

# 基于红外多光谱图像相关性的自动目标识别算法\*

武春风 张伟 丛明煜 吴刚

(哈尔滨工业大学空间光学工程研究中心, 黑龙江, 哈尔滨, 150001)

**摘要** 提出了一种基于红外多光谱图像相关性的自动目标识别新算法. 根据目标、背景和干扰物的红外多光谱特征信息(辐射强度、光谱分布)构造出目标场景的红外多光谱特征矩阵;采用最大距离法分割图像,融合空间和光谱信息重构出研判目标的红外多光谱特征矩阵;根据研判目标的光谱辐射差异特性建立了红外多光谱图像相关识别准则. 实验表明,该识别算法正确可行.

**关键词** 自动目标识别, 识别算法, 红外多光谱, 图像分割, 图像相关性.

## AN AUTOMATIC TARGET RECOGNITION ALGORITHM BASED ON CORRELATION OF INFRARED MULTISPECTRAL IMAGERY\*

WU Chun-Feng ZHANG Wei CONG Ming-Yu WU Gang

(Research Center of Space Optics Engineering, Harbin Institute of Technology,  
Harbin, Heilongjiang 150001, China)

**Abstract** A new automatic target recognition algorithm based on infrared multispectral imagery correlation (IMIC) is presented. According to infrared multispectral characteristic information (such as radiation intensity and spectral distribution) of targets, background and decoys, an infrared multispectral eigenmatrix of scenario is constructed. An infrared multispectral eigenmatrix of interesting targets is reconstructed after segmenting image by maximum-error-method and fusing target information of space and spectrum. An infrared multispectral imagery correlation recognition method is formulated in terms of spectral radiation difference of interesting targets. Digital simulation experiment result verifies that the algorithm is proper and feasible.

**Key words** Automatic target recognition, recognition algorithm, infrared multispectral, image segmentation, imagery correlation.

### 引言

利用多光谱信息进行自动目标识别是当前红外末制导研究领域中的一项新技术. 诸多研究结果表明背景、真实目标以及干扰物的光谱辐射、反射特性在不同的波段内存在显著差异<sup>[1-4]</sup>,具体表现为:自然背景与某些目标的辐射可以近似为灰体辐射,目标的多光谱图像在毗邻的子波段内具有高度相关性;干扰物的辐射却具有很大的选择性,其辐射强度在不同的子波段内分布差异明显,各个波段内的图像信息相关性很低<sup>[5]</sup>.

依据上述规律,本文提出了基于红外多光谱图

像相关性的自动目标识别算法. 研究思路如下:根据目标、背景和干扰物的红外多光谱特征信息(辐射强度、光谱分布)构造出目标场景的红外多光谱特征矩阵;采用最大距离法分割图像,融合空间和光谱信息重构出研判目标的红外多光谱特征矩阵;根据研判目标的光谱辐射差异特性建立了红外多光谱图像相关识别准则.

### 1 多光谱图像相关性识别算法

#### 1.1 多光谱特征矩阵

设采集到的红外目标数据来自  $U \times V$  的焦平面阵列,列向量  $x(n)$  代表相应焦平面上第  $n$  个像素所

\* 国家 863 计划(编号:863-2-2-11-7)资助项目  
稿件收到日期 2002 - 07 - 18, 修改稿收到日期 2003 - 02 - 27

\* The project supported by National 863 program(No. 863-2-2-11-7)  
Received 2002 - 07 - 18, revised 2003 - 02 - 27

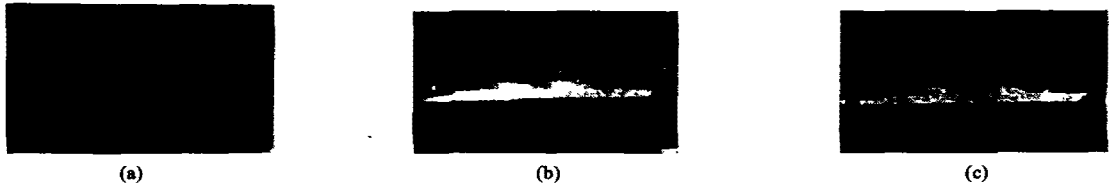


图1 舰船目标的红外图像 (a)某子波段舰船的红外图像(b)全波段舰船的红外图像(c)分割后舰船的红外图像

Fig.1 Infrared image of galley target (a)infrared image of galley in one sub-wave band (b)infrared image of galley in full-wave band (c)infrared image of galley segmented

接收到的  $K$  个波段的不同光谱辐射强度,即

$$\underline{x}(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_k(n)]^T, \quad (1)$$

式(1)中  $x_k(\cdot)$  表示为灰度级,  $k=1, 2, \dots, K$ .

