

# 基于多重相关分析的红外弱小目标快速检测\*

彭复员 周鑫杰

(华中理工大学电子与信息工程系, 湖北, 武汉, 430074)

**摘要** 针对红外图像中的目标对比度低、尺寸小及背景复杂等特点, 本文利用像素之间的相关性, 提出了一种基于多重相关峰值检测红外弱小目标的检测方法, 从而实现低信噪比条件下红外弱小目标的快速检测。实验表明该方法是一种抗噪性能强、自适应性能好的弱目标检测方法。  
**关键词** 红外图像, 目标检测, 三重相关, 多重相关分析

## A MULTIPLE-CORRELATION-ANALYSIS-BASED HIGH-SPEED DETECTION OF INFRARED WEAK TARGET\*

PEN G Fu-Yuan ZHOU Xin-Jie

(Department of Electronic & Information Engineering, HUST, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract** In view of the characteristic of low contrast and small dimension of target and the complexity of background in infrared image according to the correlation between pixels, a multiple correlation peak-value detection method for detecting infrared weak target was presented, so the infrared weak target can be detected fast in low signal-to-noise ratio. The results of experiments show that this method is a good one for weak signal detection, with nice anti-noise performance and adaptivity.

**Key words** infrared image, target detection, triple correlation, multiple correlation analysis

### 引言

在目标自动识别系统中, 目标在光电成像仪上是由小到大逐渐出现的, 因此, 在一定程度上, 弱小目标的检测与识别制约了自动识别系统的性能。红外图像中弱小目标检测的主要困难在于以下两个方面: 从红外图像本身的特点来看, 它反映的是成像目标的热辐射, 由于周围场景存在着热交换以及空气对热辐射的散射和吸收作用, 使得红外图像中目标和背景的对比度较低, 形态特征弱化; 从目标的特点看, 由于目标小, 在实际应用中受恶劣环境的影响和各种噪声干扰, 造成目标信息的不足或不稳定。因此, 问题的关键是如何在强大的复杂背景辐射中自动快速地寻找目标。

不管背景复杂程度如何, 在有背景辐射情况下, 红外系统响应的不仅仅是目标的辐射, 而是目标的有效辐射功率与未被目标遮挡的背景的有效辐射功率之和。红外系统探测的目标可以是空中的、地面

的、或是海洋的。从辐射特性来看, 不同物体表面的材料、粗糙度对红外线辐射的吸收和反射具有重要影响。因此从宏观上看, 不同物体的辐射特性也存在着差异。考虑到任何复杂的自然背景都会随着距离的增大而逐渐弱化, 更多地宏观上呈现为一种纹理特征。对不规则的自然背景纹理特性进行研究, 以突出目标和背景的特性, 这为我们寻找目标与背景特性上的差异提供了可能。鉴于此, 我们提出了一种红外图像的局部纹理特性描述方法及红外弱小目标多重相关峰值检测算法, 从而实现低噪比条件下红外弱小目标的快速检测。

### 1 红外成像系统模型

红外成像系统被动地接收红外辐射能量信号, 由于大气热通道的吸收或散射使得系统接收到的能量具有随机性, 同时还会受到系统内部噪声和背景噪声的影响。一般情况下, 红外系统的噪声可以当作平稳随机过程来处理, 多个噪声互为统计独立的。概

\* 国防预研基金(编号: 97. J1. 5. 1. JW 05)资助项目  
稿件收到日期 1999-08-30, 修改稿收到日期 2000-04-06

\* The project supported by the Preliminary Research Foundation of Science and Industry Committee of National Defense  
Received 1999-08-30, revised 2000-04-06

率论中的中心极限定理指出:  $n$  个统计独立的随机变量  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$  当  $n \rightarrow \infty$  时, 其全体  $X = \sum_{i=1}^n x_i$  的分布趋于高斯分布 因此, 系统总噪声为高斯分布的加性噪声

由于场景和传感器内部热分布的不均匀性, 图像中局部灰度特性 (均值、方差等) 可能发生较大的变化, 因此背景图像是一个非平稳随机过程 但对于某个瞬间的某一区域, 背景的辐射是相对稳定的, 因此可以认为局部区域内背景是一个平稳的随机过程

