

彩色图像像素分布特征及成像光提取划分研究

陈永利, 张晓庆, 范珮, 田雅然

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: **目的** 研究彩色图像像素分布特征及用之提取像素反射和漫射信息的方法, 为从图像中提取其内景物客观颜色外貌提供理论依据。 **方法** 采用理论分析和实验相结合的方法, 剖析图像强度和其内物体及外界光照之间的关联性, 阐明图像像素漫射色度和RGB分强度及总强度之间的客观数据分布特征。 **结果** 图像反射像素的色度分布具有线性和双曲线特性, 而漫射像素的分布具有与光照无关的聚集特性。 **结论** 图像反射和漫射像素的分布规律非常不同, 采用特定斜率不同的直线可以将之有效分离, 再结合特定的像素映射转换机制, 就能获得图像内物体及照明的本质颜色特征。

关键词: 颜色; 光学; 信息; 特征

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)01-0154-04

Pixel Distribution Characteristics of Color Images and Light Extraction and Partition of Imaging

CHEN Yong-li, ZHANG Xiao-qing, FAN Pei, TIAN Ya-ran

(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to explore methods for study of characteristics of pixel distributions of color images and methods for extraction of information of pixel reflection and diffusion, so as to offer theory basis of extraction of objective color appearance of the image. By combination of theoretical analysis and experiment verification, correlations between image intensity and illumination were analyzed, and objective characteristics of data distribution among diffuse chromaticity, pixel channel intensity and pixel overall intensity were clarified. Chromatic distribution of reflection pixels exhibited regular linear and hyperbolic characteristics, while diffusion distribution of pixels had only gathering characteristics unrelated to illumination. Pixel distribution patterns of reflection and diffusion are different for an image and their reflection information can be separated by straight lines with different slopes for RGB channels. Intrinsic color properties of both objects and illumination can be acquired successfully by incorporating a special transformation of pixel mapping.

KEY WORDS: color; optics; information; characteristic

物体颜色是彩色图像的一种非常重要却极不稳定的特征, 极易受到外界光照条件的影响^[1-3]。如何从图像内获得其内景物的客观颜色外貌, 一直是国内外相关领域学者广为关注的热点课题^[4-6]。到目前为止, 有关的研究主要划分为两类^[7-10]: 基于统计的和基于物理成像的方法, 前者需在目标平面上观测大量颜

色, 工作复杂且准确性较差, 而后者则以图像的物理成像过程为基础。朗伯特理论模型即是业内公认的、有广泛应用基础的成像模型^[11-13], 由于它假定物体成像仅由物体的漫射形成, 忽略了物体的镜面反射干扰, 这显然与实际情况不完全相符, 从而使得相关实际应用存在较大的偏差。如何兼顾物体的漫反射和

收稿日期: 2015-05-07

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划(201410057021)

作者简介: 陈永利(1978—), 男, 山东人, 天津科技大学副教授, 主要研究方向为颜色科学与光学防伪。

镜面反射特征消除光源对图像颜色外貌的干扰,获得图像内物体表面的客观漫射和颜色特性,使之具有类似于人眼颜色恒常性的功能,对于颜色科学、图像理解及相关已有算法的推广等具有非常重要的理论意义和实际应用价值。

文中同时考虑成像时物体的漫射和反射行为,采用理论分析和实验相结合的方法剖析多类彩色图像的客观像素分布特征,提出能够有效分类提取图像漫射和反射信息的方法。再结合特殊的像素映射转换机制,即可获得其内物体和照明的本质颜色特征。

1 图像数据分布理论

依据双色反射模型^[14-16]可知,彩色图像是由物体的镜面反射光和漫反射光的线性组合形成的,前者反映了光源的颜色特征,对物体颜色的客观表达构成了干扰,后者则是物体本质颜色特征的真实体现。若令图像各通道的图像强度为 I_c ,图像色度为 σ_c ,图像漫射色度和反射色度分别为 Λ_c 和 Γ_c ,则彩色图像的图像强度 $I=\sum I_c$,可用式(1)表达:

$$I=m(\Lambda_c-\Gamma_c)/(\sigma_c-\Gamma_c) \quad (1)$$

式中: c 为图像R,G,B通道, $\sigma_c=I_c/I$; m 为反映物体漫射特性的参量。显然, σ_c 和 I 及 I_c 之间,存在某种特殊的内在关联性。因此通过深入剖析图像 σ_c 和 I 及 I_c 的数据分布特征,挖掘其内在的分布规律,可以用于提取图像的漫射及反射信息并估算成像时的光照状况,在图像理解、颜色科学等领域有着重要的价值。

