

一种彩色图像灰度化的自适应全局映射方法^①

陈锻生, 宋凤菲, 张 群

(华侨大学 计算机科学与技术学院, 厦门 361021)

摘 要: 研究采用 RGB 颜色分量加权的全局映射, 进行彩色到灰度的变换算法. 根据彩色像素在不同颜色分量的统计信息, 自动生成各颜色分量的灰度化权重, 同时结合主客观图像质量标准, 探索自适应的全局映射灰度化算法. 实验证明, 本文提出的新算法在多数测试图像上的灰度化效果与传统的灰度化算法效果相当, 但对具有主题色的彩色图像可以获得显著改善的灰度图像视觉效果.

关键词: 灰度化; 自适应; 灰度图像; 全局映射

An Adaptive Global Mapping Approach for Color to Grayscale Image Conversion

CHEN Duan-Sheng, SONG Feng-Fei, ZHANG Qun

(College of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: This paper studies the color to grayscale image conversion algorithms based on global mapping using linear combination of RGB color components. According to the statistical information of the color pixels in the different color components, the combination weights of different components are automatically generated to mapping color to grayscale. In combination with the subjective and objective image quality standards, we present an adaptive global mapping algorithm. Experimental results show that the new algorithm can perform as good as traditional color to grayscale algorithm on the majority of test images, but can outperform the traditional algorithm in case of dominant colors appears in the original image, and significantly improve the visual effect of the gray-scale image.

Key words: grayscale; adaptive; gray image; global mapping

彩色到灰度的变换处理是单色图像输出设备的关键功能, 也是数字图像分析和图像模式识别的常用预处理方法. 尽管当前的彩色成像与显示设备相当普及, 但影像信息的表现风格和医疗成像及显示仍有许多单色的表现, 黑白打印和印刷设备依然有很大市场, 特别是数字图像处理的经典算法都是从处理灰度图像发展起来的, 许多基本的灰度图像增强或分析方法还没有成熟的彩色图像分析方法能完全取而代之, 比如直方图均衡化和数学形态学图像处理方法. 因此, 不仅是存储与传输的数据量问题, 机器视觉应用的基本方法也经常需要将彩色图像转换成灰度图像. 如何进行这种转换才能最大限度地保持图像对人眼的视觉信息, 或保留图像在计算机处理中的有效信息, 依然是有很多值得探讨和解决的问题.

1 彩色到灰度转换算法的发展现状

在现有的彩色到灰度的转换算法中, 为了克服传统灰度化算法引起的对人类视觉的图像光谱分辨率下降, 人们研究了许多新颖的方法. 这些颜色灰度化的方法可以分成两种主要类别: 局部映射和全局映射.

在局部映射方法中, 色彩到灰度映射的像素值取决于颜色的局部空间分布. Bala 等^[1]提出了一种将高频色度分量加入亮度分量的空间域方法. 在色度分量进行空间高通滤波, 并将滤波器输出用与亮度相关的项加权, 将结果加入亮度分量. Neuman 等^[2]用两种梯度场经过梯度一致性校正后, 都可以重构灰度图像, 一是在 CIE Lab 颜色空间计算彩色图像的梯度, 二是利用 Coloroid 颜色空间计算梯度. Smith 等人^[3]将图像分解成几段频率成分, 并用色度分量调整组合权重.

^① 基金项目:福建省自然科学基金(2010J01337);福建省科技计划重大项目(2011H6016)

收稿时间:2013-03-03;收到修改稿时间:2013-04-23

这些局部映射算法具有有效地保护局部色差的特点,但容易扭曲平稳颜色区域的外观。

在全局的映射方法中,输入图像的所有像素采用相同的颜色到灰度映射。Gooch 等人^[4]的算法根据局部反差,通过客观的、最符合原来颜色差异的目标函数最小化的迭代过程,求得灰度值,但对 $N \times N$ 图像的计算量为 $O(N^4)$ 。Rasche 等^[5]的颜色灰度化算法力图维持对比度,同时保持一致的亮度,在颜色数目多的时候需要巨大的计算量。Grundland 等人^[6]提出一个反差增强的脱色算法,在空间上对局部像素进行随机配对,用对立色颜色模型 YPQ 分析各分量的反差,最后将两个对立色差信息融入到亮度图像中。

