

doi: 10.7690/bgzdh.2021.04.018

融合技术在迷彩纹理生成中的应用

李园园, 张彦波, 邢若男, 陈煜, 杨岚, 郝宇
(河南大学物理与电子学院, 河南 开封 475004)

摘要: 为解决数码迷彩纹理的生成过程中, 背景轮廓与马赛克方块的叠加使纹理特征不能完全匹配的问题, 提出一种基于融合技术的数码迷彩纹理生成算法。采用 K-means 聚类算法和颜色直方图算法, 利用融合特性将两者融合并生成数码迷彩纹理, 消除数码迷彩纹理中的冗余部分, 并对最终生成的数码迷彩进行评价。仿真结果表明: 该算法能有效地降低纹理冗余, 提高数码迷彩与背景的融合度。

关键词: 数码迷彩; 特征提取; 融合技术

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Application of Fusion Technology in Camouflage Texture Generation

Li Yuanyuan, Zhang Yanbo, Xing Ruonan, Chen Yu, Yang Lan, Hao Yu
(College of Physics & Electronics, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: In order to solve the problem that the texture features cannot be completely matched due to the superposition of background contour and mosaic block in the process of digital camouflage texture generation, a digital camouflage texture generation algorithm based on fusion technology is proposed. The K-means clustering algorithm and color histogram algorithm are used to fuse and generate digital camouflage texture by using the fusion characteristics. The redundant part of digital camouflage texture is eliminated, and the final generated digital camouflage is evaluated. The simulation results show that the algorithm can effectively reduce the texture redundancy and improve the fusion degree of digital camouflage and background.

Keywords: digital camouflage; feature extraction; fusion technology

0 引言

在现代高科技战争中, 传统的迷彩伪装技术已无法满足具有较高分辨率的航空和卫星成像侦察的要求, 由此产生了数码伪装技术, 并被广泛地应用到防雷达网、军事武器装备、航空与航天照相侦察等领域。数码迷彩是一种新型的迷彩图像, 依据人类视觉心理感受特性、数字成像点阵特性及人眼视觉对目标的识别特性, 提取出背景图像中的纹理、颜色、层次性等信息, 然后以数码“像素”点阵迷彩图像的形式呈现出来。目前, 专家学者们已提出了许多关于数码迷彩生成的算法, 比如: 喻钧教授等^[1]着重研究了伪造数码迷彩的设计方法, 并取得了显著成就; 张勇^[2]结合数学统计学的理论, 采用最优化分析的思想, 对提出的仿生迷彩进行研究, 试图用若干种优势颜色替代背景图片中的颜色, 从而达到背景图像信息丢失较少的目的; 金秀满等^[3]从数学理论基础的角度, 对隐真度和伪装度等概念给出了较为准确、全面的数学定义, 在此理论基础上构建了关于军事目标伪装技术效果分析的数学模

型, 为数码迷彩的设计起到了一定的指导作用, 但在数码迷彩的纹理生成过程中, 背景轮廓与马赛克方块的叠加会使纹理变大或多余, 从而导致生成的数码迷彩纹理特征与背景的纹理特征不能完全匹配。针对这一问题, 笔者利用 K-means 聚类算法和颜色直方图算法提取背景主色, 结合分水岭分割算法和融合技术将提取出图像背景的轮廓特征与马赛克方块相融合, 使生成的数码迷彩纹理与背景纹理更匹配、生成的数码迷彩与背景图像的融合效果更佳。

1 基于融合技术的数码迷彩纹理生成算法

为使生成的数码迷彩图像与背景图像尽可能地相融合, 笔者在融合特性的基础上, 着重研究了基于背景信息的数码迷彩图案的生成算法。该算法主要分为主色提取及纹理生成 2 部分。图 1 分别为文中算法流程和纹理生成。

