

基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法

顾轶凡¹, 刘真², 朱明³

(1. 南京林业大学, 南京 210037; 2. 上海理工大学, 上海 200093; 3. 河南工程学院, 郑州 450007)

摘要: **目的** 进一步提高色域映射质量, 深入研究空间色域映射算法。 **方法** 利用高斯拉普拉斯算子对原图的边缘细节进行提取, 叠加到映射后图像上再进行二次映射, 得到的图像使用结构相关性和图像色差模型进行评价, 将数据与最小色差法、CUSP 和 Bala 等人提出的算法进行比较。 **结果** 基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法的结构相关性和图像色差都比 Bala 等人提出的算法要好。对于色彩艳丽、细节丰富的图像, 空间色域映射算法结构相关性和图像色差反而不如普通算法。 **结论** 基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法能够提高图像的映射质量, 但是空间色域映射算法映射质量并不一定优于非空间类色域映射算法。

关键词: 空间色域映射算法; 高斯拉普拉斯算子; 细节保护

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)09-0095-04

Gamut Mapping Algorithm Based on Laplace of Gaussian Function

GU Yi-fan¹, LIU Zhen², ZHU Ming³

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China;

3. Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 450007, China)

ABSTRACT: **Objective** To further improve the quality of gamut mapped image, in-depth research was performed under the frame of spatial gamut mapping algorithms in this paper. **Methods** Laplace of Gaussian function was used to obtain the details of original image to be added in the first mapped image. Then the image was mapped for the second time to make sure the color value was within the target gamut. The data was compared with the minimum color difference method, CUSP and the algorithm proposed by Bala et al. **Results** Gamut mapping algorithm based on laplace of gaussian function was better than the algorithm proposed by Bala et al in the data of structure similarity and image difference. However, the situation was opposite for images with vivid color and rich details. **Conclusion** Gamut mapping algorithm based on laplace of gaussian function could improve the quality of gamut mapped image, but the spatial gamut mapping algorithms were not always better than the common algorithms.

KEY WORDS: spatial gamut mapping algorithm; laplace of gaussian function; protection of details

随着人们对颜色传递准确性需求的增长, 数字图像在不同设备间的传递和再现技术越发重要。为了保证颜色在传递过程中的一致性, 即颜色信息失真最小, 就必须在输入设备、显示设备和输出设备之间进行色域映射^[1-3]。随着研究的深入, 发现保证单个像

素色度值的一致并不能很好地再现人们所看到的图像, 单个像素颜色的准确复制并不能保证图像整体质量, 由此提出了空间色域映射算法的概念。空间色域映射算法在尽可能准确复制色彩的同时, 考虑了图像的空间特性, 更符合人眼视觉特性, 能够更好再现图

收稿日期: 2013-12-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(61301231)

作者简介: 顾轶凡(1989—), 男, 江苏南京人, 南京林业大学硕士生, 主攻色彩管理。

像。文中在空间色域映射的框架下,使用高斯拉普拉斯(LOG)算子提取并保护图像边缘细节,通过实验发现,此算法在对图像细节及颜色还原方面都比较优秀。

1 色域映射

色域映射用于解决颜色在不同设备间传递时的颜色匹配问题,按照算法的应用范围可以将色域映射分为3类:“依赖设备”的色域映射算法、“依赖图像”的色域映射算法和“考虑颜色空间特性”的色域映射算法^[4]。

“依赖设备”的色域映射算法是设备到设备的色域映射算法,这类映射算法不考虑图像的颜色内容,可以很好地与当前的 ICC 色彩管理系统兼容,也可以有效地写入 ICC 特性文件中。由于可以使用查找表方法进行映射,因此这类算法速度较快^[5]。“依赖图像”的色域映射算法是图像到设备的色域映射算法,它考虑了图像的特性,提高了颜色复制的准确性,但是对于每一幅图像都需要进行一次色域描述,增大了计算量。“考虑颜色空间特性”的色域映射算法是空间色域映射算法,它在追求颜色准确的同时也加入了颜色空间特性,更符合人眼的视觉特性^[6-9]。

