

doi: 10.7690/bgzd.2014.01.020

基于光谱色的迷彩主色提取方法

喻钧¹, 刘飞鸿¹, 王占锋², 初苗³(1. 西安工业大学计算机科学与工程学院, 西安 710021;
2. 总后勤部建筑工程研究所, 西安 710032; 3. 西北工业大学机电学院, 西安 710072)

摘要: 针对采用聚类方法进行数码迷彩设计时存在提取主色的色度不稳定问题, 提出一种基于光谱色的主色聚类中心确定算法。在建立 CIE-XYZ 系统的基础上对颜色的种类进行划分。将图像颜色从 RGB 空间转化到 XYZ 颜色空间, 然后通过 CIE-XYZ 系统计算每一像素颜色的主波长、色纯度, 并以主波长、色纯度为标准, 选取初始聚类中心的颜色来代表背景图像的主色。实验结果表明: 该算法实现的时间复杂度低, 执行效率高。

关键词: 数码迷彩; 光谱色; 主色提取; CIE-XYZ

中图分类号: TP751 **文献标志码:** A

Extraction Method of Dominant Colors of Pattern Painting Based on Spectrum Colors

Yu Jun¹, Liu Feihong¹, Wang Zhanfeng², Chu Miao³(1. School of Computer Science & Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China;
2. Architectural Engineering Institute, General Logistics Department, Xi'an 710032, China;
3. School of Electromechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Aiming at the chromaticity instability problem in the process of main-color extraction using clustering methods in digital camouflage design, this paper proposes an algorithm for determining the clustering center of dominant color based on spectral colors. On the basis of the CIE-XYZ system, the color type is classified by chromaticity. The image color space should be transformed from RGB to XYZ. The main wavelength and the color purity for each pixel are calculated in the CIE-XYZ system. Here the initial clustering center of the dominant color is selected for representing the dominant color of the background image. Experimental results show that the algorithm has low time complexity as well as high efficiency.

Keywords: digital disruptive pattern; spectrum colour; dominant-colour extraction; CIE-XYZ

0 引言

随着高技术侦察手段的不断发展, 对迷彩伪装提出了越来越高的要求。光学侦察利用了目标和背景在亮度、颜色、外形等特征上的差异, 而迷彩伪装则是尽量减小目标和背景的差别, 降低目标的显著性并改变其外形。数码迷彩作为一种新型迷彩伪装图案, 以像素点阵的形式, 将马赛克小色块进行多种排列组合, 利用空间混色和人眼的视错觉, 令伪装目标极易融合于背景之中, 使得目标发现概率远远低于普通迷彩伪装。迷彩设计是迷彩伪装的基础和前提, 主色提取则是迷彩设计的首要步骤。

数码迷彩的设计中, 采用颜色聚类方法提取背景主色是其主要步骤, 关键在于初始聚类中心的选取。以往采用的聚类方法生成聚类中心的随机度大, 提取主色的色度不稳定: 文献[1]改进了传统的 K 均值聚类算法, 选取色差较大的点作为聚类中心, 但聚类中心不确定性程度大; 文献[2]提出了一种基于

HSI 模型和量化颜色直方图的迷彩颜色选取算法; 文献[3]提出了基于 CIEDE2000 色差公式的主色提取算法, 利用了描述颜色的 CIE L*a*b*空间的均匀性; 文献[4]提出一种从光学角度描述颜色的方法, 确定颜色准确度为 95%。笔者从色度学角度出发, 提出一种可以自动生成聚类中心的主色提取方法。

1 颜色种类的划分

在探索颜色本质进程中, 人们通过棱镜色散实验认识到单色光和白色光的关系; 通过研究视网膜的光学、生理特性, 发现了视网膜上存在的 3 种椎体感色细胞, 从而证实了三原色混色理论; 3 种椎体细胞接收到光波, 针对刺激产生不同的感应后, 3 种刺激在感觉记忆内融合形成颜色知觉^[5]。判别颜色有许多不同的方法, 并且存在很多因素影响到判定结果^[6], 笔者尝试以波长为标准确定背景图片所包含颜色种类的集合。通过统计每个颜色种类集合包含的像素点数量, 从而确定初始聚类中心。包含

收稿日期: 2013-08-19; 修回日期: 2013-09-17

基金项目: 中国博士后科学基金面上项目(2013M532180); 陕西省教育厅专项科研项目(11JK1043)

