

多光谱颜色复制技术研究发展

王海文¹, 李 杰²

(1. 浙江科技学院 轻工学院, 杭州 310023; 2. 衢州职业技术学院 信息工程学院, 浙江 衢州 324000)

摘 要: 针对基于色度的颜色再现技术存在同色异谱的问题, 综述了基于多光谱的颜色复制技术框架。总结了多光谱颜色复制的7个关键技术, 即多光谱颜色复制系统的设计、多光谱图像的获取、多光谱图像的融合、光谱反射率的重建、多光谱图像降维、光谱分色算法与模型开发以及光谱颜色管理技术, 并指出了多光谱颜色复制技术的研究思路 and 前景。

关键词: 多光谱颜色复制; 多光谱成像; 多光谱图像融合; 光谱反射率重建; 跨媒体颜色复制

中图分类号: TS801.3; TN911.74

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2014)01-0046-06

Research development of multispectral color reproduction technology

WANG Haiwen¹, LI Jie²

(1. School of Light Industry, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China;

2. School of Information Engineering, Quzhou College of Technology, Quzhou 324000, China)

Abstract: For the metamerism issue of chroma color reproduction technology, it expounded the technology framework based on multispectral color reproduction. It summarized seven key technologies of multispectral color reproduction, namely, the design of multispectral color reproduction system, multispectral image acquisition, multispectral image fusion, spectral reflectance reconstruction, dimension reduction of multispectral image, spectral color separation algorithm and model development, spectral color management technology. Meanwhile, it pointed out the research thought and prospect of multispectral color reproduction technology.

Key words: multispectral color reproduction; multispectral imaging; multispectral image fusion; spectral reflectance reconstruction; cross-media color reproduction

收稿日期: 2013-11-12

基金项目: 浙江省教育厅科研计划项目(Y201223999, Y201326661); 浙江省教育科学规划研究课题(2013SCG062); 浙江科技学院科研启动基金资助项目(F015113C01)

作者简介: 王海文(1978—), 男, 山东省青岛人, 讲师, 博士, 主要从事多光谱颜色复制技术、新媒体传播学研究。

多光谱颜色复制技术起源于多光谱成像技术,属于颜色科学与图像处理领域中的新兴交叉学科^[1]。由于当前色度颜色再现技术采用色度值进行颜色信息的传输与再现,无法从根本上保证颜色信息传输再现的唯一性和独立性,因此,尚无法真正实现高保真印刷与跨媒体颜色复制^[2]。同时,当前主流的 ICC (international color consortium) 色彩管理技术存在非实时与无法自适应转换的根本性弊端,无法保证颜色信息传输再现的灵活性和准确性;而当前研究比较热门的基于图像色貌模型 iCAM (image color appearance model) 的色彩管理技术由于技术复杂、参数众多,因此影响了其深入研究的动力,且它需要已知原环境与复制环境的具体条件,故其技术理论也存在较大缺陷^[3-4]。

多光谱颜色复制技术采用多光谱成像技术来采集原稿或者原场景的颜色信息,它始终采用光谱反射率而非色度值来进行颜色信息的采集、处理、传输与再现,而物体的光谱反射率是唯一确定的,不依赖具体的场景条件及媒体特性和观察者影响,因此,可实现任意条件下颜色的精确匹配与再现,可从根本上保证颜色信息的精确传输和再现^[5]。而且它不需要知道原场景和复制场景的具体条件,因此,更利于实现未知环境和虚拟条件下的颜色预测与再现,这对于物体颜色信息的深入分析处理和预测,以及发现原场景某些重要的潜在价值信息等,具有特别重要的意义。因此,多光谱颜色复制技术是实现高保真印刷与跨媒体颜色复制的根本途径,正成为当前国际颜色科学领域的最新研究热点。

但是,当前对于多光谱颜色复制技术的研究刚刚起步,大多停留在基本理论分析与某些技术环节的实验室验证阶段^[6],其重要原因是缺乏系统的研究思路与研究框架指导,其研究比较盲目和无序。因此,笔者在阐述多光谱颜色复制技术实质基础上,基于多光谱成像技术原理、多光谱图像处理理论与印刷复制理论,初步勾画了多光谱颜色复制的理论技术框架。然后面向颜色的高保真复制领域,对多光谱颜色复制的关键技术进行了系统总结,并指出了未来的研究思路 and 方向,以期对多光谱颜色复制技术的研究给予框架性指导,明确研究方向。

