

文章编号: 1001-3806(2022)02-0260-07

基于余弦相似度的光学伪装效能评估分析

赵保贵¹, 赵德辉^{1*}, 董宗戈², 周 勋³

(1. 空军工程大学 航空工程学院 机场建筑工程教研室, 西安 710038; 2. 空军装备部直属工作局, 北京 100843; 3. 空军后勤部工程代建办公室, 北京 100843)

摘要: 为了解决伪装效能评估手段单一、量化分析手段不足的问题, 引入了余弦相似度原理开展模拟评估, 对可见光伪装效能评估理论分析进行了优化。基于颜色光学数据特征, 利用颜色直方图展现了目标与背景颜色频率分布, 研究了样本目标与背景的颜色融合差异性; 采用亮度空间分布图展现了亮度空间特征, 探索了样本目标与背景的亮度差异性; 并对目标和背景图像的像素数据进行采集和计算, 量化研究了目标和背景的融合效果; 以典型验证实例为依托, 正反对比分析验证了评估方法的正确性。结果表明, 用文中的评估方法对图像进行计算评估, 目标与背景的图像特征向量之间的夹角余弦值达到了 0.9982; 正反对比得到目标与背景之间的余弦相似度 0.9821 和 0.7324 的融合效果。定性分析与定量计算表明余弦相似度理论能为伪装效能判定提供相关的算法支撑, 具有一定的实用价值和使用价值。

关键词: 图像处理; 伪装效能; 余弦相似度; 颜色直方图; 图像亮度

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2022.02.018

Evaluation and analysis of optical camouflage efficiency based on cosine similarity

ZHAO Baogui¹, ZHAO Dehui¹, DONG Zongge², ZHOU Xun³

(1. Department of Airport Construction Engineering, College of Aeronautical Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Work Bureau Directly of Air Force Equipment Division, Beijing 100843, China; 3. Office of Engineering Agent of Air Force Logistics Department, Beijing 100843, China)

Abstract: In order to solve the problems of single camouflage effectiveness evaluation method and insufficient quantitative analysis method, the cosine similarity principle was introduced to carry out simulation evaluation, and the theoretical analysis of visible light camouflage effectiveness evaluation was optimized. Based on the characteristics of color optical data, color histogram was used to show the color frequency distribution of target and background, and the difference of color fusion between sample target and background was studied. The luminance spatial characteristics were shown by luminance spatial distribution map, the luminance difference between the sample target and the background was explored. By collecting and calculating the pixel data of the target and the background image, the fusion effect of the target and the background was quantified. Based on the typical verification example, the correctness of the evaluation method was verified through the positive and negative comparative analysis. The results show that the cosine of the included angle between the image feature vector of the target and the background is 0.9982, and the fusion effect of the cosine similarity between the target and the background is respectively 0.9821 and 0.7324 by positive and negative comparison. Qualitative analysis and quantitative calculation show that cosine similarity theory can provide relevant algorithm support for camouflage effectiveness judgment and has certain practical value and application value.

Key words: image processing; camouflage effectiveness; cosine similarity; color histogram; image brightness

引言

伪装是指为了隐蔽自己和欺骗、迷惑敌人而采取的各种隐真示假的技术措施^[1-5]。当前, 伪装的措施多种多样^[6], 但是对于伪装效果的评估可供选取的手段却十分有限。现有评判方法常用专家评判法, 多是经验判别和定性的分析, 缺乏数据的支撑和定量的计算,

作者简介: 赵保贵(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为防护工程建设技术与应用。

* 通讯联系人。E-mail: superdido@sina.com

收稿日期: 2021-01-04; 收到修改稿日期: 2021-03-31

判别效果极大地依赖于判读人员的经验。针对当前国防工程伪装发展的需要,迫切需要寻求一种对伪装效能进行评估的方法,来为伪装效果的评价以及伪装方案的设计提供数据支撑。

LI 等人^[7]以光学卫星侦察能力、目标伪装能力和环境影响因素为指标体系建立了一种综合评估防空导弹装备光学伪装效果的模型,取得了一定的使用效果。YANG 等人^[8]利用概率密度和统计理论提出了一种基于特征统计的动态伪装效果评估方法,在一定程度上能够反映目标的伪装效果,但对于目标与背景的融合程度并未给出说明。近些年来,遗传算法、深度学习和反向传播(back propagation, BP)神经网络等^[9-10]手段的产生使得在目标识别和伪装效果判断方面有了快速的发展,但目前能够实际使用的评估手段却屈指可数。另一方面,由于伪装的特殊性,国外公开的伪装和伪装效能评估方面的资料和文献也十分少见。

