

基于模糊综合评价的迷彩伪装效果评价方案

侍冰雪¹, 朱家明², 周立敏²

(安徽财经大学 1. 金融学院; 2. 统计与应用数学学院, 安徽 蚌埠 233030)

摘要:针对迷彩伪装效果评价,首先从迷彩图案的强度、颜色、纹理、边缘形状、斑点尺寸五个指标着手研究,采用控制变量、模糊综合评价等方法,建立了基于模糊综合评价的低能见度分析模型来分析各种图案的低能见度效应、以相似度为基础的伪装效果评估模型,采用梯度积分法,计算出伪装图与背景图的相似度来评价伪装效果。

关键词:迷彩伪装;效果评价;模糊综合评价;相似度

中图分类号:E951.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2015)08-0094-04

迷彩伪装主要应用于军事作战等活动中,可分为保护迷彩、变形迷彩、仿造迷彩等多种迷彩,其中变形迷彩主要用于伪装多色背景上的活动目标,它是由与背景颜色相似的不规则大斑点组成的多色迷彩。大量战争经验与研究结果表明:实施多色变形迷彩伪装的车辆装备比不实施迷彩伪装的车辆装备的生存率在白天目视条件下能提高 1/3 至 1/2,在夜间微光夜视观察下能提高 1/2 以上。因此通过评价迷彩的伪装效果并进一步提高迷彩伪装效果,能对我国军事事业发展起到一定的推动作用。

1 综合评价低能见度效应

1.1 迷彩的主要特征

由于各种迷彩图案对能见度的影响主要体现在其本身特征与背景的对比效果上,故本研究采用控制变量法,在大气透明度和观测者的视力不变的条件下,从迷彩的主要特征着手来研究迷彩对能见度的影响。目标物与背景融合的程度越高,说明伪装的效果越好。另外,度量各种迷彩的低能见度需要区分各种迷彩的样式。在伪装迷彩的使用过程中,影响不同样式迷彩特征的主要因素包括迷彩的强度、颜色、纹理、边缘形状、斑点尺寸等。本研究分别选取目标物与背景的亮度对比、目标物的颜色特征、斑点尺寸三个特征构建度量指标,确定权重,建立模糊综合评价模型对问题进行分析求解。

1)目标物与背景的亮度对比^[1]。亮度是人眼所直接接触的最刺激的重要影响因素之一。自然界中

所有色彩都可以在 Lab 空间中表达出来,Lab 空间可以将人的视觉感应数字化、具体化。设 L 为亮度,其取值范围为 0~100(纯黑~纯白),设 a 表示从红色至绿色的范围,正半轴代表红色,负半轴代表绿色;b 表示从黄色至蓝色的范围,b 的正数代表黄色,负数代表蓝色,则 Lab 颜色模型取坐标 $L \times a \times b$ 。

令 Y_0 为参考白色光的辐射亮度, Y 为 CIEXYZ 颜色空间的三刺激值亮度,在 Lab 颜色空间里,则可以单独对亮度 L 进行调节,亮度 L 的转换关系为:

$$L = \begin{cases} 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16, & Y/Y_0 > 0.00886; \\ 903.3(Y/Y_0), & Y/Y_0 \leq 0.00886 \end{cases} \quad (1)$$

在标准光源照明的条件下,取 $Y_0 = 100$ 。依据亮度来计算亮度对比,进而求出图像之间的亮度差异。亮度对比公式为^[2]:

$$K = \left| \frac{L_1 - L_2}{L_1} \right| \quad (2)$$

公式(2)中 L_1 是背景的亮度值, L_2 是迷彩服目标的亮度值。

2)目标物的颜色特征。本研究选择接近人眼视觉感知的 HSV 颜色空间,利用颜色直方图来表征图像的颜色特征。按照目标伪装的颜色特征要求及人眼视觉特性,将颜色空间的值域 h、s 和 v 分别按照区间进行量化,量化后的色相、饱和度和明度值分别为 H、S 和 V。在色调、饱和度及明度量完成化后,根据人眼对颜色特征的不同敏感程度,采用近似的处理方

收稿日期:2015-04-07

基金项目:国家自然科学基金项目(11301001);安徽省省级大学生创新创业训练计划项目(AH201410378311)(AH201410378483);安徽财经大学金融学院大学生科研创新基金项目(JRXY2015011)。