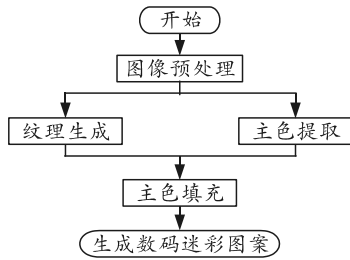
1.1 主色提取

提取背景主色时依据类似规则, 将图像中占有

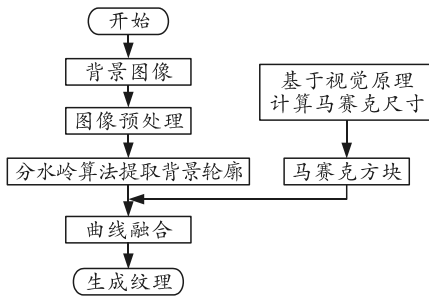
收稿日期: 2021-01-09; 修回日期: 2021-02-14

作者简介: 李园园(1994—), 女, 河南人, 硕士, 从事图像处理研究。E-mail: 1725710350@qq.com。

面积较小的颜色归并到几种占有面积较大的主要颜色中^[4]，由于 Lab 的颜色空间更符合人眼视觉感知特性，因此采用 K-means 聚类算法和颜色直方图算法^[5-7]，在 Lab 颜色空间内对背景图像分别进行 2 次主色提取，对比 2 次提取的背景主色，选取相同的颜色，同时将不同的主色与背景图像比对，取占主色面积大的主色为背景图像。



(a) 文中算法流程



(b) 纹理生成流程

图 1 流程

为使利用 K-means 聚类算法主色提取时效果最佳，令 K-均值达到最小值，即使所有的像素点与其相关的聚类中心点之间的距离之和达到最小值，故 K-均值的代价函数^[8]如下式所示：

$$J(c^{(1)}, \dots, c^{(m)}, \mu_1, \dots, \mu_K) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \|x^{(i)} - \mu_{c^{(i)}}\|^2 \quad (1)$$

其中： $\mu_{c^{(i)}}$ 为与 $x^{(i)}$ 距离最近的聚类中心点； $c^{(i)} = \min \|x^{(i)} - \mu_k\|$ ； $\mu_k = \frac{1}{m} \sum_m x^{(i)}$ 。函数 J 会有一个拐点，依据该拐点选取 K 的最小值。如图 2 所示，当 J 出现拐点时， $K=6$ 。

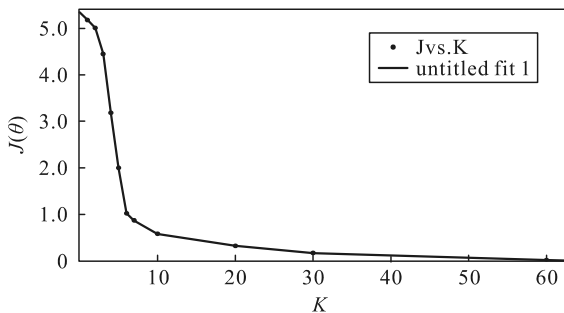


图 2 代价函数

在利用颜色直方图算法提取背景主色时，先将原始图像的 Lab 空间进行量化，即：

- 当 $L \in [i \times 51, (i+1) \times 51]$ 时， $L=i (i=0,1,2,3,4)$ ；
 - 当 $a \in [j \times 51, (j+1) \times 51]$ 时， $a=j (j=0,1,2,3,4)$ ；
 - 当 $b \in [k \times 22, (k+1) \times 22]$ 时， $b=k (k=0,1,2, \dots, 11)$ 。
- 可将 $L、a、b$ 进行统一量化，如下式所示：

$$P=25L+5a+b \quad (2)$$

由上式可知：对于一组分量，有唯一的 P 与其相对应；对于不同的 P 值，也有唯一的一组 $L、a、b$ 分量与其相对应。

1.2 数码迷彩纹理生成

如图 1(b)所示，为使生成的图案信息和背景图像更好地融合，首先采用分水岭算法^[9-12]提取出背景轮廓的主要信息；其次基于视觉原理计算出数码迷彩基本单元马赛克方块的大小^[13]；最后结合融合技术将背景轮廓信息与马赛克方块进行融合。