国内相关领域内的专家对于伪装的研究多从伪装措施或者技术入手,为伪装领域的发展起到了重要的推动作用,但对于伪装效果评估的研究并不太多,尤其是对目标与背景这一本质的关系研究并不深入。基于此,本文中针对目标和背景的光学特征,利用余弦相似度理论,对光学伪装效能进行评估,力求为伪装效能评估领域增添新的方法。

1 基于相似度理论解决光学伪装效能评估方法

1.1 理论与方法

余弦相似度理论作用于空间向量,通过向量夹角的余弦值来判定向量间夹角的大小,从而判断向量之间的接近程度。该理论在文章检测和相似度分析方面有着广泛的应用^[11]。若 $\mathbf{a} = [x_1, y_1, z_1]$, $\mathbf{b} = [x_2, y_2, z_2]$, 则 \mathbf{a} 与 \mathbf{b} 夹角余弦值为:

$$\cos\theta = \frac{x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}} \quad (1)$$

式中, \mathbf{a}, \mathbf{b} 分别表示两空间向量, $x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2$ 为空间向量的分量, θ 为空间向量的夹角。

当 \mathbf{a} 与 \mathbf{b} 的大小分别为 a 和 b 、夹角对边大小为 c 时,有:

$$\cos\theta = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (2)$$

结合余弦相似度理论的原理,目标与背景之间的相似性判断符合该方法的计算要求,但需要构造能够表征目标和背景信息的特征向量。图像的特征有视觉特征、统计特征、变换系数特征以及代数特征

等^[12],较为常用的是视觉特征中的亮度信息和统计特征中的直方图信息^[13]。基于此,本文中选取视觉特征中具有代表性的图像特征指标,通过图像直方图和亮度空间分布进行图像之间信息的比对,对伪装效果进行评估,以此来阐释该方法的操作性和可行性,对于其它的特征以及相应的指标只需采取相关的方法进行选取,然后利用该方法进行伪装效果的评估即可。

RGB 颜色空间以红、绿、蓝 3 种基本色为基础,通过 3 种基本色不同程度的叠加,形成丰富而广泛的颜色空间^[14]。每一种基本色根据其亮度的不同,可以划分为 256 个等级,则 3 种基础色在进行颜色混合叠加的时候会有 $256 \times 256 \times 256$ 种组合,可以涵盖人眼能够分辨的所有颜色^[15]。HSV 颜色空间和 RGB 颜色空间之间可相互转换^[16],转换后的 h, s, v 分别代表色度、饱和度、亮度,以另一种形式记录图像的信息^[17]。大多数成像设备以像素为单位对图像进行显示,软件中图像分析时以像素点为基本单元进行处理,图像在存储时以像素为最小单元,在内存中记录每一个像素点的信息,因此每一个像素点可看成一个信息包,整张图像组成一个信息库。图像对比以及图像识别就是对像素点所包含信息进行处理和对比的过程。进行目标与背景相似度分析的流程如图 1 所示。

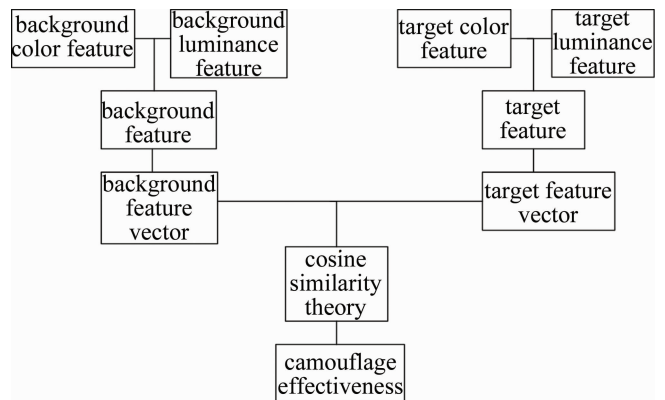


Fig. 1 Technology roadmap

将目标图像特征向量记作 $\mathbf{f}_{\text{RGB},1}$ 和 $\mathbf{f}_{\text{HSV},1}$, 相应分量为 r_1, g_1, b_1 和 h_1, s_1, v_1 ; 背景图像特征向量记作 $\mathbf{f}_{\text{RGB},2}$ 和 $\mathbf{f}_{\text{HSV},2}$, 相应分量为 r_2, g_2, b_2 和 h_2, s_2, v_2 。则有:

$$\begin{cases} \mathbf{f}_{\text{RGB},1} = (r_1, g_1, b_1) \\ \mathbf{f}_{\text{HSV},1} = (h_1, s_1, v_1) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \mathbf{f}_{\text{RGB},2} = (r_2, g_2, b_2) \\ \mathbf{f}_{\text{HSV},2} = (h_2, s_2, v_2) \end{cases} \quad (4)$$

式中, θ_1, θ_2 分别记作目标与背景的颜色特征向量夹角和亮度特征向量夹角, 则有:

$$\begin{cases} \cos\theta_1 = \frac{r_1 r_2 + g_1 g_2 + b_1 b_2}{\sqrt{r_1^2 + g_1^2 + b_1^2} \cdot \sqrt{r_2^2 + g_2^2 + b_2^2}} \\ \cos\theta_2 = \frac{h_1 h_2 + s_1 s_2 + v_1 v_2}{\sqrt{h_1^2 + s_1^2 + v_1^2} \cdot \sqrt{h_2^2 + s_2^2 + v_2^2}} \end{cases} \quad (5)$$

军事目标伪装的目的在于降低目标被发现和定位的概率,增加军事目标的生存能力,美军打击叙利亚过程中,叙方伪装措施的采用使得其部分设施存活率提升了30%,这是对伪装作用发挥的最好例证。一般地,当目标与背景的相似度达到0.8以上时,有理由说明目标的伪装起到了伪装效果。从而利用余弦相似度方法得到目标与背景的相似度,可以借鉴进而加以判别。

1.2 图像选取原则

针对余弦相似度理论在可见光中的应用原理,提取图像各特征作为图像特征向量的分量,为了达到好的评估效果,该类图像选取须遵循以下原则:

(1)评估对象为RGB图像类型。将原图像和转换后图像分解为 r, g, b, h, s, v 等6个通道,决定了评估对象目标和背景需具备彩色特征。而对于二值图像或者灰度图像,可另取图像特征作为向量分量,例如统计特征、代数特征等。

(2)评估图像目标和背景可识别。评估过程中,加以比较的是目标和背景的图像特征向量,因而要求目标和背景能够被系统识别才能得到参与比较的图像特征向量。

2 实例分析

为了验证本文中提出方法的科学性和合理性,凸显该方法在伪装效能评估领域的实用价值,拟用实例开展验证。以图2为研究对象,进行目标的提取和背



Fig. 2 Study object

景的分割,实现图像信息的采集和处理,通过目标与背景的特征向量之间的关系来量化伪装的效果。

图2中,背景为典型的林地背景,颜色以浅绿色为主,混合杂色斑点。目标身着林地迷彩伪装服,颜色为绿色和褐色相间,头部以深绿色为主,武器装备以黑色为主。颜色体系中,目标与背景的颜色处于相似位置,在一定距离上其伪装效果较好。同时,目标的褐色斑点与背景的阴影部位同属于暗色系,具有极大的相似性,融合效果较好。基于此,在可见光范围内,目标与背景的融合效果较好,能够发挥好的伪装效果。

2.1 区域划分

伪装的本质是处理目标与背景之间的关系,重点是目标相对于背景的融合程度。本文中以目标为中心,其四周为目标融合的背景,从而对目标与背景进行特征提取。为了保证所选背景的全面性,在图2背景区域中选取右上部分、右下部分、左上部分、左下部分四部分(分别记作背景1、背景2、背景3和背景4)分别进行处理,获取特征的平均值,相应地作为颜色特征向量的分量。区域划分具体情况如图3所示。



Fig. 3 Segmentation of research object

a—target b—background 1 c—background 2 d—background 3 e—background 4

划分的单个背景与目标加以对比,目标与各个背景之间的显著性差异不尽相同,采用背景区域平均值处理作为背景的特征向量,与目标的特征向量进行比较。



Fig. 4 Graying image

2.2 颜色直方图

利用 MATLAB 软件对各区域像素进行提取和处理。在获取颜色直方图之前,先对图像进行灰度化处理,将 RGB 图像类型转换为灰度图像类型,所得结果如图 4 所示。