作者简介:侍冰雪(1994—),女,安徽泗县人,安徽财经大学金融学院,本科生,研究方向:金融工程。

法将颜色的三个特征分量 H、S 和 V 综合成一个特征量。由于色调对人眼感觉程度的影响最大,明度其次,饱和度最小,所以颜色指标可通过以下指标求得:

$$Q = 30H + 10V + 5S \quad (3)$$

在公示(3)中, $Q = 0, 1, 2, \dots, 299$, 共 300 个区间。

本研究通过 2 个颜色直方图的交来度量伪装目标和背景颜色特征的相似性。假设在同等亮度条件下伪装迷彩和背景图像分别为 A 和 B, 相应的颜色直方图特征矢量为 $R_A[i]$ 和 $R_B[i]$ ($i = 1, 2, \dots, L$), 利用直方图的交进行图像相似度量可表示为:

$$sim(A, B) = \sum_{i=1}^l \min(R_A[i], R_B[i])$$

3) 斑点尺寸。迷彩斑点的尺寸必须要在预定的观察距离上可以被观测者看见, 从而将各种颜色斑点产生空间混色现象避免。根据斑点亮度对比的不同, 在迷彩伪装相关军用标准中, 给出了斑点的可见尺寸的计算公式。设 A 为斑点的可见尺寸, K 为斑点亮度对比, D 表示观测者距离目标的观察距离, 则

$$\begin{cases} A \geq \frac{k_1 D}{3400}, K \geq 0.4 \\ A \geq \frac{k_2 D}{3400}, 0.2 \leq K \leq 0.4 \end{cases} \quad (4)$$

公式(4)中: k_1 和 k_2 为距离系数, $k_1 \in [2.5, 3]$, $k_2 \in [3, 4]$ 。(4)式是在 $K \geq 0.4$ 的前提下取上式的较大值得到的, 故当地面装备变形迷彩的设计观察距离为 800~3 000 m 时, 对应的迷彩斑点尺寸应在 0.7~2.7 m 之间。

1.2 低能见度评价方案

设 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ 是 n 个待评价的迷彩图案的集合, $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_m\}$ 是评价因素集合, 将 U 中的每个方案用 V 中的每个因素进行衡量, 便得到观测值矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

a_{ij} 表示第 j 种迷彩图案关于第 i 项评价因素的指标值。建立理想方案 $u = (u_1^0, u_2^0, u_3^0, \dots, u_n^0)$, 当 a_{ij} 为效益型指标时, $u_i^0 = \max\{a_{ij}\}$, 当 a_{ij} 为成本型指标时, $u_i^0 = \min\{a_{ij}\}$, 建立相对偏差模糊矩阵 R :

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

$$其中, r_{ij} = \frac{|a_{ij} - u_i^0|}{\max\{a_{ij}\} - \min\{a_{ij}\}}$$

在综合评价方法中^[3], 利用了多项指标, 因此用变异系数法计算各项指标的权数。首先计算各指标的变异系数: $v_i = \frac{s_i}{|\bar{x}_i|}$, 其中 $\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}$ 为第 i 项

指标的平均值, $s_i = \sqrt{s_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \bar{x}_i)^2}$ 是第 i 项指标值的标准差。对 v_i 进行归一化, 即得到各指标的权数: $w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i}$ 。建立低能见度综合评价

模型为:

$$F_j = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

且若 $F_t < F_s$, 则第 t 个迷彩图案的低能见度效应优于第 s 个迷彩图案。

2 评价不同迷彩图案伪装效果

2.1 研究准备

在评价各种图案的伪装效果时, 以灰度直方图的相似性来衡量伪装图对背景图的伪装效果。用基于位置坐标的三维函数来表示自然界的图像, 即^[4]:

$$\lambda(x, y, z) = \{\lambda_R(x, y, z), \lambda_G(x, y, z), \lambda_B(x, y, z)\}$$

模型中 λ 表示空间坐标为 (x, y, z) 位置点的颜色, $\lambda_R, \lambda_G, \lambda_B$ 分别表示该位置点的红、绿、蓝 3 原色的颜色分量值都是空间的连续函数, 即连续空间的每一点都有一个与之相对应的精确的值。本研究主要讨论平面图像平面上每一点仅包括 2 个坐标值, 则平面图像函数是连续的二维函数, 表示如下:

$$\lambda(x, y) = \{\lambda_R(x, y), \lambda_G(x, y), \lambda_B(x, y)\}$$

对图像的量化处理的过程为将图像函数 $g(x, y)$ 通过成像系统相应的函数转换成连续的图像函数后, 再经过采样系统处理后转换为采样图像函数, 由于采样图像函数是在离散空间上的离散-连续函数, 采用量化器处理后就产生了离散空间上的值域离散函数。对图像的量化处理的过程可概括为读取、采样和量化。这种将图像数字化的结果可由采样点的值所组成的矩阵来表示:

$$\left\{ \begin{array}{cccc} \lambda(0,0) & \lambda(0,1) & \dots & \lambda(0,X-1) \\ \lambda(1,0) & \lambda(1,1) & \dots & \lambda(1,X-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda(Y-1,0) & \lambda(Y-1,1) & \dots & \lambda(Y-1,X-1) \end{array} \right\}$$

