

基于 K-L 变换的红外图像 弱小目标检测与分析*

彭复员 周鑫杰 胡颖嵩

(华中科技大学, 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, 利用正交变换的去相关性, 提出了一种改进的 K-L 变换和广义 K-L 变换的红外弱小目标检测与描述方法, 从而实现低信噪比条件下红外弱小目标的检测。

关键词 红外图像, 背景分析, 目标检测, K-L 变换, 广义 K-L 变换。

DETECTION AND ANALYSIS OF WEAK TARGET WITH INFRARED IMAGE BASED ON K-L TRANSFORM*

PENG Fu-Yuan ZHOU Xin-Jie Hu Ying-Song

(Dept. of Electronic & Information Eng., HUST, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract In view of the characteristics of the low contrast and small dimension of targets and the complexity of background in infrared image, a method of detecting and describing infrared weak target was presented with improved K-L transform and generalized K-L transform. Thus the infrared weak target can be detected in low signal-to-noise ratio.

Key words infrared image, background analysis, target detection, K-L transform, generalized K-L transform.

引言

红外图像目标的检测困难除因目标背景的对比度较低、背景复杂、目标被强大的背景噪声所淹没外, 从应用的角度看, 由于热成像系统的分辨率有限, 目标在较远的距离呈点源出现在视场中, 随着对目标的接近, 才能出现目标的热图像, 这要求图像处理系统具有兼顾点源和扩展源的处理功能。一方面由于成像系统分辨率的限制及自然环境和大气传输特性的综合作用, 使得人造目标与自然背景在几何构成上的差别变模糊, 另一方面由于环境因素的影响, 导致人造目标和自然背景在灰度上的差别表现出不稳定性, 图像中无关信息和可变信息相当高, 因此, 精确确定目标的红外特性是很复杂的, 而简单地利用人造目标和自然背景在几何构成上的差别, 或者利用人造目标和自然背景在图像灰度上的差别检

测人造目标是不现实的, 还必须对不规则的自然背景纹理特性进行研究, 以突出目标和背景特性, 利用背景分析从中寻找目标^[1], 我们进一步研究了一种变换域中的背景分析方法, 本文实现了目标的检测和描述。

1 背景辐射分析

目标特性几乎总是与其背景之间的差异密切相关, 因此, 弄清背景辐射往往和了解目标辐射特性一样重要。背景辐射是红外系统必然会接受到的天空、地面和海洋辐射, 是一个很复杂的问题, 有时背景在探测器上形成的辐照度会比目标的高出许多, 有时又会使目标和背景辐射的红外线在波长分布上的差别不大, 同时背景辐射会使探测器灵敏度降低。

影响红外辐射吸收和反射的主要因素是物体的表面材料和表面粗糙度, 从辐射特性来看, 气体辐射

* 国防科工委预研基金资助项目

稿件收到日期 2000-09-08, 修改稿收到日期 2000-12-28

* The project supported by the Preliminary Research Foundation of National Defense of China

Received 2000-09-08, revised 2000-12-28

和固体辐射不同, 在固体中由于原子间的密集结合, 会产生许多与单个谐振子不同的附加振动, 因此不同表面材料和粗糙度的物体的辐射特性存在差异. 当目标离接收机距离很远时, 目标可以模拟为具有恒定辐射强度的点辐射源, 这为我们寻找目标与背景特性上的差异提供了依据, 通过了解变化复杂的背景辐射影响, 进一步提高对其抑制的能力.