因此, 我们可用下式描述红外成像系统模型:

$$f(x, y) = S(x, y) + n(x, y), \quad (1)$$

式(1)中,  $f(x, y)$  为红外传感器获取的场景图像,  $S(x, y)$  为目标点像素,  $n(x, y)$  为背景图像加上噪声

## 2 三重相关检测原理<sup>[1,2]</sup>

函数  $I(t)$  的  $n$  阶相关函数的一般形式为:

$$I^{(n)}(t_1 t_2, \dots, t_{n-1}) = \int_0^T I(t) I(t+t_1) I(t+t_2) \dots I(t+t_{n-1}) dt, \quad (2)$$

定义区域  $I(t)$  的三重相关函数为:

$$I^{(3)}(t_1, t_2) = (1/T) \int_0^T I(t) I(t+t_1) I(t+t_2) dt, \quad (3)$$

设噪声为独立于信号的加性平稳随机过程  $N(t)$ , 信号为  $I(t)$ , 且

$$J(t) = I(t) + N(t), \quad (4)$$

对  $J(t)$  进行三重相关操作, 并求其集平均, 可得:

$$J^{(3)}(t_1, t_2) = I^{(3)}(t_1+t_2) + N^{(3)}(t_1+t_2) + N(t) [I^{(2)}(t_1) + I^{(2)}(t_2) + I^{(2)}(t_2-t_1)] + I(t) [N^{(2)}(t_1) + N^{(2)}(t_2) + N^{(2)}(t_2-t_1)]. \quad (5)$$

由于平稳的零均值的高斯随机过程的奇数阶相关函数的集平均等于零 若  $N(t)$  为白噪声, 式(5)中等式右边第 2 项和第 3 项均为零, 而第 1 项和第 4 项均包含有信号携带的信息 根据式(5), 三重相关集平均使白噪声几乎完全被抑制, 而对宽带有色噪声, 其自相关函数  $N^{(2)}(t)$  随着  $t$  的增大迅速下降; 在噪声中含有信号的情况下, 携带信号的项突出出来, 使有信号的三重相关集平均明显区别于没有信号的三重相关集平均值 因此利用三重相关集平均

抑制噪声, 以及在噪声中含有信号的情况下只有信号的三重相关才出现峰值的特性, 通过峰值与适当的门限判别, 可判断目标信号的存在与否<sup>[3]</sup>.

## 3 三重相关峰值检测算法

我们认为, 背景图像像素间有较大的相关长度, 即一定区域内像素间有较强的相关性; 而弱小目标的像素点少, 因而目标图像的相关长度也小, 即像素间仅在小的领域内存在相关性, 与背景图像在相关长度或空间频率分量上有明显的不同 因此, 可利用像素之间的相关性的差别来区分目标和背景图像 我们设计的多重相关检测算法就是利用目标和背景相关长度的不同来检测目标 为此, 我们构造了一种图像空间局部邻域多重相关函数:

$$I_k^{(5)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(f(x+i, y+j) - E_k) (f(x+i-1, y+j) - E_k) (f(x+i-1, y+j-1) - E_k) (f(x+i, y+j+1) - E_k) (f(x+i, y+j-1) - E_k)], \quad (6)$$

式(6)中,  $m, n$  为窗口大小, 窗口大小的选择依赖像素的相关长度;  $E_k$  为第  $k$  个局部窗口内像素的灰度均值:

$$E_k = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(x+i, y+j). \quad (7)$$

图像某一局部或某一位置的纹理特征是与该位置周围的灰度变化规律密切相关的 在此, 我们用局部窗口内像素的灰度与局部窗口均值的差作为纹理特征描述 一方面充分利用了图像的二维空间相关性, 同时可有效消除随机干扰 我们从图像的局部纹理特性描述出发, 用局部窗口内四邻域像素的纹理集平均构造图像空间局部邻域多重相关函数 由上述三重相关峰值检测原理, 可进行多重相关峰值检测

该函数不仅能描述和刻画图像的局部纹理特征, 同时充分考虑到图像局部平稳的邻域内像素的极大相关性 因此, 多重相关峰值检测算法可有效利用红外图像中弱小目标图像的空间邻域信息, 提高检测概率, 减少虚警概率

## 4 实验分析及结论

实验数据选择了两组有代表性的红外图像: 背景中包含有天空和海浪的海上舰艇红外图像及海上

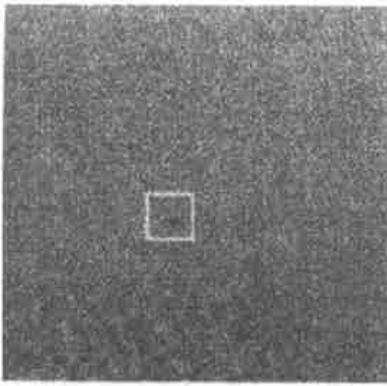


图1 红外图像及其检测结果  
(背景为天空和海浪)

