

# 基于亮度信息匹配的国画艺术品图像重建研究

秦 锋 杨卫平 杨 葭 李宏宁 罗艳琳 吕宪魁 刘屹超 邹纪平

(云南师范大学物理与电子信息学院, 云南 昆明 650500)

**摘要** 对国画样品反射参量和特性进行测量与分析,结合色度学相关理论提出了一种利用亮度信息匹配的国画图像重建方法。采用色调-饱和度-亮度(HSI)色空间对国画辐亮度与色度信息进行分离,利用 Gaussian 函数对不同照明角度下 PR-715 实测图像色块亮度数值进行拟合,从而建立对应的空间亮度函数关系式。选择 90°照明角实拍图像为参考色块,将该图像 HSI 色空间的色度信息与拟合空间亮度信息相结合,重建出任意照明角度下的国画色块图像,并与 Canon EOS 400D 单反相机实拍图片进行比较分析。结果表明,利用亮度信息匹配方法能够准确对国画色块图像进行重建,该方法具有较高可行性与可靠性,对绘画艺术品文化遗产数字化的重建与真实复制有重要的实际应用价值。

**关键词** 图像处理;国画重建;亮度匹配;理想漫反射;HSI 空间

**中图分类号** TN942.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.1033001

## Research on Image Reconstruction of Traditional Chinese Painting Art Based on Radiance Information Matching

Qin Feng Yang Weiping Yang Jia Li Hongning Luo Yanlin Lü Xiankui  
Liu Yichao Zou Jiping

(School of Physics and Electronic Information Technology, Yunnan Normal University,  
Kunming, Yunnan 650500, China)

**Abstract** Reflection parameters and characteristics of traditional Chinese painting samples are measured and analyzed. A method used to reconstruct traditional Chinese painting image based on radiance information matching is put forward to combine with the colorimetry theory. Hue saturation intensity (HSI) color space is used to separate traditional Chinese painting information of luminance and chroma, and the radiance values which are measured by PR-715 under different illuminating angles are fitted depending on Gaussian function. Thereby the relationship of spatial function between radiance and illuminating angles is built. Images which are shot under 90° illuminating angle are chosen to be the referential color pieces. The images of traditional Chinese painting color pieces can be reconstructed by combining the information of radiance in imaging HSI color space and functional expression of spatial fitting radiance. The results are compared with the real pictures which are shot by Canon EOS 400D single lens reflex camera. Results indicate that images of traditional Chinese painting color pieces can be reconstructed accurately depending on radiance information matching. This method has high feasibility and reliability, as well as important practical application value for reconstruction and reproduction of the digital cultural heritage for painting art.

**Key words** image processing; traditional Chinese painting reconstruction; radiance matching; ideal diffuse reflection; hue saturation intensity color space

**OCIS codes** 330.1710; 330.1720; 330.1730; 330.1880

**收稿日期**: 2014-2-25; **收到修改稿日期**: 2014-04-14

**基金项目**: 国家自然科学基金(61168003,60968001)、云南省自然科学基金(2011FZ079,2009CD047)、2013年地方高校国家级大学生创新创业训练计划(201310681004)

**作者简介**: 秦 锋(1988—),男,硕士研究生,主要从事颜色真实复制与图像处理等方面的研究。

E-mail: wolfmancool@126.com

**导师简介**: 杨卫平(1958—),男,博士,教授,主要从事多光谱成像技术应用、颜色科学与工程等方面的研究。

E-mail: yangwpm@126.com(通信联系人)

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 [www.opticsjournal.net](http://www.opticsjournal.net)

# 1 引 言

作为历史文明古国,中国历史文物种类繁多,文物的展示对传承和振兴中华有着重大的意义。国画是中华民族的艺术瑰宝,进行国画艺术品图像的重构具有较高的研究价值。国画的数字化复制是借助当前的数字化技术在显示设备上对其真实再现,包含国画的纹理结构和颜色等方面信息。由于国画的实物展示会让其色彩信息以不可逆转的方式快速消亡<sup>[1]</sup>,因此对国画艺术品进行数字化重建具有较高应用价值。

在数字博物馆建立过程中,需要对国画艺术品进行各个观察角度的图像重建,以满足观察者对文化遗产任意观察方向的视觉欣赏<sup>[2]</sup>。然而在进行实物图像采集过程中,无法对国画依次进行各个角度的数据测量<sup>[3]</sup>,这就需要寻找一种有效的方法对特定角度下采集的有限图像进行处理和计算,从而重建任意观察角度的国画图像。本文介绍了一种基于亮度信息匹配的彩色国画图像重建方法,对表征国画样品特性的各区域物理量进行实际测量与理论分析,并将该方法与色度学理论结合,重建其对应区域的图像,并进行分析评价。