ČAdík^[7]对上述各种颜色到灰度图像转换进行了评估,将对近 20000 个人类反应的调查用于评价转换的准确性和倾向性。结果表明,Grundland^[6]和 Smith^[3]的转换方法是整体上最佳的。后来还有 Song^[8]在引入三种人眼视觉特性来调制局部亮度方面做了有益的探索。虽然这些新的转换方法可能有较好的灰度化视觉效果,但转换运算比较复杂。而且,局部映射使得相同的颜色在不同位置转换成不同的灰度,这不适用于许多基于灰度图像的机器视觉技术应用。

因此,为了寻找一种比较普适的,即对人眼视觉效果和对机器分析识别都同时适用的灰度化方法,本文研究的颜色到灰度的变换算法与传统的灰度化算法类同,采用 RGB 颜色分量的线性加权 and 进行全局映射。但本文通过计算彩色像素在不同颜色分量的统计量,自动生成各颜色分量的灰度化权重,形成自适应的灰度化算法。

2 一种自适应的全局映射方法

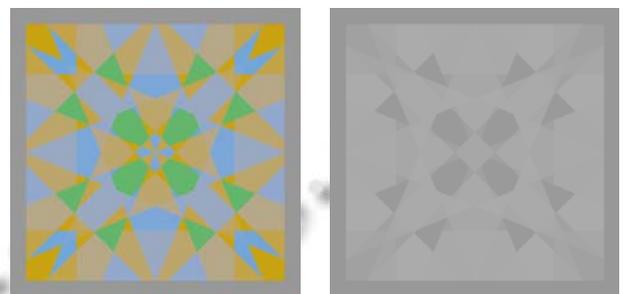
全局映射的灰度化算法可以用公式(1)表示:

$$g(x, y) = \sum_{i=1}^3 a_i \cdot c_i(x, y) = \bar{a} \cdot \bar{c}^T(x, y) \quad (1)$$

其中 $\bar{c}(x, y)$ 是彩色图像在平面坐标 (x, y) 上的颜色向量, $c_i(x, y)$, $i=1, 2, 3$, 分别对应 R、G、B 颜色分量。 $\bar{a} = (a_1, a_2, a_3)$ 是对应这三个颜色分量的权重系数,与位置 (x, y) 无关,故称全局系数。本文通过公式(1)将颜色向量 $\bar{c}(x, y)$ 映射为灰度标量 $g(x, y)$ 。

目前应用最广的、传统的颜色到灰度的转换算法是 NTSC 制式电视所采用的 YIQ 颜色模型中的 Y, 也是 CIE XYZ 中的 Y, 它是 R、G、B 的加权和, 权重

向量 $\bar{a} = (0.299, 0.587, 0.114)$ 是根据这三色的相对光谱能量分布和转换过程中人的感觉等所确定的^[9], 与人的视觉系统对这三原色的敏感度相对应。另一种传统灰度化算法是直接做 RGB 的算术平均, 即权重各 1/3。一般情况下, 这两种传统的灰度化方法性能良好, 但在对一些具有主题色的图像进行灰度化时效果不佳, 因为这两种方法对不同彩色图像都是采用一成不变的权重向量。具有主体色的图像表明该图像像素颜色分布明显倾向于某些颜色分量, 在这些分量出现的幅值和频率都较大, 因此有较大频率加权的分量平均值。比如, 如果对一张暖色调的人脸图像采用传统的 Y 分量灰度化, 由于人脸的肤色像素就是明显偏向红色, 而 Y 总是将红色赋予比绿色低得多的权重, 这样得到的灰度图像就比较漠视人脸的主题色变化, 彩色人脸图像的一些重要特征可能被压制或消除。因此对这张灰度化的人脸图像进行人脸识别的效果就会受到一些不良的影响。同样, 一张同色系的彩色图像本来不同颜色肉眼还是容易区分的, 但灰度化后可能就成为难以分辨的灰色, 如图 1 的(b)所示。