1 多光谱颜色复制的理论技术框架

多光谱颜色复制技术是多光谱成像与多光谱图像处理技术在颜色再现与复制领域中新的具体应用,它属于光谱颜色再现的技术范畴^[7],其技术实质可分为 3 个组成部分,即多光谱成像技术(输入端)、多光谱图像处理技术(处理端)与多基色再现技术(输出端)。其中,输入端为多光谱成像技术阶段,它负责采集更宽波段、更微细波分的光谱颜色信息,从而实现原场景颜色信息最大程度的采集和描述;处理端为多光谱图像处理技术阶段,它首先对多光谱图像和全色图像按照一定的规则进行融合,然后对融合的多光谱图像进行光谱反射率的重建,最后基于颜色再现的具体目标进行多光谱图像的降维,从而为颜色信息的准确输出与再现提供更根本、全面的颜色信息支持;输出端为多基色印刷阶段,它首先采用恰当的光谱分色算法与模型,将降维后的光谱反射率信息转换为输出的色度颜色信息,然后采用多基色设备进行印刷输出,进而实现原场景颜色信息的高保真再现与复制。其理论技术框架如图 1 所示。

2 多光谱颜色复制的关键技术

多光谱颜色复制技术是多光谱成像技术、多光谱图像处理技术与多基色再现技术三大技术催生创新的理论技术成果,它是对当前色度颜色再现技术根本性的理论技术革新,同时也是对 ICC 色彩管理技术与基于 iCAM 色彩管理技术的重要创新与修正,它能从根本上避免颜色信息再现的同色异谱问题。而其发展的关键技术基本按照多光谱颜色复制的理论技术框架展开,即多光谱颜色复制的关键技术包括多光谱颜色复制系统的设计、多光谱图像获取技术、多光谱图像融合技术、光谱反射率重建技术、多光谱图像降维技术、光谱分色算法与模型开发及光谱颜色管理技术 7 个方面。

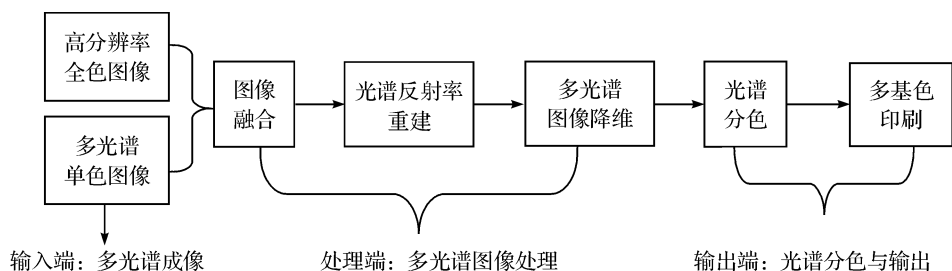


图 1 多光谱颜色复制的理论技术框架

Fig. 1 Theoretical and technological frame of multispectral color reproduction

2.1 多光谱颜色复制系统的设计

多光谱颜色复制系统的设计可从 3 个方面进行考量,即不同的理论技术层面,不同的应用目的,以及不同的技术条件。图 2 是多光谱颜色复制系统的设计框架图。

多光谱颜色复制系统的设计从不同的理论技术层面上来看,逻辑层面按照多光谱颜色复制的基本理论进行系统的分析,构建起完整的框架范畴,这对于多光谱颜色复制系统的设计具有根本性的指导意义,但并非现实的构建系统,它的研究思路和主题是深入分析多光谱颜色复制技术的实质,积极借鉴其他相近学科领域思想,进行系统的规划和设计,找出设计所遵循的共性和原则;技术层面主要解决多光谱颜色复制系统的技术实现问题,它主要考虑具体

