

一种基于双滤波的空间图像色域映射算法

王 娜^{1,2}, 朱 明², 陈广学¹

(1. 华南理工大学制浆造纸工程国家重点实验室, 广东广州 510640; 2. 河南工程学院, 河南郑州 450007)

摘 要: 针对逐点色域映射方法在图像色域映射时出现的细节损失较大的问题, 本文提出了一种新的空间图像色域映射方法. 新方法采用双滤波技术将输入图像分解为对应边缘轮廓信息的基础层图像和对应纹理细节信息的细节层图像, 先对基础层图像进行彩度优先的逐点色域裁剪, 然后将细节层信息补偿给色域裁剪后的图像. 最后对细节补偿后的图像进行亮度优先的色域裁剪, 从而得到最终的映射图像. 本文还分析了双滤波参数设置对色域映射结果和光晕的影响, 得出了合理的双滤波参数设置. 通过心理物理学实验可以验证: 新方法的性能与经典的细节补偿类映射方法相当. 另外, 新方法在色域映射过程中还能更加有效地抑制光晕的产生.

关键词: 空间色域映射; 双滤波; 图像分层; 光晕

中图分类号: TP391; TP37

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2016)08-1924-08

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2016.08.022

A Spatial Gamut Mapping Algorithm Based on Bilateral Filter

WANG Na^{1,2}, ZHU Ming², CHEN Guang-xue¹

(1. State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

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

Abstract: A spatial Gamut Mapping Algorithm (GMA) was proposed in order to avoid the detail loss produced by pointwise GMAs. Firstly, the bilateral filter was employed to decompose the original image into a base layer image (containing image-edge information) and a detail layer image (containing image-texture information). Then the base layer image was gamut-clipped by the pointwise GMA that emphasizes chroma over luminance preservation. After the first gamut mapping process, the detail layer was added to the gamut-clipped base layer image. Finally, the merged image was gamut-clipped again by another pointwise GMA that emphasizes luminance over chroma preservation to get the final gamut-mapped image. The influences of different bilateral filter parameters on gamut mapping results and halo-artifacts were analyzed. The psychophysical experimental results show that the proposed spatial GMA with proper bilateral filtering parameters performs significantly better than standard pointwise GMAs and has almost same performance as another classical spatial GMA. In addition, the proposed spatial GMA can reduce the halo-artifacts much more effectively.

Key words: spatial gamut mapping; bilateral filter; image layering; halo-artifacts

1 引言

色域映射是跨媒体图像复制中的关键技术. 与传统的逐点色域映射方法有所不同, 空间色域映射方法考虑到每个映射点的空间领域色貌对该点映射值的影响, 因此更加符合人眼视觉特性, 是一种更加合理的色域映射方法^[1]. 目前的空间色域映射算法主要分为两大类: 迭代优化法^[2-4]和细节补偿法^[5-8]. 迭代优化法

主要通过对原图像进行迭代映射计算, 每次映射结束后需要借助图像质量评价模型计算映射结果与原图像之间的图像视觉量化差别, 当量化差别值低于所设定的标准时, 认为映射结果已经满足要求, 迭代结束. 迭代优化法的映射准确性较高, 但需要依赖复杂的图像质量评价模型, 而且需要多次映射, 因此运算效率较低. 细节补偿类算法首先借助图像频带分解的方法提取原始图像的低频基础层图像(对应图像的边缘轮廓信息)和

收稿日期: 2015-07-27; 修回日期: 2015-11-26; 责任编辑: 马兰英

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61301231); 河南工程学院数字印刷色彩控制研究中心(No. YJJ2013003); 河南工程学院博士基金(No. D2012027)

高频细节层图像(对应图像细节信息),然后将细节层信息补偿给色域映射后的基础层图像,最后再对细节补偿后图像进行二次映射.细节补偿类算法能够有效避免逐点映射造成的图像细节丢失,同时又有较高的运算效率.目前比较典型的细节补偿类算法有:Bala, Zolliker, Bonnier 等人提出的二级映射算法^[5-7], Morovic^[8]等人提出的多频带映射算法.由于需要将原始图像的高频细节信息补偿到映射后图像,因此该类算法可能在映射结果中产生光晕和色偏.

针对迭代优化法和细节补偿法的特点,本文提出了一种基于双滤波分层的空间图像色域映射方法.目的是在不影响运算效率的前提下,解决逐点色域映射方法在图像色域映射时出现的细节损失较大的问题,提升映射图像的色貌复制准确性.新方法应用双滤波技术对原始图像进行滤波分解,先对滤波分层后的低频基础层图像进行第一次色域映射,然后再将映射后图像与高频细节层图像合并以补偿映射过程中可能损失掉的细节信息,最后对细节补偿后的图像进行第二次映射,得到最终结果图像.