颜色直方图是以图像中某一颜色出现的频数为指标做出的颜色频数分布图,反映了图像的基本色调,能从整体上展现出图像颜色的分布,对于图像整体上的匹配具有显著的指导意义^[18]。通过直方图,可以很明

显地看出图像中所包含的主色调和次主色调等信息,能够辅助对两张图片对比分析。但缺点在于颜色直方图只是图像整体颜色的频率分布^[19],对于颜色的空间分布难以描述。利用相关软件对所得图像进行颜色直方图的提取,所得结果如图 5 所示。横坐标为无量纲灰度级,纵坐标为对应灰度级像素个数。

图中,目标主色调分布在 0 ~ 50 灰度值之间,次主

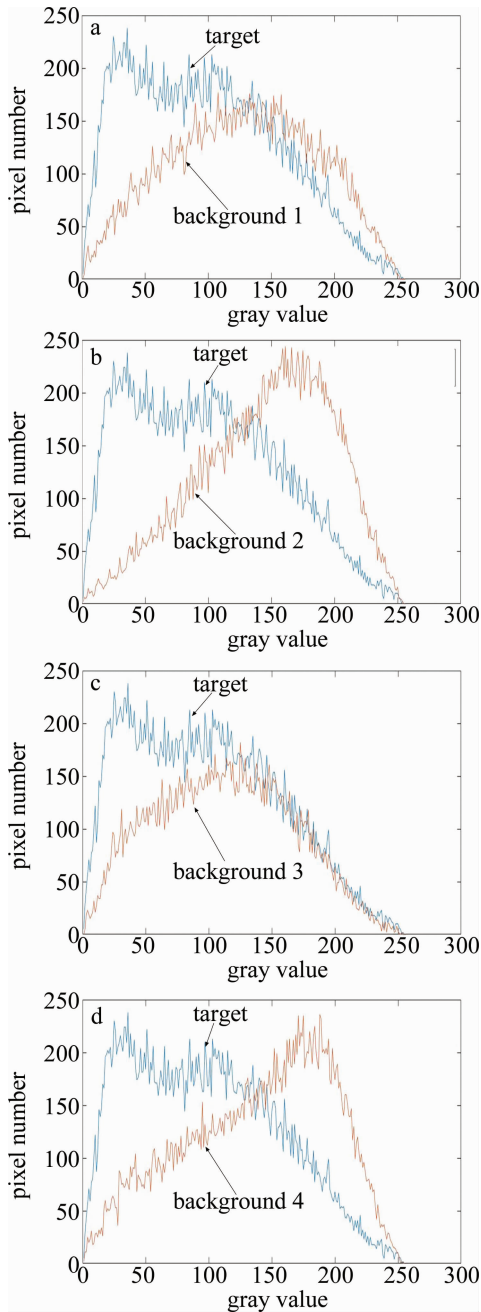


Fig. 5 Color histogram

a—target and background 1 b—target and background 2 c—target and background 3 d—target and background 4

