

文章编号:1001-5078(2024)07-1149-08

· 图像与信号处理 ·

# 基于机器学习的迷彩伪装效果评价方法

王晨,牛春晖,杜向坤,刘鑫

(北京信息科技大学 仪器科学与光电工程学院,北京 100192)

**摘要:**针对迷彩伪装效果评价算法中评价指标权重分配复杂性,算法开发平台灵活性的问题,提出了基于多特征指标决策树的评价方法。该方法依据视觉注意力机制选择纹理、颜色、亮度、结构相似度与伪装目标尺寸这5项特征作为评价指标,使用机器学习决策树分类器训练出迷彩伪装效果评价模型,将模型移植入体积小、功耗低的树莓派开发平台上。通过与均值权重法、熵权法两种评价方法进行准确率对比实验,其中均值权重法准确率为56%;熵权法准确率为74%;该方法准确率为90%。通过实时性实验证明该方法可以在场外2s左右得到迷彩伪装效果评价结果。

**关键词:**数字图像处理;多特征指标;树莓派;决策树;迷彩伪装效果评价

中图分类号:E951.4;TP391.41 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2024.07.023

## Camouflage effect evaluation method based on machine learning

WANG Chen, NIU Chun-hui, DU Xiang-kun, LIU Xin

(School of Instrument Science and Photoelectric Engineering, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192, China)

**Abstract:** In this paper, a new evaluation method based on a multi-feature indicator decision tree is proposed to address the complexity in weight allocation for evaluation metrics and the flexibility of algorithm development platforms in camouflage effectiveness evaluation. The method selects five features, texture, color, brightness, structural similarity, and camouflage target size, as evaluation indicators based on visual attention mechanisms and trains a camouflage effectiveness evaluation model using a machine-learning decision tree classifier, which is ported to a small-sized, low-power Raspberry Pi development platform. Through the accuracy comparison experiment with two evaluation methods of mean weight method and entropy weight method, the accuracy of mean weight method is 56%, the accuracy rate of entropy weight method is 74%, and the proposed method achieves an accuracy of 90%. The real-time experiments demonstrate that the method can get the evaluation results of camouflage effect in about two seconds outside the field.

**Keywords:** digital image processing; multi-feature index; raspberry pie; decision tree; camouflage effect evaluation

### 1 引言

迷彩伪装<sup>[1]</sup>是一种应用于军事、狩猎和户外活动中的伪装技术,旨在使人员、装备或设施在自然环

境中更难以被发现或识别。优秀的迷彩伪装可以提高伪装目标的存活率,所以对迷彩伪装效果进行评价是必不可少的。

基金项目:“十四五”预研项目(No. 315087608);北京市自然科学基金青年项目(No. 4224094)资助。

作者简介:王晨(1999-),男,硕士研究生,研究方向为数字图像处理。E-mail:wc18210497053@163.com

通讯作者:牛春晖(1976-),男,教授,硕士生导师,研究方向为光电对抗、光电功能材料与光学系统设计及检测。E-mail:niuchunhui@bistu.edu.cn

收稿日期:2023-10-12

在20世纪80年代国内外采用人工判读的方法评价迷彩伪装效果的好坏,但这种方法会消耗大量的人力和时间。随着计算机与数字图像处理技术的发展,国内外学者开始结合计算机技术进行迷彩伪装效果的评价<sup>[2-8]</sup>。余松林<sup>[9]</sup>等提出一种基于颜色聚类的背景选取方法进行伪装效果评价;Sachi Choudhary<sup>[10]</sup>等使用图像纹理特征评价伪装效果的好坏。但这些方法的评价指标单一会局限于特定的特征进行评价不能全面考虑其他特征对伪装效果的影响,所以李中华<sup>[11]</sup>等采用结构、纹理、颜色、二阶矩阵等特征作为评价指标采用模糊聚类方法进行指标权重分配,最终加权平均的分数作为伪装效果评价的评判标准;Zhenxin He<sup>[12]</sup>等采用光谱距离、光谱导数、曲线形状、空间纹理特征使用灰色聚类方法进行多特征指标的伪装效果评价。

针对以往研究中多特征评价指标权重分配复杂,算法开发平台灵活性差的问题,本文提出使用机器学习决策树分类器的评价方法。该方法省去了复杂的评价指标权重分配过程,且本文方法摆脱了笨重的计算机开发平台选择体积小、功耗低的树莓派<sup>[13]</sup>中实现。通过对比试验与实时性实验验证了该方法的有效性。