在提取背景轮廓的主要信息时，一般将梯度图像 $h(x,y)$ 作为输入图像通过分水岭算法的运算过程得到图像的边缘信息，如下式所示：

$$D(x,y) = \text{grad}(h(x,y)) = \{[h(x,y) - h(x-1,y)] \times 2[f(x,y) - f(x,y-1)]\} \times 0.5 \quad (3)$$

通过对梯度图像进行阈值处理来弥补过度分割缺陷，如下式所示：

$$D(x,y) = \max(\text{grad}(f(x,y)), g_\theta) \quad (4)$$

其中 g_θ 表示阈值。

在计算马赛克方块的大小时，根据文献[13]同时结合视觉原理，定义如下：

$$l = \tan 0.017 \times L \quad (5)$$

其中： l 为方块尺寸， m ； L 为观察距离， m 。

如图 3 所示，数码迷彩的纹理生成时，若仅靠单一设计的马赛克和提取的主要背景轮廓进行简单叠加，会造成马赛克方块和主轮廓重叠纹理，使生成的数码迷彩纹理特征和背景的纹理特征不能完全匹配，其中图(a)为纹理图，图(b)为重合过度导致产生纹理过多，图(c)为简单叠加导致纹理变大。而笔者提出的算法能较好地解决此类问题。以图 3(b)为例：假设重合处的弧线为 $C1$ ，多余纹路的轮廓为 $C2$ ，采用弧线逼近法进行融合，使 $C2$ 向着 $C1$ 无限的逼近，直到与 $C1$ 融合，此时，生成的纹理图与背景图像中具有相同的纹理信息，如图 3(d)、(e) 所示。

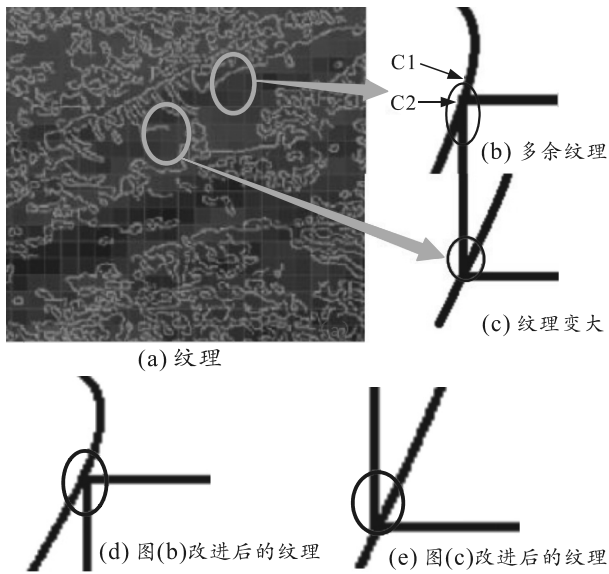


图 3 纹理图及改进后的纹理

1.3 数码迷彩生成

采用扫描线种子填充算法^[14]对生成的纹理进行主色填充，从而生成数码迷彩，故基于融合特性的数码迷彩生成算法步骤如下：

1) 对输入的自然图像进行中值滤波，然后将其转化为 Lab 颜色空间；

2) 采用 K-means 聚类和颜色直方图算法进行 2 次主色提取，得到主色 A1、A2、A3、A4、A5 和 B1、B2、B3、B4、B5，通过主色颜色对比、与背景颜色对比，最终得到主色 C1、C2、C3、C4、C5；

3) 先采用分水岭算法提取背景图像轮廓，其次基于视觉原理计算出数码迷彩基本单元马赛克方块的大小，最后利用基于融合技术算法将背景轮廓和马赛克方块融合生成纹理；

4) 采用扫描线种子填充算法将 2) 中得到的主色 C1、C2、C3、C4、C5 填充到 3) 生成的纹理中，从而生成数码迷彩。

2 实验仿真

笔者以现实中自然背景为实验材料，在相同的采集条件下，获取不同的自然背景图像，结合混色原理和大量实地实验数据，得到不同侦察距离上所适用的最佳马赛克大小，如表 1 所示，并对其中的 3 组数据进行实验仿真，如图 4 所示。

