

·测试、试验与仿真·

3种颜色空间的亮度分量在伪装效果评价中的应用

黄雁华^{1,2}, 武文远¹, 龚艳春¹, 郭建明²

(1. 解放军理工大学理学院, 江苏 南京 211101; 2. 解放军理工大学工程兵工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要:结合伪装效果评价的要求,以中国颜色体系为基础,建立了CIE1976 $L^*a^*b^*$ 、LMS、 $l\alpha\beta$ 这3种颜色空间的64级亮度分量数据库,利用灰度直方图相似度算法,分析了以上3种亮度分量在伪装效果评价中的应用问题。实验结果表明, L^* 分量具有均匀性较好, L_m 分量和 l 分量分别在灰度较低和灰度较高时,其伪装效果的评价结果与人眼判读结果相一致。

关键词:亮度分量;中国颜色体系;伪装效果评价;人眼视觉特性

中图分类号:E951.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)01-0074-04

Three Different Luminance Components of Color Space Applying in Camouflage Effectiveness Evaluation

HUANG Yan-hua^{1,2}, WU Wen-yuan¹, GONG Yan-chun¹, GUO Jian-ming²

(1. College of Science, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 211101, China; 2. Engineering Institute of Engineers Corps, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China)

Abstract: Basing on the regulations of camouflage effectiveness evaluation and the Chinese color system, the database of 64-level luminance components of CIE1976 $L^*a^*b^*$, LMS and $l\alpha\beta$ color space is established, and using the histogram similarity of gray degree, the applications of above three luminance components in camouflage effectiveness evaluation are analyzed. The results show that L^* component has the good uniformity, L_m component and l component are consistent with the interpretation results of human eye, respectively in the lower and the higher gray level.

Key words: luminance component; Chinese color system; camouflage effectiveness evaluation; HVS (Human Visual System)

数字图像分析技术已经应用于伪装效果评价中,提取目标的亮度特征是评价伪装效果的基本问题之一。对相同的算法而言,采用不同的颜色空间,会得到不同的评价结果。由于伪装照片的评价,最终要经过人眼判读给出评价结果,所以,如何选择一种适合人眼视觉特性的颜色空间提取目标和背景的亮度特征,对于客观地评价伪装效果具有重要的意义。文中结合伪装效果评价和要求,以中

国色体系为基础^[1],分析了3种颜色空间在伪装效果评价中的应用。

1 各颜色空间的亮度分量

CIE1976 $L^*a^*b^*$ 空间解决了三刺激值亮度分量 Y 的非线性^[2],定义了一个符合人眼视觉特性的均匀亮度比例 L^* ,现在已成为国际标准, L^* 与 R 、 G 、 B 的转换关系为

收稿日期:2010-12-21

作者简介:黄雁华(1980-),男,讲师,硕士研究生,研究方向为图像处理技术。

$$L^* = \begin{cases} 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 & Y/Y_0 > 0.008 856 \\ 903.3(Y/Y_0) & Y/Y_0 \leq 0.008 856 \end{cases} \quad (1)$$

其中, Y 是CIE XYZ空间的三刺激值亮度, Y_0 是参考白色光的辐射亮度。

LMS空间是基于人眼视觉特性定义的颜色空间^[3],人类视网膜上的锥体细胞对光吸收量不同,对光的反映程度也不同,含有大量的吸收短波光线的锥体细胞叫S锥体,而能较多吸收中波、长波光线的锥体分别叫M锥体和L锥体。对应这3种锥体细胞也分为3类颜色感应区:黑白或光亮信道、红绿信道、黄蓝信道。其中,黑白或光亮信道产生于L和M锥体细胞的相加,它的空间分辨率最高。LMS空间与R、G、B的转换关系为

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.381 1 & 0.058 3 & 0.040 2 \\ 0.196 7 & 0.724 4 & 0.078 2 \\ 0.024 1 & 0.128 8 & 0.844 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

$l\alpha\beta$ 空间具有符合人类视觉特性和信道间相关性低的优点。Ruderman等通过对自然界照片的颜色分布统计^[4],对LMS颜色空间进行非线性变换,生成了一个具有正交基的颜色空间 $l\alpha\beta$,最小化了3个颜色通道的相关性,这种最小化的相关性,使得某一通道的变换对别的通道的影响降到最小。 l 是非彩色的亮度信号通道; α 通道是黄蓝对抗通道; β 是红绿对抗通道。 $l\alpha\beta$ 颜色空间能有效地将图像的