(a) 原图 (b) 用 NTSC 中的 Y 做灰度

图 1 经典的彩色图像灰度化示例

为了让构成灰度的各颜色分量权重能适应图像主题色的变化, 一种最简单直接的思路就是让各颜色分量权重正比于该分量在图像主题色中的贡献大小, 即采用该图像的各分量直方图加权的平均强度作为该分量在彩色灰度化中的全局映射权重分量。另一种思路是根据信息就是差异的基本概念, 让各颜色分量权重正比于该分量在图像主题色中的不确定性大小, 即采用该图像的各分量的标准方差作为该分量在彩色灰度化中的权重。下面我们就用这两种基本统计量生成的权重做灰度化算法。

3 系统流程设计

本系统流程设计框图如图 2 所示。

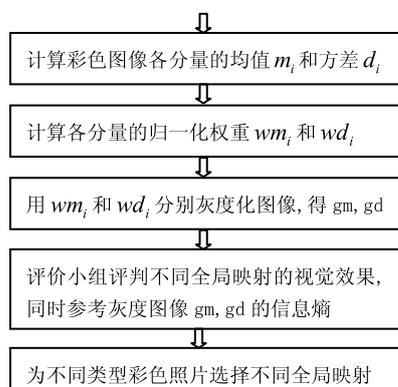


图 2 系统流程图

3.1 计算各颜色分量的均值和方差

设图像 f 大小为 M 行 N 列, 彩色图像的三个分量为 $f_i, i=1, 2, 3$, 则这三个分量的均值 m_i 和方差 d_i 可分别计算如下:

$$m_i = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f_i(x, y) \quad i=1,2,3$$

$$d_i^2 = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f_i(x, y) - m_i)^2 \quad i=1,2,3$$

3.2 计算归一化权重系数

$$wm_i = m_i / (m_1 + m_2 + m_3) \quad i=1,2,3$$

$$wd_i = d_i / (d_1 + d_2 + d_3) \quad i=1,2,3$$

令 $a_i = wm_i$ 或 $a_i = wd_i, i=1, 2, 3$, 并代入公式(1), 即可分别计算 gm 或 gd 两种自适应的灰度化图像. 如图 3 中的最后两列是 gm 或 gd .

3.3 灰度化图像的主客观质量综合评价

数字图像的质量评价在图像和视频处理领域是一个富有挑战性的基本问题^[10]. 对彩色图像灰度化方法的研究, 如何评估图像质量起着核心的作用. 图像客观质量评价可分为两个大类: 信号保真度量度和感知视觉质量度量 PVQMs(perceptual visual quality metrics). 信号保真度量度包括 MSE (Mean Square Error), SNR (Signal to Noise Ratio), PSNR (Peak SNR) 等, 但这些度量与人们对自然图像的视觉感知并不一致, 并且都只适用于编解码前后灰度图像之间的比较, 不能直接用于彩色与灰度图像之间的比较. 彩色图像灰度化的使用者多数是人, 灰度化的质量评价更需要反映人的视觉系统感受的感知视觉质量

度量.

感知视觉质量可以在适当的标准化过程中用主观测试进行评估, 计算出图像质量评测小组的平均意见分(MOS, Mean Opinion Score), 这也是本文采用的主观图像质量评价方法.

4 实验设计与效果比较

4.1 实验数据与工具

本文的实验数据选自文献[2,7]和 Corel 图库的部分图像, 在上千幅彩色图像中选 30 多幅作为主观视觉质量的测试图像, 编程工具采用 Matlab 及其图像处理工具箱.