作者简介: 喻钧(1979—), 女, 重庆人, 硕士, 教授, 从事图像处理、模式识别及迷彩伪装研究。

像素点数量最多的颜色种类，即为图片主色；由此推出，包含在颜色种类内的像素点是初始聚类中心。

1.1 影响自然界物质颜色的客观因素

太阳是自然界的主要光源，太阳光是人眼视觉心理形成的必要条件，其他恒星对人眼视觉影响微乎其微。太阳光是指波长在 380~780 nm 区间内的电磁波集合，通过棱镜折射不同波长的单色光波被散射到白板形成不同颜色色带。自然界中的物质本身不发光，不同物质表面的反射率不同，造成了物质表面反射光的光谱之间存有差异。不同的反射光谱对应着不同的颜色。对颜色知觉产生影响的主要因素如图 1 所示。其中，太阳光光谱如图 1(a)所示，物质表面的反射曲线如图 1(b)所示，观察到的光谱曲线如图 1(c)所示。

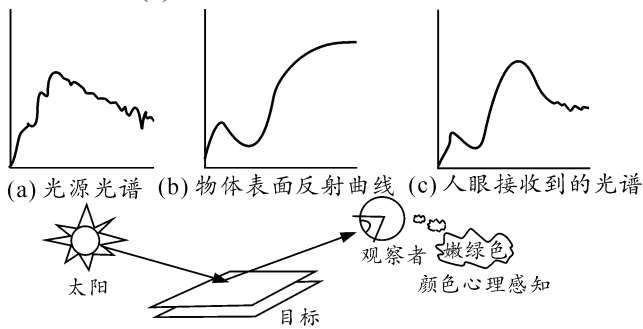


图 1 影响物体表面颜色的主要因素

物体表面反射的光谱由光源和物质表面材料共同决定，在限定光源的下，人眼接收到的光谱辐射和心理的颜色知觉一一对应。由于物质表面的材料属性通常是稳定的，因而物质材料对应着稳定的颜色表现。换言之，如果物质表面的光谱反射曲线大致相同，颜色表现则相同；因此，用物体表面反射光线的光谱特性可作为划定颜色种类的一种方法。

1.2 颜色空间选择

为了测量和界定色彩，国际照明委员会 (commission internationale de L'Eclairage, CIE) 根据光谱色颜色匹配实验数据建立了 CIE-RGB 色度系统，CIE-RGB 系统可以定量描述颜色的集合，这个颜色集合通常被称为 RGB 颜色空间或 RGB 彩色模型。由于 CIE-RGB 系统不便于计算和理解，很快就被 CIE-XYZ 系统取代。CIE-XYZ 不仅可以表示颜色视觉和混色现象，还能最大程度地贴近颜色匹配实验数据；因此，笔者采用 CIE-XYZ 系统作为标准颜色系统。

图 2(a)是人眼观察到的光谱曲线，图 2(b)是人眼椎体细胞对不同光刺激反应的激励曲线，图 2(c)

是进入人眼 3 个通道的采样信号，是形成颜色知觉的基础。

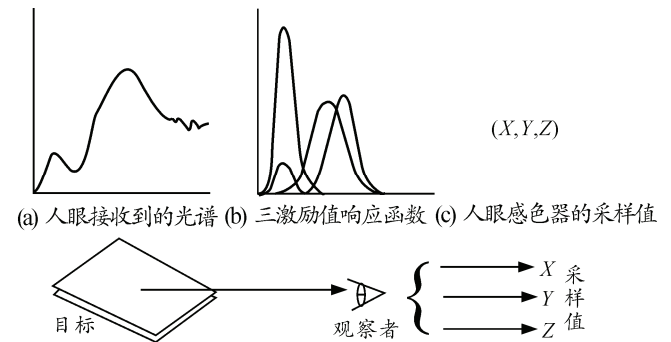


图 2 物体表面颜色形成的采样过程

1.3 颜色种类的划分标准

颜色知觉在心理上表现为 3 种颜色特征——明度、色调、饱和度。明度反映的是物体表面的光反射特性，光反射率越高，其明度就越高；色调反映光源光谱组成和物体表面所反射的各波长比例特性，是区分彩色种类的特性；饱和度反映物体表面反射光谱辐射的选择性程度，指彩色的纯度。