矩阵中 X 和 Y 分别为数字图像横、纵方向上的像素值, 像素值是指各采样点的值, 在计算机内采用二维数组来表示数字化矩阵。

2.2 伪装效果评价模型

将背景图案数字化,水平和垂直方向上有 x 个和 y 个像元,该图像有 Q 个灰度等级 $Q = (0,1,2,\dots,255)$,则图像的任一像素可表达为:

$$\omega = \begin{cases} x \in (0,1,\dots,X-1) \\ y \in (0,1,\dots,Y-1) \\ \omega \in (0,1,2,\dots,255) \end{cases}$$

其中 x,y 为图像的坐标值, ω 为像素 (x,y) 的灰度等级总计有 256 个等级。分析背景图像,可以统计灰度等级为 i 的像素点出现的次数 n_i ,同时也可以确定所分析的迷彩伪装在各个灰度等级下出现的次数 m_i ,以 256 个灰度等级为横坐标 n_i 或 m_i 为纵坐标可作出所分析图像灰度等级的离散函数 $g_n(n_i)$ 和 $g_m(m_i)$,进行拟合后得到背景图像和迷彩伪装图像灰度直方图函数 $C(M)$ 和 $C(N)$ 。本研究中定义相似度 C 为:

$$C = \frac{C(N \cap M)}{C(N \cup M)} \tag{5}$$

公式(5)中 N 为迷彩图案灰度直方图, M 为背景图像灰度直方图。当两者完全一致,即迷彩图案完全融合于背景图案中时, $C = 1$ 时,伪装效果或低能见度效应达到最佳;当 C 接近于 0 时,迷彩图案与背景图案相差较大,即伪装效果较差。

2.3 实例分析

本研究选取了丛林背景为背景图、对应的迷彩图案为丛林迷彩进行实例分析。通过灰度直方图的相似度将迷彩伪装图像与背景图像的相似性进行量化,从而评价迷彩图案的伪装效果,运用 Matlab 编程,将丛林迷彩伪装图分别与对应的背景图进行灰度直方图分析比较,图 1、2、3 分别为两种丛林迷彩伪装图案(①、②)和一种丛林背景图案(③)的灰度化后的图案、原图案的灰度直方图、均衡化后的灰度直方图^[5]。