2 基于双滤波的图像色域映射算法

2.1 基于双滤波的图像分层原理

双滤波是一种非线性滤波方法,它将一个定义域(空间域)低通滤波器和值域(亮度域)低通滤波器组合在一起^[9,10].图像中某一像素的双滤波值可以计算为:与该像素空间位置邻近和色貌值相近的所有像素的亮度加权平均值.因此当使用双滤波对图像进行低通平滑处理时,可以完整地保留图像的边缘轮廓信息,同时也能够有效减弱图像低通滤波中经常出现的光晕效应,所以双滤波也可称为边缘保持滤波.图像中某一像素 s 的双滤波输出 J_s 可用式(1)来计算,其中 p 为滤波中心像素 s 的邻域像素, I_s 和 I_p 分别为像素 s 和 p 的像素值. $f(p-s)$ 和 $g(I_p-I_s)$ 分别是空间域和亮度值域中的低通高斯滤波函数,因此根据式(1)也可以将图像中某一像素的双滤波输出看作是一个空间域高斯滤波和亮度域高斯滤波的乘积对每个邻近像素的亮度加权均值. $K(s)$ 为规范化因子,它可以确保所有邻域像素对应的权重值加和为 1^[11].

$$J_s = \frac{1}{k(s)} \sum_{p \in \Omega} f(p-s) g(I_p - I_s) I_p \quad (1)$$

其中, $k(s) = \sum_{p \in \Omega} f(p-s) g(I_p - I_s)$

式(2)和式(3)分别代表空间域和值域高斯核函数, $d(p,s)$ 和 $\delta(I_p-I_s)$ 分别代表像素 p 和 s 的空间距离和亮度绝对差值. σd 为空间域高斯核函数的宽度参数, σr 为值域(亮度域)高斯核函数的宽度参数,用于控制值域滤波的像素合并量.在空间滤波半径内,与中心像

素亮度差小于 σr 的像素才能参与滤波计算,而差值大于 σr 的像素则被忽略,因此 σr 是保持图像边缘轮廓的关键参数.由于本文提出的色域映射算法仅对输入图像的亮度通道进行滤波分层,因此 $\delta(I_p - I_s)$ 可以用两个像素间的亮度差来计算.计算输入图像中每个像素的双滤波可以得到一幅纹理细节被去除,但却保留了边缘轮廓信息的图像,称其为低频基础层图像 $I_{\text{base}}(x, y)$,从原始图像 $I(x, y)$ 中减去基础层图像就可以得到高频细节层图像 I_{detail} ,如式(4)所示.

$$f(p-s) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{d(p,s)}{\sigma d} \right)^2} \quad (2)$$

$$g(I_p - I_s) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\delta(I_p, I_s)}{\sigma r} \right)^2} \quad (3)$$

$$I_{\text{detail}}(x, y) = I(x, y) - I_{\text{base}}(x, y) \quad (4)$$

2.2 色域映射算法原理和框架

图 1 显示了新算法的框架.由于图像的局部亮度对比度反映图像的细节信息,因此假设图像细节信息仅包含在亮度通道内,那么新算法就只对图像亮度通道进行双滤波分层处理.如果输入图像不是 CIE-Lab 颜色模式的,就需要先使用颜色特征化模型将图像转换为 CIE Lab 模式,然后使用双滤波器对图像 L 通道(亮度通道)进行处理,得到 L 通道基础层信号 L_{base} ,如式(5)所示;

$$L_{\text{base}} = \text{BilateralFilter}(L) \quad (5)$$

然后用原始 L 通道信号减去 L_{base} 得到 L 通道细节层信号 L_{detail} ,如式(6)所示.

$$L_{\text{detail}} = L - L_{\text{base}} \quad (6)$$

滤波分层后,将 L_{base} 与 a, b 通道重新组合得到基础层图像 I_{base} ,并对 I_{base} 进行第一次逐点色域映射过程 G_1 ,得到映射后图像 $I_{\text{first_mapped}}$,如式(7)所示.同时对 L 通道细节层信号 L_{detail} 进行适当增强,以改善映射图像细节,如式(8)所示, $L_{\text{detail_enhanced}}$ 为细节增强后的图像亮度信号,“ n ”为增强系数. $n=1$ 表示无细节增强,但过大的 n 值会使得细节增强过度而造成图像严重失真.根据图像映射实验,对于所有输入图像而言,系数“ n ”都可取值在 $[1 \ 1.5]$ 之间,本文设置 $n=1.4$.

$$I_{\text{first_mapped}}(L_{\text{first_mapped}}, a_{\text{first_mapped}}, b_{\text{first_mapped}}) \quad (7)$$

$$= G_1(L_{\text{base}}, a, b)$$

$$L_{\text{detail_enhanced}} = L_{\text{detail}} \times n, n=1.4 \quad (8)$$

最后,将增强后的细节层信号 $L_{\text{detail_enhanced}}$ 补偿给第一次映射后的基础层图像,再对细节补偿后的图像进行第二次色域映射 G_2 ,得到最终的映射结果图像 I_{final} ,如式(9)所示.

$$I_{\text{final}} = G_2(L_{\text{first_mapped}} + L_{\text{detail_enhanced}}, a_{\text{first_mapped}}, b_{\text{first_mapped}}) \quad (9)$$

