

doi: 10.7690/bgzdh.2023.12.012

# 复杂背景条件下目标自适应伪装光学效果评估方法

温远征<sup>1</sup>, 吕永胜<sup>1</sup>, 王盛春<sup>2</sup>, 沙建军<sup>3</sup>

(1. 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001; 2. 陆军工程大学通信士官学校, 重庆 400035;  
3. 哈尔滨工程大学控制科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 针对单一背景下的伪装评估方法难以度量自适应伪装目标在多背景中的综合伪装效果, 提出一种自适应伪装目标在多背景下的光学伪装效果评估方法。选取几种典型背景, 对每种背景下目标的光学伪装效果进行评估; 依据星载高光谱图像对目标活动区域内的地物进行分类, 确定区域中每种典型背景的面积占比; 以每种背景所占比例作为该背景下评估结果在综合评估中的占比, 对各典型背景评估结果加权, 得到复杂背景下的综合评估结果。实验结果表明: 该方法量化了多背景下的综合伪装效果, 其评估结果较传统的评估更客观全面, 更符合目标在多背景中活动的实际情况。

**关键词:** 复杂背景; 自适应伪装; 光学伪装效果评估; 图像特征提取; 占比加权  
**中图分类号:** E951.4 **文献标志码:** A

## Evaluation Method of Optical Effect of Adaptive Camouflage of Targets Under Complex Background Conditions

Wen Yuanzheng<sup>1</sup>, LYU Yongsheng<sup>1</sup>, Wang Shengchun<sup>2</sup>, Sha Jianjun<sup>3</sup>

(1. College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;  
2. Communication Sergeant School, Army Engineering University of PLA, Chongqing 400035, China;  
3. College of Control Science and Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** Since it is difficult to measure the comprehensive camouflage effect of adaptive camouflage targets in multiple backgrounds by using the camouflage evaluation method in a single background, a method for evaluating the optical camouflage effect of adaptive camouflage targets in multiple backgrounds is proposed. Selecting several typical backgrounds, evaluating the optical camouflage effect of the target under each background, classifying the ground objects in the target activity area according to the satellite-borne hyperspectral image, and determining the area proportion of each typical background in the area; The proportion of each background is taken as the proportion of the evaluation results in the comprehensive evaluation under the background, and the evaluation results of each typical background are weighted to obtain the comprehensive evaluation results under the complex background. The experimental results show that the method quantifies the comprehensive camouflage effect under multiple backgrounds, and its evaluation results are more objective and comprehensive than the traditional evaluation, which is more in line with the actual situation of the target's activities in multiple backgrounds.

**Keywords:** complex background; adaptive camouflage; optical camouflage effect evaluation; image feature extraction; proportion weighting

## 0 引言

随着电子信息技术的高速发展, 星载、机载与弹载先进侦察设备在军事领域被广泛运用, 远程精确打击发展为主要作战方式, “发现即摧毁”已成为现代战争的事实, 这对我方目标的隐蔽伪装效果提出了越来越高的要求<sup>[1]</sup>。如何量化评估军事目标的伪装效果, 一直是国防领域研究的热点问题。

目前, 国内外学者在伪装效果评估领域进行了多角度研究。早期的伪装效果评估主要依赖于人工观察实验, 通过统计观察者对目标的识别次数、识

别准确程度等指标判断伪装效果的优劣。该方法较为贴近作战时的实际情况, 但操作费时费力, 评估过程主观性强, 且易受环境和观察者个体等因素影响。后续学者在此基础上进行了改进, 通过目标与背景图像特征相似度、目标显著度等多种评估指标定量分析目标的伪装效果。王展等<sup>[2]</sup>以亮度对比、颜色特征、纹理特征、边缘形状、斑点尺寸作为评估指标, 通过熵权法确定各个评估指标的权值大小, 利用灰色评估理论对迷彩伪装效果进行了评估。初苗等<sup>[3]</sup>利用视觉注意机制模拟人眼, 将引人注意的伪装目标从背景中剥离出来, 再与周围背景对比,

收稿日期: 2023-08-17; 修回日期: 2023-09-19

基金项目: 基础加强重点基金项目(2020-JCJQ-ZD-138-11)