亮度信息与色度信息分割开来,并充分得到亮度信息。下面给出了RGB转换到 $l\alpha\beta$ 空间的算法:利用式(2)先将RGB空间转换成LMS空间,通过对数变换和3个坐标轴相关性最小的变换矩阵^[5],最后获得转换公式如下

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lg L \\ \lg M \\ \lg S \end{bmatrix} \quad (3)$$

2 亮度数据库的建立及其灰度分辨率的比较

2.1 亮度数据库的建立

在通常情况下,当分辨率为 181×181 时,灰度级为64的图像与灰度级为128的图像相比,其差别以肉眼不易分辨^[6]。在保证精度的条件下,为以较小的数据量达到同样的目的,文中将图像的灰度级定为64级。

亮度特征评价伪装效果,要求亮度分量符合人眼视觉特性,且比例均匀,便于客观地给出符合人眼感知的评价结果。中国颜色体系国家标准规定明度等级为0~10分级(如表1),相邻明度之间视觉上是等距的。

表1 明度(V)等级与三刺激值(Y)的关系

V	0/	0.5/	1/	1.5/	2/	2.5/	3/	3.5/	4/	4.5/	5/
Y	0.00	0.32	0.91	1.81	3.04	4.67	6.74	9.31	12.43	16.14	20.50
V	5.5/	6/	6.5/	7/	7.5/	8/	8.5/	9/	9.5/	10/	
Y	25.53	31.26	37.71	44.86	52.71	61.20	70.28	79.85	89.81	100.0	

由式(1)可知,三刺激值 Y 与颜色空间CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 的亮度分量 L^* 存在变换关系,易把表1数据转化为亮度 L^* 与明度 V 的0~10分级的数据关系(如图1的 L^* 曲线)。而且亮度 L^* 与明度 V 的线性关系较三刺激值 Y 好^[7],线性相关系数达0.999 4,即亮度 L^* 较三刺激值 Y 均匀,与明度近似为线性关系。所以,文中把亮度 L^* 与明度 V 的0~10级线性关系,通过均匀插值变换为0~63级的线性关系。

以中国颜色体系数据作为标准,利用上面的算法,得到64个数据分别表示0~63级灰度,利用这些数据得到 8×8 的灰度图,每个像素代表一个灰度值。设色度分量 $a^*=b^*=0$,构造 8×8 的 $L^*a^*b^*$ 空间测

试图,再转RGB空间,最后转换得到 L^* 、 L_m 、 l 各亮度分量(图1),把这3种亮度分量组成亮度数据库,作为伪装效果评价的标准数据,由于3种分量都是基于中国颜色体系产生的数据库,就可以比较它们之间的差异。

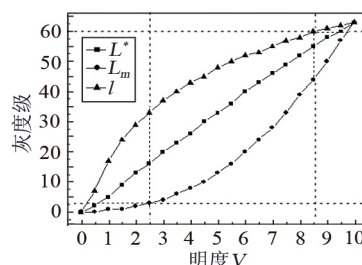


图1 亮度 L^* 、 L_m 、 l 的灰度级与明度 V 的关系

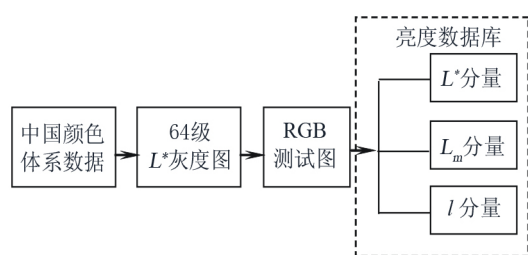


图2 产生亮度分量数据库的过程

2.2 各亮度分量的灰度分辨率比较

中国颜色体系定义明度表示物体颜色明亮程度的视知觉特性值,黑色为物理明度小于2.5的中性色,灰色为物理明度在2.5~8.5之间的中性色,白色为物理明度大于8.5的中性色。图1为建立的亮度数据库中 L^* 、 L_m 、 l 的灰度级与明度 V 的关系,表明 L^* 的均匀性最好, L_m 和 l 的均匀性较差。