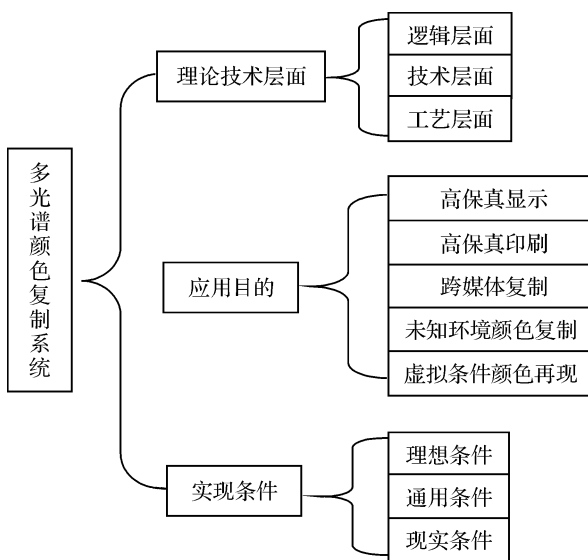


图 2 多光谱颜色复制系统的设计框架图

Fig. 2 Design frame of multispectral color reproduction system

的实现技术和条件,因此具有一定的多元性和复杂性,当前研究的核心问题是实现技术的合理性与有效性;而在工艺层面,主要考虑多光谱颜色复制系统的具体工艺路线与条件等,它考虑的实际问题比较系统和具体,当前面临的主要研究课题是解决工艺实现的不彻底性和局限性。

多光谱颜色复制系统的设计从不同的应用目的来看,高保真显示主要考虑显示设备的呈色原理、最佳显示基色的选择等;高保真印刷主要考虑的问题是多基色油墨的实现性、光谱分色算法和模型的有效性^[8];跨媒体颜色复制所要解决的主要课题是颜色信息编码和解码的宽容性、媒体因素的无关性模型开发;而未知环境颜色复制及虚拟条件颜色再现的技术更加复杂,尤其要注意合理融合色度颜色再现指标,并考虑人眼的视觉特性进行分析和求证。

多光谱颜色复制系统的设计从技术条件来看,理想条件的技术路线虽然最能反映多光谱颜色复制的技术本质,但是无法真正实现,需要进行修正和替代;通用条件的技术路线比较符合多光谱颜色复制系统的基本原理,但是往往受到现实许多条件的制约,实现较为困难,但是可看为理想条件的中试路线,随着理论创新和技术进步,最终是可以实现的;而现实条件的技术路线虽然可以比较完整地实现多光谱颜色复制,但与多光谱颜色复制的技术本质有较多偏离,必将被通用的技术路线所取代。

2.2 多光谱图像获取技术

多光谱图像获取,是指采用多传感器、多波段采集原场景颜色信息的过程。在多光谱颜色复制技术

中,多光谱图像获取技术的核心问题是,保证获取后的多光谱图像与原场景信息保持最大程度的线性响应或者可求逆。为此,在搭建多光谱图像获取系统时要特别注意3个关键要素,即传感器的线性响应程度、滤色片的选用,以及光谱获取环境的均匀性与可控性^[9]。

当前,多光谱图像获取技术研究存在的主要问题是,缺乏搭建多光谱图像获取系统的一般性的理论指导原则,系统构建大多基于经验,精度和效率不够^[10]。另外一个关键问题是,对于多光谱图像的获取质量缺乏系统的评价指标,无法形成图像质量提高的反馈机制。为此,未来的主要研究课题是,深入研究多光谱图像获取系统搭建所遵循的一般原则与注意事项,对于传感器、滤色片及光谱环境等形成全面的挑选与衡量指标,并建立比较有效的多光谱图像的获取质量评价指标和体系。

2.3 多光谱图像融合技术

基于颜色再现的多光谱图像融合,是指通过对高分辨率全色图像与多光谱图像的恰当融合,即基于其多源图像信息的互补性与冗余性,有效利用高分辨率图像丰富的细节特征与多光谱图像丰富的颜色信息特征,同时也能减少一定的无关数据量^[11-12],进而高效地实现原场景信息更精确完整的表达和复制,并且也为后续环节光谱反射率的重建,以及多基色印刷提供完整数据支持与质量评价依据。

当前,在多光谱图像融合技术研究方面,主要集中于遥感图像、医学图像、军事测绘与计算机可视化等领域,对基于颜色再现的多光谱图像融合技术的研究几乎空白^[13]。未来的研究要积极借鉴上述领域的多光谱图像融合技术的研究成果,针对颜色再现领域,提出自身独立的研究思想,融合技术框架、融合方法、融合评价指标等,从而建立起面向颜色再现的多光谱图像融合技术的研究体系,这是未来的核心研究课题与思路。