第一作者: 温远征(1996—), 男, 吉林人, 硕士。

建立特征相似度模型，从人眼的角度出发评估目标伪装效果，实现了主观判断和客观分析的有机结合。总体而言，目前的伪装评估方法主要适用于传统的静态伪装，如迷彩涂装、遮障伪装。

静态伪装在特定背景设计下往往有较好的伪装效果；但我国地域辽阔，地貌环境复杂，伪装目标的跨区机动往往会造成背景的大幅改变，即使是同一背景在不同时间、不同季节下特征也有所变化。导致基于静态伪装所设计的迷彩图案无法满足多变的战场环境要求，目标在新环境背景中的伪装效果大大降低，甚至可能成为其暴露特征<sup>[4]</sup>。随着自适应伪装技术的发展，伪装目标能够针对所面临的侦察打击威胁、背景环境等战场情况的变化，而随之生成相应伪装方案，从而具有跨地域、跨时段、跨季节的良好伪装效果<sup>[5]</sup>。针对自适应伪装目标“跨地域”的特性，如何评估其在多背景下生成不同伪装方案的综合伪装效果目前还鲜有研究。

针对这一问题，笔者提出一种自适应伪装目标在复杂背景下综合伪装效果的评估方法。首先选取常绿林地、草地、荒漠、落叶林地、雪地背景作为目标活动区域中的典型背景，以目标与背景的灰度、颜色、纹理、形状相似度作为评估指标，对几类典型背景下目标的伪装效果分别进行评估，并依据熵权法对各指标加权，得到单背景下的多指标综合评价结果；然后利用星载高光谱图像数据对目标活动区域地物进行分类，以分类结果中各地物所占面积比例作为与其相应典型背景中评估结果在综合评估中的占比，对典型背景评估结果进行加权，得到自适应目标在活动区域内的综合伪装效果；最后通过实验分析了该方法的有效性与实用性。

## 1 评估模型的建立

目前，自适应伪装系统主要通过变色材料的颜色变化，形成不同的伪装方案来应对光学侦察与电视制导。通常情况下需要上百块变色单元覆盖于目标表面以实现其自适应变化的性能。各个变色单元之间相互独立，可根据预设方案形成多种伪装图案，实际应用中，无法遍历所有可能的方案，对每种伪装图案进行评估，需要从中选取典型样本来代表一类相近图案的整体伪装效果。自适应伪装目标依据背景与预设方案生成伪装图案，在一类背景中生成的伪装图案具有较高的相似性；因此，可以依据背景类型对伪装图案进行划分，选取目标活动区域经常出现的几种典型背景类型，对目标在典型背景下

的伪装效果进行评估。

基于人眼视觉机制选取伪装目标与背景的灰度相似度、颜色相似度、纹理相似度、形状相似度作为评估指标。在每种典型背景下，计算各评估指标的值，通过熵权法对 4 种评估指标进行加权，得到该背景下的伪装评估结果。然后依据各背景在目标活动区域所占面积比例对各个背景评估结果进行占比加权，得到伪装目标在活动区域的综合评估结果。其流程如图 1 所示。

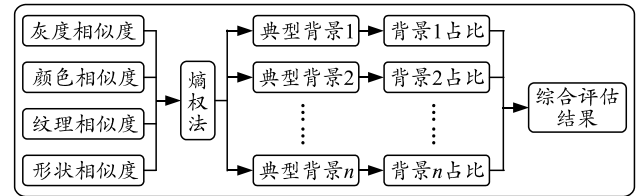


图 1 评估流程

### 1.1 评估指标体系构建

#### 1.1.1 灰度特征

图像灰度是人视觉处理的重要信息，可以通过灰度直方图来表示。数字图像的灰度直方图是一个离散函数，反映了数字图像中每一灰度级与其出现频率的关系，能描述图像的灰度概貌<sup>[6]</sup>。