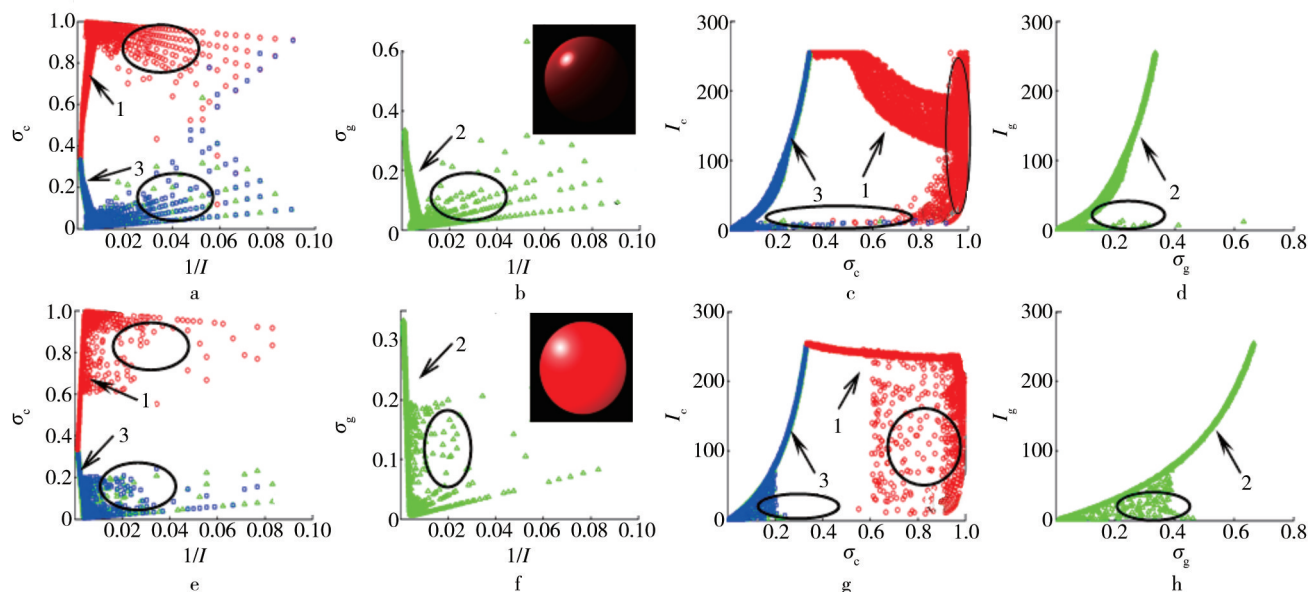


图1 不同强度白光下红球数据分布

Fig.1 Characteristic distributions of red balls under white light of different intensities

2 图像数据分布特征提取

为了有效分离图像的“漫射像素”和“反射像素”,获取图像的本质颜色特征和实际照明状况,笔者以多类图像包括合成图和真实图像为实验对象,研究其 $I_c-\sigma_c$ 和 σ_c-1/I 数据分布特征。研究时虽使用了大量图像,但限于篇幅此处仅以代表性图像为例进行说明。

不同强度白光下红球的数据分布见图1,图1中的红色、绿色和蓝色分别表示图像R,G和B通道的数据分布。图1a—d和图1e—f为别为弱光(见图1b插图)和强光(见图1f插图)下的图像数据,图1a,e,c和g同时给出了图像RGB通道的数据分布,而图1b,d,f和h仅给出了具有代表性的图像G通道的数据分布。不难发现,彩色图像RGB通道的 $I_c-\sigma_c$ 和 σ_c-1/I “反射像素”分布呈现了很强的规律性,分别具有准双曲线特征(见图1c—d和图1g—h“→”所示数据)和直线特征且直线与 σ_c 轴的交点为光源特征点(见图1a—b和图1e—f“→”所示数据)。然而图像“漫射像素”则呈现了与之不同的聚集特性,见图2椭圆所示数据。红球(见图2a—b)和黄球(见图2c—d)在不同彩色光下图像RGB通道数据分布见图2,图2中标记和参数的含义与图1的相同。可见,2个图像的“反射像素”(和“漫射像素”) σ_c-1/I 分布与图1具有相似的直线(和聚集)特征,也就是说图像RGB通道的 σ_c-1/I 像素数据分布特征与照明光源的类型(是否偏色)无关。