表 1 不同观察距离时迷彩单元最小尺寸

观察距离/m	斑点最小尺寸/cm	观察距离/m	斑点最小尺寸/cm	观察距离/m	斑点最小尺寸/cm
5	0.15	20	0.58	35	1.02
10	0.29	25	0.73	40	1.16
15	0.44	30	0.87	45	1.31

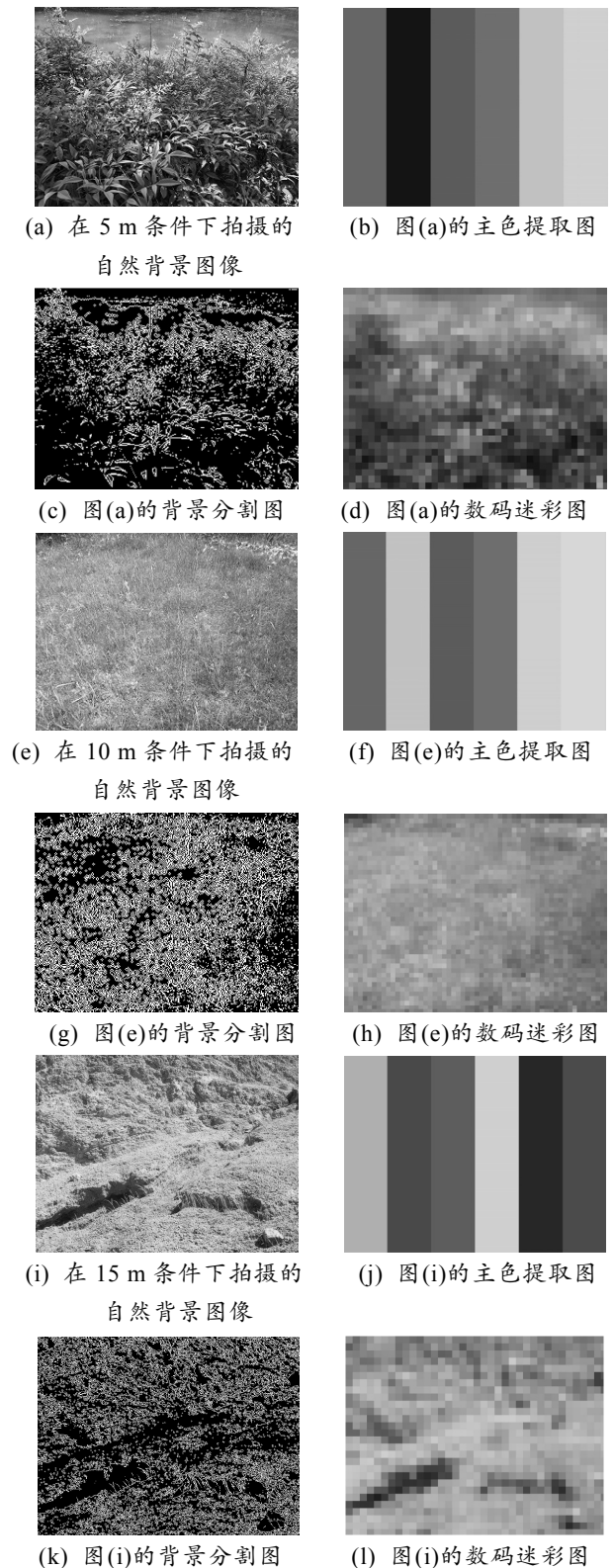


图 4 原图及处理效果

从上图可以看出：利用笔者提出的算法处理图像在原图上的融合度较高，采用发现概率^[15]和相似度值^[16]为评价指标，对生成的数码迷彩进行评价，发现概率计算公式以及相似度值计算如式(6)、式(7)