设  $s(x_i)$  为图像  $P$  中某一灰度级为  $x_i$  的像素个数， $N$  为  $P$  中的总像素数， $n$  为  $P$  中的灰度级数。对  $s(x_i)$  进行归一化处理，即：

$$h(x_i) = s(x_i) / N. \quad (1)$$

则图像的灰度直方图为：

$$H(P) = [h(x_1), h(x_2), \dots, h(x_n)]. \quad (2)$$

目标与背景的灰度特征相似度可通过巴氏系数  $BC$  计算，计算公式为：

$$BC(h(x_i), h'(x_i)) = \sum_{i=1}^n \sqrt{h(x_i)h'(x_i)}. \quad (3)$$

式中  $h(x_i)$  和  $h'(x_i)$  分别为目标与背景的图像直方图数据。

#### 1.1.2 颜色特征

颜色是一种重要的视觉属性，表征物体表面对电磁波的不同反射情况，具有很强的鲁棒性。目标的光学伪装效果可以通过其与背景的颜色直方图相似度进行评估。

颜色直方图是通过统计颜色空间中不同颜色出现的频率得到的<sup>[7]</sup>，统计前将图像从 RGB 色彩空间转换到 CIELab 色彩空间<sup>[8]</sup>中，只统计  $a$ 、 $b$  2 个表示颜色的通道，从而实现颜色与亮度的分离。颜色

直方图的计算方法与灰度直方图大体相同，统计每种颜色出现的像素个数除以总像素数，即可获得颜色直方图。颜色相似度也通过式(3)中的巴氏系数公式得到。

### 1.1.3 纹理特征

纹理是物体表面细节的总称，包括使物体表面呈现凹凸不平的沟纹和物体光滑表面上的彩色图案，在伪装评估领域具有广泛的应用。

灰度共生矩阵<sup>[9]</sup>的元素  $p(i, j|d, \varphi)$  描述在  $\varphi$  方向上，相隔为  $d$  个像素距离的像素对分别具有灰度值  $i$  和  $j$  的出现概率，反映了图像灰度分布关于方向、局部邻域和变化幅度的综合信息。基于灰度共生矩阵可计算出熵、能量、对比度、逆差矩 4 种统计量来表征图像的纹理特征。

#### 1) 熵 $g_1$ 。

熵是图像信息量的度量。若图像纹理较少，则熵值较小；若图像充满纹理则熵值较大。计算公式如下：

$$g_1 = -\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j|d, \varphi) \log p(i, j|d, \varphi)。 \quad (4)$$

#### 2) 能量 $g_2$ 。

能量是图像灰度分布均匀性和纹理粗细的度量。计算公式如下：

$$g_2 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} [p(i, j|d, \varphi)]^2。 \quad (5)$$

#### 3) 对比度 $g_3$ 。

纹理沟纹越深，其对比度越大，视觉效果越清晰；反之，对比度小，则沟纹浅，效果模糊。计算公式如下：

$$g_3 = \sum_{n=0}^{L-1} n^2 \left\{ \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j|d, \varphi) \right\}。 \quad (6)$$

#### 4) 逆差矩 $g_4$ 。

逆差矩用来度量图像局部纹理变化程度。逆差矩的值大，说明图像纹理的不同区域间变化小或者图像局部均匀。计算公式如下：

$$g_4 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \frac{p(i, j|d, \varphi)}{1+(i-j)^2}。 \quad (7)$$

式(4)–(7)中  $L$  为图像的灰度量级。

计算以上几种特征系数，得到目标特征  $g_i^T$  与背景特征  $g_i^B$ ， $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ，通过计算  $g_i^T$  与  $g_i^B$  的归一化平均欧式距离并转化为极大型指标来描述目标与背景的纹理相似度  $\text{similarity-texture}$ ：

$$\text{similarity-texture} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^4 |g_i^B - g_i^T|}{\max(g_i^B, g_i^T)} / 4。 \quad (8)$$

### 1.1.4 形状特征

形状特征是视觉系统目标识别的关键信息之一，不随图像的颜色或灰度细节变化，具有较好的稳定性和良好的平移、旋转、尺度不变性。形状特征可利用图像归一化中心矩构造不变矩来表示<sup>[10]</sup>。

7 个不变矩的计算公式如下：

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}； \quad (9)$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2； \quad (10)$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (\eta_{21} - 3\eta_{03})^2； \quad (11)$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (\eta_{21} + 3\eta_{03})^2； \quad (12)$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + 3\eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]； \quad (13)$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})^2(\eta_{21} + \eta_{03})^2； \quad (14)$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} + \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]。 \quad (15)$$