4.2 灰度化方案比较

用来比较的多种全局灰度化方法包括 CIE Lab 颜色空间的 L 分量, CIE XYZ 中的 Y, HSI 中的 I 和 Max(R, G, B) 等, 以及本文提出的自适应权重方法.

图像灰度化评测标准包括主观视觉质量评价小组的评选表, 和基于图像直方图计算的图像自信息熵作为无参照的客观图像质量指标. 本研究利用学习图像分析课程的 31 名研究生作为评测小组, 在彩色投影屏幕上同时显示对同一彩色图像做不同灰度化方法所得到的不同灰度图, 以及用来比较的彩色原图, 让评测者根据个人视觉质量感受选出最接近原彩色图的某种灰度图, 然后从测试小组中各人的评测结果中统计出每张测试图像在各种灰度化图像的得票数. 多数测试图像会出现某一种灰度化图像得到比较集中的投票.

图 3 是采用全局映射灰度化方法的一些图像的灰度化效果示例. 其它测试图像没有列出的主要原因有: 视觉感知的优选投票比较分散, 主观评价不一致; 或图像的自信息量较大的灰度图与主观评价优选的灰度图很不一致. 由于彩色图像的黑白印刷通常是用 CIE XYZ 中的 Y 分量, 图中没有再列出 Y 图; 因为版面所限也没有列出其它方法的灰度化图像. 彩色图像的熵是将彩色图像看成是三层不同的灰度图像, 并将这三个灰度图像拼接成一个大的灰度图像, 然后统计其灰度直方图, 估计灰度概率和计算自信息量得到的. 从图中的视觉效果和信息熵可见, 本文的自适应全局灰度化方法在具有主题色的图像灰度化体现了突出的主客观效果.