在图 1 所示的算法框架中,将 G_1 选择为色相角保持的最小色差法(HpMinDE: Hue-preservation Minimum

ΔE),该方法将色域外颜色映射为等色相角平面内距离色域边界最近的点.这种映射方法相对亮度来说优先保持彩度.因此,当使用 HpMinDE 方法进行第一次色域映射后,基础层图像彩度保持较好,亮度损失较大.当把亮度通道细节层信号 L_{detail} 补偿给映射后基础层图像后,第二次映射 $G2$ 就应该选择能够优先保持亮度的映射算法.因此可将 $G2$ 选择为 CUSP_CLIP 算法^[12],首先定义 CUSP 点为等色相角平面内具有最大彩度值的色域边界点,所谓 CUSP_CLIP 算法就是以亮度轴上对应 CUSP 点亮度值的颜色点为映射中心,将色域外颜色映射到色域边界.图 2 显示了 HpMinDE 和 CUSP_CLIP 两种映射方法的对比,图中所示为实验中截取的 58 度色相角平面的色域边界图,平面内 F 点为亮度轴上对应 CUSP 点的映射中心点.以色域外颜色点 P 为例,如果使用 CUSP_CLIP 算法,那么 P 点将以 F 点为中心映射到色域边界 C 点,但如果使用 HpMinDE 算法, P 点将沿最近距离映射到色域边界 D 点.根据映射结果点的位置可以看出,CUSP_CLIP 算法更加强亮度保持而不是彩度保持,尤其对于色域边界附近的颜色.

2.3 双滤波参数对图像映射效果的影响

图 3 显示了不同双滤波参数对测试图像“II9”L 通道细节层的影响,图中左上部分为原始输入图像,右侧部分依次为使用不同双滤波参数获得的 L 通道细节层图像.图 4 则显示了相应双滤波参数下的图像映射结果.从图 3 可以看出:当 σr 保持不变($\sigma r = 10$)时,随着空间域滤波宽度参数 σd 的增大,图像低通模糊总量也在增大,分层后的 L 通道细节层图像也相应增强.因此经过细节补偿后,最终映射图像的局部细节也略微增强,映射效果略微改善.图 4 显示了当 σr 保持不变($\sigma r = 10$)时,不同 σd 取值产生的图像映射结果,随着 σd 值的增大,图像中红色方框内部区域的细节明显增强.

但当 σd 值过大时($\sigma d = 8$),这时的双滤波本质上相当于一个值域滤波^[10],再增大 σd 也不会改变细节层,因此最终映射图像也将保持不变.而当 σd 保持不变($\sigma d = 3$)时,随着 σr 的增大,值域滤波的像素合并量随之增大,细节层也相应增强.因此最终映射图像的局部细节也略微增强,映射效果略微改善;同样地,当 σr 值过大时($\sigma r = 70$),双滤波将等效为一个空间域滤波^[10],这时 σr 的增大将不再影响细节层,最终映射图像也将保持不变.

由图像映射实验和上述分析可知,在色域映射流程中,设置过大的 σd 和 σr 值都不会对细节补偿产生实质性作用,也不会影响到最终映射效果.相反,过大的 σd 和 σr 值还有可能在图像中颜色差别较大的边界位置产生光晕现象^[13].以图 5 所示的测试图像为例,观察测试图像左下方“红色方块”与中心“灰色方块”的边缘交界位置.在该边缘位置像素进行双滤波时,与滤波中心像素值相差小于 σr 的邻域像素将参与滤波运算,反之则不参加运算.因此当参数 σd 固定不变时($\sigma d = 5$),随着参数 σr 的提高,边界位置产生的光晕也在增强;但当 $\sigma r = 10$,此时 σr 值小于边缘位置两侧之间的亮度差值,那么该边缘位置两侧的像素将不参加滤波运算,因此这些边缘位置上的光晕消失了.分别以“红色方块”与其中中心“灰色方块”边缘交界位置处的像素 rb 和“红色方块”内部像素 ri ,以及“黄色方块”与其中中心“灰色方块”交界位置处的像素 yb 和“黄色方块”内部像素 yi 为例进行光晕的量化分析,如图 5 左下部分.在原始测试图像中,像素 rb 和像素 ri 的 CIELab 值相同(CIELab:42,66,53),像素 yb 和像素 yi 的 CIELab 值也相同(CIELab:88,2,86).保持参数 σd 不变($\sigma d = 5$),当 $\sigma r = 30$ 时,映射结果中 rb 和 ri 两个像素间的 CIELab 色差达到 19.1,光晕现象明显;当 $\sigma r = 20$ 时,这两个像素