式(9)–(15)中  $\eta_{ij}$  为  $(i+j)$  阶归一化中心矩。

目标与背景的形状相似度  $\text{similarity-shape}$  可通过两者不变矩间的平均欧式距离转为极大型指标来衡量：

$$\text{similarity-shape} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^7 |\phi_i^B - \phi_i^T|}{\max(\phi_i^B, \phi_i^T)} / 7。 \quad (16)$$

式中  $\phi_i^T$  和  $\phi_i^B$  分别表示目标与背景的第  $i$  个不变矩。

## 1.2 综合评估结果

### 1.2.1 指标综合评估权重

对每种背景下的相似度指标使用熵权法<sup>[11]</sup>进行加权，得到几种指标的综合评估结果。熵权法是一种根据各项指标观测值所提同信息量的大小来确定指标权重的方法，具体步骤如下：

1) 计算第  $j$  项指标第  $i$  个被评估对象特征比重  $p_{ij}$ ：

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}。 \quad (17)$$

式中  $x_{ij}(i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$  为第  $i$  个系统中的第  $j$  项指标的观测数据。

2) 计算第  $j$  项指标的熵值  $e_j$ ：

$$e_j = -\sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})。 \quad (18)$$

3) 计算指标  $x_j$  的差异性系数  $g_j$ :

$$g_j = 1 - e_j \tag{19}$$

$g_j$  越大, 越应重视该项指标的作用。

4) 确定归一化权重系数  $\omega_j$ :

$$\omega_j = g_j / \sum_{i=1}^m g_i \tag{20}$$

### 1.2.2 复杂背景条件下评估结果权重

各背景下的评估结果在综合评估中的权重分配需要考虑目标的实际活动区域, 活动区域中某种背景的面积占比越大, 则该背景下的评估结果在综合评估结果中的占比也应越高, 可以用区域中各背景的面积比例作为各背景评估结果间的权重, 权重分配问题也转变为目标活动区域内地物分类问题。

笔者通过高光谱图像进行目标活动区域背景分类, 确定各背景所占面积比例, 作为相应背景的权重, 对单一背景下的评估结果加权得到自适应伪装目标在活动区域内的综合评估结果。

高光谱地物分类算法选用无监督  $K$ -means 算法<sup>[12]</sup>, 先根据活动区域地理信息对当地地物进行大致划分, 分析大致的种类范围, 进而确定分类类数  $K$  的值。通过  $K$ -means 算法得到分类结果后, 将结果与调查的地理信息进行比对, 验证分类结果的正确性。

$K$ -means 算法步骤如下:

- 1) 随机选取  $K$  个样本点作为初始聚类中心, 记为  $Z_1(m), Z_2(m), \dots, Z_K(m)$ , 其中  $m$  为迭代序号。
- 2) 使用最邻近规则将所有样本分配到各聚类中心所代表的类别  $\omega_j (j=1, 2, \dots, K)$ , 各类所包含的样本数为  $N_j(m)$ 。
- 3) 计算各类的重心, 并令该重心为新的聚类中心, 即:

$$Z_j(m+1) = \frac{1}{N_j(m)} \sum_{X_i \in \omega_j} X_i \tag{21}$$

式中:  $X_i$  为  $\omega_j$  类的样本;  $N_j(m)$  为样本个数。

4) 如果  $Z_j(m+1) \neq Z_j(m)$ , 表示尚未得到最佳聚类结果, 返回步骤 2) 继续迭代运算。

5) 如果  $Z_j(m+1) = Z_j(m)$  或达到最大迭代次数, 此时的聚类结果为  $K$ -means 算法的最终聚类结果。

## 2 伪装评估实验

### 2.1 实验设计

实验步骤具体如下:

1) 获取自适应伪装图案。迷彩图案的一般设计流程包括确定典型背景图像; 对图像进行预处理来提升图像质量; 然后提取背景图像主色和其对应的面积比例; 再运用数字图像分割技术提取图像斑块; 最后将几种主色填充到斑块中即得到迷彩图像。

笔者选取草地、常绿林地、荒漠、落叶林地、雪地背景 5 种典型背景图像, 通过  $K$ -means 算法提取背景中 2 种主色, 并将主色按照对应比例填充于随机排布的数码斑块中, 得到与背景相对应的迷彩图案。每种背景和对应生成的迷彩图案如图 2 所示。