早期 Meyer 和 Barth 对色域映射算法进行了尝试,他们使用同态滤波将图像分为高频和低频通道,然后对低频通道进行动态范围的全局压缩^[10]。之后 Bala 等人在 Meyer 和 Barth 的基础上进一步研究,先将图像超色域的颜色映射到色域表面最近的点,然后计算原图和初次映射之后图像的明度差,对这个差值高通滤波后与初次映射后的图像叠加,最后再将得到的图像向明度轴上与 CUSP 点明度相等的点进行裁切映射,得到最终图像^[11]。Nakauchi 等人提出了一种截然不同的空间色域映射算法,他先对图像进行映射,然后计算映射后的图像与带通滤波后原图的感知差异,根据人眼对比敏感度函数进行评价,通过反复迭代得到与原图最接近的映射图像^[12]。近几年,对色域映射算法的研究都集中在空间色域映射算法。

2 基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法

2.1 高斯拉普拉斯算子

拉普拉斯算子作为一种优秀的边缘检测算子,在边缘检测中得到了广泛的应用。该方法通过对图

像求二阶导数的零交叉点来实现边缘的检测,由于拉普拉斯算子是通过图像进行微分操作实现边缘检测,所以对离散点和噪声比较敏感^[13-14]。于是,首先对图像的高斯卷积滤波进行降噪处理,再采用拉普拉斯算子进行边缘检测,就可以提高算子对噪声和离散点的鲁棒性,由此就得到高斯拉普拉斯算子。

2.2 算法结构

文中算法所采用的框架见图1。

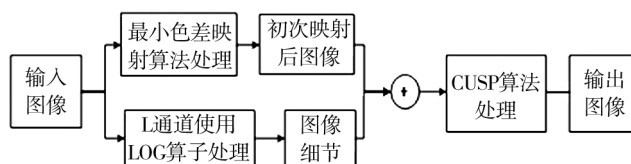


图1 基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法流程

Fig. 1 Flow chart of gamut mapping algorithm based on laplace of gaussian function

输入图像首先采用常规的色域映射算法处理,这里选用最小色差算法,因为该算法能够保持大部分颜色准确传递,映射效果较好。不同于文献[2]中算法,对于原图的亮度通道采用高斯拉普拉斯算子提取原图的细节信息而不是高斯滤波器。之后将细节信息与使用最小色差算法映射后的图像线性叠加,从而弥补最小色差算法的缺陷:由于色域外多个颜色映射到目标色域表面同一点而导致细节或边界的丢失。理论上得到的图像在细节上会优于直接使用最小色差算法映射的图像,但是补充的这部分细节有超出目标色域的可能性,为了保证输出图像的颜色都在目标色域内,需要再次映射。此次映射需要保持颜色之间的对比关系,故采用压缩算法,CUSP 算法是比较典型的压缩算法,且对彩度的保护比较优秀,由此文中采用 CUSP 算法进行第2次映射,得到输出图像。

3 实验过程及分析

3.1 测试图像的选取

文中选取 TID2008 数据库的 kodim03. png, kodim04. png, kodim05. png, kodim14. png, kodim15. png, kodim17. png, kodim23. png, kodim25. png 等8幅图片进行测试^[12]。

kodim03 和 kodim23 测试图像颜色饱和度较高,



图 2 选用的测试图像

Fig. 2 Test images selected

图像变化比较平缓。kodim04 和 kodim05 是细节比较多的图像,如头发、帽子的网格、土地和车轮等,kodim04.png 主要以红色调为主,色域相对 kodim05 较小。kodim14 是颜色分布比较均匀的图像。kodim15 和 kodim17 是细节比较丰富的图像,但是不同于 kodim04 和 kodim05,kodim15 和 kodim17 以暗调为主。kodim25 是计算机制作的测试图像,包含阶调变化细小直线等。8 幅图像各具特点,用来评价算法比较全面,具有一定的说服力。

3.2 数据及分析

将所选取的测试图像逐一使用该算法进行映射,将得到的图像与使用 HPMinDE,CUSP 和 Bala 等人所提出的算法进行映射得到的图像进行比较。文中使用结构相似度和图像色差模型对映射图像进行客观