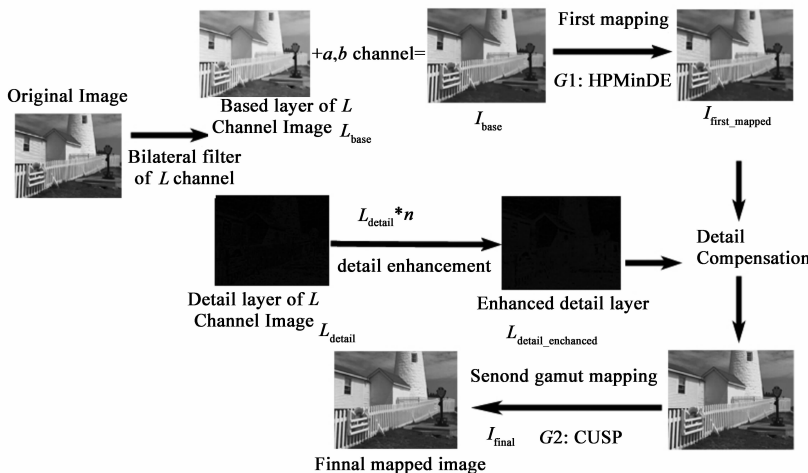


图1 色域映射算法的框架

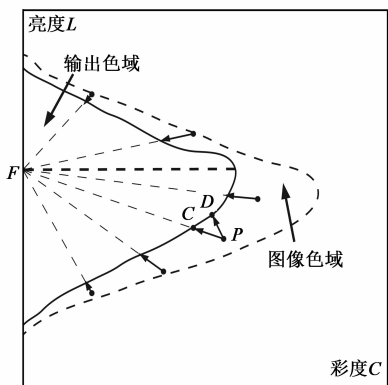


图2 等色相角平面内的HpMinDE和CUSP色域裁剪算法

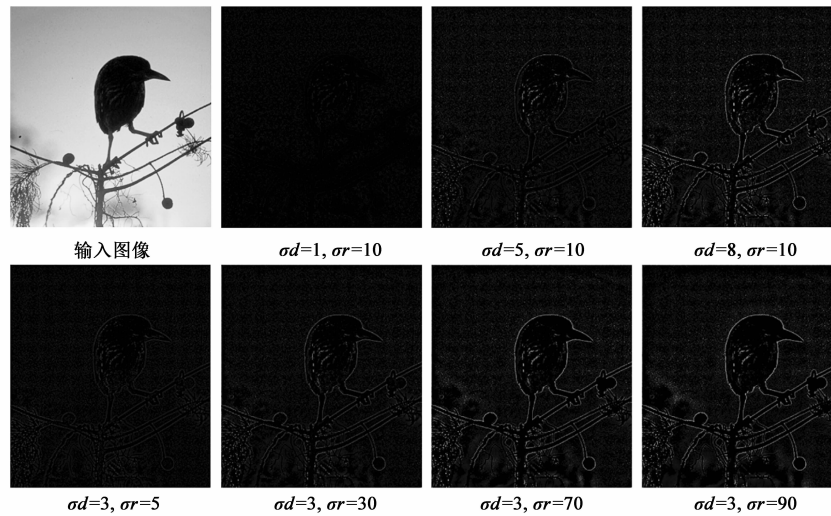


图3 使用不同双滤波参数得到的测试图像“sunset_sparrow”L通道的细节层

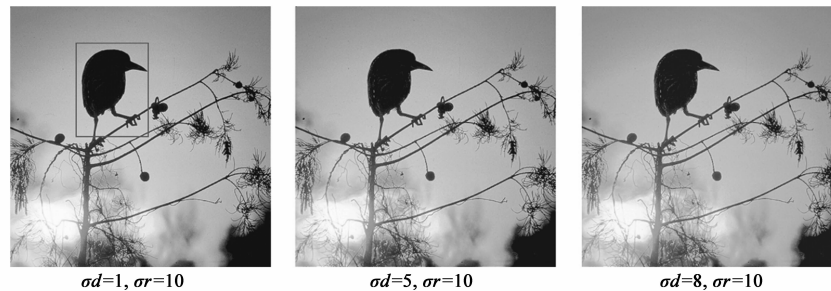


图4 不同双滤波参数下的图像映射结果

间的色差降至 11.4, 光晕仍然可见; 但当 $\sigma_r = 10$ 时, 该色差降低至 1.4, 光晕基本消失. 而此时“黄色方块”与中心“灰色方块”的交界位置处还存在着微弱的可视光晕, 像素 y_b 和像素 y_i 映射后的色差为 6.0, 这是因为此时 σ_r 值还大于“黄色方块”与“灰色方块”间的亮度差值, 但当 σ_r 值降低至 $\sigma_r = 5$ 时, 像素 y_b 和 y_i 映射后的色差变为 0, 此处的光晕也随之消失. 因此参数 σ_r 本质上是一个光晕产生的阈值. 图 6 显示了不同空间域滤波参数 σ_d 产生的光晕效果, 为了增强光晕可视性便于读者阅读, 将 σ_r 值固定为 30. 从图中可以看出: 当 $\sigma_d < 2$ 时, 光晕很弱, 在图像中几乎不可视; 随着 σ_d 值的增大, 光晕强度逐渐增强, 但当 σ_d 值趋近 5 时, 光晕强度将停止增强.