如果规定了色调和饱和度，人眼就能唯一确定一种颜色。在 CIE-XYZ 系统中，可以采用主波长表示色调，采用色纯度来表示饱和度。主波长、色纯度可以在 CIE-XYZ 系统中通过计算获知，如图 3 所示。图中曲线代表光谱色的 CIE-XYZ 三原色颜色匹配函数，A、B 为曲线端点，连接 AB 使形成一个封闭的马蹄形区域。C 点为样品颜色，C 点和 E 点确定一条直线，该直线和光谱色曲线的交点为 D 点，D 点位置的波长是主波长；E 点到 C 点距离与 E 点到 D 点距离的比值就是色纯度。在文中，笔者以主波长和色纯度为标准描述颜色，区分颜色。

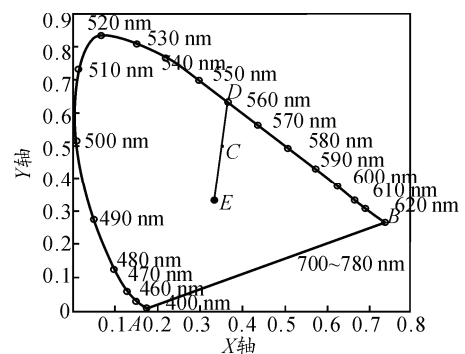


图 3 CIE-XYZ 系统

2 主色提取算法

主色提取主要分为 2 步：1) 判别图像中颜色的种类；2) 标定像素数最多的 N 种颜色为主色，N 是人们期望获得的主色数量值。在执行算法之前，首

先建立 CIE-XYZ 系统, 并按照需求将色度系统分区; 然后读入待处理的背景图像, 将其颜色系统从 CIE-RGB 转化为 CIE-XYZ。待处理图像如图 4。

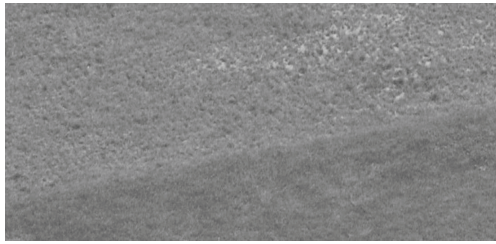


图 4 草地背景图像

2.1 CIE-RGB 和 CIE-XYZ 系统的转化

一般的图像采集设备通常利用 R 、 G 、 B 向量表示三原色的激励值, 每个激励值的取值范围为 0~255。利用公式 (1) 将其转化到 CIE-RGB 空间。

$$\begin{cases} R = \text{gamma}(\frac{r}{255}) \\ G = \text{gamma}(\frac{g}{255}) \\ B = \text{gamma}(\frac{b}{255}) \end{cases} \quad (1)$$

其中 gamma 函数如下:

$$\text{gamma}(x) = \begin{cases} (\frac{x + 0.055}{1.055})^{2.4} \\ \frac{x}{12.92} \end{cases} \quad (2)$$

然后将 CIE-RGB 空间转化为 CIE-XYZ 空间, 转化公式如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

$[M]$ 为转化矩阵, 文献[7]提出的矩阵如下式:

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.430 & 0.342 & 0.178 \\ 0.222 & 0.707 & 0.071 \\ 0.020 & 0.130 & 0.939 \end{bmatrix} \quad (4)$$

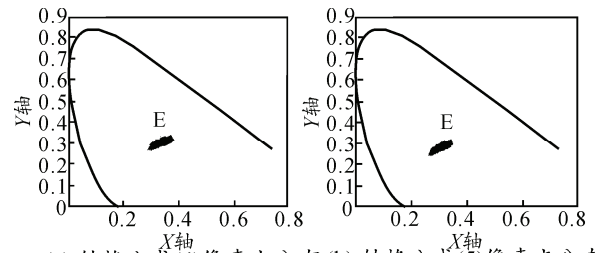
文献[8]提出的矩阵如下式:

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1085 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.0092 & 0.9505 \end{bmatrix} \quad (5)$$

图 5 表示背景图像中每一个像素点在 CIE-XYZ 系统中的分布情况, 分别采用式 (4) 和式 (5) 转化背景照片, 如图 5 所示, E 点表示等能白点。