# 2 实验原理与数据测量

## 2.1 国画艺术品反射特性

实验选用照明稳定性与光源指向性都较好的发光二极管(LED)射灯(3000 K, 18 W)作为光源,光源辐照度分布如图 1 所示。

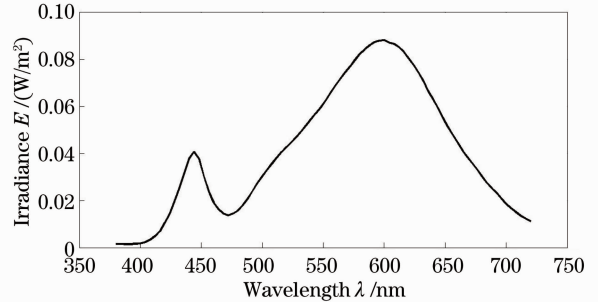


图 1 LED 射灯(18 W, 3000 K)谱辐照度曲线

Fig. 1 Irradiance curve of LED light (18 W, 3000 K)

国画颜料与宣纸材质较为粗糙,其反射特性几乎为漫反射,实验利用 PR-715 辐射分光光度计在探测角分别为  $60^\circ$  和  $90^\circ$ ,照明方向为  $0^\circ \sim 180^\circ$  范围内每间隔  $15^\circ$  分别对油画颜料与国画颜料的赭石色在油画板与宣纸上的双向反射分布函数(BRDF)值进行测量。

辐射度学中 BRDF 可定义为<sup>[4-5]</sup>

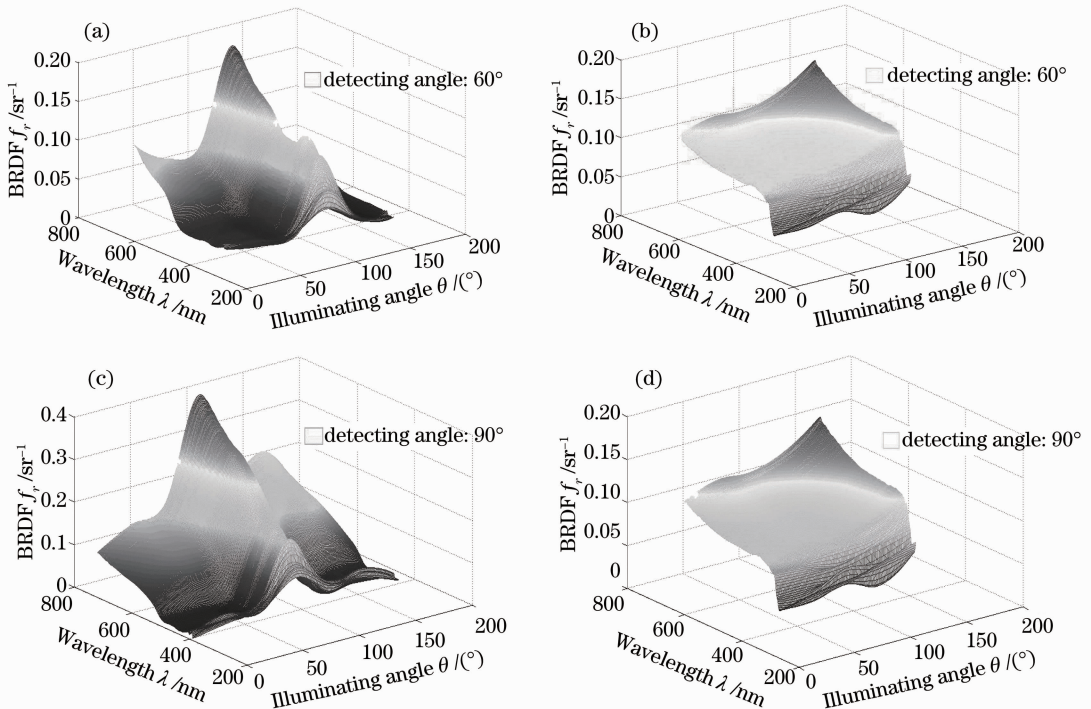


图 2 不同探测角度下油画颜料(a), (c)与国画颜料; (b), (d) BRDF 值空间分布

Fig. 2 Spatial BRDF values distribution of oil paints (a), (c) and traditional Chinese painting pigment (b), (d) under different detecting angles

$$f_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r) = dL_r(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r) / dE_r(\theta_i, \varphi_i), \quad (1)$$

式中  $L_r$  为参考样品的反射辐亮度, 而  $E_r$  为 LED 光源的辐照度值, 实验中将其近似为标准漫反射白板对 LED 灯反射光的辐照度值,  $\theta_i$  与  $\theta_r$  分别表示入射光与反射光在垂直方向的天顶角,  $\varphi_i$  与  $\varphi_r$  分别表示入射光与反射光在水平方向的方位角。

BRDF 包含了物体的吸收和反射系数, 可以用来描述目标物体表面的空间反射特性和光谱特性, 且具有唯一性的特点<sup>[6]</sup>。

油画与国画赭石色颜料 BRDF 数值随波长与观察角度的变化关系如图 2 所示。



图 3 照明角度分别为 15°、30°、45° 时拍摄的国画样品

Fig. 3 Traditional Chinese painting samples under 15°, 30°, 45° illuminating angles