综上所述, 双滤波参数 σ_d 和 σ_r 都会影响色域映射的最终效果, 过小的 σ_r 和 σ_d 值虽然会减弱可能出现的光晕, 但同时也会削弱色域映射的细节补偿能力; 但随着 σ_r 和 σ_d 值的增大, 对映射图像细节补偿的同时, 光晕也在增强; 当 σ_r 和 σ_d 值过大时, 细节补偿和光晕增强都会停止. 因此可以将 σ_d 值设置的稍大, 以增强细节层信号, 改善映射图像的细节层次; 同时可将 σ_r 值设置的稍小, 目的是降低光晕产生的阈值. 根据上述分析和图像映射实验, 综合考虑色域映射的图像偏好性和色貌复制准确性, 新映射算法中使用的滤波分

层参数设置如式(10)所示.

$$\sigma_d = 3.0, \sigma_r = 25 \quad (10)$$

3 实验与结果分析

3.1 算法评价的实验原理和条件

本文通过将新算法与其它不同类型的色域映射算法进行横向比较来评价新算法的性能. 为增强算法评价的说服力, 实验选择四种色域映射算法作为横向比较算法(测试算法), 分别是: 两种标准的色域裁剪算法 (HPMinDE 和 CUSP_CLIP), 一种色域压缩算法 CUSP_MAP(以亮度轴上等于 CUSP 点亮度值的中性灰点为映射中心, 将色域外颜色等比例压缩到色域边界内某点) 和一种经典的空间色域映射算法 (Bala 的二级映射算法). 从 TID2008 图像库 (I02, I03, I04, I18, I19, I23), CSIQ 图像库 (sunset_sparrow, trolley, sunsetcolor) 和 GATF Digital Test Form 4.1 (GATF-image1) 中共选取 10 幅测试图像, 这 10 幅图像涉及不同亮暗调和不同主色调, 包括平滑和纹理区域, 高饱和颜色区域, 人物肤色以及中性灰区域等特征, 如图 7 所示. 所有测试图像均使用 NEC 显示器的 ICC profile 从 RGB 颜色空间转至 CIELab 空间, 而映射目标色域则从 HP z3200 打印机的 ICC profile 中提取, 色域边界描述方法使用分区最大边

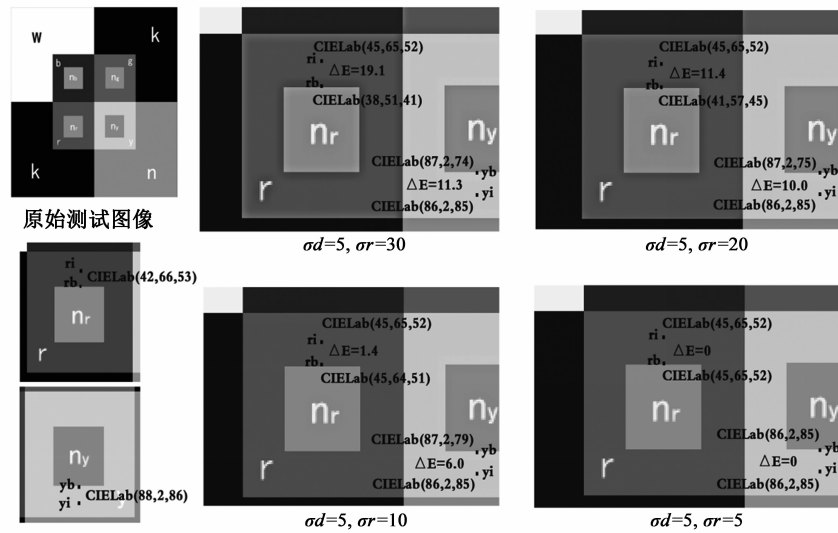


图5 不同的值域双滤波参数值 σ_r 产生的光晕效果

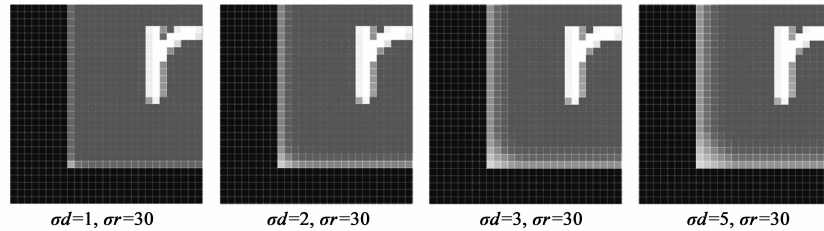


图6 不同的空间域滤波参数 σ_d 产生的光晕效果

界描述法 (Segment Maxima Gamut Boundary Descriptor, SMGBD)^[14], 分区参数设置为 10, 然后可以使用不同的色域映射算法将 CIE Lab 模式的测试图像映射到目标色域内并保存归档, 用于后续的主观和客观评价实验。

3.2 主观评价实验与结果分析

本文采用基于图像两两对比的心理物理学实验进行不同算法的横向比较, 分别采用新算法和上述四种横向比较算法对每一幅测试图像依次进行色域映射。针对每幅测试图像, 将 5 种映射算法得到的 5 幅结果图像作为一组, 两两随机地显示在同一台目标显示器上 (为降低实验误差, 确保映射后图像色貌的准确显示, 选取高色域的艺卓 ColorEdge-CG241W 型号显示器用于