同时,在多光谱图像融合技术研究方面,要积极借鉴颜色科学领域与视觉神经认知的最新研究成果,譬如合理嵌入基于iCAM的色彩管理技术参与图像的融合运算,使之更加符合人眼系统的评价结果;在图像融合效果评价指标方面,采用视觉神经认知的研究成果并进行合理的移植,从而更加逼近基于颜色再现的图像融合效率。另外,借鉴功能仿生学理论与技术,对传统的多光谱图像融合技术框架进行基于颜色视觉现象的修正,进而适应后续多光谱图像的高保真输出再现,也是一个很好的研究思路。

2.4 光谱反射率重建技术

光谱反射率重建,是指根据融合的多光谱图像重建出原场景的光谱反射率信息,从而为多光谱图像输出提供颜色信息支持,而其关键问题是开发一种能保证降维后的数据在光谱与色度2个方面均能较好地表征原高维光谱的降维方法^[14]。

当前,对于光谱反射率重建的研究相对比较成熟,但是尚缺乏一种通用的光谱反射率重建技术,且重建效率和精度存在一定的制约性。并且当前的研究思路和方法主要集中于相关数学统计方法,以及图像处理方法的移植应用,却缺乏通用性和针对性。因此,未来要开发一种针对各种物体、各种图像颜色的光谱反射率重建技术,为光谱反射率的高效重建提供通用的技术支持。

另外,对于光谱反射率的重建尚缺乏系统的评价指标,并且与色度颜色再现技术的指标缺乏兼容性。因此,建立基于颜色再现的光谱反射率重建评价指标,以及合理兼容当前的色度颜色再现技术指标也是未来的主要研究课题之一。

2.5 多光谱图像降维技术

多光谱图像降维,是指按照颜色再现的具体要求、处理效率等,将光谱反射率重建图像转换为合理维度的简化多光谱图像,为颜色转换与输出再现提供恰当的颜色信息支持。当前主流的多光谱图

像降维方法主要有主成分分析法、独立成分分析法、查找表法,以及神经网络方法等,但是上述降维方法均不能较好地保证颜色信息的保持度,降维处理复杂,效率不高,且颜色信息维度的确定比较盲目^[15]。

因此,未来的主要研究课题是,结合多光谱颜色复制技术的具体应用目的,有效借鉴当前色度颜色再现技术的成果,深入研究多光谱图像降维所遵循的基本原则、降维维数的确定、颜色信息的合理保持度,以及光谱数据与输出色度数据的匹配关系等问题,从而为多光谱颜色复制提供更一般的理论指导原则和系统的研究规范。

2.6 光谱分色算法与输出模型

光谱分色算法,是指将降维后的多光谱图像按照最小同色异谱原则进行多元分色,为图像输出再现和最佳油墨选择提供算法和数据支持。光谱分色算法至少应满足 2 个基本原则:一是能有效克服光谱反射比高维产生的影响;二是对于给出的近似光谱反射比,在不同的光照条件下均有较好的色彩再现质量^[16]。另外,为满足高保真显示、高保真印刷、跨媒体颜色复制,以及未知环境和虚拟条件颜色再现等多元化的需要,光谱分色算法要有一定的自适应性和开放性。

光谱输出模型,是指将光谱图像数据转换为多基色输出设备的色度数据所提供的转换框架和映射关系,其核心是设计一种恰当的中间光谱颜色转换空间,从而实现光谱空间到颜色输出设备空间的良好匹配^[17]。另外,光谱输出模型的设计要特别注重有效性和简易性,使之转换简单,对设备要求不高。

2.7 光谱颜色管理技术

为适应多光谱颜色复制技术的发展及跨媒体颜色复制的需要,必须相应建立光谱颜色管理标准,尤其要建立光谱颜色复制的技术指标及定量评价体系^[18]。光谱颜色管理技术的研究可分为 2 个基本思路:一是借鉴利用当前 ICC 色彩管理技术的设计思想和技术成果,合理嵌入基于 iCAM 的色彩管理技术思想,面向高保真印刷和跨媒体颜色复制创新光谱颜色管理技术的框架和模型,从而实现光谱颜色管理技术的通用性和兼容性;二是面向未知环境及虚拟条件,深入研究光谱颜色管理技术的流程、框架和模型等,为实现光谱颜色管理技术更高的应用提供理论支持。