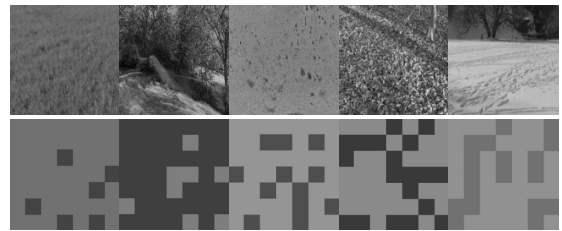


图 2 基于背景生成的迷彩图案

2) 获取自适应伪装目标在典型背景中的伪装效果。笔者通过 solidworks 软件对某型装甲车进行建模, 利用步骤 1) 中生成的迷彩图案对装甲车模型表面进行贴图, 再将模型植入每种背景图像中获取仿真图像。多背景下自适应伪装目标仿真效果如图 3 所示。

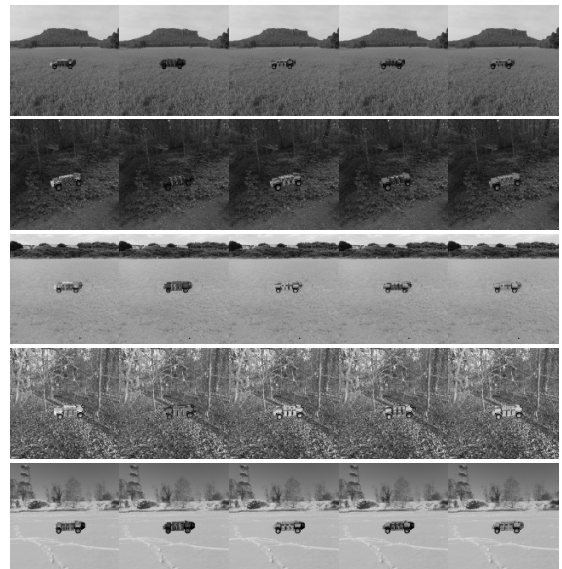


图 3 各背景下自适应伪装目标仿真效果

3) 使用灰度、颜色、纹理、形状特征相似度指标, 对每种背景下的 5 种伪装图案的伪装效果进行评估, 并通过熵权法对 4 种指标加权, 得到每种伪装图案在每类背景下的评估结果。

4) 获取目标活动区域的卫星光谱数据。本文中光谱数据来源于美国 USGS 网站上广州和益阳地区

的 EO-1 高光谱卫星图像数据，以这 2 个地区作为伪装目标的活动区域，对目标在区域内的综合伪装效果进行评估。两区域原始图像如图 4 所示。

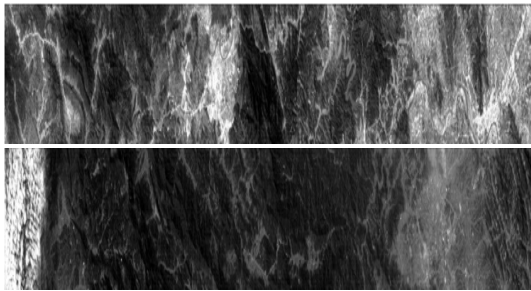


图 4 广州(上)、益阳(下)卫星高光谱图像

5) 以广州和湖南益阳地区为例，查阅该地区的方志、植物志，找到当地的地物特点设定分类数量  $K$  为 5，对光谱图像通过  $K$ -means 算法进行地物分类，得到每种地物在该区域中所占的比例。由于分类结果未必属于典型背景类型，可以基于分类背景与典型背景的颜色相似性，用典型背景的评估结果近似替代在分类背景中的评估结果。以典型背景在目标活动区域中的面积占比对典型背景下的伪装评估结果加权求和，得到自适应目标在该活动区域内的综合伪装效果评估结果。

2.2 结果与讨论

不同背景评估结果如表 1—5 所示，伪装图案多背景伪装效果变化趋势如图 5 所示。

表 1 草地背景评估结果

伪装类型	灰度相似度	颜色相似度	纹理相似度	形状相似度	综合结果
草地型	0.773 7	0.701 1	0.511 6	0.247 5	0.601 1
林地型	0.691 6	0.529 3	0.570 6	0.249 0	0.494 3
荒漠型	0.745 9	0.521 7	0.462 8	0.196 6	0.468 0
落叶型	0.749 6	0.421 6	0.493 8	0.245 1	0.415 8
雪地型	0.695 0	0.489 9	0.464 6	0.246 6	0.454 0