## 2 迷彩伪装效果评价模型的结构及原理

根据从多方面评价迷彩伪装效果的原则,本文依据视觉注意力机制<sup>[14]</sup>采用纹理相似度<sup>[15]</sup>、颜色相似度、亮度相似度、结构相似度<sup>[16]</sup>与伪装目标尺寸作为迷彩伪装效果评价的5个特征值指标,人工判读出的迷彩伪装效果评价结果作为目标值,将上述的特征值与目标值输入到机器学习决策树分类器<sup>[17]</sup>中进行训练,训练出的最终评价模型可以进行迷彩伪装效果的评价。评价模型的流程图如图1所示。

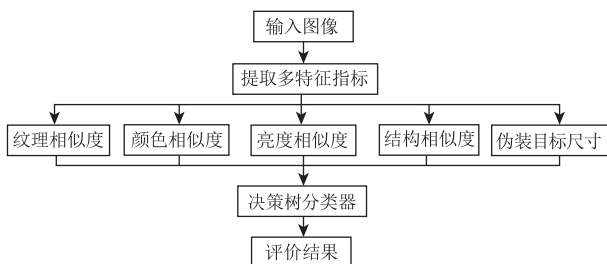


图1 迷彩伪装效果评价模型流程图

Fig. 1 Camouflage effectiveness evaluation model flowchart

### 2.1 评价指标的选择

为了使迷彩伪装效果评价的特征指标更加接近

人眼观察目标的特点,本文借鉴了视觉注意力机制理论,综合采取纹理、颜色、亮度、结构相似度和伪装目标的尺寸大小作为特征指标,下面分别介绍各评价指标的提取原理。

#### 2.1.1 纹理相似度

纹理是迷彩伪装效果的重要元素之一。优秀的纹理设计可以使伪装目标更加难以辨别。本文采取基于小波变换<sup>[18]</sup>的纹理特征提取和纹理相似度计算算法。首先对输入的图像执行二维离散小波变换,得到各个尺度的小波系数 $cA, cH, cV, cD$ ( $cA$ 是近似系数; $cH$ 是水平细节系数; $cV$ 是垂直细节系数; $cD$ 是对角细节系数)。然后,将各个尺度的小波系数分割为 $m \times m$ 像素大小的子块,使用 $cA_i, cH_i, cV_i, cD_i$ 表示图像中第 $i$ 块 $m \times m$ 矩阵的四个分量,分量大小为 $(m/2) \times (m/2)$ 。根据上述方法可以得到图像纹理特征的提取公式:

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^{m/2} |cH_i| + \sum_{i=1}^{m/2} |cV_i| + \sum_{i=1}^{m/2} |cD_i|}{\sum_{i=1}^{m/2} |cA_i|} \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{\sum_{i=1}^{m/2} |cH_i|}{\sum_{i=1}^{m/2} |cV_i|} \quad (2)$$

$$C_3 = \sum_{i=1}^{m/2} |cA_i| \quad (3)$$

式中, $C_1$ 表示高频水平、垂直和对角方向的小波系数的绝对值之和与低频系数绝对值之和的比例; $C_2$ 表示高频水平小波系数绝对值之和与高频垂直小波系数绝对值之和的比例; $C_3$ 表示低频系数的绝对值之和。利用上述算法分别提取出伪装目标图像和背景图像的特征向量 $P$ 和 $Q$ ,最后使用明可夫斯基距离计算出伪装目标图像和背景图像的相似度。设参数为 $s$ ,其公式:

$$d = \left( \sum |x_i - y_i|^8 \right)^{(1/s)} \quad (4)$$

#### 2.1.2 颜色相似度

颜色是迷彩伪装评价指标中至关重要的因素。对于人类视觉系统而言颜色可以吸引人们的注意力,可使人们快速的辨别出目标物体。选择适合不同场景的伪装色,可以达到优秀的伪装效果。本文使用一种改良的对比颜色直方图相似度算法。区别于直接对比两幅图片颜色直方图的算法本文算法对两幅图片整体的颜色进行区分更为精准。本文颜色相似度算法共分为五个步骤:步骤一将图像缩放至相同尺寸大小,提升运算速度;步骤二将图像从