对比背景照片和图 5 可知, 背景图片映射到 CIE-XYZ 空间的像素点颜色信息, 部分区域颜色不能被正常反映。图 5(b)所示, 黄色区域颜色将不能

被正常显示, 笔者采用公式 (4) 作为转化公式。



(a) 转换公式(4)像素点分布 (b) 转换公式(5)像素点分布

图 5 背景图片像素点在 CIE-XYZ 系统分布示意图

2.2 主色提取的算法描述

读入 CIE 1931 标准色度观察者光谱三刺激值 (简称 CIE 1931 标准色度观察者) 试验数据 (1 nm 间隔), 将三刺激值 X 、 Y 、 Z 归一化到 $X+Y+Z=1$ 平面, 形成 X - Y 坐标系, 坐标记为 x_λ 、 y_λ 。其中, λ 为光谱的波长, 波长范围为 [380, 780]。 x_λ 、 y_λ 插值形成的马蹄形区域曲线如图 6 所示。

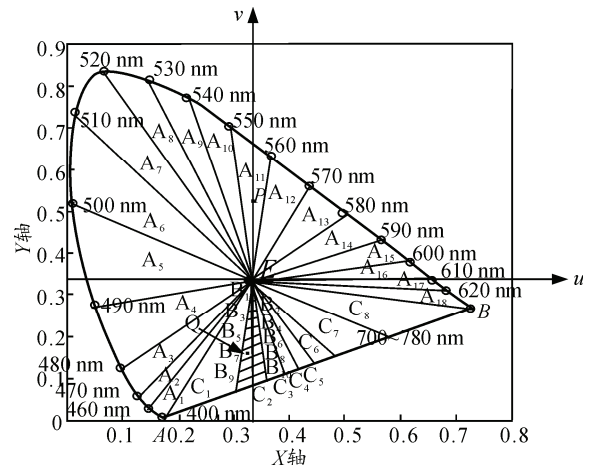


图 6 CIE-XYZ 色度系统主波长和色纯度计算示意图

规定 E 点为参考白光点, 其坐标为 (0.333 33, 0.333 33)。

连接相应的光谱色坐标点和等能白光点 E , 根据主波长的色觉感知, 将马蹄形区域划分为 19 个子区域, 分别标注为 A_1, A_2, \dots, A_{19} 。

确定背景照片像素点颜色时, 首先对其进行粗分类, 粗分类规定不同主色间的颜色色调相异程度, 其区域间隔的大小可以根据实际需要自行调节; 再进行细分类, 细分类规定主色实际色调, 其区域间隔为 1 nm。

引入 u - v 坐标系, 将坐标原点移动到 E 点位置。在 u - v 系统中, 坐标轴无实际意义; 利用边界线段和 u 坐标轴正方向的夹角, 可以方便定义、描述每一个色度空间子区域, 从而简化像素点分类计算。

根据一般的伪装需求, 笔者提取背景照片中的

4 种主色，并生成对应的聚类中心。为了区分各初始聚类中心的色调，先用 19 个区域 A_i 对所有像素点进行粗分类。例如，任取背景照片上 2 像素点，记作 P 、 Q ，其色度坐标，如图 6 所示。像素点 P 的色度坐标位于区域 A_{11} ，再细分类，统计该区域内像素点最多的区域 $A_{j\lambda}$ ， λ 为 P 点颜色的主波长（即色调）。 $A_{j\lambda}$ 为聚类中心待确定的区域。需要注意的是，像素点 Q 位于区域 A_{19} ，而该区域的像素点样品色没有主波长，通常采用其补色的主波长表示。 Q 点补色主波长通常采用 EQ 反向延长线和光谱曲线交点的波长确定。如果 A_{11} 区域主波长用 c 表示，则可以用 $-c$ 表示 Q 点的主波长。笔者确定样品色的主波长精度为 1 nm，可以满足数码迷彩设计中提取主色的需要。

依据色纯度，将 $A_{j\lambda}$ 区域对应光谱色坐标点 (x_i, y_i) 和等能白光点的距离 10 等分，将每一个子区域 $A_{j\lambda}$ 再划分为 10 个子区域 $B_{j\lambda 1}, B_{j\lambda 2}, \dots, B_{j\lambda 10}$ 。统计包含像素点最多的区域，记为 $B_{j\lambda c}$ 。