表 2 常绿林地背景评估结果

伪装类型	灰度相似度	颜色相似度	纹理相似度	形状相似度	综合结果
草地型	0.933 4	0.726 6	0.601 7	0.434 9	0.761 7
林地型	0.941 1	0.845 2	0.773 6	0.497 0	0.855 1
荒漠型	0.721 6	0.578 6	0.593 9	0.445 9	0.611 7
落叶型	0.832 1	0.500 1	0.652 5	0.485 1	0.592 4
雪地型	0.550 8	0.327 2	0.620 0	0.427 9	0.405 4

表 3 荒漠背景评估结果

伪装类型	灰度相似度	颜色相似度	纹理相似度	形状相似度	综合结果
草地型	0.568 5	0.494 7	0.386 3	0.494 0	0.509 3
林地型	0.599 4	0.568 3	0.441 6	0.570 4	0.572 7
荒漠型	0.798 9	0.703 2	0.401 9	0.576 7	0.671 7
落叶型	0.694 1	0.639 8	0.415 4	0.379 0	0.552 3
雪地型	0.698 4	0.482 3	0.412 4	0.539 1	0.554 2

表 4 落叶林地背景评估结果

伪装类型	灰度相似度	颜色相似度	纹理相似度	形状相似度	综合结果
草地型	0.880 3	0.633 0	0.755 7	0.366 3	0.499 6
林地型	0.873 0	0.706 0	0.801 2	0.340 3	0.504 5
荒漠型	0.872 6	0.762 4	0.808 9	0.469 8	0.598 1
落叶型	0.929 9	0.821 6	0.838 0	0.504 8	0.641 6
雪地型	0.770 5	0.634 9	0.817 4	0.382 6	0.501 4

表 5 雪地背景评估结果

伪装类型	灰度相似度	颜色相似度	纹理相似度	形状相似度	综合结果
草地型	0.564 8	0.504 9	0.391 2	0.653 7	0.527 4
林地型	0.542 7	0.527 1	0.462 8	0.603 7	0.534 1
荒漠型	0.535 2	0.517 4	0.390 6	0.587 8	0.505 0
落叶型	0.495 0	0.474 3	0.403 1	0.573 4	0.486 9
雪地型	0.587 9	0.573 1	0.384 6	0.691 5	0.556 5

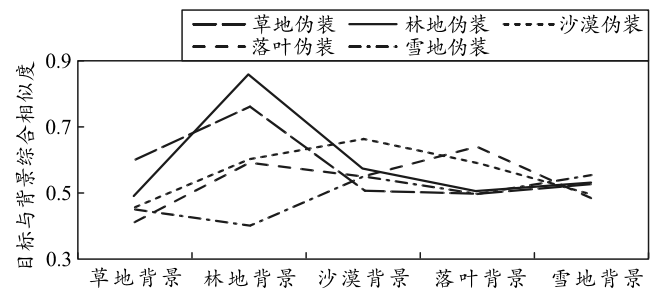


图 5 伪装图案多背景伪装效果变化趋势

从实验结果中可以看出，以背景的角度纵向分析，在每类背景中自适应伪装目标对应生成的伪装图案相比针对其他背景生成图案的伪装效果要好；不同伪装图案在同一背景下的伪装效果有一定差异，其中林地背景各图案间伪装效果差异最大，雪地背景中各图案间伪装效果差异较小。

以伪装图案的角度横向分析，每种图案在不同背景下的伪装效果有较大差异，林地伪装在其对应背景下伪装效果最佳，相似度达到 0.855 1，但其在落叶背景中的相似度仅有 0.504 5，荒漠背景下采用荒漠伪装图案的综合相似度有 0.671 7，但在其草地背景下相似度仅有 0.468 0，在雪地背景下相似度仅有 0.505 0。由此可以看出，传统的基于单一背景的伪装效果评估缺乏全面性，无法代表目标在一定区域内多种背景下的综合伪装效果。