RGB 颜色空间转化为 HSV 颜色空间<sup>[19]</sup>, HSV 通道对色彩的分离与调整有着更为灵活的操作, 更为适用于计算机; 步骤三将 HSV 通道的  $V$  (明度) 进行均衡化公式:

$$V' = C(V)(L - 1) \quad (5)$$

其中,  $V'$  是均衡化后的  $V$  值,  $C(V)$  是像素  $V$  值对应的累积分布函数值;  $L$  表示亮度级别的数量 (通常为 256); 步骤四将图像从 HSV 颜色空间转换回 RGB 颜色空间, 从而达到在均衡亮度的同时影响其他通道的目的; 步骤五对比两幅图像处理完后的 RGB 颜色直方图, 使用相关性计算公式计算两幅图像的相似性, 相关性计算公式:

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum (H_1(i) - \mu_1)(H_2(i) - \mu_2)}{\sqrt{\sum (H_1(i) - \mu_1)^2 \sum (H_2(i) - \mu_2)^2}} \quad (6)$$

式中,  $H_1$  与  $H_2$  分别代表两幅图像的直方图;  $\mu_1$  和  $\mu_2$  分别为两个直方图的均值。

### 2.1.3 亮度相似度

在伪装效果评价中, 亮度相似度可以用作一项重要的指标之一。由于伪装的目的是使目标物体与周围环境融为一体, 其中包括亮度的一致性。因此, 通过比较伪装物体和背景环境的亮度相似度, 可以评估伪装效果的好坏。本文使用平均像素值法进行亮度相似度的计算。此算法考虑了整个图像的亮度分布, 而不是关注局部区域或特定像素点, 且此算法关注图像的亮度信息, 不考虑颜色的影响。该算法首先将要进行对比的两幅彩色图片转换为灰度图像。然后将灰度图像转化为数组, 并计算每幅图像的平均像素值。最后使用欧氏距离计算两幅图像的亮度相似度。欧氏距离公式:

$$d(A, B) = \sqrt{\sum (a_i - b_i)^2} \quad (7)$$

式中,  $A$  与  $B$  为两幅图像的特征向量。

### 2.1.4 结构相似度

结构相似度在迷彩伪装效果评价中发挥着重要的作用。结构相似度是一种用于比较两幅图像之间结构相似性的指标, 它考虑了图像的纹理、边缘和空间分布等因素。通过计算结构相似度, 可以对伪装图案进行定量评价。本文使用梯度结构相似度算法, 算法首先将输入的两幅图像从 RGB 色彩空间转换为灰度图像。然后计算两幅图像在水平和垂直方向上的边缘梯度值。本文采用了 Sobel 算子<sup>[20]</sup>, 通

过卷积运算得到每个像素点的梯度值。边缘梯度值之和为梯度幅值  $G_x(i, j)$ , 其公式:

$$G_x(i, j) = \left| \frac{\partial x(i, j)}{\partial i} \right| + \left| \frac{\partial x(i, j)}{\partial j} \right| \quad (8)$$

两幅图像的梯度相似度  $g(x, y)$  如公式:

$$g(x, y) = \frac{2 \sum_j \sum_i G_x(i, j) G_y(i, j) + C_3}{\sum_j \sum_i |G_x(i, j)|^2 + \sum_j \sum_i |G_y(i, j)|^2 + C_3} \quad (9)$$

式中,  $G_x(i, j)$ ,  $G_y(i, j)$  分别为两幅图像在像素  $(i, j)$  处的梯度幅值。所以, 梯度结构相似度  $GS$  如公式:

$$GS = l(x, y) \cdot c(x, y) \cdot g(x, y) \quad (10)$$

式中,  $l(x, y)$ ,  $c(x, y)$ ,  $g(x, y)$  分别为两幅图像的亮度函数、对比度函数和梯度相似度函数。通过基于梯度的结构相似度来评估迷彩伪装效果时, 仅仅计算整体的相似度无法准确反映每个部分的相似度。因此, 为了更准确地评估, 首先将背景图像  $X$  和伪装图像  $Y$  分成多个区域。然后, 分别计算两幅图像中每个区域的梯度结构相似度, 并求得这些相似度的平均值。其公式为:

$$MSG(X, Y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M GS(x_j, y_j) \quad (11)$$

### 2.1.5 伪装目标尺寸

伪装目标尺寸指的是迷彩图案所覆盖的目标物体的尺寸大小。在迷彩伪装效果评价中, 伪装目标尺寸是一个重要的考虑因素之一。伪装目标尺寸应与目标所处的环境相匹配。如果伪装目标尺寸与周围环境中的物体尺寸不匹配, 可能会引起目标的显著性, 使其在环境中更容易被发现。如图 2 所示。因此, 评价伪装效果时需要考虑伪装目标尺寸是否与环境中的其他物体尺寸相协调。本文将使用伪装目标图像像素的数量作为伪装目标尺寸大小的特征。