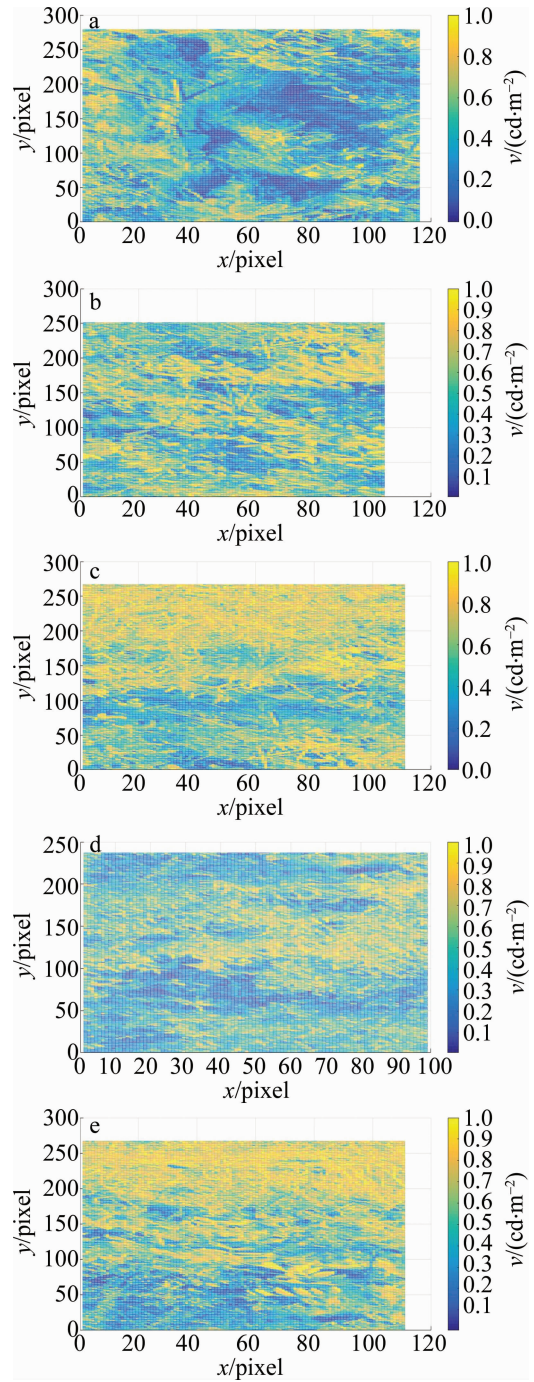


Fig. 6 Luminance distribution

a—target b—background 1 c—background 2 d—background 3 e—background 4

色调分布在 100 ~ 150 灰度值之间,背景主色调分布有两类,分别为 100 ~ 150 之间和 150 ~ 200 之间。在图 5a 和图 5c 中,目标与背景在 0 ~ 150 之间颜色分布差异较大,在 150 ~ 255 之间颜色分布差异较小,尤其是 5c 中,这一点表现得尤为突出;在图 5b 和图 5d 中,颜色分布差异较大。结合图 3a、图 3c 和图 3e,目标和背景的颜色整体上呈现暗绿色,目标与背景的相似性较高,融合性较好,图 3c 和图 3e 的融合性更为突出;结合图 3b、图 3d 和图 3e,目标整体呈现暗绿色,而背景整体上呈现出浅绿色和浅黄色,视觉直观上可以发现目标和背景的融合度不高。通过以上分析可知,由直方图所得结论和视觉观察所得结论相一致。

2.3 亮度空间分度

通过绘图软件将图像像素和像素对应的 HSV 空间中 v 分量对应存储,以空间位置为坐标变量作出图像的亮度分布,所得结果如图 6 所示。其中 x, y 表示图像像素空间位置,色柱表示像素点亮度 v 大小,单位为 cd/m^2 。

综合图 6a、图 6b、图 6d,目标与背景的亮度分布总体上较为均匀,目标图像中亮度分布均匀,图 6b 中高亮度分布密度和目标中的高亮度分布密度较为接近,图 6d 中低亮度分布密度与目标中的分布密度较为接近,这两者背景与目标整体上亮度接近程度较高,融合效果较好。从图 6a、图 6c、图 6e 分析可知,图 6c、图 6e 中亮度分布不均匀,高亮度分布密度大,低亮度的分布密度较小,且其均与目标的亮度密度分布存在差异,尤其是图 6c、图 6e 中低亮度在像素点(100, 250)附近分布缺失,取而代之的是高亮度的集中分布,这与目标低亮度的分布不相符,也即目标与此二者背景之间的融合程度较低。由亮度分布所得结论与前面的视觉直观分析的结果相一致。

2.4 图像特征向量

以图像的各个特征作为分量,将其按照一定的顺序排列,构成所需要的特征向量^[20]。该向量在形式上为一个有序数组,其可以是图像的特征所组成的有序数组,也可以是某一像素特征所组成的有序数组;其可以表示图像整体的信息,也可以表示单个像素的信息。

本文中所用图像特征向量为 RGB 颜色空间中 r 通道、 g 通道和 b 通道以及 HSV 颜色空间中 h 分量、 s 分量和 v 分量所组成的有序数组,分别表征图像的基础色(r, g, b)的含量以及图像色调 h 、饱和度 s 和亮度 v 。各背景图像中所有像素的特征量值的平均值为该图像的特征的综合体现。将 4 个背景图像的平均值进