图 4 国画各参考色块编号

Fig. 4 Numbers of traditional Chinese painting referential pieces

实验在探测角为 90° 条件下测量国画不同色块 380~720 nm 每间隔 4 nm 共 86 个波段累加反射比数值随照明角度的变化曲线如图 5 所示。

若参考样品为理想漫反射物体, 当光源照射时, 其漫反射分量强度在平面空间各方向立体角中均为固定值。因此在平面空间各方向, 理想漫反射平面的反射比是相同的。由图 5 可知, 同一色块的反射特性始终保持在一个较小范围内浮动, 几乎不随照明角度的改变而改变。同时可以发现, 不同颜色色

由图 2 可知, BRDF 数据中油画颜料镜面反射峰值较为明显, 而国画颜料反射随观察角度变化不大, 可知国画全空间对应的光反射成分分布较为均匀, 则可忽略其镜面反射成分, 仅对漫反射分量进行处理。

## 2.2 国画颜色信息特性与亮度匹配方法

在实际观察中, 国画同一色块在不同照明角度下会产生不同的视觉响应。如图 3 所示为光源角度分别为 15°、30°、45° 时用 Canon EOS 400D 单反相机所拍摄的图片。

针对国画样品选取具有代表性的不同颜色参考区域进行研究。选取色块如图 4 所示。

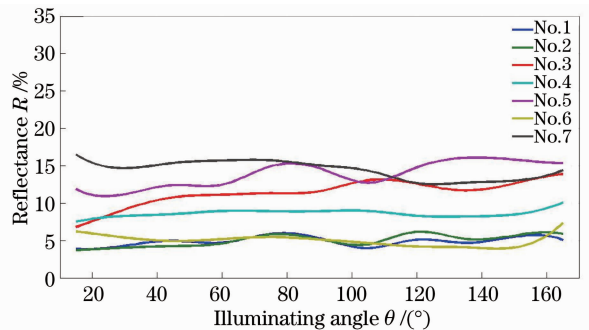


图 5 7 个参考色块随照明角度的反射比

Fig. 5 Reflectances of seven referential color pieces along with illuminating angles

块之间反射比数据为不同数量级。正常人眼感知下颜色较深的色块反射比量级较小, 颜色较浅的色块反射比量级较大。

影响人眼在不同照明角度下产生不同色彩感知的主要物理因素可通过对色度学(CIE1931)XYZ 色度三刺激值的计算公式<sup>[7]</sup>加以解释:

$$X = \int k_{\varphi}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \approx \sum_{380}^{720} k_{\varphi}(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda, \quad (2)$$

$$Y = \int k_{\varphi}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \approx \sum_{380}^{720} k_{\varphi}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda, \quad (3)$$

$$Z = \int k_{\varphi}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \approx \sum_{380}^{720} k_{\varphi}(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda, \quad (4)$$

在不同照明角度下<sup>[8-9]</sup>,  $\varphi(\lambda)$ 是导致人眼视觉感知差异性的主要物理因素, 计算式为

$$\varphi(\lambda) = \rho(\lambda) \cdot S(\lambda), \quad (5)$$

式中  $\rho(\lambda)$  为反射体的光谱反射比,  $S(\lambda)$  为照明光源的相对光谱功率分布<sup>[10]</sup>。

根据图 5 中反射比数据图形可知同一色块在不同照明角度下的反射曲线几乎趋于稳定, 保持不变, 则可知造成图 3 中不同照明角度下视觉感受差异的主要原因是  $S(\lambda)$  的变化, 该物理量与照明光源相对于参考目标的几何位置有较大关系, 并与光源的光谱特性有关, 对应(1)式中的  $E_i$ 。而实验中使用同一 LED 灯作为光源, 故其光谱特性曲线的走势是一致的。

对于光源光谱特性曲线来说, 照明角度造成的差异不影响光源辐照度曲线走势, 仅仅体现在大小数量级差别上, 如图 6 所示。

曲线走势一致, 则国画颜色信息当中色度分量保持不变, 而大小数量级差别在图像上的具体体现仅为亮度分量随照明角度变化有差异, 故图像亮度分量随照明角度的变化规律是图像重构的关键。实验使用 PR-715 中的 MS-55 辐亮度测量模式对国画上 7 个参考颜色区域在不同照明角度下进行辐亮度测量, 测量数据如图 7 所示。

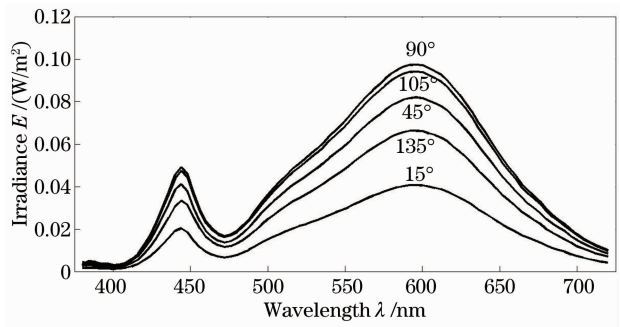


图 6 辐照度数量级大小随照明角度变化曲线  
Fig. 6 Orders of magnitude about irradiance curves along with illuminating angles