(a) 小尺寸伪装目标 (b) 大尺寸伪装目标

图 2 尺寸对伪装效果的影响

Fig. 2 The influence of size on camouflage effectiveness

## 2.2 决策树分类器

确定了评价指标后区别于传统的权重算法, 本文采用机器学习决策树分类器的方法进行迷彩

伪装效果评价。该方法不需要为选择的评价指标进行权重分配,只需要将评价指标与人工判读的评价结果输入到决策树分类器中训练。训练出的决策树分类器会根据输入的评价指标预测出评价结果。

决策树分类器是一种基于树形结构的监督学习算法,用于解决分类问题。它通过构建一棵树来对输入样本进行分类,每个内部节点代表一个特征,每个叶节点代表一个类别。图 3 为决策树示意图。决策树分类器工作原理一共分为五个步骤。步骤一:在构建决策树时,选择最优特征进行节点的分割。常用的特征选择方法有信息增益、信息增益比、基尼指数等。这些方法根据特征对数据集的划分能力进行评估,并选择具有最大划分能力的特征作为分割依据;步骤二:根据选择的特征,将数据集分割成不同的子集,每个子集对应一个分支。每个内部节点表示一个特征及其取值,用于判断样本向下个分支的走向;步骤三:对每个子集,重复步骤一和步骤二,继续选择最优特征进行分割,递归地构建子树,直到达到终止条件,例如达到最大深度或子集中的样本都属于同一类别;步骤四:当达到终止条件时,将叶节点标记为该子集中样本数量最多的类别,表示决策树对于该类别的分类判断;步骤五:当新的数据样本到来时,决策树根据样本的特征值进行判断和分类。从根节点开始,根据节点的分割条件依次向下遍历,最终到达叶节点,将样本分类至相应的类别。

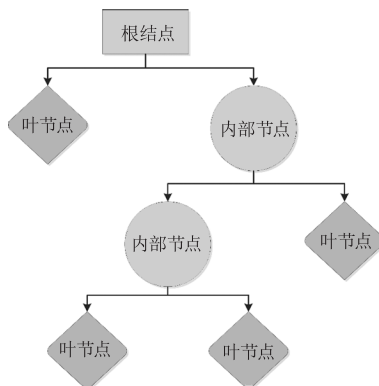


图 3 决策树示意图

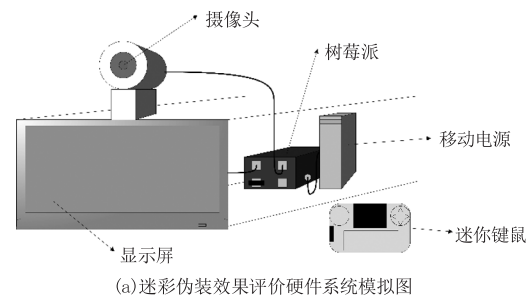
Fig. 3 Decision tree diagram

### 3 迷彩伪装效果评价硬件系统结构及算法流程

#### 3.1 硬件系统结构

本文所设计的迷彩伪装效果评价硬件系统主要分为五个部分:第一部分是树莓派 pi4 开发板,其主

要作用是控制整个系统的运行且进行数字图像处理;第二部分是摄像头,摄像头可采集图像,将采集到的带有伪装的图像输入到树莓派中等待下一步的处理;第三部分是显示屏,显示屏可以展示本文所设计的人机交互界面,且展示最终的评价结果;第四部分是微型无线键鼠,其功能为实现人机交互,控制树莓派进行伪装效果评价。第五部分是移动电源,电源可以为树莓派提供电能使系统正常工作。图 4 为迷彩伪装效果评价硬件系统。



(b) 迷彩伪装效果评价硬件系统实物图

图 4 迷彩伪装效果评价硬件系统

Fig. 4 Camouflage camouflage effect evaluation hardware system

#### 3.2 算法流程

本文迷彩伪装效果评价算法流程如下:首先向系统输入带有伪装的图像。可点击“打开摄像头”按钮进行实时拍照或使用拍摄好的图像储存在树莓派中点击“选择图像”按钮进行调用,选择的图像会展示在人机交互式界面中(如图 5 所示)上方最大的显示栏上。然后点击“截取图像”按钮进行伪装区域截取和背景图像截取,伪装目标尺寸会显示在“图像尺寸”显示栏中,为后续迷彩伪装效果评价做准备。最后点击“评价计算”按钮进行迷彩伪装效果的评价,评价的相似度指标会显示在相似度显示栏上,最终评价结果会显示在“最终评价结果”的显示栏上。界面中“清除”按钮的功能对应着清除该部分的数据。“将数据记录”按钮其功能为将计算出的相似度特征和尺寸特征记录到 csv 文件中为后续模型训练使用。图 6 为算法流程图。