图像显示)。还要选择 20 名色觉正常的实验人员 (其中 10 名为颜色科学相关专业人员, 10 名为非专业人员) 作为观察者。针对每组结果图像, 观察者分别依据图像偏好性和色貌复制准确性为评价标准, 对 5 幅结果图像进行两两比较 (每组图像需进行 10 次比较, 10 幅测试图像就需要进行 100 次比较)。在偏好性实验中, 观察者依据对图像质量 (包括局部对比度, 彩度, 锐度, 总体色貌等特征) 的总体印象, 在成对比较的两幅图像中评判出偏好性较好的一幅。在复制准确性实验中, 以原始图像为参考, 观察者在成对比较的两幅图像中选出与原始图像色貌最接近的一幅。



图7 实验用测试图像的缩略图

图 8 和图 9 分别显示了根据成对比较实验结果统计的各算法偏好性平均 Z 分数和准确性平均 Z 分数. 从图 8 可以看出新算法的偏好性略好于 Bala 的二级算法, 但却明显好于其他逐点映射算法. 分析可知, 这主要是因为新算法和二级算法同属空间色域映射类型, 它们能够有效弥补因色域裁剪带来的图像细节损失. 因此相比较逐点算法, 空间映射算法得到的图像局部对比度更高, 细节层次更加丰富. 图 10 显示了五种算法对“trolley”测试图像的局部映射结果, 可以明显看出: 新算法在局部细节表现方面与 Bala 的二级算法相当, 两者都明显强于其它逐点映射算法, 而 CUSP_MAP 的效果则强于其他两种裁剪算法. CUSP_MAP 之所以在逐点映射算法中表现最佳, 是因为 CUSP_MAP 是将色域外颜色朝着映射中心点等比例压缩到目标色域内, 而非裁剪到色域边界, 因此它可以较好地保留色域外邻近颜色间的相互关系.

图 11 显示了每种算法对各测试图像的偏好性分数. 从图中可以看出新算法尤其对测试图像“trolley”,

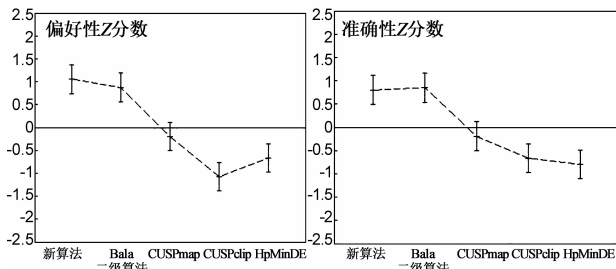


图8 偏好性平均Z分数

图9 准确性平均Z分数

“sunsetcolor”, “sunset_sparrow”, “I19”和“GATF-image1”具有较高的偏好性分数, 主要是因为这些图像的细节层次较为丰富, 而新算法在映射中的细节补偿效果很明显, 使得细节信息得以较好保留, 从而提高了图像映射质量. 另外从图 11 也可以看出, 新算法对所有类型的测试图像具有比较一致的映射效果, 因此也具有良好的均质性. 图 9 中准确性 Z 分数的分布趋势与图 8 类似: 新算法的色貌复制准确性略低于 Bala 二级算法, 可能是由于新算法对部分图像的细节补偿量过大, 造成图像略微失真; 但两种空间算法明显强于逐点映射算法, 这仍是因为空间算法在映射中能够更好地再现图像细节.

3.3 客观评价实验与结果分析

主观评价法对实验环境和观察者的依赖性较高, 容易产生偏差, 因此可以使用图像质量评价模型对色域映射算法的性能进行定量评价. 本文分别采用 S-CIELAB 模型^[15]和 SSIM 模型^[16]来评价映射算法的色彩复制性能和细节还原性能. S-CIELAB 模型被用于计算原始图像与映射后图像之间的感知色差, 差值越小表明映射算法的色彩复制性能越好; 而 SSIM 模型被用于计算原始图像与映射后图像之间结构相似度, 计算值越大表明映射后图像与原图的结构越相似, 细节还原性能就越好.

表 1 显示了使用 S-CIELAB 模型计算的原始图像与映射后图像的色彩差数值, 评价算法包括 HpMinDE 算法, Bala 二级算法和新算法. 从表 1 可以看出, 新算法对 10 幅图像中的 9 幅都具有最小的图像色差. 这说明新