图1还表明,在物理明度小于2.5的黑色区, L_m 分量分辨率最低,灰度值范围为[0,3];在物理明度大于8.5白色区, l 分量分辨率最低,灰度值范围为[60,63];在物理明度位于2.5~8.5之间的灰色区, L^* 分量分辨率较高,灰度值范围为[15,55]。文献[8]指出在灰度较高或较低的情况下,人眼对灰度的分辨能力下降,而在图像灰度中等的条件下,人眼的分辨能力较强。也就是说, L^* 、 L_m 、 l 分别与人眼对灰度的灰色区、黑色区、白色区的分辨率相似,可以作为符合人眼视觉感知的亮度分量来评价伪装效果。

3 实验及分析

文献[9]提出了灰度直方图相似度的算法,定义相似度为

$$S = S(N \cap M) / S(N \cup M) \quad (4)$$

式中, $S(M)$ 为背景图像灰度直方图; $S(N)$ 为遮障图像灰度直方图,此指标可以量化两灰度直方图的相似性。若 $S=1$,则两者完全一致,即遮障图案完全融合于背景图案中,伪装效果或背景适应性达到最佳; S 越接近于0,则遮障图案与背景图案相差越大,伪装效果越差。实验主要步骤如下:

(1)九宫格选择方式提取目标背景(如图3),中央区域为被评价目标;

(2)图像的各亮度分量值通过图2建立的64级亮度数据库进行查找,得到图像的各亮度分量值;

(3)采用灰度直方图相似度算法给出各亮度分量

的评价结果,并比较各颜色空间亮度分量的优劣。

3.1 计算机模拟不同时间的伪装效果变化实验

对图3和图4,利用MATLAB进行亮度递减和亮度递增进行人眼判读实验,模拟伪装器材随亮度变化的伪装效果,图像分辨率为 181×181 。其原因是:(1)当分辨率为 181×181 时,64级的灰度图像与128级的灰度图像相比,其差别用肉眼不易分辨。(2)一般人眼正常视力的视角阈为 $1'$,在一些特定环境可以达到 $0.5'$ 。在50 m观察距离, $0.5'$ 的人眼视张角对应的事物尺寸为 0.0073 m,如果认为该尺寸代表一个像素,则 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的范围可用 $1/0.0073 \times 1/0.0073$ m,即 137×137 个像素。综合以上两点原因,选取图像分辨率为 181×181 模拟实际距离50 m的观察效果。

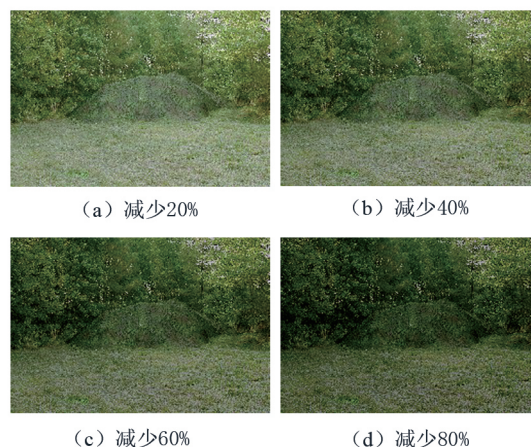


图3 亮度递减图序列

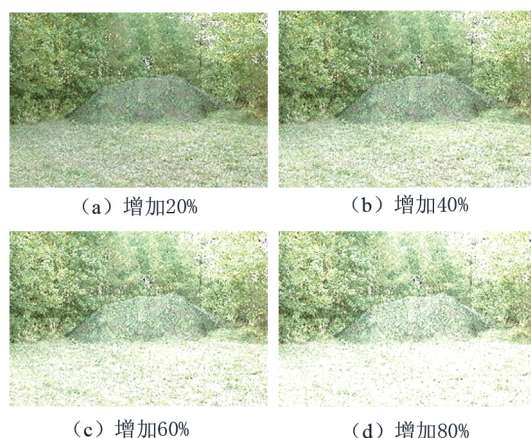


图4 亮度递增图序列

图像亮度递减或亮度递增时,目标的可见度下

降,人眼判读的相似度结果就上升;评价结果(图5和图6)表明:在图像亮度较暗时用 L_m 分量的评价结果与人眼视觉感知的判读结果一致,而在图像亮度较亮时用 l 分量的评价结果与人眼视觉感知的判读结果一致。分析其原因由图1知, L_m 分量和 l 分量分别在黑色区和白色区灰度分辨率较低,从而导致灰度值相差不大,式(4)计算灰度直方图相交和相并计算时,没有太大的差异,评价结果和人眼判读结果一致。