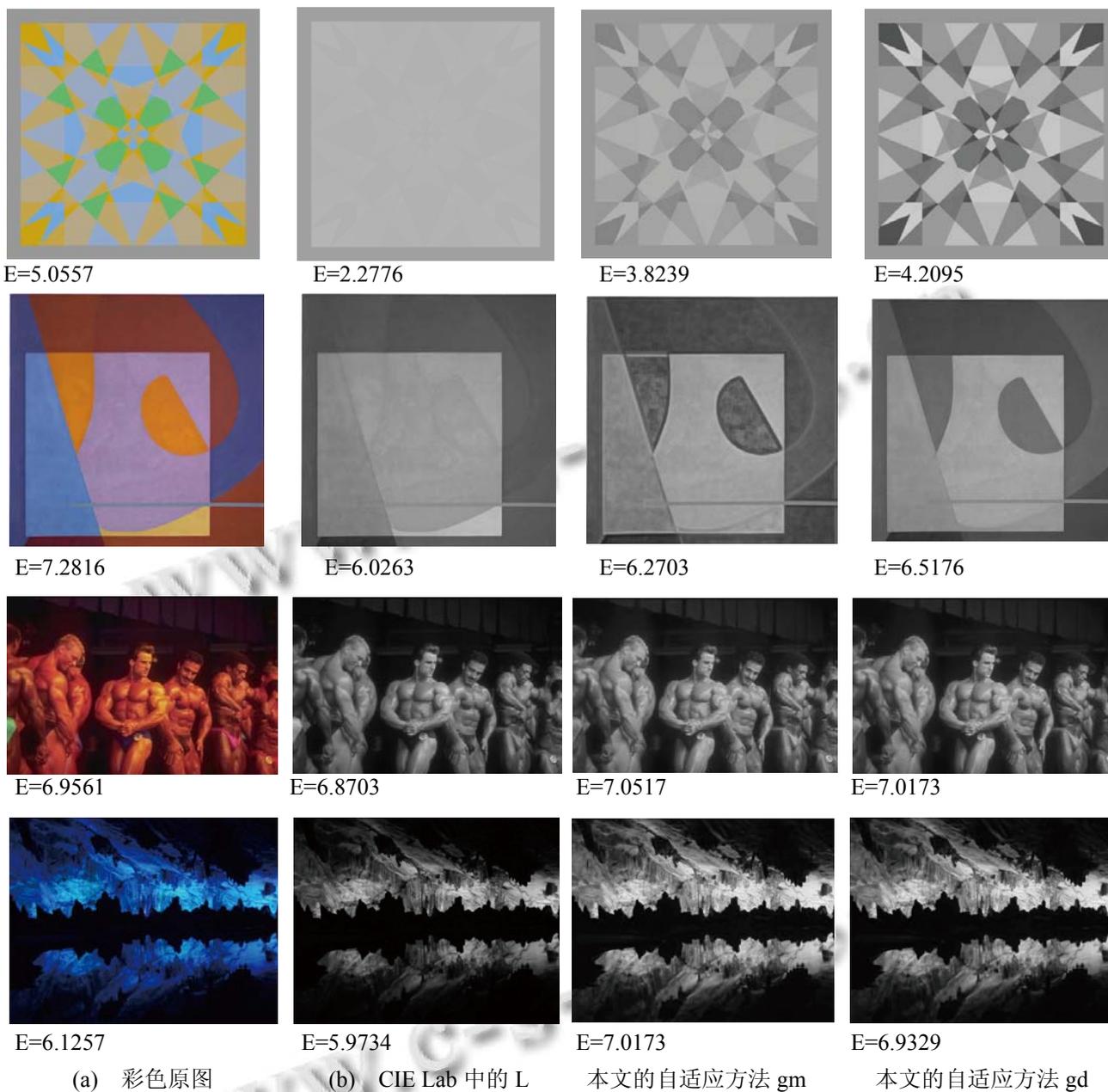


图 3 不同全局映射灰度化效果比较, E 值是图像的自信息量

5 结语

本文研究了彩色图像灰度化的自适应全局变换算法。根据彩色像素在不同颜色分量的均值和方差统计,自动生成各颜色分量的灰度化权重,结合主客观图像质量标准,探索自适应的全局映射灰度化算法的效果与适用范围。实验证明,这种自适应全局变换的灰度化算法在多数公用的测试图像上的灰度化效果与传统的算法效果相当,但对具有主题色的彩色图像可以获得显著改善的灰度图像主视觉效果,同时也不会产生

由于局部映射带来的同一图像中因位置变化的相同颜色输出不同灰度的问题,影响进一步的机器视觉应用。

参考文献

- 1 Bala R, Eschbach R. Spatial color-to-grayscale transform preserving chrominance edge information. In: 12th Color Imaging Conf.: Color Sci. Eng. Syst. Technol. Appl. Scottsdale, AZ, 2004: 82-86.
- 2 Neumann L., ČAdík M., Nemcsics A. An efficient perce-

(下转第 171 页)

仿真结果表明,改进的基于色差的 Canny 算子准确地检测出直线道路边缘线和曲线道路边缘线,彩色图像中结构化道路边缘检测性能稳定。

4 结语

基于色差的 Canny 边缘检测算法将 RGB 颜色空间转换到颜色均匀的 L*a*b*空间,计算彩色图像的色差和色差方向,充分利用了颜色信息,与传统方法相比,能够得到的更加清晰的图像边缘。直线道路图像和曲线道路图像边缘线检测的仿真实验,进一步证明了改进算子的有效性和应用价值。

