}_c} \cdot S_n \quad (i, j) \in IN_s \quad (4)$$

式中像素 (i, j) 属于灰度非零的区域行列值。可以看出相关系数正比于 $F^r(i, j)$ 。另外当区域面积平均值 \bar{s}_c 较大时, 内接正方形面积贡献变小, 因此像素点的灰度贡献将会变大。

本算法特征融合形式特点在于充分考虑了不同特征之间相关性, 更有利于数据的决策与判断, 特征提取与融合框图如图2所示。

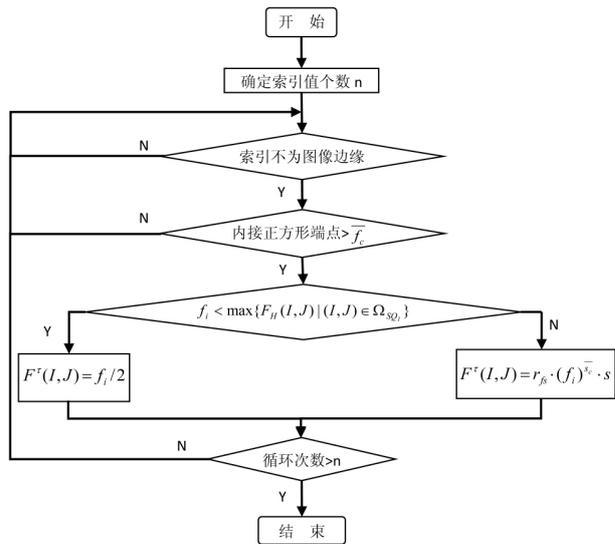


图2 特征提取与融合框图

(三) 标记滤波

经过特征融合后, 高斯滤波后图像上每一灰度非零的像素都有融合数据 $F^r(I, J)$ 。求所有融合数据的平均值 $\overline{F^r(I, J)}$, 标记所有小于平均值的像素点并滤除。滤波后图像可表达为:

$$F_s(I, J) = \{ F_H(I, J) = 0 \mid F^r(I, J) < \overline{F^r(I, J)} \} \quad (5)$$

式中 $F_s(I, J)$ 为标记滤波后的图像。

经上述处理, 一些孤立的噪声和背景区域得到了明显地滤除, 而目标区域却完整保留下来。此时, 经过第二次图像参数估计和特征融合, 减小

了无关像素点对融合影响,可为决策融合提供更为可靠地融合数据。

四、决策融合

红外图像经过特征融合后得出像素点的融合数据,对这些数据进一步分析和推理得出相互之间的关联性和概率信息。决策融合后使得数据重新整合,从而可以准确判决出目标。

(一) 聚类分析

弱小目标在红外图像中会占据 5×5 像素大小的区域,如果用单个像素点的融合数据作为最终判决目标的依据是不全面的,对噪点的容错性差。首先,采用聚类分析的方法将标记滤波后图像的位置相近像素点聚集为一类,每一类会代表着一个局部区域;然后把该区域内像素点的特征值相加得到该聚集区域的融合数据;最后依据聚集区域的融合数据做出判决,完成对弱小目标的检测。很明显,作为融合判决的单元是位置相近像素点的聚集区域,而不是单个像素点。

为解决上述问题,提出一种非零点间动态标号聚类算法,选取欧式距离作为样本相似性度量,非零像素点间的欧式距离定义为:

$$D_{ij} = \|x - y\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d |x_k - y_k|^2} \quad (6)$$

式中 d 为特征空间的维数; x_k 和 y_k 分别为两非零点的坐标。

由于在聚类分析前并不清楚图像中有多少个区域,因此就无法确定类型数目。另外,在每次有

新的样本归为已有类型时,聚类中心将会发生改变,所以采用动态聚类算法标记滤波后图中灰度非零像素点的类型标号。根据类型标号对融合数据进行统计,得出该区域(类型)决策数据。

(二) 检测概率与信任度

依据疑似目标区域数据进行检测概率计算和推理,给出疑似目标区域的信任度分析,是检测算法重要组成部分。通过上述特征融合,决策数据值越大的区域越可能是目标,另外目标区域的决策数据应明显大于背景和噪声的决策数据,而非目标区域的数据会趋于一致,所以选取区域决策数据概率以及决策数据差概率作为两个特征进行推理评估。为了简化计算,将决策数据按大小降序排列,选取前十位区域数据利用 Fixsen 修正 D-S 证据推理的方法进行推理评估,最终得出各区域信任度证据区间。

五、结果分析

在 CPU 为 Intel(R) Core(TM) i7-6567(主频 3.30GHz) 计算机平台上,采用 MATLAB 软件对算法的准确性和实时性进行分析。实验采用多幅红外复杂背景弱小目标图像序列进行检验。在不同背景(天空或海天背景)、信噪比和图像尺寸下的红外图像,目标识别率达到了 96%,检测耗时明显小于其他算法。现将本文提出的算法与另外三种算法的比较情况汇总至表 1,主要从算法的准确性、实时性、应用范围以及智能性进行汇总。

表 1 算法比较

	算法准确性	算法实时性	算法应用范围	算法智能性
本文算法	不同背景、目标数目不确定的红外图像检测率达 96%	采用多层区域融合技术,检测时间较短	海天背景、天空背景以及海平线任意角度红外图像	图像自适应权重融合,提高了对不同图像目标的检测能力
四特征融合算法	天空背景红外图像出现误检现象	部分特征计算复杂单帧检测时间长,检测时间达 32.5s	只能检测海天线是水平方向红外图像	多特征融合时没有考虑不同特征对目标检测的贡献程度
背景抑制与特征融合算法	天空背景红外图像出现误检现象	采用模板在全图范围内提取特征,图像越大耗时越多	只能检测海天背景红外图像	采用自适应加权融合
模糊分类检测算法	海天背景红外图像出现漏检现象	采用模板在全图计算类别贴进度,检测时间为 7.2s	对天空背景红外图像检测效果较好	每幅图像都先提取类别核,自适应良好

由表 1 可知本文算法在实时性上优于其它算法。另外三种算法使用特征模板在全图范围内进行平移,同时计算特征融合及贴进度。这种检测方法计算开销大,并且只经过一次特征融合,非常依赖特征的选取和融合数值的计算。而本文算法采用多层区域融合技术,不会在全图范围内进行计算,只选取特定的区域进行特征提取和融合使得计算开销大大减少,通过决策融合控制计算复杂度的同时,也提高了弱小目标的检测精度。

参考文献:

[1]李欣,赵亦工,陈冰,薛晶.基于模糊分类的微小目标检测方法[J].光学精密工程,2009,17(9):2311-2320.
 [2]刘伟宁.基于小波域扩散滤波的弱小目标检测[J].中国光学,2011,4(05):503-508.
 [3]杨帆,张华.基于背景抑制与特征融合的红外微小目标检测[J].河北工业大学学报,2010,39(06):8-12.
 [4]周欣.红外图像视觉效果增强技术的研究[D].天津大学,2009.