令  $N=U \times V$ , 定义一个  $K \times N$  的矩阵  $X$  为

$$X = [\underline{x}(1), \underline{x}(2), \dots, \underline{x}(N)] \\ = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(N) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_k(1) & x_k(2) & \dots & x_k(N) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式(2)为目标场景的红外多光谱特征矩阵. 这些红外数据均来自于多光谱传感器在相同时刻对同一目标场景在  $K$  个波段内的采样, 矩阵  $X$  的行向量表示目标场景在某一子波段内的红外特征信息(红外光谱图像), 如图1(a)所示. 单一子波段的红外特征信息可以反映目标的局部特征, 却不能完全反映探测目标的宏观整体信息, 比如目标的几何形状、空间位置等. 目标场景的全波段红外特征可以表示为

$$\underline{X} = \left[ \sum_{i=1}^k x_i(1), \sum_{i=1}^k x_i(2), \dots, \sum_{i=1}^k x_i(N) \right], \quad (3)$$

式(3)反映出了目标场景的整体红外特征信息, 见图1(b), 对式(3)做适当数字图像处理, 便可以得到所要研究目标的几何形状、边界轮廓以及空间位置, 如图1(c)所示.

## 1.2 图像分割与信息融合

图像分割的意义在于从空间分布上将目标和背景分离. 本文采用直方图分割法中的最大距离法<sup>[6]</sup>. 此种图像分割方法的准则是以满足测度  $D$  为最大值的灰度级作为图像分割的门限值, 图像中凡是灰度值小于分割门限的像点, 均认为是背景中的点, 加以滤除, 并用零灰度表示. 反之, 则认为是潜在目标区域中的点, 予以保留. 图1(c)为应用此方法分割图像的示例. 根据分割准则, 在式(3)中选取适当的灰度级  $I'$ , 使得测度  $D(I')$  取得最大值. 根据  $I'$  的取值划分, 从式(3)中提取出研判目标的区域轮

廓, 用矩阵表示为

$$T = [T_1, T_2, \dots, T_M], \quad (4)$$

$T_i$  为列向量,  $T_i = [t_i(1), t_i(2), \dots, t_i(N)]^T, i=1, 2, \dots, M$ . 式(4)中  $M$  为目标图像分割后待研判的目标个数.  $t_i(\cdot)$  的值取为 0 或 1, 取 0 时表示该像素点为背景所占的象素点, 取 1 时, 表示目标所占的象素点.

建立目标区域轮廓矩阵后, 融合目标的空间和光谱信息得

$$X_i = X \cap T_i, \quad i=1, 2, \dots, M \quad (5)$$

式(5)表示目标场景红外多光谱特征矩阵  $X$  与某个目标区域轮廓向量的逻辑与, 展开形式为

$$X_i = \begin{bmatrix} x_1(1) \cap t_i(1) & x_2(2) \cap t_i(2) & \dots & x_1(N) \cap t_i(N) \\ x_2(1) \cap t_i(1) & x_2(2) \cap t_i(2) & \dots & x_2(N) \cap t_i(N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_k(1) \cap t_i(1) & x_k(2) \cap t_i(2) & \dots & x_k(N) \cap t_i(N) \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} x_{1i}(1) & x_{1i}(2) & \dots & x_{1i}(N) \\ x_{2i}(1) & x_{2i}(2) & \dots & x_{2i}(N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{ki}(1) & x_{ki}(2) & \dots & x_{ki}(N) \end{bmatrix}, i=1, 2, \dots, M \quad (6)$$

式(6)中  $x_{ki}(\cdot)$  的取值为 0 或  $x_k(\cdot)$ , 取 0 时表示该像素点为背景所占的象素点, 取  $x_k(\cdot)$  时, 表示目标所占的像素点的灰度值. 显然式(6)还包含了滤波后零灰度值的背景像素, 除去式(6)中取值为 0 的元素, 式(6)变为

$$\tilde{X}_i = [\underline{x}_{1i}, \underline{x}_{2i}, \dots, \underline{x}_{ki}]^T \\ = \begin{bmatrix} x_{1i}(1) & x_{1i}(2) & \dots & x_{1i}(N') \\ x_{2i}(1) & x_{2i}(2) & \dots & x_{2i}(N') \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{ki}(1) & x_{ki}(2) & \dots & x_{ki}(N') \end{bmatrix}, i=1, 2, \dots, M \quad (7)$$

式(7)为目标红外多光谱特征矩阵,  $\underline{x}_{ki}$  表示目标在某一子波段内的红外特征向量(灰度图像). 显然  $N'$

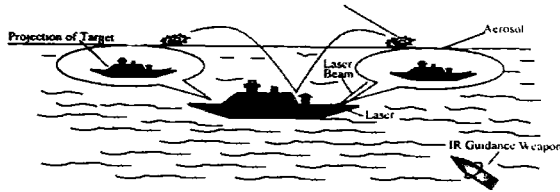


图2 激光调制的气溶胶红外诱饵弹工作示意图  
Fig.2 Sketch map of aerosol IR decoy modulated by laser

$< N, N'$  由目标区域轮廓向量  $t_i$  的非零元素个数所决定.