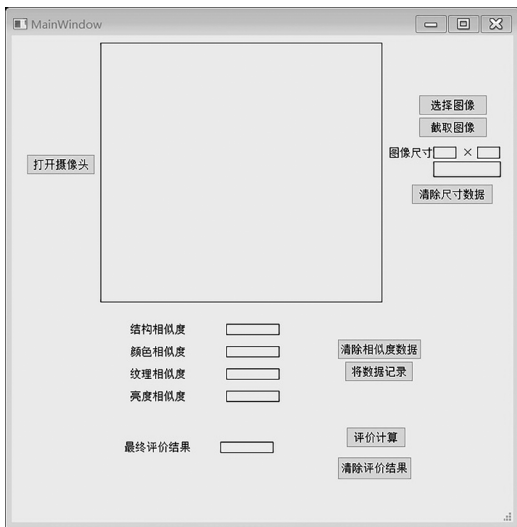


图5 人机交互式界面

Fig. 5 Human-computer interactive interface

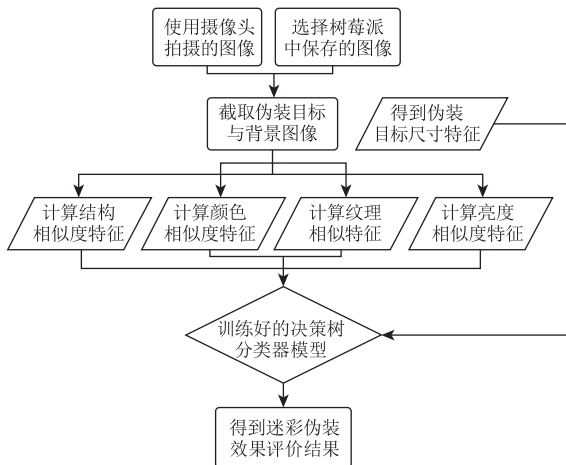


图6 算法流程图

Fig. 6 Algorithm flowchart

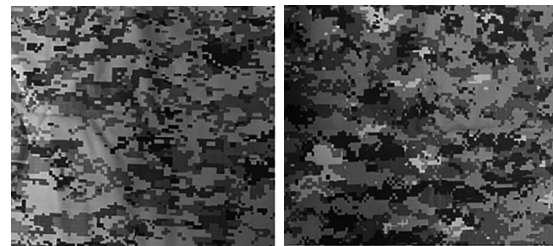
### 4 迷彩伪装效果评价实验

#### 4.1 对比试验

为了验证本文方法的伪装效果评价的准确率,设计了与现有评价方法的对比试验。此实验一共分为四个步骤。步骤一数据集选取:本文所采集的数据集均为场外实地拍摄的图像,将伪装目标隐藏于自然景观之中进行拍摄。伪装目标选取为两种颜色的伪装布(如图7所示),将两种伪装布以包裹、折叠等方法进行伪装(如图8所示)。一共拍摄600张图像,将收集到的600张图像进行随机打乱,选取其中520张图像作为训练模型所需的训练集。选取剩余80张图像作为准确率对比试验的测试集。

步骤二进行特征值与目标值的汇总:对上一步骤选取的520张图像进行特征值与目标值的抽取,采用

本文介绍的相似度特征和伪装目标尺寸特征作为特征值。选取九位经过迷彩伪装识别培训的判读人员进行伪装目标识别,记录每人每张所发现伪装目标所需时间,最后将每张图像判别时间进行均值处理作为待定目标值,根据国家军用标准《GJB 434-88 伪装术语》关于探测的定义如表1所示制作了迷彩伪装效果评价等级表如表2所示,根据表2中的平均时间得到最终的目标值。



(a) 沙漠型迷彩

(b) 林地型迷彩

图7 伪装布

Fig. 7 Camouflage cloth



(a) 伪装布以包裹方式进行伪装

(b) 伪装布以折叠方式进行伪装

图8 伪装布伪装方式

Fig. 8 Disguise camouflage methods

表1 探测概率分级

Tab. 1 Detection probability classification

探测等级	含义
发现	根据目标与背景的差异,感觉出可能是目标的信息
识别	在发现目标的基础上能判别出目标的种类(如坦克、人等)
确认	在识别目标基础上能确定目标的类型(如“豹式”坦克)