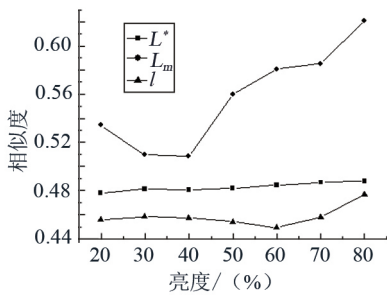


图5 文献[9]算法亮度递减实验结果

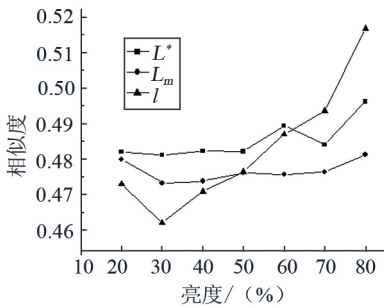


图6 文献[9]算法亮度递增实验结果

3.2 迷彩遮障目标伪装效果评价实验

图7为2010年10月30日在南京某地,选取了初冬晴朗天气进行实地连续拍摄,采用1 000万像素数码相机,关闭相机的自动功能,光学放大倍 $\times 1$,拍摄距离10 m,迷彩遮障目标平均直径0.1 m(图1中白圈为目标),实验时间为7:00~17:30,15:00点后30 min拍一次。

采用评价软件提取目标和背景图像(图8),评价结果对比如图9,上午8:00时亮度较弱,可见度较低,相似度较高;到下午13:00,亮度较高,相似度达到最小;3个亮度分量在15:00以前评价结果相差不大,基本和人眼判读结果吻合,但15:30以后由于初冬天空亮度渐弱,目标的可见度下降,相似度上升,

此时只有 L_m 分量和人眼观察结果吻合,实验结果与图7相同,也验证了计算机模拟的有效性。所以,在评价暗亮度的伪装图时,采用LSM颜色空间的评价结果比较符合人眼视觉特性的判读结果。

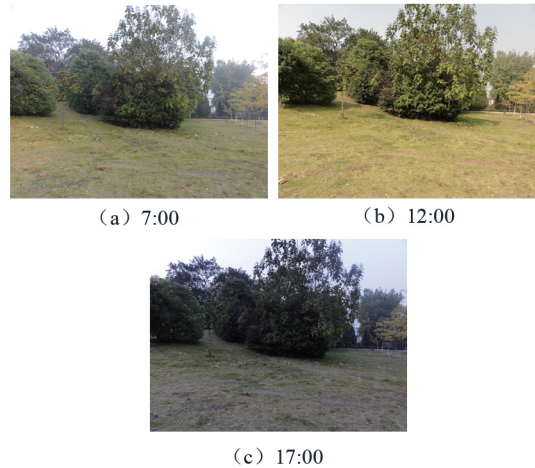


图7 不同时间的伪装效果图

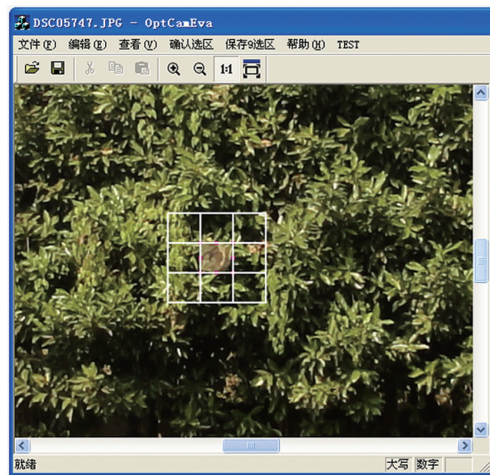


图8 提取目标和背景

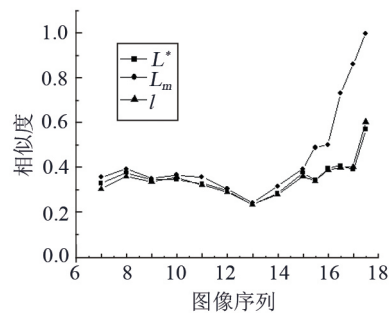


图9 不同时间评价结果对比

(下转第82页)

敏度一组参数倍弹径数和弹长弹径比,可唯一地描述天幕靶灵敏度指标。实验验证了天幕靶视场空域不同位置灵敏度的变化规律。文中所做的研究是假定天空背景亮度均匀的基础上进行的,对于天空亮度不均匀及天空亮度随时间变化较大时需要做进一步的研究。

参考文献

- [1] 倪晋平,王铁岭.光电靶的工作原理及应用[J].西安工业学院学报,1997,17(1):42-46.
- [2] 王东.双光幕精密测速系统设计[D].天津:天津大学,2008.
- [3] 苏建刚.天幕靶测速精度分析[J].弹道学报,1994(2):

47-53.