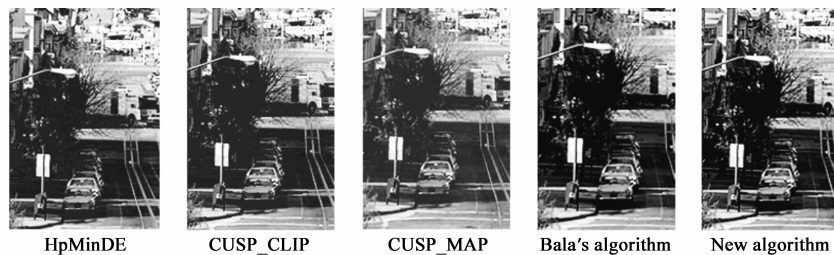


图10 五种色域映射算法对测试图像“trolley”局部区域的映射结果

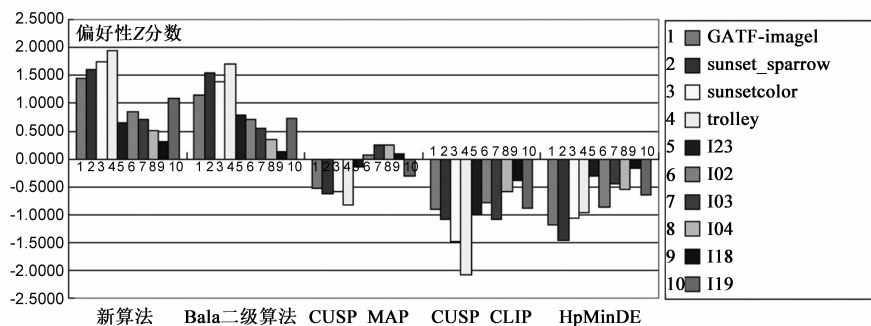


图11 每种算法对各测试图像的偏好性分数

算法在颜色复制准确性方面具有一定优势. 表 2 显示了使用 SSIM 模型计算的原始图像和映射后图像之间的结构相似度数值. 从表中可以看出, 新算法对 10 幅测试图像中的 8 幅都具有最高的结构相似度数值. 这说明新算法在映射图像的细节还原方面更加优秀.

3.4 光晕对比和运算效率

由于双滤波中的空间域和值域滤波参数可以单独设置, 前者用于控制细节层强度, 后者可用于控制光晕产生的阈值. 当值域滤波参数设置的足够小时, 可在滤波计算时排除与中心像素值差别较大的邻近像素. 因此使用双滤波对映射图像分层, 可以在提取图像细节信息的同时, 大幅降低光晕出现的概率. 由于 Bala 二级算法使用的是简单的高斯低通滤波, 在图像滤波过程

中无法调控参与滤波的像素差阈值, 因此该映射算法在细节补偿的同时极易产生光晕.

应用 MATLAB 编程技术, 在同一台计算机 (Lenovo E420s, Inter(R) Core(TM) i5-2410M CPU@2.30GHZ) 分别实现 HPMInDE 逐点映射算法, Bala 二级算法和新算法. 应用三种算法对 10 幅测试图像映射的耗费时间如表 3 所示. 由于逐点映射算法仅对每个像素执行一次映射, 因此运算时间最短. 而 Bala 算法和新算法都需要进行二次映射, 新算法平均每映射一幅图像比 Bala 算法大概多用 10-15s, 这是因为双滤波的计算时间略长于简单高斯滤波. 如果采用方法^[17,18]对双滤波器进行加速, 那么最终的运算效率与 Bala 算法大致相当.

表 1 使用 S-CIELAB 模型计算的 10 幅测试图像的图像色差值

	<i>I</i> 02	<i>I</i> 03	<i>I</i> 04	<i>I</i> 18	<i>I</i> 19	<i>I</i> 23	sunset_sparrow	sunsetcolor	trolley	GATF
HPMinDE	0.912	1.019	1.647	3.501	1.448	2.127	1.659	1.416	2.159	8.626
Bala al	1.083	1.217	1.410	3.551	1.699	2.287	1.321	1.315	2.312	6.829
New al	0.783	0.695	1.248	3.156	2.298	1.798	0.772	1.114	2.012	3.223

表 2 使用 S-CIELAB 模型计算的 10 幅测试图像的结构相似度值

	<i>I</i> 02	<i>I</i> 03	<i>I</i> 04	<i>I</i> 18	<i>I</i> 19	<i>I</i> 23	sunset_sparrow	sunsetcolor	trolley	GATF
HPMinDE	0.987	0.942	0.979	0.912	0.879	0.878	0.978	0.991	0.964	0.943
Bala al	0.979	0.962	0.989	0.941	0.939	0.930	0.980	0.971	0.961	0.953
New al	0.986	0.982	0.991	0.952	0.981	0.951	0.983	0.988	0.978	0.971

表 3 算法运行的时间(秒)

	<i>I</i> 02	<i>I</i> 03	<i>I</i> 04	<i>I</i> 18	<i>I</i> 19	<i>I</i> 23	sunset_sparrow	Sunset color	trolley	GATF
HPMinDE	49	47	58	46	48	43	46	54	55	57
Bala al	99	79	62	70	96	66	94	94	84	88
New al	82	92	76	80	80	83	127	116	109	94
Fast bilateral	74	88	58	77	69	70	103	99	87	82