表2 迷彩伪装效果评价等级

Tab. 2 Camouflage effect rating

目标值	平均时间/s	等级类别
0	0~2	差
1	2~6	中
2	>6	优

步骤三进行模型训练:将步骤二中的数据进一步处理,只保留特征值和目标值两种数据并且进行数据筛选,最终选择370条数据进行模型训练如表3所示(由于最终的训练集数据较多图中只展示部分数据),图中“structure”代表结构相似度、“color”

代表颜色相似度、“texture”代表纹理相似度、“brightness”代表亮度相似度、“size”代表伪装目标尺寸,这些特征指标将作为训练集中的特征值使用;图中“level”代表人工判读结果作为训练集中的目标值使用。

表3 训练模型数据集

Tab.3 Training model dataset

编号	structure	color	texture	brightness	size	level
Train1	0.616	0.536	0.652	0.031	25418	1
Train2	0.722	0.882	0.602	0.300	14766	2
Train3	0.701	0.675	0.592	0.146	73814	0
Train4	0.638	0.483	0.559	0.018	22308	0
Train5	0.650	0.740	0.634	0.020	21670	0
Train6	0.427	0.482	0.562	0.052	45120	1
Train7	0.630	0.437	0.578	0.058	101775	0
Train8	0.800	0.805	0.602	0.047	59772	1

步骤四模型准确率对比:将本文采集到的80张带有迷彩伪装的测试集图像。选取四位经过培训的判读人员进行人工判读,人工最终评价结果如表4所示(数据较多只展示部分数据),表中1~4编号代表了四位判读人员判读每幅图像所用时间,根据表2每张图像的平均判读时间得到最终评价结果,表中加粗数据为特殊数据不参与计算之中。人工判读的最终评价结果将作为准确率对比的标准。

表4 测试集人工评价结果

Tab.4 Test set manual evaluation results

编号	1/s	2/s	3/s	4/s	平均时间/s	评价结果
Test1	<b>5.459</b>	2.339	1.541	1.533	1.804	差
Test2	1.388	1.119	1.547	1.730	1.446	差
Test3	1.182	1.423	1.667	1.518	1.448	差
Test4	1.203	1.257	1.547	1.421	1.357	差
Test5	10.33	<b>41.799</b>	2.698	3.829	5.619	中
Test6	1.254	1.042	1.723	1.349	1.342	差
Test7	0.847	0.956	1.899	1.446	1.287	差
Test8	5.156	5.525	2.403	1.598	3.671	中

由于基于机器学习的迷彩伪装效果评价方法不需要进行权重的分配,所以本文计算出了其他两种评价方法的权重分配结果,如表5所示。表中 $W_1$ 表示结构相似度的权重值; $W_2$ 表示颜色相似度的权重值; $W_3$ 表示纹理相似度的权重值; $W_4$ 表示亮度相似度的权重值; $W_5$ 表示伪装目标尺寸的权重值

(在进行权重分配时特征指标均已标准化)。

表5 权重分配结果

Tab.5 Weight distribution result

权重分配方法	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
均值权重法	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
熵权法	0.086	0.139	0.034	0.750	-0.009

根据表2将迷彩伪装效果评价等级分为三个等级,制作了如表6所示的权重法迷彩伪装效果评价等级表。根据表中综合相似度的范围即可得到两种权重法对测试集的评价结果。

表6 权重法迷彩伪装效果评价等级

Tab.6 Evaluation grade of camouflage effect by weight method

综合相似度范围	等级类别
$0 \leq \text{相似度} \leq 0.5$	差
$0.5 \leq \text{相似度} < 0.8$	中
$0.8 \leq \text{相似度} \leq 1$	优

将本文三种评价方法对测试集进行评价,将得到的评价结果分别与人工评判测试集的结果进行对比,如表7所示(数据较多只展示部分数据)。

表7 评价结果对比

Tab.7 Comparison of evaluation results

编号	人工评判	均值权重法	熵权法	多特征指标决策树法
Test1	差	差	差	差
Test2	差	差	差	差
Test3	差	中	差	差
Test4	差	差	差	差
Test5	中	中	差	中
Test6	差	差	差	差
Test7	差	中	差	差
Test8	中	中	中	差