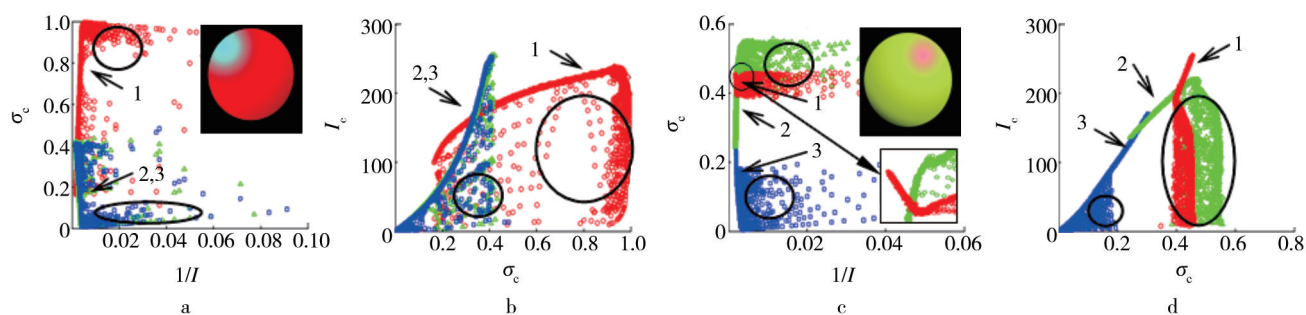


图2 彩色光源下红球数据分布

Fig.2 Characteristic distributions of red balls under color lights

相比之下,图像 $I_c-\sigma_c$ 数据分布展现了不同且复杂的变化特性:图像“漫射像素”的聚集特性虽与图2的相似,但“反射像素”的曲线形态特征与图1的略有不同。此外,照射光源的改变会使图像“反射像素”的 $I_c-\sigma_c$ 和 σ_c-1/I 数据分布细节受到影响,尤其是前者,白光下图像RGB三通道 $I_c-\sigma_c$ (和 σ_c-1/I)“反射像素”分布聚集趋于一点(光源的特征,见图1),而彩色光源下图像的 $I_c-\sigma_c$ 像素分布变得较为复杂且出现交点,无法得到具体的光源特征(见图2),其 σ_c-1/I 数据分布虽也出现了直线相交,但直线延长线与 σ_c 轴交点为光源色品的特征并没有受到影响。因此,对于不同的彩色图像,充分利用图像“反射像素”和“漫射像素”在 $I_c-\sigma_c$ (和 σ_c-1/I)内的分布特征不同的特点,有望结合特殊的聚类划分映射方法将之有效分离,而彩色图像的 σ_c-1/I 数据分布特征对照明条件及环境有更强的适应性。

3 真实图像数据分布及像素提取分类

为了进一步检验上述研究的准确性,笔者利用索尼相机抓拍了系列真实图像,开展了大量实验研究。实验数据采集时,关掉相机白平衡功能,所采集图像高光区像素没有并级问题。彩色杯子在D65光源强光照射下所拍摄图像RGB通道数据的 $I_c-\sigma_c$ 和 σ_c-1/I 数据分布见图3,图3中各参数及“→”和椭圆区域的含义与图1的相同。可见,真实图像的 $I_c-\sigma_c$ 和 σ_c-1/I 像素数据分布,比合成图像(见图1—2)的数据分布复杂。尽管图像内存在多处高光点,但其“反射像素” σ_c-1/I 数据的直线特征仍非常显著,单斜率线性聚集的规律恒定,见图3“→”所示数据,图像“漫射像素” σ_c-1/I 数据的聚集特性也很明显且占有较大的面积。由于图像像素的上述特征不同且线性可分,因此可以用斜率不同的直线(见图3直线)将各个通道的

“反射像素”和“漫射像素”进行统一有效的聚类划分,再将分离的通道数据合成则可以得到与原始图像对应的“反射区子图像”(见图3d)和“漫射区子图像”(见图3)。相反的,与合成图像(见图1—2)的数据分布不同,杯子图像“反射像素”的 $I_c-\sigma_c$ 数据分布的曲线特性虽没有变化,但由于图像内存在多个高光点(每个高光区会形成不同的曲线),致使其数据分布变得异常复杂,尤其是图像G和B通道,均出现了多曲线交叉的特征,见图3“→”所示数据,因此利用图像的 $I_c-\sigma_c$ 数据分布特征,很难准确分离图像的“反射像素”和“漫射像素”。此外充分利用图像“反射像素” σ_c-1/I 直线特性,可以获得物体成像时的照明状况,而其 $I_c-\sigma_c$ 数据的多曲线特性则无法用于光源特征的提取。