1.3 相关识别准则

根据式(7), 可得目标红外多光谱图像毗邻波段的相关系数

$$\rho_{ki} = \frac{|\text{cov}(\underline{x}_{ki}, \underline{x}_{(k+1)i})|}{\sqrt{V(\underline{x}_{ki})}\sqrt{V(\underline{x}_{(k+1)i})}}, \quad k=1, 2, \dots, K-1 \quad (8)$$

式(8)中,  $\text{cov}(\cdot)$  为目标红外特征向量在毗邻的两个红外波段内的协方差,  $\sqrt{V(\cdot)}$  为目标红外特征向量的均方差.  $\rho_{ki}$  表示在  $k$  和  $k+1$  波段内两目标红外特征向量的相关系数. 令

$$\bar{\rho}_i = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^{K-1} \rho_{ki}, \quad i=1, 2, \dots, M \quad (9)$$

表示第  $i$  个研判目标在各个毗邻波段内红外特征向量的相关系数均值.

由上述推导可得, 红外多光谱图像相关识别准则为: 某些目标的辐射可以近似为灰体辐射, 目标的多光谱图像在毗邻的子波段内具有高度相关性; 而干扰物的辐射却具有很大的选择性, 其辐射强度在不同的子波段内分布差异显著, 各个波段内的图像信息相关性很低. 依此规律, 使用场景的空间和光谱信息, 可得识别准则的数学表达式为

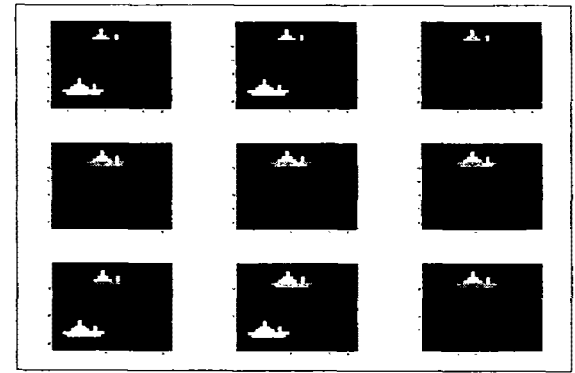


图4 目标在九个子波段内的仿真灰度图  
Fig.4 Simulation gray level images of targets in nine sub-wave bands

$$\bar{\rho}_i = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^{K-1} \frac{|\text{cov}(\underline{x}_{ki}, \underline{x}_{(k+1)i})|}{\sqrt{V(\underline{x}_{ki})}\sqrt{V(\underline{x}_{(k+1)i})}} \geq \sigma \text{ then } T_i = 1$$

$$< \sigma \text{ then } T_i = 0, \quad i=1, 2, \dots, M \quad (10)$$

式(10)中  $\sigma$  为相关系数阈值,  $T_i = 1$  表示目标为灰体,  $T_i = 0$  表示目标为选择性辐射体.

2 仿真实验

仿真实验场景如图2所示. 当被保护的舰船发现受到红外制导武器的攻击时, 迅速发射装有气溶胶的诱饵弹, 形成一个气溶胶区域<sup>[7]</sup>. 舰船上的激光源发射出两种波长的红外激光(3.8 $\mu\text{m}$ 和10.6 $\mu\text{m}$ )以对抗红外双色末制导武器<sup>[8]</sup>. 激光照射在气溶胶上产生类似于被保护目标红外特性的热辐射和几何投影, 用以诱导制导武器, 保护目标.

表1 红外多光谱寻的器的波段划分  
Table 1 Wave band partition of IR multispectral seeker

Band	Spectral Interval( $\mu\text{m}$ )
1	3.0~3.6
2	3.6~4.2
3	4.2~5.0
4	8.2~8.6
5	8.6~9.0
6	9.0~9.4
7	9.4~10.2
8	10.2~11.2
9	11.2~12.2

为了验证红外多光谱图像相关识别算法的正确性, 采用3~5 $\mu\text{m}$ 和8~12 $\mu\text{m}$ 两个大气窗口内的9个波段进行仿真实验. 仿真环境参数为: 海平面温度  $T_0 = 283\text{K}$ 、空气密度  $\rho = 1.225(\text{Kg}/\text{m}^3)$ 、1个标准大