行平均处理,即得到背景的综合特征量值。利用相关工具得到目标与背景图像的特征向量的分量如表 1 和表 2 所示。

Table 1 RGB components of target and background features

	target	background 1	background 2	background 3	background 4	mean value
r	104.4	136.2	156.6	113.6	145.8	138.05
g	101.67	133.0	149.2	119.9	142.8	136.23
b	59.77	64.8	89.2	60.9	87.3	75.55

Table 2 HSV components of target and background features

	target	background 1	background 2	background 3	background 4	mean value
$h/(\circ)$	0.177	0.161	0.148	0.188	0.165	0.166
s	0.500	0.585	0.474	0.543	0.474	0.519
$v/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	0.421	0.547	0.623	0.475	0.590	0.559

3 结果与讨论

经过对目标与背景图像中每一像素数据的采集与提取,得到:

$$\begin{cases} f_{\text{RGB},1} = (104.4, 101.67, 59.77) \\ f_{\text{HSV},1} = (0.177, 0.500, 0.421) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} f_{\text{RGB},2} = (138.05, 136.23, 75.55) \\ f_{\text{HSV},2} = (0.166, 0.519, 0.559) \end{cases} \quad (7)$$

利用(5)式,计算得到目标与背景之间余弦相似度为: $\cos\theta_1 = 0.9998$, $\cos\theta_2 = 0.9917$ 。由于 HSV 颜色空间所包含信息要优于 RGB 颜色空间,则对二者余弦相似度进行加权平均值处理,所得结果 $\cos\theta = 0.4\cos\theta_1 + 0.6\cos\theta_2$,经计算,结果为 0.9982。专家评判法得到结果为 0.98,本文中提出方法得到的判别效果与之相近,说明了该方法在光学伪装效能评估领域能够得到应用。

为了进一步说明该方法的可行性,另取样本对象(见图 7a 和图 7b)分别进行相同操作,结果如表 3 和表 4 所示。其中表 3 为正反验证对象的 r, g, b 值,表 4



Fig. 7 Validation object

为正反验证对象的 h, s, v 值。

将表中结果代入(5)式,得到验证对象 a(对应图 7a)和 b(对应图 7b)的目标与背景之间的余弦相似度为:0.9821 和0.7324。经过专家评判法判得对象 a 中伪装效果较好,利用本文中提出的方法得到余弦相似度为较高,与专家评判法的到结论一致;对于验证对象 b,图背景与目标明显差距太大,伪装效果不理想,本文

中的方法所得到的余弦相似度值也较小。验证对象 a 与 b 对比分析表明,本文中提出的方法对伪装效果的判定具有明显的作用。

将实例分析和验证分析相结合可以发现,专家评判法能够给出伪装效果的整体感知,但不能定量地说明伪装程度;余弦相似度法可以定量地给出伪装效果的优劣,对专家评判法形成良好的补充。

Table 3 RGB component of validation object

	target	background 1	background 2	background 3	background 4	mean vuale	
a (Fig. 7a)	r	120.4	162.2	158.4	156.4	145.3	155.6
	g	113.1	157.4	146.2	154.6	140.3	149.6
	b	94.0	124.2	117.4	125.3	111.0	119.5
b (Fig. 7b)	r	95.3	186.3	175.3	171.9	189.0	180.6
	g	82.3	186.3	176.2	173.9	188.8	181.3
	b	70.0	190.5	182.9	180.3	192.3	186.5

Table 4 HSV component of validation object

	target	background 1	background 2	background 3	background 4	mean vuale	
a (Fig. 7a)	$h/(\circ)$	0.1407	0.1434	0.1192	0.1485	0.1494	0.1401
	s	0.2877	0.2710	0.3091	0.2418	0.3048	0.2817
	$v/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	0.4753	0.6411	0.6244	0.6234	0.5762	0.6163
b (Fig. 7b)	$h/(\circ)$	0.0818	0.6427	0.6589	0.6283	0.6423	0.6432
	s	0.2861	0.0247	0.0445	0.0479	0.0195	0.0342
	$v/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	0.3739	0.7470	0.7171	0.7071	0.7543	0.7314

4 结论

(1)颜色直方图和亮度 3 维分布图表明,该图像中目标与背景整体上融合较好,局部区域中存在着微小的差异,表明该目标整体伪装效果明显。

(2)对每一个像素数据提取处理,利用余弦相似度原理,结合加权的方法,得到目标与背景的图像特征向量之间的夹角余弦值大小为 0.9982,结合结论(1),表明本方法在光学伪装效能评估方面能够得到可靠的应用。