根据数据对比发现均值权重法得到的评价结果与人工评判的评价结果有45个相同;熵权法得到的评价结果与人工评判的评价结果有59个相同;本文方法得到的评价结果与人工评判的评价结果有72个相同。所以得到均值权重法的准确率为56%;熵权法的准确率为74%;本文方法的准确率为90%。三种方法的精准度对比图如图9所示,观察对比图信息可以得到本文的评价算法对采集到的图像进行评价的准确率最高,更加贴近人工评价的标准。

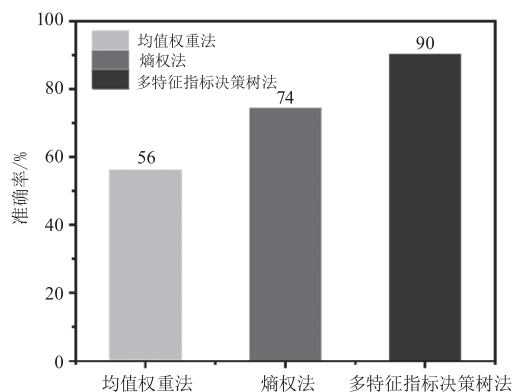


图9 准确率对比图

Fig.9 Accuracy comparison chart

### 4.2 实时性实验

迷彩伪装效果评价系统不仅要具有准确率高 的特点,也需要能够实时的反馈出评价结果保证系统的实时性。针对实时性特点的验证,设计完成了实时性实验。

首先将完成的软件系统移植到树莓派中,为了 检验整个系统的可行性进行场外实验,将伪装布隐 藏在自然景观之中,使用本文的迷彩伪装效果评价 系统进行伪装效果评价如图 10 所示,整个过程可以 顺利完成且最终评价结果与人工判读结果一致。



(a) 场外测试评价系统

(b) 树莓派上显示的评价系统

图 10 场外实验

Fig.10 Off-site experiment

证明了本文评价系统的可行性,其次进行实时 性实验,在收集到的图像中选取 10 张伪装目标大小 不同的图片在树莓派上使用本文方法进行评价,记 录每张图片出现评价结果所用时间,如表 8 所示。

根据表 8 制作出伪装目标图像像素个数与系 统得到评价结果所需时间的折线图如图 11 所示, 根据图中信息可知,随着伪装目标尺寸的增大,伪 装目标图像像素个数也随之增多,评价系统计算出 最终评价结果所需时间越长,伪装目标图像像素 个数与评价时间两者之间为正比例关系。由于 数据集中的伪装目标图像像素个数均在 7000 个 像素左右所以平均评价时间为 2 s 左右,证明该系 统的实时性较好。

表 8 不同像素的系统响应时间

Tab.8 System response time for different pixels

编号	像素大小/个	所用时间/s
1	3871	1.48
2	14637	1.98
3	18792	1.99
4	25404	2
5	27599	2.3
6	32656	2.38
7	43688	2.38
8	57084	2.51
9	376956	4.5
10	1088976	8.49

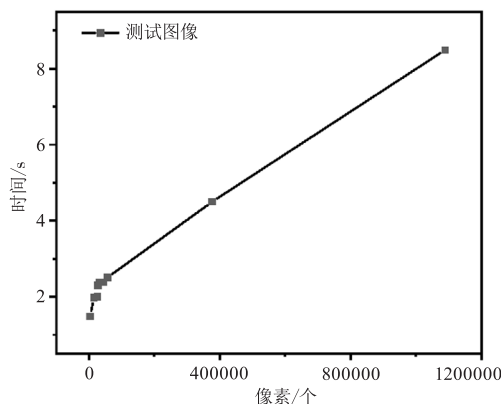


图 11 系统响应时间折线图

Fig.11 System response time line chart

### 5 结论

本文介绍了基于多特征指标决策树的迷彩伪装 效果评价系统的设计过程,在软件算法方面使用了 基于视觉注意力机制选取的结构、颜色、纹理、亮度 相似度与伪装目标尺寸的多特征指标,且以人眼视 觉系统评判出的评价结果作为目标值,将特征值与 目标值输入到机器学习决策树分类器训练得到迷彩 伪装效果评价模型。在硬件系统方面选择了拥有低 功耗、小尺寸且具有数字图像处理功能的树莓派开 发平台。整套系统可以精准的进行迷彩伪装效果评 价,使用本文所采集到的数据集进行训练,训练出的 评价模型准确率达到 90%,且整个系统能够实时的 将结果反馈于使用者,平均显示评价结果所需时长 在 2 s 左右。