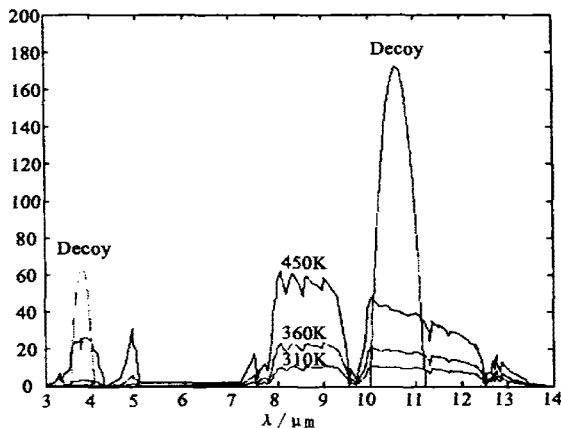


图3 目标的灰度分布曲线  
Fig.3 Gray level distribution curves of targets

气压;弹目距离 800 米;红外诱饵辐射强度为舰船的 3~5 倍;舰船处于工作状态,并考虑到太阳辐射和大气热辐射等因素的影响.由上述条件等效计算出舰船烟囱区域的温度为 450K、机舱区域的温度为 360K、舰船其它区域的温度为 310K、目标近似为黑体辐射<sup>[9]</sup>.算法模型参数为:相关系数阈值为  $\sigma = 0.85$ 、光谱波段的划分为 9 个波段(见表 1).根据以上仿真环境参数计算出目标经大气吸收后的辐射能量灰度分布曲线(见图 3),并通过红外目标图像生成软件得到目标多光谱图像(见图 4);使用基于红外多光谱图像相关性的自动目标识别算法求得目标图像的相关系数(见表 2).由表 2 数据可看出算法可正确地区分出真假目标.

表 2 目标图像在毗邻光谱段上的相关系数  
Table 1 Band to band correlation coefficient of targets

Band	Correlation coefficient	
	Target 1	Target 2
1~2	0.9990	0.9497
2~3	0.9983	0.2685
4~5	0.9854	0.0861
5~6	0.9996	0.1933
6~7	0.9997	0.0552
7~8	0.9971	0.0935
8~9	0.9980	0.4291

### 3 结论

仿真实验结果表明基于红外多光谱图像相关性的自动目标识别算法正确可行.采用目标空间几何和光谱信息相融合的识别方法,可有效对抗红外干扰,进一步提高红外导引头识别真伪目标的能力.在实际应用中,目标光谱的相关性与诸多因素相关,平均相关系数阈值  $\sigma$  的选取必须依据目标红外特性

的试验结果设定且需在识别算法中嵌入平均相关系数阈值  $\sigma$  的自动修正模块,进一步增强多光谱目标识别算法的实用性.

### REFERENCES

- [1] Hoff L E, Evans J R, Bunney L E. Detection of targets in terrain clutter by using multispectral infrared image processing. *Proc. SPIE, San Diego, CA, 1991, 1481: 2554—2569*
- [2] Yu X, Reed I S. Comparative performance analysis of adaptive multiband detectors. *IEEE Trans. Signal Processing, 1993, 41(8): 2639—2656*
- [3] Margalit A, Reed I S. Adaptive optical target detection using correlated images. *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1985, AES-21, (3): 465—479*
- [4] Miller M I, Fuhrmann D R. Maximum likelihood narrow-band direction finding and the EM algorithm. *IEEE Acoust. Speech. Signal Processing, 1990, 38(9): 560—577*
- [5] Yu X, Reed I S. Automatic target detection and recognition in multiband imagery: a unified ML detection and estimation approach. *IEEE Trans. Signal Processing, 1997, 6(1): 143—156*
- [6] ZHANG Zhong-Cheng, MENG Qing-Hua, SHEN Zhen-Kang. Infrared feature analysis of objects. *Infrared Technology*(张忠诚,孟庆华,沈振康.目标外特性分析.红外技术), 1999, 21(4): 25—28
- [7] GAO Yong, SHI Jia-Ming, WANG Jia-Chun. Infrared countermeasure and new type infrared decoy. *Marine Electronic Countermeasure*(高勇,时家明,汪家春.红外对抗与新型红外诱饵.舰船电子对抗), 2001, 1: 22—24
- [8] DU Shao-Jun, LU Qi-Sheng. Study on IR dual spectral detection. *Infrared Technology*(杜少军,陆启生.红外双色探测研究.红外技术), 2000, 22(2): 36—38
- [9] LIN Wei-De, HONG Jia-Ling. Infrared characteristic of marine exhaust eductor system. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*(林维德,洪家琳.舰船普通排气系统的红外特性.红外与毫米波学报), 2000, 19(2): 125—128