(3)颜色直方图和亮度 3 维分布图定性分析与图像像素数据采集及处理定量分析对比表明,专家评判法可以整体评判伪装效能,但不能给出具体的伪装程度,余弦相似度法的光学伪装效能评估方法具有一定的实操性,可为伪装效能评估提供一种选择,对专家评判法是很好的补充。

(4)本文中使用的直方图对于特定背景环境下开展光学伪装的方案设计具有重要的指导意义,尤其对于光学伪装主色调的选取有极强的指导意义,余弦相似度理论对伪装效果的判断提供量化的依据,使得伪装效能的评判更具科学性。但另一方面,本文中的特

征向量所包含的信息对于整个图像来说略显不全面,在结果方面存在微小的误差,这将是下一步需要完善的方面。

参 考 文 献

- [1] ZHOU Y, ZHANG H, LENG Sh. Pretence on the battlefield;The impact of camouflage technology on combat[J]. Military Digest,2020 (13):16-20(in Chinese).
- [2] YAN Y H, WANG Zh, DONG D W. Development status and trend of military camouflage technology[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2012,23(17):2136-2141(in Chinese).
- [3] WANG Y. Color and military camouflage[J]. Zntelligence,2010(2):169(in Chinese).
- [4] CHEN Sh J. From the disappearance of "Kremlin":Military camouflage under the conditions of informationized war[J]. Science and Technology of National Defense,2005,26(7):27-29(in Chinese).
- [5] DING X Ch. Military camouflage in high-tech warfare[J]. Chinese Militia,1996(10):32-33(in Chinese).
- [6] PU H, CHEN Sh J, KANG Q. Research and application of military engineering camouflage based on optical illusion[J]. Automation and Instrumentation,2016,206(12):229-232(in Chinese).
- [7] LI J K, LI Y B, ZHANG H R. Evaluation of optical camouflage effect of air defense missile equipment[J]. Laser & Infrared,2019,49(5):605-610(in Chinese).
- [8] YAGN X, XU W D, JIA Q. A dynamic camouflage effect evaluation method based on feature statistics[J]. Journal of China Ordnance, 2019,40(8):1693-1699(in Chinese).

- [9] QU H F, LI W Sh, YANG J. Evaluation of field warehouse camouflage effectiveness based on hybrid neural network[J]. Fire Control & Command Control, 2008, 33(5):117-119(in Chinese).
- [10] ZHENG Y P, LI G Y, LI Y. A review of the application of deep learning in image recognition[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(12):20-36(in Chinese).
- [11] DONG Y Y, LI W H, YU H. Chinese text hierarchical relationship mining based on mixed cosine similarity[J]. Computer Application and Research, 2017, 34(5):1406-1409(in Chinese).
- [12] LI K M, ZHANG Q, LUO Y, *et al.* Overview of research on target recognition of ground vehicles[J]. Chinese Journal of Electronics, 2014, 42(3):538-546(in Chinese).
- [13] JIN J, DANG J W, WANG Y P, *et al.* Area color attribute space histogram background modeling[J]. Journal of Image and Graphics, 2019, 24(5):714-723(in Chinese).
- [14] GUO L. Research on color image graying algorithm based on RGB color space[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2017:7-8(in Chinese).
- [15] DENG X Y. Video moving target detection based on RGB color space[J]. Journal of Southwest Normal University (Natural Science Edition), 2019, 44(3):119-123(in Chinese).
- [16] FU Ch F, YE B, LI H J. Moving target recognition based on HSV color space[J]. Control and Information Technology, 2020(2):70-74(in Chinese).
- [17] ZHANG Y Y. Target tracking based on similar background and HSV spatial color histogram[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(4):100-105(in Chinese).
- [18] CUI H J, JING J F, ZHANG Y Y, *et al.* A fabric image retrieval algorithm combining color and edge features[J]. Cotton Textile Technology, 2019, 47(10):35-39(in Chinese).
- [19] WANG J, KONG B, JIA Q L. Image retrieval technology based on color feature[J]. Computer Systems & Applications, 2011, 20(7):160-164(in Chinese).
- [20] YU L H, FENG L, ZHANG J, *et al.* Adaptive fusion of target and background image feature extraction method[J]. Journal of Computer Aided Design and Graphics, 2016, 28(8):1250-1259(in Chinese).