手提包在自然光下所拍摄图像RGB通道的 $I_c-\sigma_c$ 和 σ_c-1/I 数据分布特征见图4。由于自然光大面积照射的特性及物体表面的遮挡,图像内形成了光强逐渐变化的单光源高光区,此时图像的 $I_c-\sigma_c$ 和 σ_c-1/I 数据分布与图3所示的虽略有不同,主要表现为图像RGB通道“反射像素” $I_c-\sigma_c$ 数据分布均为单曲线特性,但是其 σ_c-1/I 数据的线性分布特征仍非常明显,为不同斜率的直线分布。此时的图像“反射像素”和“漫射像素”仍可以用特定斜率的直线(见图4内直线)准确分离,所获得的相应子图像分别见图4d和图4h。此外对比图3和图4不难发现,当图像内高光显著时,其数据分布的规律性更强,相关特征更易提取,因此对于各类彩色图像而言包括仿真图像、人造光源下拍摄图像以及自然光下拍摄图像等,首先依靠图像 σ_c-1/I 数据分布特性利用单一斜率的直线将之反射和漫射子图像有效分离,再结合反射子图像向漫射图像转换的特定映射机制即可获得图像内物体及照明的本质颜色外貌特征(客观RGB像素数据)。

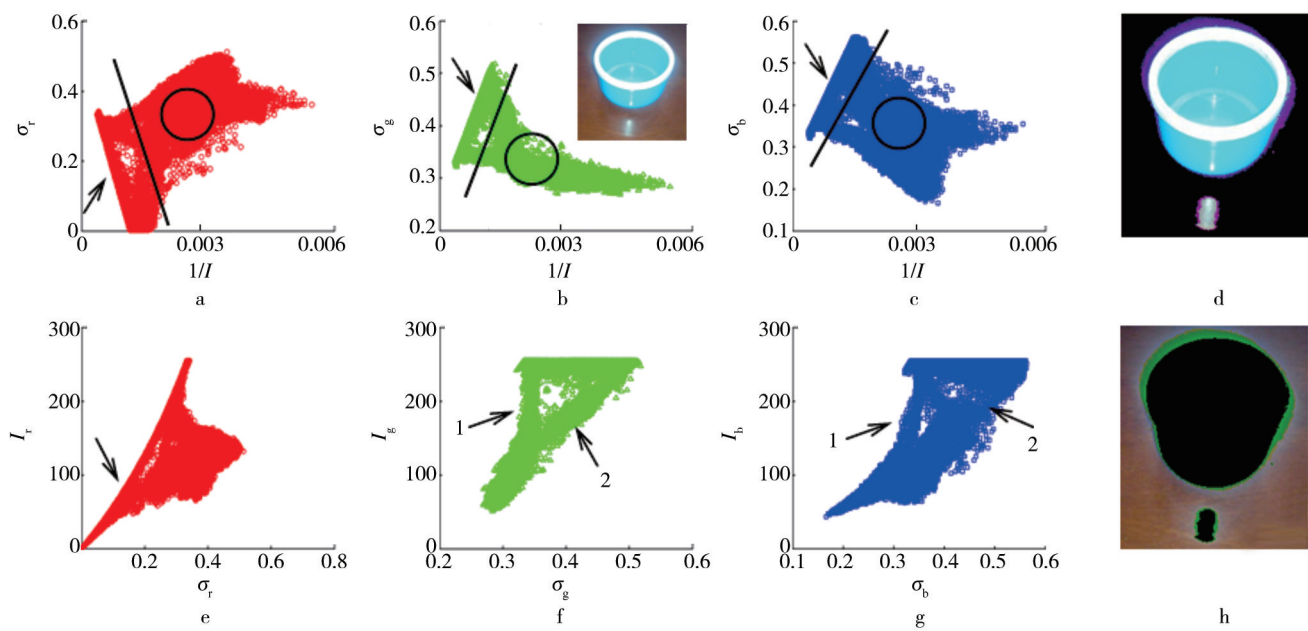


图3 拍摄杯子图像的数据分布特征
Fig.3 Characteristic distributions of cups

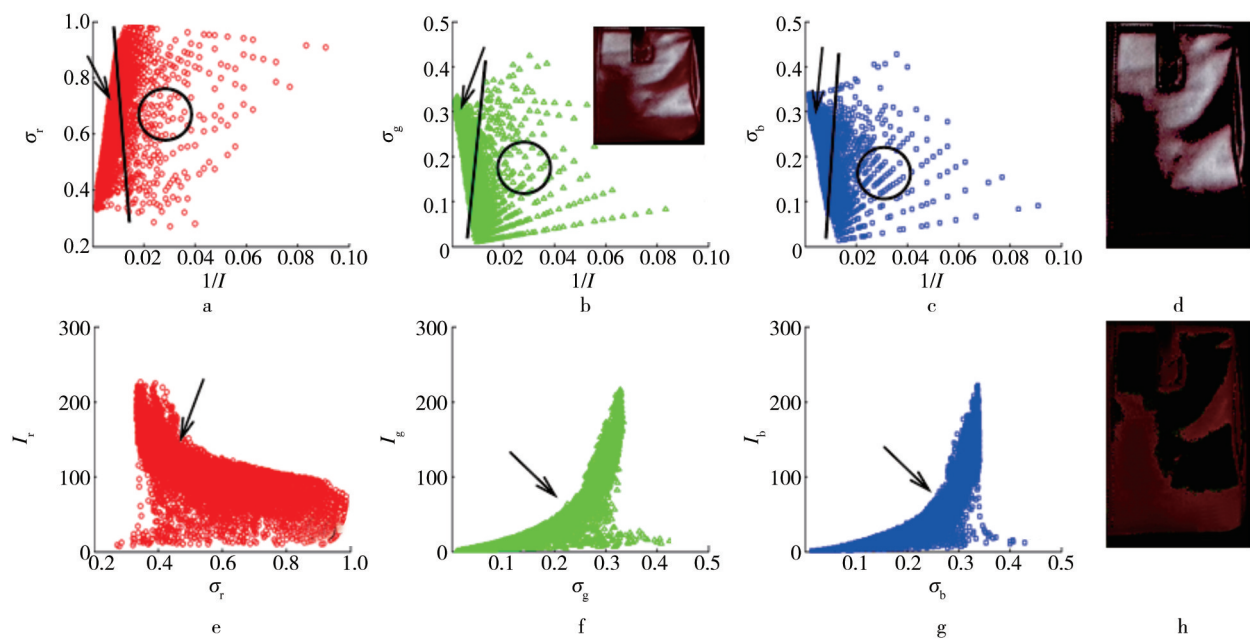


图4 拍摄手提包图像的数据分布特征
Fig.4 Characteristic distributions of handbags under white lights

4 结语

彩色图像是由外界物体的反射光和漫射光的线性组合形成的,前者反映了光照的特征,后者则是物体本质颜色特征的真实体现。文中依据物体成像的物理过程,剖析了图像强度和其内物体及外界光照之间的内在关联性。采用理论分析和实验相结合的方法,