2 离散 K-L 变换

设 f 为二维随机场中的一幅大小为 $N \times N$ 的图像, 其统计性质可由其均值向量 m_f 和协方差矩阵 C_f 来表征. 离散 K-L (Karhunen-Loeve) 变换根据图像统计性质进行正交展开^[2], 即

$$g = A(f - m_f), \quad (1)$$

其中, A 为正交变换矩阵, 是由 C_f 的特征向量组成其各行的矩阵. 由 K-L 变换的性质可知: 变换域中 g 的协方差矩阵 C_g 是一个对角矩阵, 它的主对角线上的元素是 C_f 的特征值, 即

$$C_g = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \lambda_N \end{bmatrix}. \quad (2)$$

其中, 特征值满足 $\lambda_i \geq \lambda_{i+1}$ ($i=1, 2, \dots, N-1$), 它的主对角线以外的元素均为零, 同时因 λ_i 也是 C_f 的特征值, 可见 C_f 和 C_g 具有相同的特征值和特征向量, 即变换后的协方差矩阵可由变换前的代替.

由 K-L 变换定义可知, K-L 变换的正交基是由变换向量组构成, 每一组不同的向量都对应不同的变换基底. 除了变换矩阵自然地反映了变换域的特性外, 变换矩阵本身也包含了原图像的信息, 这也是 K-L 变换不同于其它正交变换之处. 由此可见, 该变换中与特征向量所对应的特征值矩阵当然地反映了原图像的信息特征. 基于以上分析, 我们对 K-L 变换进行了改进, 以原图像的协方差矩阵的特征值来直接表征 K-L 变换. 因此改进的 K-L 变换大大简化了计算步骤, 克服了传统 K-L 变换算法的复杂性和由此带来的非实用性.

因协方差矩阵对角线上各阵元反映了变换域中各分量的方差, 因此协方差矩阵提供了元素间相关性的测度. 在此, 我们用特征值矩阵的“迹”来表述特征值, 称为简化的 K-L 变换“迹矩阵”, 即

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N = c_{11} + c_{22} + \dots + c_{NN}. \quad (3)$$

从宏观上看, 式(3)反映了原图像的特征信息在变换域中的一种新的分布. 我们可取前 n 个特征值分量 ($\lambda_1, \dots, \lambda_n$) 和第一特征值 λ_1 共同组成新的特征参数, 该特征参数描述了图像的最大能量分布和形状特性分布.

3 广义 K-L 变换

在模式分类中, 可用多类模式的散布矩阵 S_w 反映模式类别可分性测度, 定义为^[4]

$$S_w = \sum_{i=1}^c P(\omega_i) E[(x - m_i)(x - m_i)^T], \quad x \in \omega_i. \quad (4)$$

它等于各模式的协方差矩阵的先验概率 $P(\omega_i)$ 加权, 其中 c 为类别数 ($i=1, 2, \dots, c$). 可见, 对于同一类模式样本, 类内散布矩阵表示各样本点围绕它们均值周围的散布情况.

定义广义 K-L 变换, 采用模式类内散布矩阵 S_w 作 K-L 变换^[5]. 由于散布矩阵是从另外一种角度展示了模式分布的统计特性, 因此, 广义 K-L 变换除与 K-L 变换一样起到了减小相关性、突出差异性的作用外, 同时它对保留分类信息是有不同效果的.

我们将以上概念引入红外图像目标检测中心, 提出一种基于改进的广义 K-L 变换的弱目标检测方法, 并用其变换迹矩阵作为一种新的特征描述.

4 实验及结果分析

目标检测就是找到一种判别准则, 用以区别目标特征和其它干扰的背景特征. 利用背景分析思想, 对图像进行了分块处理实验, 计算每块内 K-L 变换或广义 K-L 变换迹矩阵, 再寻找出现峰值的区域, 即可检测出目标, 通过这种改进的 K-L 变换和广义 K-L 变换, 可获得简化的背景模型, 并且即便图像的平均值空间变化很快, 但其协方差空间变换是缓

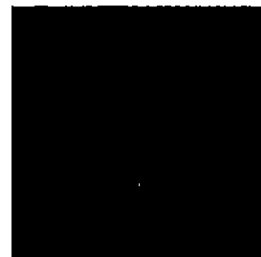


图1 红外图像及其检测结果(背景为天空和海浪)
Fig. 1 Infrared image and its detection result
(background is the sky and ocean wave)