参考文献

- 1 王冰.用 Roberts 算子进行边缘处理.甘肃科技,2008,24(10):18-20.
- 2 王康泰,戴文战.一种基于 Sobel 算子和灰色关联度的图像边缘检测方法.计算机应用,2006,26(5):1035-1037.
- 3 杨道普,马秋禾,石磊.边缘检测 prewitt 算子的改进算法.测绘科学,2008,33(5):100-103.
- 4 苏连成,王东卫.一种改进的 Canny 边缘检测算子.燕山大学学报,2012,36(5):413-416.
- 5 Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986,8(6):690-699.
- 6 赵宏中,张彦超.基于 Canny 边缘检测算子的图像检索算法.电子设计工程,2010,18(2):75-78.
- 7 万力,易昂,傅明.一种基于 Canny 算法的边缘提取改善算法.计算机技术与自动化,2003,22(1):24-26.
- 8 张朝阳,冯伍法,张俊华.基于色差的遥感影像海岸线提取.测绘学院学报,2005,22(4):259-262.
- 9 Li J, Ding S. A research on improved canny edge detection algorithm. Communications in Computer and Information Science,2011,228(1):102-108.
- 10 刘献如,蔡自兴.结构化道路车道线的鲁棒检测与跟踪.光子·激光,2010,21(12):1834-1838.
- 11 王冰.用 Roberts 算子进行边缘处理.甘肃科技,2008,24(10):18-20.
- 12 王康泰,戴文战.一种基于 Sobel 算子和灰色关联度的图像边缘检测方法.计算机应用,2006,26(5):1035-1037.
- 13 杨道普,马秋禾,石磊.边缘检测 prewitt 算子的改进算法.测绘科学,2008,33(5):100-103.
- 14 苏连成,王东卫.一种改进的 Canny 边缘检测算子.燕山大学学报,2012,36(5):413-416.
- 15 Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986,8(6):690-699.
- 16 赵宏中,张彦超.基于 Canny 边缘检测算子的图像检索算法.电子设计工程,2010,18(2):75-78.
- 17 万力,易昂,傅明.一种基于 Canny 算法的边缘提取改善算法.计算机技术与自动化,2003,22(1):24-26.
- 18 张朝阳,冯伍法,张俊华.基于色差的遥感影像海岸线提取.测绘学院学报,2005,22(4):259-262.
- 19 Li J, Ding S. A research on improved canny edge detection algorithm. Communications in Computer and Information Science,2011,228(1):102-108.
- 20 刘献如,蔡自兴.结构化道路车道线的鲁棒检测与跟踪.光子·激光,2010,21(12):1834-1838.

(上接第 167 页)

- 1 ption-based adaptive color to gray transformation. In Proc.of Computational Aesthetics, Eurographics Association, 2007:73-80.
- 2 Smith K, Landes PE, Thollot J, Myszkowski K. Apparent greyscale: A simple and fast conversion to perceptually accurate images and video. Computer Graphics Forum, 2008,27(2):193-200.
- 3 Gooch A, Tumblin J, Gooch B. Color2gray: Saliency-Preserving Color Removal,ACM Trans.Graphics,2005,24(3):634-639.
- 4 Rasche K, Geist R, Westall J. Re-coloring Images for Gamuts of Lower Dimension,Computer Graphics Forum, 2005,24(3):423-432.
- 5 Grundland M, Dodgson NA. The Decolorize Algorithm for Contrast Enhancing, Color to Grayscale Conversion. Tech.Rep. UCAM-CL-TR-649, University of Cambridge, 2005.
- 6 ČAdik M. Perceptual Evaluation of Color-to-Grayscale Image Conversions. Comp. Graph. Forum,2008,27(7):1745-1754.
- 7 Song M, Tao D, et al. Color to Gray: Visual Cue Preservation. IEEE Trans.on PAMI,2010,32(9):1537-1551.
- 8 Gonzalez RC, Woods RE. Digital image processing,Prentice Hall,2002.
- 9 Lin W, Kuo CCJ. Perceptual Visual Quality Metrics: A Survey. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2011,22(4):297-312.
- 10 张建德,邵定宏.改进的基于彩色空间距离的图像灰度化算法.机械与电子,2008,(1):63-65.
- 11 张全法,杨海彬,任朝栋,李焕.彩色图像的快速高保真灰度化方法研究,郑州大学学报(理学版),2011,43(3):66-69.