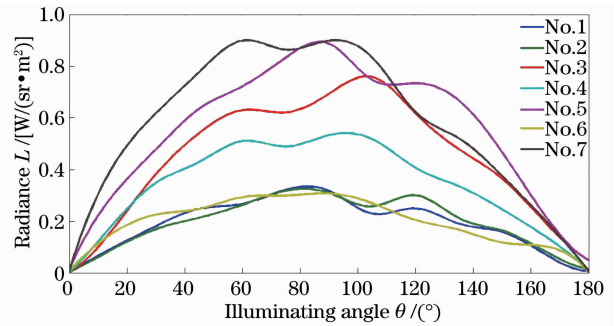


图 7 国画各参考色块辐亮度随照明角度关系  
Fig. 7 Relationship curves between referential pieces radiance of traditional Chinese painting and illuminating angles

因此可分别将样品不同色块亮度与色度信息分

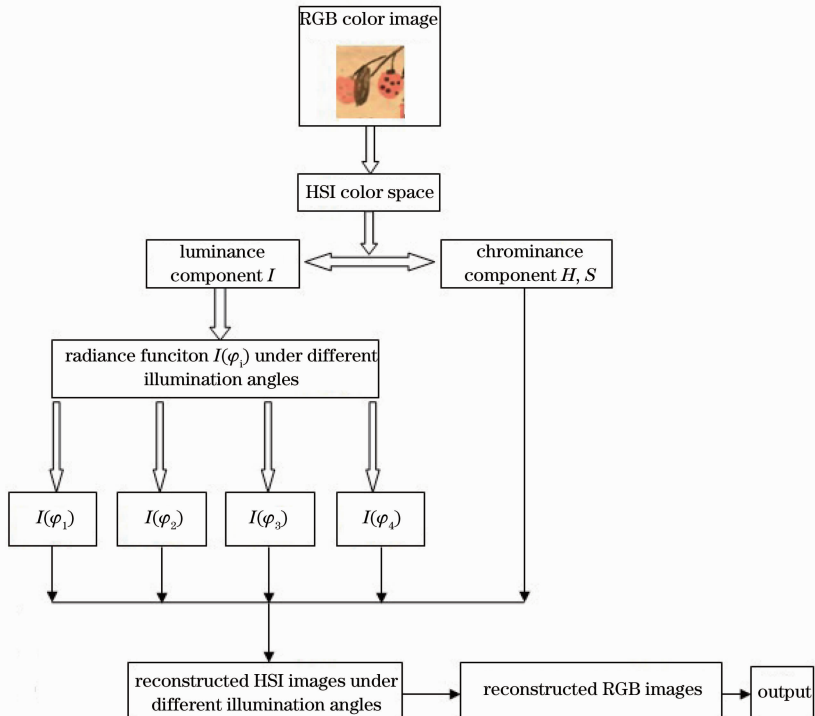


图 8 基于亮度信息匹配的国画颜色重构流程

Fig. 8 Process of traditional Chinese painting color reproduction based on radiance information matching

离,色度信息不作处理,仅需找到图像的亮度信息随照明角度变化的函数关系,再与色度信息结合,即可对任意方向的图像进行重建。

由以上分析可知对国画此类较为理想的漫反射画作艺术品来说,照明角度改变导致的人眼视觉变化仅体现在亮度信息差异上,而色度信息始终不变。根据色度学相关理论,各种颜色空间中,色调-饱和度-亮度(HSI)色彩模型属于极坐标空间结构,能直观描述颜色,其光强度分量和色度分量是独立关系,因此是非常适合基于人的颜色感知特性进行分析和处理的图像处理算法<sup>[11]</sup>。HSI 颜色空间的亮度信息<sup>[12-13]</sup>分量与色度信息分量彼此独立,因此可以很好地对亮度信息分量进行处理而不影响色度信息<sup>[14]</sup>。

该方法基于 HSI 空间的亮度匹配图像重建原

理,其匹配方法流程图如图 8 所示。

### 3 实验测量与数据处理

#### 3.1 实验测量

图 9 为实验测量装置示意图。以照明半径为 120 cm 对国画样品依次从 0°~180°每间隔 15°进行照射位置标定。并通过 PR-715 辐射分光光度计对国画样品表面指定参考区域及 X-Rite 24 色 Color Checker 标准白板进行辐亮度与辐照度的测量,同时使用 Canon EOS 400D 单反相机分别拍摄各照明角度下的国画图片。使用过程中 PR-715 与相机的曝光时间均控制为 25 ms,为了避免后期复杂的图像配准处理,PR-715 与相机始终固定在国画表面法线方向距离为 190 cm 处。