Fig 1 Infrared image and its detectin result  
(the background is sky and ocean wave)

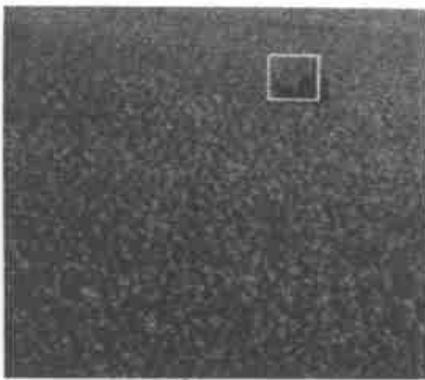


图2 红外图像及其检测结果  
(背景为海浪)

Fig 2 Infrared image and its detection result  
(the background is ocean wave)

强杂波干扰红外图像 实验中考虑红外图像像素间的相关长度,局部窗口大小选为  $16 \times 16$  因我们定义的纹理特征描述与背景强度有关 因此峰值判决门限以背景均值  $E$  作为参考,加上多重相关峰值极大,判决门限可适当选择  $\alpha E$  ( $\alpha$  为常数).

原图如图1和图2所示,实验结果如图3和图4所示

通过以上多重相关峰值检测方法,一旦判断出目标所在的窗口,立即在该窗口中对目标进行定位,此时可采用简单的相关计算 为准确定位,可适当地扩大搜索范围,在此范围内对图像中的每一点计算它的相关值,取该值最小的那些点即为目标点

由实验结果可见,远距离的红外图像虽目标和背景比较模糊,且存在明显的杂散噪声干扰,采用本文的方法可有效地将不同噪声背景下的目标检测出

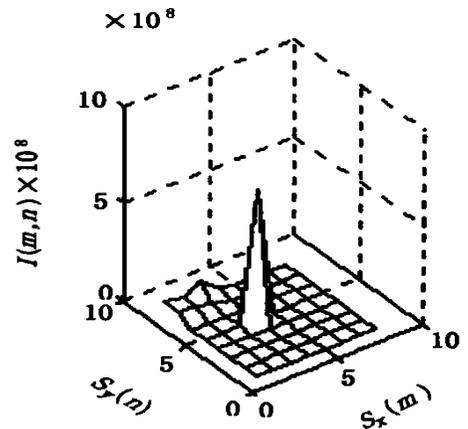


图3 图1的多重相关计算结果  
Fig 3 The calculated result of  
multiple correlation of Fig 1

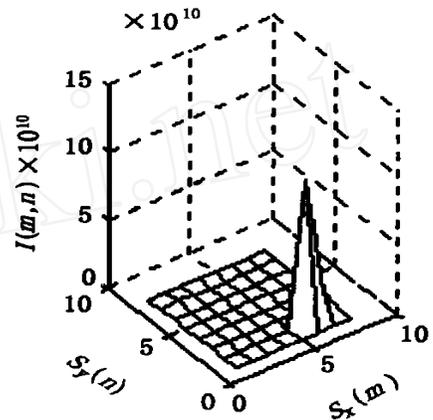


图4 图2的多重相关计算结果  
Fig 4 The calculated result of  
multiple correlation of Fig 2

来,并且不受图像的对比度、目标的灰度的影响 因此,基于多重相关峰值检测的方法的抗干扰能力显著增强,更好地适应恶劣的应用环境,算法简单,通用性好,能更好地实现低信噪比条件下红外弱小目标的快速自动检测

## REFERENCES

- [1] Lohmann A W, W irthner B. Triple correlations, *IEEE*, 1984, 72(7): 889—901
- [2] Lohmann A W, Weigelt G, W irthner B. Speckle masking in astronomy: triple correlation theory and applications, *Applied Optics*, 1983, 22(24): 4028—4037
- [3] CHEN Ru-Jun. Triple correlation peak inspecting technique in IR detection systems, *J. Infrared Millim. Waves* (陈汝钧 红外探测系统三重相关峰值检测技术研究, *红外与毫米波学报*), 1998, 17(4): 277—281