- [4] 江铭,李翰山,孙沮,等.天幕靶光学系统性能分析[J].西安工业大学学报,2006,26(2):127-130.
- [5] 李翰山.光电探测靶探测灵敏度的改善研究[D].西安:西安工业学院,2004:25-36.
- [6] 江铭,李翰山,高洪尧,等.天幕靶光学系统性能分析[J].西安工业学院学报,2006,26(2):127-130.
- [7] 中国兵器工业总公司标准,WJ 2504-98:6-8[S].
- [8] 李景镇,苏世学,赵俊民,等.光学手册[M].西安:陕西科学技术出版社,1986:14-15.
- [9] 韩军,刘钧.工程光学[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007:80.
- [10] 高旭.天幕靶灵敏度控制技术研究[D].西安:西安工业学院,2010:25-32.

(上接第43页)

束整形的基本理论与技术,给出了高斯光束通过微圆孔衍射整形变换的3种基本情形,并进行了仿真实验。如果选择适当微孔并配合使用相位调制元件,可以得到所需要的激光束,该方法跟其他方法比较更为简而易行。这对激光束的传输变换和调控有着重要意义,可应用于激光工程、微光学以及微光机电中微孔板、微透镜和光耦合器等。

参考文献

- [1] 吕百达.激光光学:光束描述、传输变换与光腔技术物理

[M].3版.北京:高等教育出版社,2003:1-196.

- [2] 杨国光.微光学与系统[M].杭州:浙江大学出版社,2008:1-374.
- [3] H P 赫尔齐克.微光学元件、系统和应用[M].北京:国防工业出版社,2002:257-295.
- [4] 马科斯·玻恩,埃米尔·沃尔夫.光学原理[M].7版.杨葭荪.北京:电子工业出版社,2005:342-429.
- [5] 常山,吴波,桑志文,等.3种圆孔衍射的两种计算方法研究[J].应用光学,2010,31(5):734-740.
- [6] 国分泰雄.光波工程[M].北京:科学出版社,2008:68-220.

(上接第77页)

4 结论

文中从评价结果是否和人眼判读结果相一致为出发点,利用中国颜色体系,建立了亮度数据库,检验了CIE1976 $L^*a^*b^*$ 、LMS、 $l\alpha\beta$ 颜色空间的亮度分量在评价伪装效果中的应用问题。实验结果表明, L^* 分量具有均匀性好的特点, L_m 分量和 l 分量分别在灰度较低和灰度较高时,其伪装效果评价结果与人眼判读结果相一致。对于不同的实际伪装背景如阴影、雪地、沙漠等,要考虑目标与背景的亮度,选取合适的亮度分量,才能给出客观的评价结果。

参考文献

- [1] 中国颜色体系[S],GB/T 15608-2006.
- [2] 均匀色空间和色差公式[S].GB/T 7921-1997.

- [3] 王浩,曾朝阳,兰永杰. LMS颜色空间稳定性在伪装评价中的应用[J].光电技术应用,2007,22(5):10-12.
- [4] Daniel L Ruderman. Statistics of cone responses to natural images :implications for visual coding [J]. Opt Soc Am A , 1998 ,15(8) :2036-2045.
- [5] Erik Reinhard , Michael Ashikhmin , Bruce Gooch , et al. Colortransfer between image[C] //IEEE transactions on computer graphics and applications. USA : IEEE ,2001.
- [6] 朱志刚. 数字图像处理[M].北京:电子工业出版社,1998:5-10.
- [7] 廉玉生,王秀泽.5种不同颜色空间的均匀性研究[J].测绘科学技术学报,2007,24(2):104-107.
- [8] 贾其,吕绪良,吴超,等.基于人眼视觉特性的红外图像增强技术研究[J].红外技术,2010,32(12):108-112.
- [9] 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(自然科学版)2004,5(3):74-77.