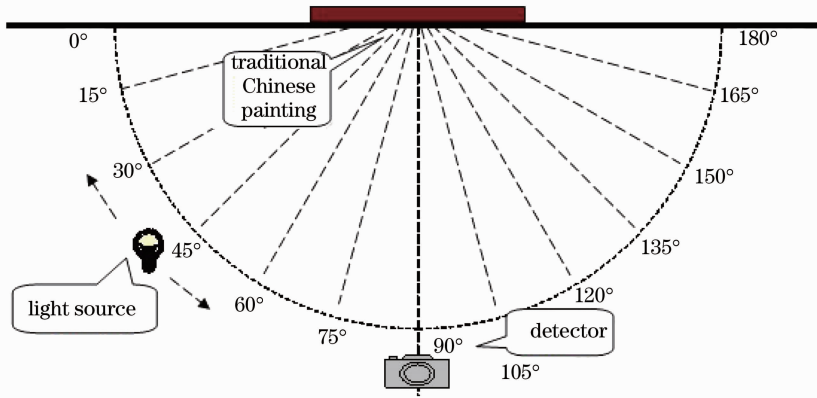


图 9 实验测量装置几何位置示意图

Fig. 9 Geometric location schematic diagram of experimental measurement devices

#### 3.2 数据处理

对图 7 中不同色块辐亮度随照明角度变化曲线进行分析,可以发现不同色块辐亮度值随照明角度的变化都有两个稍微凸起的波峰,故采用二项 Gaussian 函数对 HSI 空间亮度  $I$  分量进行拟合,如图 10 所示。二项高斯函数可表示为

$$f(x) = a_1 \exp[-(\theta - b_1)^2 / c_1^2] + a_2 \exp[-(\theta - b_2)^2 / c_2^2], \quad (6)$$

式中  $\theta$  为照明角度,  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$  为待确定的系数。

通过(6)式可以确定每个测量色块辐亮度信息变化规律的函数关系,如表 1 所示。从而根据任何一个标准参考色块的实拍图片都能够推广计算和重建得到全平面空间任意照明角度的图像。

从表 2 可以看出,7 个色块 Gaussian 函数拟合

和方差(SSE)和均方根误差(RMSE)统计参数接近 0,说明拟合数据与实测数据误差较小,而确定系数(R-square)接近 1,表明方程的变量对因变量的解释能力越强,综合看出数据拟合效果较好。

实验旨在对亮度匹配方法重建图像与实拍图像差异性的对比,过程中始终采用同一相机与显示器进行图像捕获与输出,与设备特性相关的特性参数共同体现在实拍与重建图像中,产生的误差都等价,故在作差比较时,与设备相关的特性参数造成的误差即可抵消。因此图像显示过程与色差分析中不对设备作特性化处理。

利用照明角度为 90° 图片的 7 个色块亮度作为计算标准,结合上述拟合的 Gaussian 函数式对 45°、105°、165° 的色块图像进行重建显示并与实拍图像进行对比,结果如图 11 所示。

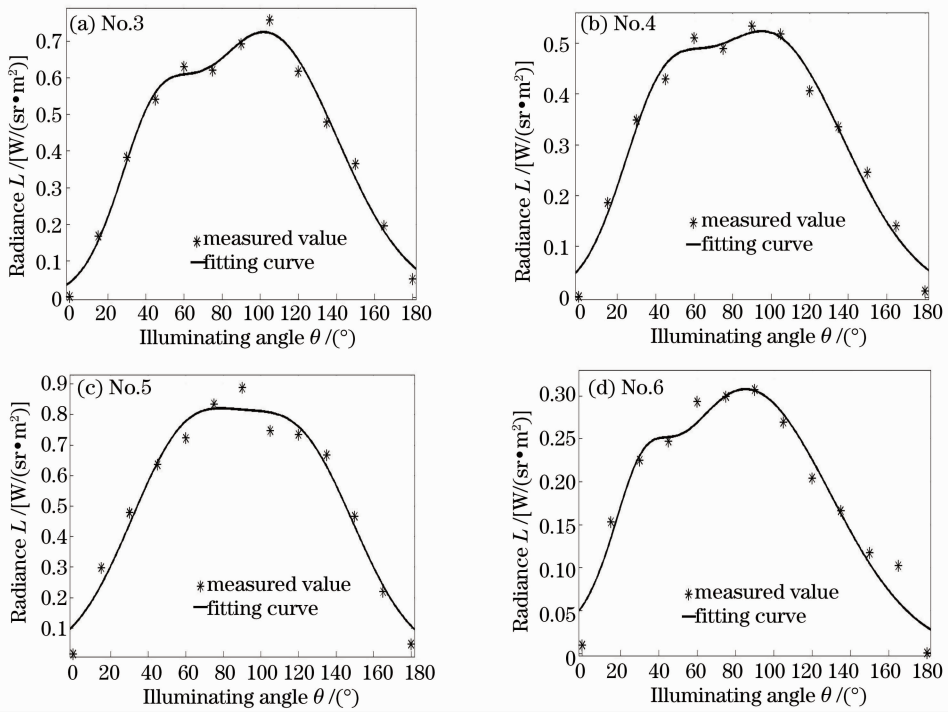


图 10 国画 3~6 号色块 Gaussian 函数拟合曲线

Fig. 10 Gaussian function fitting curves of No. 3~6 color pieces

表 1 各色块辐亮度值随照明角度变化的 Gaussian 函数拟合系数

Table 1 Gaussian function fitting coefficients of radiance about every color piece along with illuminating angles