从自适应目标的角度分析，取每种背景下对应设计图案的伪装效果，可以看出目标的伪装效果是随着背景而变化的，针对不同背景生成的伪装图案的伪装效果各不相同，林地图案的伪装效果最佳，雪地图案的伪装效果相对较差，其余几种图案的伪装效果介于两者之间。可以得出，该自适应伪装目标适合工作于林地与草地为主的区域中，而在雪地区域中伪装性能会有所降低。

广州、益阳地区的高光谱图像背景分类结果如图 6 和 7 所示，背景分类结果如表 6 和 7 所示。



图 6 广州地区高光谱图像背景分类结果



图 7 益阳地区高光谱图像背景分类结果

表 6 广州地区背景分类结果

地物类型	图像颜色	比例
丘陵林地	绿色	64.393 9
林地(阴影)	紫色	11.429 5
山地黄土	黄色	20.967 2
河流	红色	3.209 4

表 7 益阳地区背景分类结果

地物类型	图像颜色	比例
马尾松林	黄色	34.651 3
马尾松林(阴影)	蓝色	16.601 2
山谷岩石	绿色	19.142 8
黄棕壤	粉色	23.848 4
河流	红色	5.756 3

从分类结果中可以看出，广州地区地物主要由丘陵林地及山地黄土构成，益阳地区地物主要由马尾松林、山谷岩石和黄棕色土壤构成。按照每种地物与典型背景的颜色近似程度，采用林地背景伪装效果代表目标在丘陵林地、林地阴影、马尾松林中的伪装效果，采用荒漠背景伪装效果代表目标在山地黄土背景和山谷岩石中的伪装效果，采用落叶林地背景伪装效果代表目标在黄棕壤背景中的伪装效果。排除陆基装备无法到达的河流区域，按几种背景的比例设定综合评估权重。排除河流后，广州地区林地占比 78.34%，山地占比 21.66%；益阳地区林地占比 54.38%，山谷岩石占比 20.31%，黄棕壤占比 25.31%。以不同背景的面积比例作为综合评估权重，对单一背景下的伪装评估结果进行加权求和，评估结果如表 8 所示。

表 8 综合评估结果

项目	广州		益阳		
	林地	荒漠	林地	荒漠	落叶
背景权重	0.7834	0.2166	0.5438	0.2031	0.2531
综合结果	0.8154		0.7638		

从实验结果中可以看出，自适应伪装目标在不同活动区域中的伪装效果也不尽相同。本实验中，

目标在广州区域的伪装效果为 0.815 4，在益阳区域的伪装效果为 0.763 8。造成这种结果的原因是目标在林地背景中伪装效果最好，而广州区域林地背景占比较大，更适合目标的伪装。

综合以上分析，实验结果总结如下：

1) 同一伪装方案在不同背景下伪装效果相差较大，在其设计对应背景中有较好的效果，而在其他背景中伪装效果大大降低，甚至可能成为其暴露特征。

2) 自适应伪装目标针对每种背景生成的伪装方案间的伪装效果也有所差异，基于单一背景的评价不能代表其在活动区域内伪装的整体效果。

3) 自适应伪装目标的伪装效果受到其活动区域的影响，其生成图案伪装效果较好的背景在其工作区域占比越大，则目标在该区域的总体伪装效果也越好。

4) 本文中方法综合了目标在大区域范围内活动的整体伪装效果，较以往基于单一背景的评价方法更客观全面，更符合装备的实际工作情况。

### 3 结束语

笔者提出一种自适应伪装目标在多背景下综合伪装效果的评估方法，通过卫星高光谱图像数据对目标活动区域地物进行分类，以分类结果中各地物所占比例作为与其相近典型背景中评估结果在综合评估结果中的占比，对几种背景下的评估结果加权，得到综合伪装效果评价。对于自适应伪装目标，在不同背景下生成的伪装图案的伪装效果有所不同，以往基于单一背景的效果评估不能代表目标在多背景下的综合伪装效果。对于同一自适应目标，在不同活动区域的伪装效果受到该区域中背景比例的影响，也有所不同。本文中方法评估了自适应伪装目标在多种背景下的综合伪装效果，更符合实际情况，同时评估也更加客观全面。后续研究中可根据自适应伪装系统的发展情况，充分考虑自适应器件/组件/模块的布局方案，设计具有更为复杂特征的伪装方案进行红外辐射特征与电磁散射特征评估，也可加入各背景中目标出现的概率统计函数，以增加用于评估的典型样本选取的科学性。