评价^[15-21],结构相似度用于评价复制图像对原图细节的再现程度,图像色差模型用于评价复制图像对颜色的准确再现情况,具体数据见表 1—2。

表 1 结构相似度的实验数据

Tab.1 Experimental data of structure similarity				
	HPMinDE	CUSP	Bala 算法	文中算法
kodim03.png	0.957 26	0.952 65	0.976 93	0.971 07
kodim04.png	0.973 15	0.980 38	0.959 37	0.957 35
kodim05.png	0.984 79	0.971 03	0.975 55	0.964 83
kodim14.png	0.984 70	0.966 54	0.984 26	0.985 01
kodim15.png	0.915 68	0.921 50	0.975 98	0.977 49
kodim17.png	0.903 82	0.863 59	0.926 43	0.945 26
kodim23.png	0.988 89	0.981 43	0.990 54	0.996 50
kodim25.png	0.939 34	0.939 21	0.958 39	0.960 52

表 2 图像色差模型 S-CIELab 计算所得图像色差数据

Tab.2 Experimental data of image color difference				
	HPMinDE	CUSP	Bala 算法	文中算法
kodim03.png	1.2126	4.5928	1.2245	0.912 28
kodim04.png	0.450 13	0.736 39	0.851 21	0.559 72
kodim05.png	0.478 55	3.2652	1.8261	1.3363
kodim14.png	3.4929	4.5117	2.4115	1.16
kodim15.png	3.3212	6.2625	1.3149	0.749 92
kodim17.png	0.374 99	3.2417	1.3947	0.321 79
kodim23.png	0.362 53	1.8475	0.787 28	0.113 61
kodim25.png	6.9645	3.4263	5.4785	6.2149

为了更好地分析,将数据用折线图的方式表现,见图 3。从整体上看基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法,无论是在颜色还是在纹理还原上都优于 HPMinDE 和 CUSP 算法,也优于 Bala 等人所提出的空间色域映射算法。值得注意的是,在自然景色图片中,使用文中算法和 Bala 算法处理的 kodim15 和 kodim17 的 ssim 值明显高于其他算法,说明该空间色域映射算法对于暗调为主且细节比较丰富的图像处理效果较好。kodim14 在 ssim 值上,各种算法相差不大,但在图像色差上,文中算法和 Bala 算法具有一定优势,说明该空间色域映射算法对于颜色分布比较均匀的图像的颜色还原比较准确,对细节的保护比较好但不具备优势。kodim04 和 kodim05 2 幅图像出现了特殊情况,无论是图像色差还是结构相关性数据,文中算法和 Bala 算法都不如常规色域映射算法,这 2 幅图像的颜色都比较艳丽,且细节丰富。kodim25 是电脑制作的测试图像,数据显示该空间色域映射算法对

细节的保护是优秀的,但是图像色差较大。

的图像就会出现缺陷,此问题有待进一步研究。

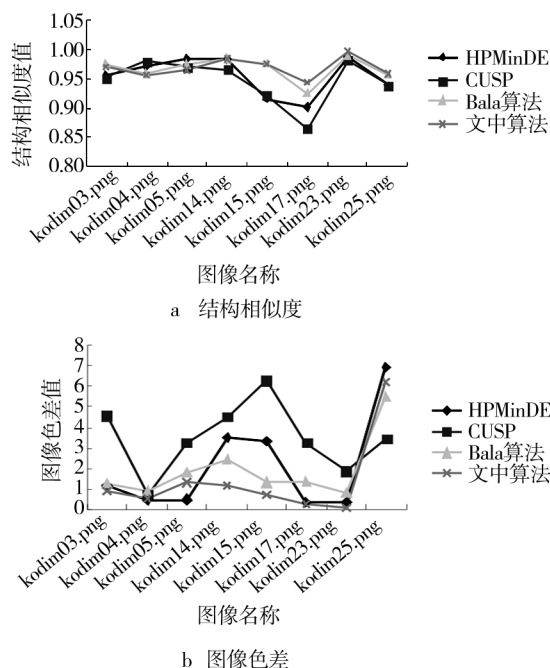


图3 结构相似度和图像色差折线

Fig.3 Chart of structure similarity and image color difference

综上所述,基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法对图像的映射效果优于 HPMinDE 和 CUSP 等常规色域映射算法及 Bala 提出的算法。HPMinDE 和 CUSP 等算法,只考虑了图像单个像素的色度值,没有周围像素对其影响。基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法和 Bala 提出的算法都属于空间色域映射算法,考虑了图像的空间特性,对于原图中值相同而位置不同的像素点经过映射后颜色值有可能发生变化,更符合人眼视觉特性,而且都对映射图像补偿了细节,所以质量较优。高斯拉普拉斯算子作为不错的边缘检测算子,对边缘细节的提取有着不错的表现,由此质量也优于 Bala 提出的算法。