Gaussian coefficient	$a_1$	$b_1$	$c_1$	$a_2$	$b_2$	$c_2$
1	0.3136	74.38	54.55	0.1155	139.6	28.40
2	0.2939	73.56	52.78	0.1532	133.0	34.25
3	0.7142	101.7	55.1	0.3016	42.97	27.08
4	0.5133	95.98	58.91	0.2098	40.56	28.84
5	-1687	89.6	49.38	1688	89.60	49.39
6	0.304	82.73	67.08	0.05965	30.49	17.39
7	0.8462	92.25	59.60	0.3584	39.75	31.34

表 2 各色块 Gaussian 函数拟合和方差(SSE)、确定系数(R-square)与均方根误差(RMS)

Table 2 SSE, R-square and RMSE of Gaussian function fitting about every color piece

	SSE	R-square	RMSE
1	0.005348	0.9616	0.02764
2	0.004839	0.9660	0.02629
3	0.008415	0.9890	0.03467
4	0.009837	0.9767	0.03749
5	0.032240	0.9686	0.06787
6	0.006393	0.9508	0.03022
7	0.038620	0.9691	0.07427

从图 11~13 和表 3 中可以清楚的发现提出的方法能够较好地对中国画艺术品的图像进行重建。其中 45°和 105°实拍图片与重建计算所得图片都高度近似,考虑到拟合函数与实测数据变化函数关系存在较小误差,因此导致重建图片与相机实拍之间的

差异,但是均保持在较小的色差范围。而 165°入射情况下,差异性相对 45°与 105°时较大。这是由于光源照明已经接近于掠入射情况,并且国画纸张由于画作完成时颜料风干后纸张缩水造成不平整,因此导致了一定的入射光遮蔽现象,如图 14 所示。

由于遮蔽区几何形状与光源照射角度的影响,该区域中由于光源无法直射,区域内光强主要为衍射和散射分量,因此光源照度较弱,特别是当照明角度接近 0°或 180°(掠入射)时光遮蔽作用尤为明显。在此照明情况下,对有一定褶皱的纸张表面进行特性描述极其困难,在此情况下测量与后期重建计算带来误差相对较大。而与掠入射情况相比较,当照明角度接近垂直入射时,光遮蔽影响相对较弱,因此重建图片能够与实拍图片保持较高的近似度。