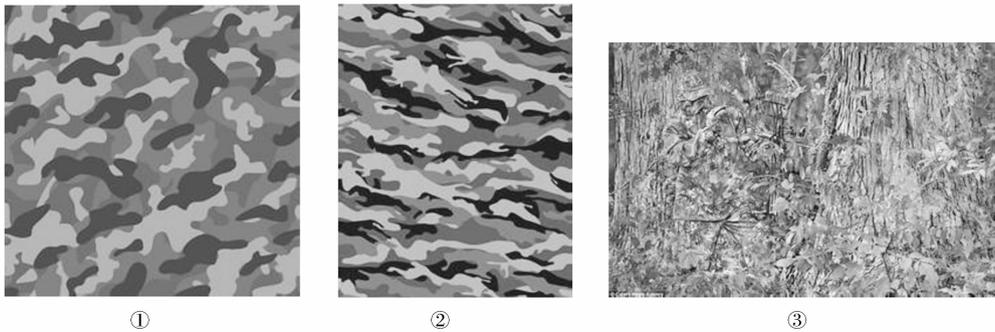


图 1 灰度化后的丛林迷彩图案和丛林背景图案

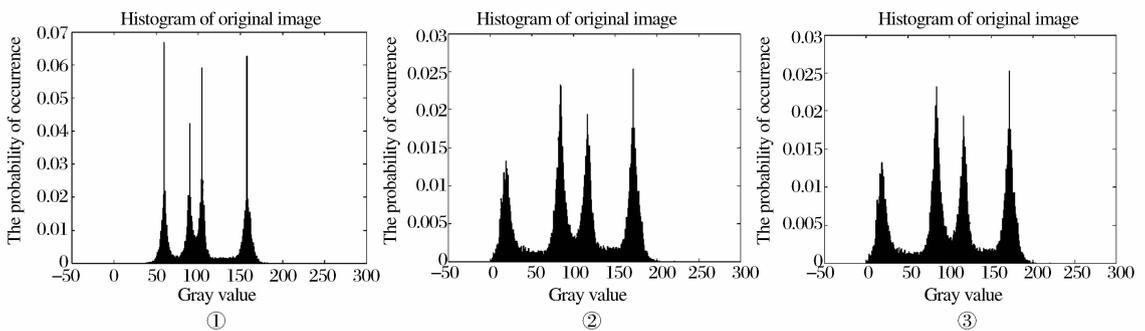


图 2 原丛林迷彩图案和丛林背景图案的灰度直方图

从图 1 中灰度化后的图案可直观看迷彩图案和背景图案的相似性较高;从图 2 和图 3 中也可观察到原丛林迷彩图案和背景图案的形状相似性很高。采用梯度积分法求的两个丛林迷彩图案和丛林背景图案的相似度依次为 0.842 6 和 0.772 4,由此可看出两个迷彩图案的伪装效果均较高,且第一个迷彩图案的伪装效果比第二个图案的效果要好。

3 总结

通过对迷彩伪装图案的效果评价,能够评定出对于军事作战等相对有利的迷彩伪装图案。基于模糊综合评价的低能见度分析模型能够分析各种图案的低能见度效应,将选取的丛林迷彩和沙漠迷彩伪装图案的数据代入模型,即可评价已知的伪装图的低能见度效应;以相似度为基础的伪装效果评估模型,通过

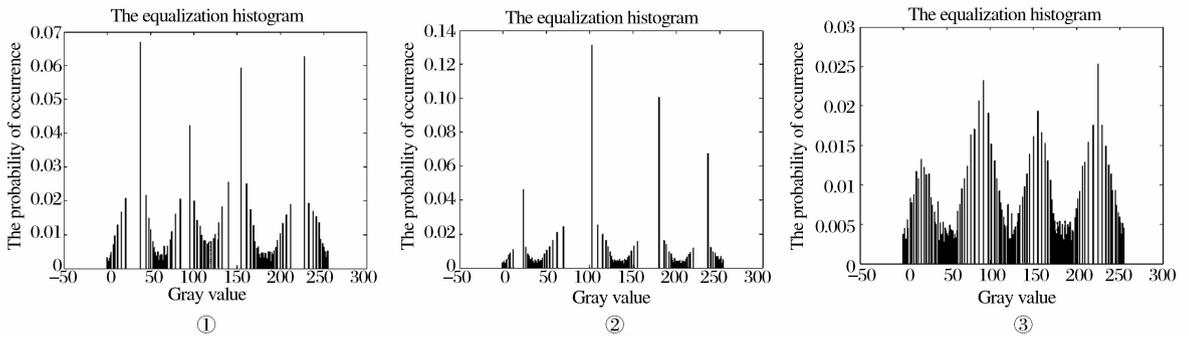


图3 均衡化后的灰度直方图

求得伪装图与对应背景图的相似度,定量地评价了迷彩伪装的伪装效果。伪装效果评价对研究军事迷彩伪装有很大意义,具有较为广泛的应用前景,对建立伪装防御体系有很大的保障作用^[6]。

参考文献

[1] 曹义,才鸿年,程海峰,等. 变形迷彩伪装的技术指标分析[J]. 红外技术,2008,2(30):118-122.
 [2] 王展,颜云辉,焦学勇,等. 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] 杨桂元,黄己立. 数学建模[M]. 合肥:中国科技大学出版社,2008:134-137.
 [4] 汪东,吕绪良,许卫东,等. 基于灰度直方图分析技术的伪装应用模型[J]. 解放军理工大学学报,2004,5(3):74-77.
 [5] 胡江华,朱超,王友军,等. 一种迷彩伪装效果监测评价方法[J]. 中国测试技术,2007,2(33):67-69.
 [6] 颜云辉,王展,董德威. 军事伪装技术的发展技术与趋势[J]. 中国机械工程,2012,17(23):2136-2141.

Camouflage Effect Evaluation Method Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

SHI Bing-xue¹, ZHU Jia-ming², ZHOU Li-min²

(1. School of Finance; 2. School of Statistics and Applied Mathematics, Anhui Finance and Economics University, Bengbu Anhui 233030, China)

Abstract: Aiming at the evaluation of camouflage effect, we start our study from the aspects of camouflage pattern intensity, color, texture, shape and size. We use the method of the control variables and fuzzy comprehensive evaluation to establish low visibility analysis model to analyze Low visibility effect of various patterns. We also establish camouflage effectiveness evaluation model based on similarity. By using the gradient method, we calculate the similarity of between camouflage and background to evaluate the effect of the camouflage.

Key words: camouflage effectiveness evaluation; fuzzy comprehensive evaluation; similarity