3 展 望

多光谱复制技术是多光谱成像技术、多光谱图像处理技术和多元颜色输出技术交叉创新的最新研究成果,采用该技术能从根本上避免印刷中的同色异谱问题。它始终采用光谱反射率而非颜色的色度值来进行颜色信息的采集、处理、传输和再现,因此,能从根本上保证实现高保真显示、高保真印刷及跨媒体颜色复制,尤其对于未知环境颜色的预测与再现、虚拟条件颜色再现,以及深入挖掘颜色信息价值等都具有特别重要的意义。

多光谱颜色复制技术的研究可以从不同理论技术层面、不同应用目的及实现条件进行展开,而其发展的关键技术包括多光谱颜色复制系统的设计、多光谱图像获取、多光谱图像融合、光谱反射率重建、多光谱图像降维、光谱分色与输出模型的开发及光谱颜色管理技术 7 个方面。同时,多光谱颜色复制技术的研究要注意借鉴色度颜色再现技术与传统色彩管理技术的有益成果,保持其兼容性和开放性,而其核心是加强理论技术框架的构建与研究思想的归纳创新,从而建立自身比较完善的学科和研究体系。

参考文献:

- [1] 杨卫平,徐楠,段剑金,等. 多光谱成像技术在颜色复制方面的应用及发展[J]. 云南民族大学学报:自然科学版, 2009,18(3):191-197.
- [2] Yamaguchi M, Teraji T, Ohsawa K, et al. Color image reproduction based on the multispectral and multiprimary imaging: experimental evaluation[C]// Color Imaging: Device Independent Color, Color Hardcopy and Application VII, Proceedings SPIE. San Jose, US: International Society for Optics and Photonics, 2001:15-26.
- [3] 蔡圣燕. 基于 iCAM 和实时颜色转换方式对 ICC 色彩管理机制的改进[D]. 郑州:解放军信息工程大学, 2006.
- [4] 杨卫平. 跨媒体颜色复制技术简化研究[D]. 北京:北京理工大学, 2005.
- [5] Wang H W, Li J, Chen G X. Study on key issues of multi-spectral color reproduction technique[J]. Advanced Materials Research, 2011, 174: 93-96.
- [6] 李遂贤. 多光谱彩色成像若干问题研究[D]. 北京:北京理工大学, 2007.
- [7] Imai F, Rosen M, Wyble D, et al. Spectral reproduction from scene to hardcopy I: Input and Output[C]// Proceedings of SPIE. San Jose, US: Society of Photo Optical, 2001:24-31.
- [8] Tzeng D Y, Berns R S. Spectral-based ink selection for multiple-ink printing II. optimal ink selection[C]// Color and Imaging Conference: Society for Imaging Science and Technology. Scottsdale, US: Society for Imaging Science, 1999: 182-187.
- [9] Burns P D, Berns R S. Analysis multispectral image capture[C]// The Fourth Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications. Scottsdale, US: Society for Imaging Science, 1996:19-22.
- [10] Quan S. Evaluation optimal design of spectral sensitivities for digital color imaging[D]. Rochester: Rochester Institute of Technology, 2002.
- [11] 金剑秋. 多光谱图像的融合与配准[D]. 杭州:浙江大学, 2005.
- [12] 陈大可. 多光谱与全色图像融合方法的研究[D]. 长春:吉林大学, 2010.
- [13] 王莹. 多光谱图像色彩再现关键技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2010.
- [14] Chen G X, Wang H W, Li J. Study on the efficient reconstruction method of spectral color information[J]. Advanced Materials Research, 2011, 174:32-35.
- [15] 王莹,王忠民,王义峰,等. 面向色彩再现的多光谱图像非线性降维方法[J]. 光学精密工程, 2011, 19(5):1171-1178.
- [16] 王莹,曾平,王义峰,等. 一种面向多光谱图像的打印分色方法[J]. 光学学报, 2009, 29(8):2122-2127.
- [17] Mitchell R R, Ohta N. Spectral color processing using an interim connection space-based ink[C]// IS & T/SID Eleventh Color Imaging Conference; 2003. Barcelona, Spain: Hewlett Packard Company, 2003:187-192.
- [18] Mitchell R R. Navigating the roadblocks to spectral color reproduction: data-efficient multi-channel imaging and spectral color management[D]. Rochester: Rochester Institute of Technology, 2003.