4 结语

基于高斯拉普拉斯算子的色域映射算法在空间色域映射补偿算法中引入高斯拉普拉斯算子,利用高斯拉普拉斯算子将原图的边缘细节提取出来,并补偿到映射图像上。该算法对图像的映射效果优于 HPMinDE 和 CUSP 等常规色域映射算法及 Bala 等人提出的算法。实验过程中也发现,该空间色域映射算法并不都适用于任何类型的图像,如色彩艳丽细节丰富

参考文献:

- [1] 孟凡亚. CIECAM02 均匀性和色域映射算法研究[D]. 南京:南京林业大学,2009.
MENG Fan-ya. The Research on Uniformity and Gamut Mapping Based on CIECAM02 [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009.
- [2] 李栋,宗慧超,徐兰萍,等. 基于 ICC 标准的印刷色彩管理色域映射意图自动选择的研究[J]. 包装工程,2009,30(2):91—94.
LI Dong, ZONG Hui-chao, XU Lan-ping, et al. Research of Auto-selection for Gamut Mapping Intents in Printing Color Management Based on ICC Standards [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2): 91—94.
- [3] 王海文,李杰,万晓霞. 异种类型显示器间的色域映射技术研究[J]. 包装工程,2008,29(6):17—20.
WANG Hai-wen, LI Jie, WAN Xiao-xia. Research on Gamut Mapping Technique between Heterogeneous Monitors [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6): 17—20.
- [4] RAJA B, RICARDO DE Q, REINER E, et al. Gamut Mapping to Preserve Spatial Luminance Variations[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 2001, 5(45): 436—443.
- [5] 李效周. 基于色貌模型的高保真颜色再现色域映射理论与方法研究[D]. 广州:华南理工大学,2012.
LI Xiao-zhou. Study on Color Gamut Mapping Theory and Method Based on Color Appearance Model of High Fidelity Color [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [6] GUSTAV J B, FAIRCHILD M D. Gamut Mapping for Pictorial Images [C]//TAGA 51st Annual Conference, 1999: 645—660.
- [7] MOROVIC J, WANG Yu. A Multi-resolution, Full-colour Spatial Gamut Mapping Algorithm [C]//IS & T/SID Eleventh Color Imaging Conference, 2003: 282—287.
- [8] MOROVIC J M, RONNIER L. Calculating Medium and Image Gamut Boundaries for Gamut Mapping [J]. Color Research and Application, 2000, 6(25): 394—401.
- [9] 杨露,刘真. 带插值最小二乘法在打印机电色域边界描述中的应用研究[J]. 包装工程,2013,34(11):80—84.
YANG Lu, LIU Zhen. Application Research of Least Squares with Interpolation in Printer's Gamut Boundary Description [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(11): 80—84.
- [10] MEYER J, BARTH B. Color Gamut Matching for Hard Copy [J]. Proc SID Dig, 1989: 86—89.