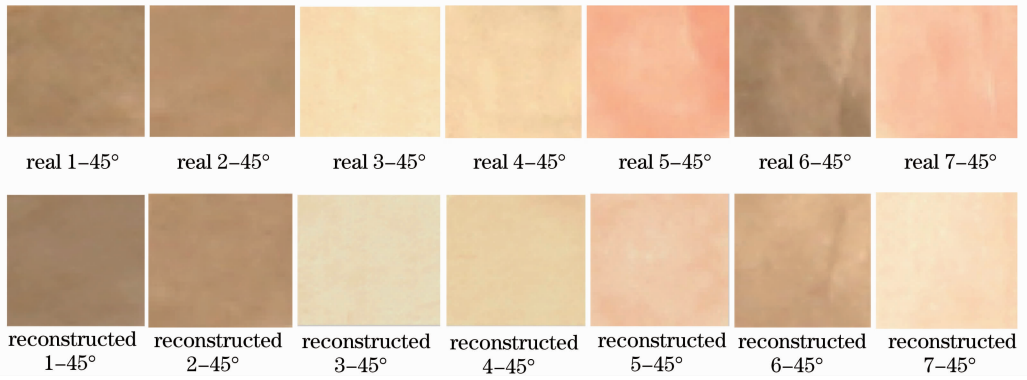


图 11 实拍与重建 45°照明角的各种色块图像

Fig. 11 Real and reconstructed color piece images under 45°illuminating angle

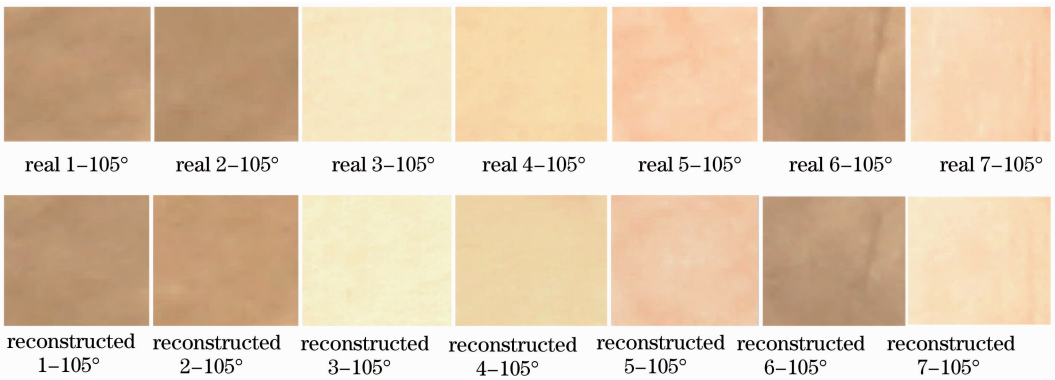


图 12 实拍与重建 105°照明角的各种色块图像

Fig. 12 Real and reconstructed color piece images under 105°illuminating angle

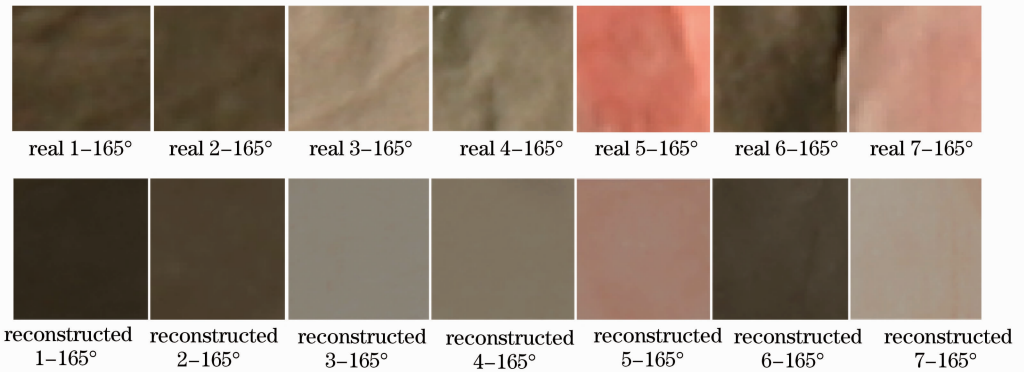


图 13 实拍与重建 165°照明角的各种色块图像

Fig. 13 Real and reconstructed color piece images under 165°illuminating angle

表 3 45°、105°和 165°入射方向下实拍与重建色块 CIEDE2000 色差

Table 3 CIEDE2000 color differences between real and reconstructed color pieces under 45°, 105°and 165°illuminating angles

	1	2	3	4	5	6	7	
45°		2.789	0.821	2.469	6.168	4.985	3.734	7.763
105°		0.746	1.704	1.866	0.816	0.810	0.984	1.930
165°		13.046	2.110	22.083	25.695	9.202	3.909	9.919

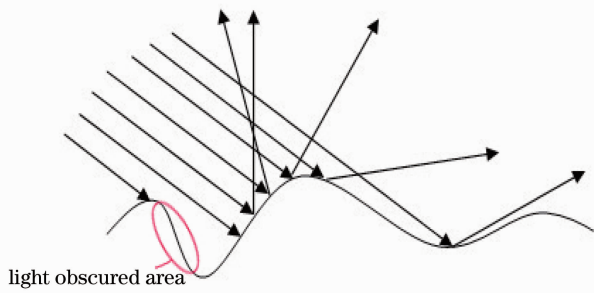


图 14 光遮蔽示意图

Fig. 14 Schematic diagram of optical cover

实验样品为国画,一种典型的漫反射平面(无光泽)材质,同一色块反射特性不随照明角度而改变,因此该方法可较好的对亮度信息进行处理而不考虑色度信息,最终将亮度随空间照明的特性变化与色度信息再次组合,便可重建任意角度的国画色块图像。但针对类似油画包含镜面反射成分的光泽样品,样品表面存在由于明显的镜面反射所产生的高光区,所测量的反射比数值必定随照明角度变化,则提出的方法在对色度信息进行研究处理方面有待进一步改进。另外,由图 7 可知,不同色块的辐亮度曲线有所差异,因此拟合的 Gaussian 函数表达式不同,无法利用其中任何一个色块的拟合式来对整幅图画不同像素颜色进行亮度匹配进而重建图像,仅对颜色单一的色块进行重建。因此该算法需要进一步建立不同颜色色度数量级与拟合式系数之间的变化关系数据库,从而利用计算机自动识别套用函数来适应整幅图像的颜色重建。

## 4 结 论

通过对国画样品表面具有代表性的 7 个色块反射与辐射数据进行测量计算,结合色度学与辐射度学相关知识进行理论分析,提出了一种基于亮度信息匹配的国画图像重建方法。利用 HSI 色度空间相关理论对国画的色度与亮度信息进行分离,对其中指定色块的辐亮度信息随照明角度变化的空间特性进行分析和 Gaussian 函数拟合,确定其空间变化函数关系。结合标准参考图像与辐亮度拟合式对平面空间任意照明角度的各色块图像进行计算与重建,并与实验拍摄的真实色块图片进行对比分析。