所示。

$$p=F/N。 \tag{6}$$

其中：N 为设定总的观察者；p 为发现概率；F 为伪装的目标被发现的次数。

$$S=(D_{max}-D)/D_{max}。 \tag{7}$$

其中， $D=H_1-H_2$ ，H 描述了局部区域的轮廓信息。分别利用背景图像的描述子 H_1 和迷彩图像的描述子 H_2 计算相似度。

将文中算法与文献[2,7,9]提出的算法进行对比，结果如表 2、3 所示。

表 2 发现概率对比

本文算法	文献[2]	文献[7]	文献[9]
0.166 3	0.188 5	0.185 2	0.188 6
0.177 2	0.189 4	0.236 2	0.175 8
0.173 6	0.193 8	0.194 3	0.195 6

表 3 迷彩图案与背景图像的相似度值对比

二阶统计矩	相似度值
文献[2]生成的数码迷彩	0.688 5
文献[7]生成的数码迷彩	0.667 1
文献[9]生成的数码迷彩	0.659 3
采用拟合技术生成的数码迷彩	0.698 2

通过对比表 2、表 3 中的数据发现：利用笔者提出的算法处理不同自然背景图时生成的数码迷彩，发现概率的数值均小于文献[2,7,9]提出的算法，相似度值均大于文献[2,7,9]提出的算法，说明利用文中算法生成的数码迷彩的伪装效果更佳，能更好地使伪装目标与背景融合。

3 结束语

笔者基于融合技术的数码迷彩纹理生成算法，利用融合技术将背景轮廓与马赛克方块叠加产生的冗余部分融合，解决了数码迷彩纹理中有多余纹路和纹理变大的问题，增加了数码迷彩纹理与背景纹理的相似度，提高了生成数码迷彩与背景图像的融合度。实验结果表明：利用文中算法处理后的效果图，发现概率低于其他算法，具有较好的伪装效果。

参考文献：

[1] 喻钧, 双晓. 仿造数码迷彩的设计方法[J]. 应用科学学报, 2012, 30(4):331-334.

[2] 张勇. 仿生迷彩伪装及其数字化技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.

[3] 金秀满, 方志耕. 军事目标的伪装效果分析模型研究[C]. 中国系统工程学会第 12 届年会, 2002.

[4] 蔡云骧, 薛士强, 周志勇, 等. 基于分形布朗模型的数码迷彩图案生成方法研究[J]. 兵工学报, 2016(1): 186-192.

[5] HUANG X C, SU W. An Improved K-means Clustering Algorithm[C]// World Automation Congress. IEEE, 2016.

[6] 喻钧, 刘飞鸿, 王占峰, 等. 基于色度直方图的颜色聚类算法[J]. 应用科学学报, 2015, 33(1): 95-104.

[7] 冯海潮, 赵志勇, 张晋源, 等. 基于超效率数据包络分析模型的数码迷彩融合特性评价方法研究[J]. 兵工学报, 2017, 38(11): 2214-2219.

[8] 张玉芳, 毛嘉莉, 熊忠阳. 一种改进的 K-means 算法[J]. 计算机应用, 2003(8): 33-35, 62.

[9] Jung C R. Combining wavelets and watersheds for robust multiscale image segmentation[J]. Image & Vision Computing, 2007, 25(1): 24-33.

[10] 喻钧, 王璨, 胡志毅. 固定目标伪装的数码迷彩设计[J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(4): 134-136, 154.

[11] HU J, LU Y, YANG X. Research of infrared digital camouflage design and generation[C]. 2018, 10832:1083208-1083208-6.

[12] 徐岩. 基于多分辨率分析的分水岭分割技术研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2006.

[13] Nonaka T, Matsuda M, Hase T. Color Mixture Model Based on Spatial Frequency Response of Color Vision[C]// IEEE International Conference on Systems. IEEE, 2006.

[14] 余腊生, 沈德耀. 扫描线种子填充算法的改进[J]. 计算机工程, 2003(10): 70-72.

[15] Feng X, Guoying C, Richang H, et al. Camouflage texture evaluation using a saliency map[J]. Multimedia Systems, 2015, 21(2):169-175.

[16] 张心言, 赵冉阳. 基于Canny的自适应边缘检测算法及性能评估[J]. 计算机技术与发展, 2015, 25(11): 32-37.