### 参考文献：

[1] 渠立永. 精确制导武器的几种伪装对策[J]. 兵工自动化, 2003, 22(5): 3.  
 [2] 王展, 颜云辉, 焦学勇. 基于灰色理论的迷彩伪装多指

- 标综合评价[J]. 兵工学报, 2013, 34(10): 1250-1257.
- [3] 初苗, 田少辉, 余隋怀. 基于视觉机制的伪装仿真效果评价方法研究[J]. 计算机仿真, 2014(3): 60-64.
- [4] 韩华亭, 赵兵, 王崴. 自适应精确伪装防护技术初探[J]. 飞航导弹, 2008(7): 24-6.
- [5] 陈秦. 自适应伪装系统及在装甲车辆的应用效果分析[J]. 四川兵工学报, 2015, 36(8): 9-11.
- [6] 韦灼彬, 黄静, 方奇. 基于 HSV 灰度直方图分析的复绿伪装效果评价[J]. 防护工程, 2012, 34(4): 31-35.
- [7] 李珊珊. 计算机视觉中特征与相似性度量研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
- [8] 王可, 陆长德, 乐万德, 等. 基于 Lab 均匀色彩空间的色彩调和系统[J]. 西北工业大学学报, 2004, 22(6): 695-699.
- [9] 查国云, 刘鹏飞. 基于纹理特征相似度伪装评估模型[J]. 电子技术与软件工程, 2014, (4): 111-112.
- [10] 黄勇, 王崇骏, 王亮, 等. 基于形状不变矩的图像检索算法的研究[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(7): 256-257.
- [11] 周先华, 董仕宝, 余勤. 基于熵权的阵地目标伪装效果评价模型[J]. 军事运筹与系统工程, 2007, 21(1): 74-76.
- [12] 于翔. 聚类分析中 k-均值方法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.

\*\*\*\*\*  
(上接第 23 页)



(b) 冲击引爆试验现场

图 6 销毁装置引爆模拟弹体

试验结果如图 7 所示。在 40、60 和 80 mm 炸高情况下, 每种炸高测试 2 次, 6 个模拟弹体均被销毁装置完全冲击起爆。图 7 中上部为见证靶和模拟弹体的下药柱壳残体, 下部为模拟弹体的上药柱壳残体。从图中可以明显看出 6 个上药柱壳残体中心均有明显的射流穿孔孔洞, 残体形态说明销毁装置形成的聚能射流穿透上壳体后引爆了 TNT 炸药, 证明该装置能可靠引爆常见废旧弹药。



图 7 销毁装置引爆模拟弹体试验结果

## 4 结束语

考虑到野外销毁各类废旧弹药的实际需求, 在满足冲击引爆能力的前提下, 开展了小型聚能销毁装置战斗部及其支架的结构设计, 并进行了静穿甲性能和模拟弹体冲击引爆试验。相关试验结果表明, 该销毁装置在 40~80 mm 有利炸高条件下, 能够有效引爆口径 25~155 mm, 壁厚 $\leq 40$  mm 的常见废旧弹药。同时该装置结构简单, 质量和体积小, 便于携带和使用, 适用于野外销毁各类废旧弹药。

## 参考文献:

- [1] 李金明, 雷彬, 丁玉奎. 通用弹药销毁处理技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [2] 姜建武, 龙源, 谢兴博. 废弃火炸药和常规弹药的处理与销毁技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [3] 王赞. 射孔器材检验理论与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2013.
- [4] 张先锋. 聚能侵彻体对带壳炸药引爆研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
- [5] 郑军强. 基于多点起爆的聚能射流销毁弹药技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.
- [6] 郝文博, 同剑, 赵云涛, 等. 便携式非接触聚能射流引爆器销毁废旧弹药[J]. 工程爆破, 2020(26): 75-78.
- [7] 郭方, 龙源, 郭涛, 等. 薄壳工程弹药聚能射流销毁技术[J]. 工程爆破, 2015(21): 43-47.
- [8] 黄正祥. 聚能装药理论与实践[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014.