4 结论

针对逐点色域映射的细节损失问题, 本文提出了一种基于双滤波的空间色域映射方案. 与基于简单高斯滤波的空间二级映射算法不同, 新方案采用双滤波技术对映射图像进行基础层和细节层的分解, 然后分析了空间域滤波参数和值域滤波参数对细节层提取, 图像色域映射效果以及光晕效应的影响, 并由此确定了色域映射流程中的双滤波参数设置. 通过心理物理学实验可以证明: 在合理设定双滤波参数的情况下, 新方法的图像映射效果与经典的细节补偿类方法相当. 相比较其它同类型方法, 新方法在色域映射过程中能够更加有效地抑制图像光晕的产生. 在运算效率方面, 使用常规双滤波的映射算法略低于经典的细节补偿类

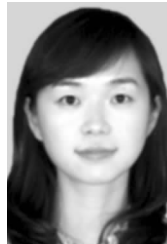
算法. 但经过双滤波加速后, 新方法的计算效率与经典的细节补偿类算法相当. 在新方法中, 双滤波参数的具体设置与映射图像边界位置的光晕强弱有着密切联系, 基于双滤波的图像频带分解虽然可以在一定程度上控制光晕的强弱, 但还无法实现在映射过程中根据图像内容自适应地设置滤波参数, 今后可以进一步研究基于参数自适应控制的双滤波分层方法, 或采用引导滤波技术来彻底消除空间色域映射中的光晕.

参考文献

- [1] 梁静, 等. 彩色复制中色域映射方法的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 33-39.
Liang Jing, et al. Research of color gamut mapping in color reproduction[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 33

- 39. (in Chinese)
- [2] Alsam A, Farup I. Spatial colour gamut mapping by orthogonal projection of gradients onto constant hue lines[A]. 8th International Symposium, ISVC 2012 [C]. Greece, 2012. 7431:556 - 565.
- [3] Alsam A, Farup I. Colour gamut mapping as a constrained variational problem [A]. 16th Scandinavian Conference, SCIA 2009 [C]. Norway, 2009. 5575:109 - 118.
- [4] Alsam A, Farup I. Spatial colour gamut mapping by means of anisotropic diffusion[A]. Third International Workshop, CCIW 2011 [C]. Italy, 2011. 6626:113 - 124.
- [5] Balasubramanian R, et al. Gamut mapping to preserve spatial luminance variations [J]. Journal of Imaging Science and Technology, 2000, 45(5):122 - 128.
- [6] Zolliker P, Simon K. Adding local contrast to global gamut mapping algorithms [A]. Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision [C]. USA: IS&T, 2006. 257 - 261.
- [7] Bonnier N, Schmitt F, Hull M, Leynadier C. Spatial and color adaptive gamut mapping: a mathematical framework and two new algorithms [A]. Color and Imaging Conference [C]. USA: IS&T, 2007. 267 - 272.
- [8] Morovic J, Wang Y. A multi-resolution, full-colour spatial gamut mapping algorithm [A]. The 11th Color Imaging Conference: Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications [C]. USA: IS&T, 2003. 282 - 287.
- [9] Tomasi C, Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images [A]. ICCV 98 Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Vision [C]. USA: IEEE, 1998. 839 - 847.
- [10] 张闯, 等. 基于边缘检测与双边滤波的彩色图像去噪 [J]. 电子学报, 2010, 38(8):1776 - 1783.
Zhang Chuang, et al. Removing noise of color images based on edge detection and bilateral filter [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(8):1776 - 1783. (in Chinese)
- [11] He K, Sun J, Tang X. Guided image filtering [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 2013, 35(6):1397 - 1409.
- [12] Morovic J. To develop a universal gamut mapping algorithm [D]. Ph. D. Thesis, University of Derby, 1998.
- [13] Farup I, Gatta C, Rizzi A. A multiscale framework for spatial gamut mapping [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(10):2423 - 2435.
- [14] Morovic J, Luo M R. Calculating medium and image gamut boundaries for gamut mapping [J]. Color Research and Application, 2000, 25(6):394 - 401.
- [15] Zhang X, Wandell B A. A spatial extension of CIELAB for digital color-image reproduction [J]. Journal of the Society for Information Display, 1997, 1(5):61 - 63.
- [16] Wang Z, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4):600 - 612.
- [17] Chaudhury K N, et al. Fast $O(1)$ bilateral filtering using trigonometric range kernels [J]. IEEE Transactions Image Processing, 2011, 20(12):3376 - 3382.
- [18] Chaudhury K N. Acceleration of the shiftable $O(1)$ algorithm for bilateral filtering and non-local means [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 22(4):1291 - 1300.

作者简介



王 娜 女, 1983 年出生, 华南理工大学博士研究生, 河南工程学院讲师, 主要研究方向为图像色彩管理等。

E-mail: wangna616@126.com



朱 明 男, 1983 年出生, 博士, 河南工程学院副教授, 研究方向为图像处理, 印刷色彩复制技术。

E-mail: zhuming_printing@haue.edu.cn



陈广学 (通讯作者) 男, 1963 年出生, 工学博士, 现任华南理工大学特聘教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为数字图像信息处理、高保真印刷、数字印刷与电子出版等。目前主要从事数字加网与高保真印刷、立体成像印刷、纸塑复合及无溶剂复合包装技术等方面的研究。

E-mail: chengx@scut.wdu.cn