研究了多类图像的颜色色度 σ_c 和 RGB 通道分强度 I_c 及总强度 I 之间的真实数据分布特征,获得了能够有效分离图像反射和漫射分量的方法。研究表明,图像含有反射光信息的像素分布有特定的规律性:图像 σ_c-1/I 分布具有线性特征,其与 σ_c 轴的交点为光源特征点,而图像 $I_c-\sigma_c$ 分布则具有双曲线特征。图像漫射像素的 σ_c 与 I_c 无关,在 $I_c-\sigma_c$ (和 σ_c-1/I) 内具有垂直性

(下转第 169 页)

国防工业出版社,2013.

AN Zheng-tao,GAO Xin-bao,QI Li-lei. Ammunition Storage and Environment Control[M]. Beijing: National Defence Industry Press,2013.

[11] GJB 4403—2002,常规兵器弹药包装定型试验规程[S].

GJB 4403—2002,The Approval Test Procedure for Ammunition Package of Conventional Weapons[S].

[12] GJB 2711—1996,军用运输包装件试验方法[S].

GJB 2711—1996,Test Methods for Military Transport Package[S].

[13] 梁波. 野战弹药封套储存防热技术研究[D]. 石家庄:军械工程学院,2008.

LIANG Bo. Study on Heat Prevention of Field Ammunition Deposited with Envelope[D]. Shijiazhuang: Ordnance Engineering College,2008.

neering College,2008.

[14] GJB 1126—1991,CAG40FD方舱规范[S].