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
(background is ocean wave)

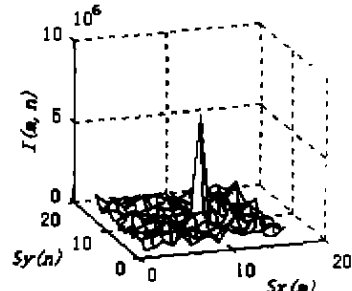


图 6 图 2 的广义 K-L 变换结果
Fig. 6 The generalized K-L
transform result of Fig. 2

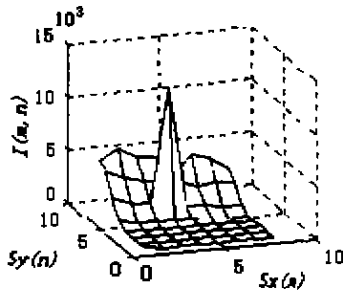


图 3 图 1 的 K-L 变换结果
Fig. 3 The K-L transform result of Fig. 1

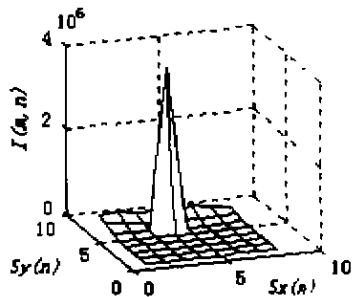


图 4 图 1 的广义 K-L 变换结果
Fig. 4 The generalized K-L
transform result of Fig. 1

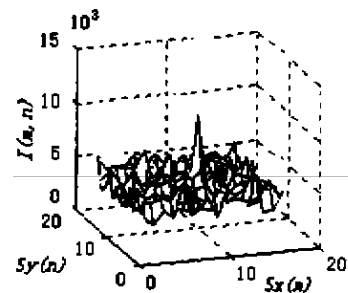


图 5 图 2 的 K-L 变换结果
Fig. 5 The K-L transform result of Fig. 2

慢的,因此算法的适应性好,抗噪性能强。

实验数据选择了两幅有代表性的红外图像:背景中包含有天空、海浪的图像(图 1)和背景为强噪声干扰下的小目标图像(图 2)(此处为方便观察对原图进行了增强处理)。图 3~6 分别对应了 K-L 变换和广义 K-L 变换的实验结果。图中 $I(m, n)$ 为 K-L 变换计算结果, $Sy(n)$ 为图像垂直方向长度, $Sx(m)$ 为图像水平方向长度。

可明显看出,有目标区域的迹矩阵值远大于其它区域,特别是广义 K-L 变换的迹矩阵更显著,这也是由散布矩阵的特性所决定的。图 6 还说明它对极小目标非常敏感,因此广义 K-L 变换具有对背景更强的抑制作用。由图 3 可见,不同背景的 K-L 变换迹矩阵存在明显差异,可用其区分背景特征。本文提出的方法可有效地将不同噪声背景下的目标检测出来,且不受图像对比度、目标灰度、目标大小的影响,自适应性能好,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自动检测。

REFERENCES

[1] PENG Fu-Yuan, ZHOU Xin-Jie. A multiple correlation analysis based on high speed detection research for infrared weak target. *J. Infrared Millim. Waves* (彭复元, 周鑫杰. 基于多重相关分析的红外弱小目标快速检测研究. *红外与毫米波学报*), 2000, 9(6): 454

[2] ZHANG Yu-Jin. *Image Processing and Analysis*. Beijing: The Publishing House of Tsinghua University (章毓晋. *图像处理和分*析. 北京: 清华大学出版社), 1999

[3] CAI Yuan-Long. *Pattern Recognition*. Xi'an: The Publishing House of Xi'an Electronic Science and Technology University (蔡元龙. *模式识别*. 西安: 西安电子科技大学出版社), 1990