- [7] 洪亮,朱明. BP神经网络在显示器色空间转换中的应用[J]. 包装工程,2013,34(19):83—86.
HONG Liang,ZHU Ming. Application of BP Neural Network in the Display of the Color Space Transformation[J]. Packaging Engineering,2013,34(19):83—86.
- [8] 李丽霞,张逸新. 神经网络在色空间转换中的应用[J]. 包装工程,2011,32(9):108—110.
LI Li-xia,ZHANG Yi-xin. Application of Neural Network in Color Conversion[J]. Packaging Engineering,2011,32(9):108—110.
- [9] FU J Y,LIANG S G,LI Q S. Prediction of Wind-induced Pressures on a Large Gymnasium Roof Using Artificial Neural Networks[J]. Computers & Structures,2007,85(3/4):179—192.
- [10] CHEN W N,ZHANG J,CHUNG H S H,et al. A Novel Set-based Particle Swarm Optimization Method for Discrete Optimization Problems[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation,2010,14(2):278—300.
- [11] HO Shinn-ying,LIN Hung-sui,DAUB Weei-hung,et al. Orthogonal Particle Swarm Optimization and Its Application to Task Assignment Problems[J]. IEEE Transactions on Systems,Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans,2008,38(2):288—298.
- [12] RAMAZAN C. A Fuzzy Controller Design for Nuclear Research Reactors Using the Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Nuclear Engineering and Design,2011,241(5):1899—1908.
- [13] 马丽丽,王晓红. 基于混合粒子群的多目标数字印刷智能排活系统的优化研究[J]. 包装工程,2011,32(9):15—19.
MA Li-li,WANG Xiao-hong. Research on Optimization of Multi Intelligent Printing Hybrid Particle Swarm Optimization Dispatching System[J]. Packaging Engineering,2011,32(9):15—19.
- [14] LI Xiao-yuan. A New Improved BP Neural Network Algorithm[J]. IEEE,2009(1):19—22.
- [15] 张元标,吕广庆. 基于混合粒子群算法的物流配送路径优化问题研究[J]. 包装工程,2007,28(5):10—12.
ZHANG Yuan-biao,LYU Guang-qing. Study of Logistics Distribution Path Optimization Based on Hybrid Particle Swarm Algorithm[J]. Packaging Engineering,2007,28(5):10—12.
- [16] ZHANG Shi-hai,OU Jin-ping. BP-PSO-based Intelligent Case Retrieval Method for High-rise Structural form Selection[J]. Science China Technological Sciences,2013,56(4):940—944.
- (上接第98页)
- [11] WANG Yi-feng,ZENG Ping,LUO Xue-mei. Color Gamut Mapping Based on Image Fusion[J]. CSSE,2008,369:801—805.
- [12] NAKAUCHI S,IMAMURA M,USUI S. Color Gamut Mapping by Optimizing Perceptual Image Quality[C]//In Proc IS&T and SID's 4th ColorImaging Conf: Color Science, Systems and Applications, Scottsdale,1996:63—66.
- [13] 马娅丽,熊淑华,黑建业. 一种改进的 LOG 边缘算法研究[J]. 计算机技术与发展,2013,23(9):6—9.
MA Ya-li,XIONG Shu-hua,HEI Jian-ye. Research on an Enhanced LOG Edge Algorithm[J]. Computer Technology and Development,2013,23(9):6—9.
- [14] 赵景秀,韩君君,王摇箐,等. 一种改进的 LOG 图像边缘检测方法[J]. 计算技术与自动化,2009,28(3):74—77.
ZHAO Jing-xiu,HAN Jun-jun,WANG Yao-jing,et al. An Improved LOG Image Edge Detection Method[J]. Computing Technology and Automation,2009,28(3):74—77.
- [15] Kodak. TID2008[DB/OL]. [2012-10-28]. <http://r0k.us/graphics/kodak/index.html>.
- [16] 于惠,刘真. 基于混合色适应转换的图像色差模型研究[J]. 包装工程,2013,34(3):21—25.
YU Hui,LIU Zhen. Research of Image Color Difference Model Based on Mixed Chromatic Adaptation Transform[J]. Packaging Engineering,2013,34(3):21—25.
- [17] 许向阳,张旭亮,李博. 基于颜色属性相关性的图像色差公式的研究[J]. 包装工程,2013,34(13):98—101.
XU Xiang-yang,ZHANG Xu-liang,LI Bo. Image Color Difference Formula Based on Correlation of Color Attribute[J]. Packaging Engineering,2013,34(13):98—101.
- [18] 武海丽,黄庆梅,苑馨方,等. 基于 S-CIELAB 和 iCAM 模型的图像颜色质量评价方法的实验研究[J]. 光学学报,2012,30(12):3447—3453.
WU Hai-li,HUANG Qing-mei,YUAN Xin-fang,et al. Experimental Research of Evaluating Methods of Image Quality Based on Models of S-CIELAB and iCAM[J]. Acta Optica Sinica,2012,30(12):3447—3453.
- [19] POIRSON A,WANDELL B. S-CIELAB:A Spatial Extension to the CIEL*a*b* DeltaE Color Difference Metric[DB/OL]. <http://white.stanford.edu/brian/scielab/scielab.html>.
- [20] ZHANG X M,WANDELL B A. A Spatial Extension to CIELAB for Digital Color Image Reproduction[J]. Soc for Info Disp Symp Tech Digest,1996,27:731—734.
- [21] WANG Z,BOVIK A C,SHEIKH A C,et al. Simoncelli, Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2004,13(4):600—612.