通过对以上实验结果的观察与分析可知,利用亮度匹配进行国画图像重建的方法是可行的,虽然该方法还有一些方面不够完善,有待改进,但该方法能够巧妙地避开色度信息,仅对亮度信息处理,简化计算,优化后期数据处理过程,降低复杂程度。同

时,相比较利用反射比进行颜色三刺激值计算过程中的复杂积分式计算三变量来说,亮度匹配方法仅对应单一变量即可快速准确地对漫反射国画样品表面色块图像进行重建。根据不同色阶的变化关系可以进一步利用该方法研究整幅漫反射图像不同像素点的重建过程,用于文化遗产艺术品的数字化再现。

## 参 考 文 献

- Li Zhen, Sun Wenxin, Zeng Qunzhu, *et al.*. Storage and management of the digital images of dunhuang wall-paintings [J]. *Dunhuang Research*, 1996, (1): 154-158.  
李震, 孙文新, 曾群柱, 等. 敦煌壁画的计算机存储与管理 [J]. *敦煌研究*, 1996, (1): 154-158.
- Pan Yunhe, Lu Dongming. Digital protecting and restoration of dunhuang mural [J]. *Journal of System Simulation*, 2003, 15 (3): 310-314.  
潘云鹤, 鲁东明. 古代敦煌壁画的数字化保护与修复 [J]. *系统仿真学报*, 2003, 15(3): 310-314.
- J Schanda. *Colorimetry: Understanding the CIE System* [M]. New Jersey: Wiley Press, 2007.
- Wu Zhensen, Han Xiang'e, Zhang Xiangdong, *et al.*. Experimental measurement on bidirectional reflectance distribution function of laser scattering from various rough surfaces [J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, 16(3): 262-268.  
吴振森, 韩向娥, 张向东, 等. 不同表面激光双向分布函数的实验测量 [J]. *光学学报*, 1996, 16(3): 262-268.
- Wei Qingnong, Liu Jianguo, Jiang Rongxi. Measurement method of absolute bidirectional reflectance-distribution function [J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, 16(10): 1425-1430.  
魏庆农, 刘建国, 江荣熙. 双向反射分布函数的绝对测量方法 [J]. *光学学报*, 1996, 16(10): 1425-1430.
- Feng Qin, Weiping Yang, Jia Yang, *et al.*. Real reproduction and evaluation of color based on BRDF method [C]. *SPIE*, 2013, 9045: 90451D.
- Xu Haisong. *Color Information Engineering* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2005. 41-114.  
徐海松. *颜色信息工程* [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2005. 41-114.
- Ren Pengyuan, Liao Ningfang, Zi Binghua, *et al.*. Spectral reflectance recovery based on multispectral imaging [J]. *Optical Technique*, 2005, 31(3): 427-433.  
任鹏远, 廖宁放, 紫冰华, 等. 基于多光谱成像的光谱反射率重建 [J]. *光学技术*, 2005, 31(3): 427-433.
- Shen Huiliang, Zhang Zhechao, Xin John H. Sequential selection of representative color sample for spectral reflectance reconstruction [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, 29 (4): 1050-1051.  
沈会良, 张哲超, 忻浩忠. 光谱反射率重建中代表颜色分步选取方法 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2009, 29(4): 1050-1051.
- Liao Ningfang, Shi Junsheng, Wu Wenmin. *Introduction of Digital Graphic Image Color Management System* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2009. 46.  
廖宁放, 石俊生, 吴文敏. *数字图图像颜色管理系统概论* [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009. 46.
- Chen Libxue, Chen Zhaojiong. Image retrieval algorithms based on Lab space [J]. *Computer Engineering*, 2008, 34(13): 224-226.  
陈丽雪, 陈昭炯. 基于 Lab 空间的图像检索算法 [J]. *计算机工程*, 2008, 34(13): 224-226.
- Ding Haibo, Xue Zhi, Li Shenghong. Skin color detecting method based on HSI space [J]. *Journal of Computer*



Application, 2004, 24(Z2): 210-211.

丁海波, 薛 质, 李生红. 基于 HSI 空间的肤色检测方法[J]. 计算机应用, 2004, 24(Z2): 210-211.

- 13 Li Dandan, Shi Xiuzhang. A kind of color image segmentation algorithm based on HSI space and K-means method [J]. Microelectronics & Computer, 2010, 27(7): 121-122.

李丹丹, 史秀璋. 基于 HSI 空间和 K-means 方法的彩色图像分

割算法[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(7): 121-122.

- 14 Gao Li, Ling Xiaoming. Color edge detection based on mathematical morphology in HSI space [J]. Opto-Electronic Engineering, 2010, 37(4): 125-129.

高 丽, 令晓明. 基于数学形态学的 HSI 空间彩色边缘检测方法[J]. 光电工程, 2010, 37(4): 125-129.

栏目编辑: 张浩佳