GJB 1126—1991,CAG40FD Shelters Specification[S].

[15] 曾绪斌. 建筑材料燃烧性能分级体系研究[D]. 绵阳:西南交通大学,2011.

ZENG Xu-bin. Study of Fire Classification Systems of Building Materials[D]. Mianyang: Southwest Jiaotong University,2011.

[16] GJB 4853—2003,舰炮弹药包装通用规范[S].

GJB 4853—2003,General Specification for Ammunition Package of Shipboard Gun[S].

[17] GJB 5689—2006,军事装备吊装与固定装置通用要求[S].

GJB 5689—2006,General Demand for Military Equipment Hosting and Fixed Installation[S].

(上接第157页)

直(和水平)直线特征;彩色图像的多个高光点区在 $I_c-\sigma_c$ 图上表现了多曲线相交的特征,使得像素分离变得异常复杂,而其在 σ_c-1/I 图上则仍为规律性强的直线聚集特征。图像反射像素的分布是有规律可循的,而漫射像素的分布与光照无关并聚集在一起,采用特定斜率的直线可以将之有效分离。再结合特定的像素映射转换机制,就能获得图像内物体及外界照明的本质颜色特征,在颜色恒常性、图像理解等方面具有重要的理论和应用价值。

参考文献:

[1] JAVIER R, RAÚL L G, JUAN L N, et al. Color Changes in Objects in Natural Scenes as a Function of Observation Distance and Weather Conditions[J]. Appl Opt, 2011, 50(28):112—120.

[2] VEBJØRN E, FRANZ F. Transparency Perception: The Key to Understanding Simultaneous Color Contrast[J]. J Opt Soc Am A, 2013, 30(3):342—352.

[3] LIU H, KADIR A, GONG P. A Fast Color Image Encryption Scheme Using One-time S-boxes Based on Complex Chaotic System and Random Noise[J]. Opt Commun, 2014, 338:340—347.

[4] KAZUHO F, KEIJI U. Color Constancy in a Scene with Bright Colors That Do Not have a Fully Natural Surface Appearance[J]. J Opt Soc Am A, 2014, 31(4):239—246.

[5] CLAUDIO O, MANUEL M, RAFAEL H. Generalization of Color-difference Formulas for Any Illuminant and Any Observer by Assuming Perfect Color Constancy in a Color-vision Model Based on the OSA-UCS System[J]. J Opt Soc Am

A, 2011, 28(11):2226—2234.

[6] MOON S Y, LEE J P, BAE J H, et al. Measurement of Pupillary Light Reflex Features through RGB-HSV Color Mapping[J]. Biomed Eng Lett, 2015, 5(1):29—32.

[7] FINLAYSON G F, SCHAEFER G. Solving for Colour Constancy Using a Constrained Dichromatic Reflection Model[J]. Int J Comput Vision, 2001, 42(1):127—144.

[8] KWON O, CHIEN S. Estimation of Illuminant Chromaticity Based on Highlight Detection for Face Images with Varying Illumination[J]. Color Res Appl, 2014, 39(2):188—199.

[9] FINLAYSON G D, FUNT B V. Color Constancy Using Shadows[J]. Perception, 1994, 23(1):89—90.

[10] SHENA H L, ZHANG H G, SHAOB S J, et al. Chromaticity-based Separation of Reflection Components in a Single Image[J]. Patt Recog, 2008, 41(1):2461—2469.

[11] LIN S, LI Y, KANG S B, et al. Diffuse Specular Separation and Depth Recovery from Image Sequences[J]. Proc European Conf Comp Visi, 2002, 1(1):210—224.

[12] SUBUDHI B N, PATWA I, GHOSH A, et al. Edge Preserving Region Growing for Aerial Color Image Segmentation[J]. Adv Intell Sys Comput, 2014, 309(2):481—488.

[13] SHAFER S. Using Color to Separate Reflection Components[J]. Color Res Appl, 1985, 10(1):210—218.

[14] TAN R T, NISHINO K, IKEUCHI K. Separating Reflection Components Based on Chromaticity and Noise Analysis[J]. IEEE Trans Patt Ana Mach Intel, 2004, 26(10):2461—2469.

[15] BIRCH P. Intensity Invariant Complex Encoded Color Correlation[J]. Appl Opt, 2012, 51(26):6307—6314.

[16] LECLERCQ M, PICART P. Method for Chromatic Error Compensation in Digital Color Holographic Imaging[J]. Opt Express, 2013, 21(22):26456—26467.