$A_{j\lambda}$ 和 $B_{j\lambda c}$ 确定一个区域，区域内所有的像素点即为初始聚类中心。

3 实验结果及分析

实验环境为：处理器 i7 2600k；内存 8 G；软件 Matlab R2011a。算法的执行时间如图 7 所示，处理一张普通照片不超过 10 s。

Function Name	Calls	Total Time	Self Time*	Total Time Plot (dark band = self time)
rgbs2xyz	1	4.500 s	0.890 s	
majorC	1	3.563 s	3.032 s	
majorL	1	0.531 s	0.531 s	
mdbfilepath	1	0.047 s	0.000 s	
imread	1	0.047 s	0.000 s	
imagesci/private/readbmp	1	0.032 s	0.000 s	
mdbfilepath>checkIfShadowed	1	0.031 s	-0.000 s	
fileparts	7	0.016 s	0.016 s	
mdbfilepath>getFileToRun	1	0.016 s	0.016 s	

图 7 算法执行时间

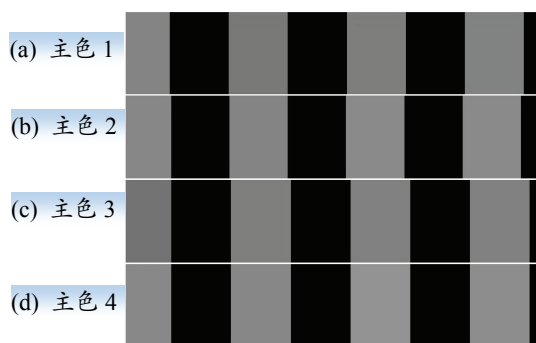


图 8 背景图像中聚类中心的颜色显示

图 8 是采用文中方法提取背景主色的实验结果，图 8(a)~图 8(d)分别显示了 4 种主色。由于 $A_{j\lambda}$ 和 $B_{j\lambda c}$ 区域内有多个像素点都可以成为聚类中心，上述 4 种主色分别是 4 个聚类中心的颜色表现，加入黑色块是为了分隔聚类中心。通过观察可以看出，这 4 种颜色的差异性感知较小。

4 结论

笔者利用主波长和色纯度实现了对颜色的确定和分类，并通过每一像素点的颜色统计信息提取了背景照片的主色。实验结果表明：该方法可行、有效，具有一定的适用性。在处理大量照片时，如果照片颜色丰富，聚类中心颜色的差异性会增大。这是因为人眼观察不同波长单色光，不同波段单色光波长的变化引起的颜色差异性感知不同。CIE-XYZ 不是一个均匀描述色差的系统，统一的主波长和色纯度标准无法准确描述颜色种类。因而在实际应用中，根据自己的需要，结合相应的颜色表现、颜色知觉的经验知识，灵活地对 CIE-XYZ 颜色空间划分子区域，就能更好地满足需求。

参考文献：

- [1] 张勇, 吴文健, 刘志明. 基于改进 K 均值聚类分析的迷彩伪装色选取[J]. 计算机工程与应用, 2009(45): 210-212.
- [2] Shapley R, Hawken M. Neural mechanisms for color perception in the primary visual cortex[J]. Current Opinion in Neurobiology, 2002, 12(4): 426-432.
- [3] 刘尊洋, 王自荣, 余大斌, 等. 塔型 FCM 和 CIEDE2000 的仿造迷彩主色提取方法[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(2): 367-371.
- [4] 徐洋, 郭冬霄, 程安宇, 等. 基于 CIE1931 的颜色识别方法研究[J]. 电视技术, 2012, 36(5): 126-130.
- [5] 张国. 颜色整合的感觉记忆加工机制[D]. 中南民族大学硕士学位论文, 2008.
- [6] 王小珂, 周勇, 王铃. 基于激光雷达距离图像信息的三维重构技术[J]. 兵工自动化, 2013, 32(3): 85-86.
- [7] 其诚, 焦书兰, 喻柏林, 等. 色度学[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 53-254.
- [8] 姜士文, 毛万洪. 迷彩颜色在计算机上精确现实的方法[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2002, 3(1): 54-56.
- [9] 汤顺青. 色度学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1990: 147-191.
- [10] 李兵. 颜色恒常性计算研究[D]. 北京交通大学博士学位论文, 2008.
- [11] 李磊, 吕绪良, 何超, 等. 城市型迷彩的颜色确定方法研究[J]. 光电技术应用, 2008, 23(5): 22-24.