### 参考文献:

[1] Pei H N, Wu M, Huang X Q, et al. Maneuvering target o-

- riented digital camouflage image generation method[J]. *Displays*, 2023, 76:102365.
- [2] Jia Q, Xu W D, Yi Y, et al. Camouflage assessments with digital pattern painting based on the multi-scale pattern-in-picture evaluation model[J]. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2023, 31(2):39-50.
- [3] Zhou X, Zhu W, Liu F, et al. The evaluation of camouflage based on image edge contour similarity[C]//2022 7th International Conference on Communication, Image and Signal Processing(CCISP). *IEEE*, 2022:178-182.
- [4] Yang Di, Zhou Ying, Xie Zhenping. Dynamic camouflage effect evaluation method based on twin battlefield environment[J]. *Acta Armamentarii*, 2024, 45(11):349-362. (in Chinese)  
杨迪, 周颖, 谢振平. 基于战场环境孪生的迷彩伪装动态效果评估方法[J]. *兵工学报*, 2024, 45(11):349-362.
- [5] Li N, Li L, Jiao J, et al. Research status and development trend of image camouflage effect evaluation[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2022, 81(21):29939-29953.
- [6] Wang Dong, Gao Qianhe, Huang Tong, et al. Dynamic evaluation of vehicle camouflage effect based on saliency-representati-onin complex background[J]. *Acta Armamentarii*, 2023, 44(6):1620-1631. (in Chinese)  
王冬, 高钦和, 黄通, 等. 复杂背景下显著度表征的车辆伪装效果动态评估[J]. *兵工学报*, 2023, 44(6):1620-1631.
- [7] Jia Q, Xu W D, Hu J H, et al. Design and evaluation of digital camouflage pattern by spot combination[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2020, 79(29-30):22047-22064.
- [8] Yang X, Xu W D, Jia Q, et al. MF-CFI: a fused evaluation index for camouflage patterns based on human visual perception [J]. *Defence Technology*, 2021, 17(5):1602-1608.
- [9] Yu S L, Chen Y H, He H, et al. Background selection method for optical camouflage effect evaluation based on color clustering [J]. *Acta Armamentarii*, 2021, 42(3):617-624. (in Chinese)  
余松林, 陈玉华, 何鹄, 等. 基于颜色聚类的光学伪装效果评估背景选取方法[J]. *兵工学报*, 2021, 42(3):617-624.
- [10] Choudhary S, Sharma R. Terrain specific real-time pixelated camouflage texture generation and its impact assessment[J]. *Defence Science Journal*, 2022, 72(6):824-835.
- [11] Li Zhonghua, Yu Jun, Hu Zhiyi, et al. A camouflage effect evaluation index weight algorithm [J]. *Firepower and Command and Control*, 2019, 44(10):49-54. (in Chinese)  
李中华, 喻钧, 胡志毅, 等. 一种迷彩伪装效果评价指标权重分配算法[J]. *火力与指挥控制*, 2019, 44(10):49-54.
- [12] He Z X, Gan Y Y, Ma S X, et al. Evaluation method for the hyperspectral image camouflage effect based on multifeature description and grayscale clustering [J]. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2023, 2023(1):11.
- [13] Karthikeyan S, Aakash R, Cruz M V, et al. A systematic analysis on raspberry Pi prototyping: uses, challenges, benefits, and drawbacks[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2023, (16):10.
- [14] Wang Xueying. Research on no-reference image quality evaluation method based on visual attention mechanism [D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2022. (in Chinese)  
王雪颖. 基于视觉注意机制的无参考图像质量评价方法研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2022.
- [15] Dai Jun. Research on camouflage effect evaluation method based on similarity [D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2018. (in Chinese)  
代军. 基于相似度的伪装效果评价方法研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2018.
- [16] Yao J C, Shen J, Yao C Y. Image quality assessment based on the perceived structural similarity index of an image [J]. *Mathematical Biosciences and Engineering: MBE*, 2023, 20(5):9385-9409.
- [17] Costa V G, Pedreira C E. Recent advances in decision trees: an updated survey [J]. *Artificial Intelligence Review*, 2023, 56(5):4765-4800.
- [18] Uesugi F. Novel image processing method inspired by wavelet transform [J]. *Micron*, 2023, 168:103442.
- [19] Othman M K, Abdull A A. Enhanced single image dehazing technique based on HSV color space [J]. *UHD Journal of Science and Technology*, 2022, 6(2):135-146.
- [20] Liu W J, Wang L. Quantum image edge detection based on eight-direction Sobel operator for NEQR [J]. *Quantum Information Processing*, 2022, 21(5):190.