

面向自然图像的自适应主色提取方法研究

杨慧炯

(太原工业学院 计算机工程系, 山西 太原 030008)

摘 要: 提出了一种面向自然图像的自适应主色提取算法. 对于一幅用户给定的自然图像, 算法首先为了避免 RGB 空间处理时易造成颜色失真的缺陷, 将图像的颜色空间转换到 Lab 空间; 然后对图像进行尺寸压缩、图像增强和去噪等预处理以消除图像中的干扰信息且较好地保留细节信息; 最后通过将 Silhouette 轮廓系数与传统 K 均值聚类算法有机地结合在一起, 自适应地提取出自自然图像中的最优主色集. 对大量拍摄于各种自然环境下的图像进行测试, 实验结果表明算法可有效地将自然图像中的主色自动提取出来, 且较准确地代表了原图像中的颜色特征.

关键词: 自然图像; 主色提取; 自适应; K 均值聚类; Silhouette 轮廓系数

中图分类号: TM63; TP249

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)09-0099-04

Research on Adaptive Main Colors Extraction Algorithm for Natural Images

YANG Hui-jiong¹

(1 Department of Computer Engineering, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, China)

Abstract: A framework of adaptive main color extraction algorithm for natural image is proposed in order to make the artistic effects of oil painting on computer much more similar to the hand-printed style in color. As for a natural image provided by a user, the algorithm first transforms the color space of the image into the Lab space to avoid the color distortion caused by the RGB spaceprocessing. Then, the natural image is preprocessed through size compression, image enhancement and denoising in order to eliminate the interference information and preserve the detail information to a better extent in the image. Finally, the silhouette contour factoris effectively combined with the traditional K-means clustering algorithm to extract optimal main colors set in the natural image. A quantity of experiments have been conducted on the natural imagesobtained from a variety of natural environments to test the effects. The results show that the algorithm can effectively extract the main colors in a natural image and the maincolors display the representative color features in the original image in a better way.

Key words: natural image; main color; adaptiveextraction; K-means clustering algorithm; silhouette contour factor

1 引言

在由自然场景所拍摄的自然图像中包含大量丰富的颜色, 因此如何最大限度地从图像中选取最具代表性的主色是一个极具挑战性的难题. 现有的主色提取方法大体可分为三类, 即基于量化的方法、基于分块的方法和基于聚类的方法^[1]. 多数方法的适用是以事先确定所提取的主色数目为前提, 并未实

现主色数目的自动确定. 这样势必会导致将原图像中并不存在的颜色作为主色或者遗漏原图像中重要的色彩特征, 不利于主色的准确提取. 针对以上问题, 本文将 Silhouette 轮廓系数引入到 K 均值聚类算法中, 实现在聚类过程中实时根据 Silhouette 轮廓系数对聚类数进行动态调整以自适应地确定最佳聚类数, 从而获得自然图像的最优主色集.

2 本文方法

首先为了避免 RGB 空间处理时易造成颜色失真的缺陷,将颜色空间从 RGB 转换到 Lab 空间;其次对自然图像进行尺寸压缩、图像增强和去噪等一系列的图像预处理工作,以消除图像中的干扰信息,较好地保留图像的细节信息;最后将 Silhouette 轮廓系数与传统的 K 均值聚类算法有机结合起来,实现了自适应提取自然图像中最优的主色集. 算法流程图如图 1 所示.

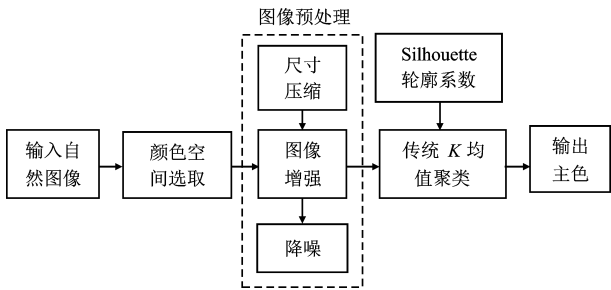


图 1 本文算法的流程图

2.1 颜色空间的选取

通常情况下,采集获得的图像的颜色空间均为 RGB 空间. 该空间虽然物理意义清晰,但过于依赖设备的色彩特性,很难适应人类视觉系统对颜色的解释,因而在颜色聚类时会将在视觉上感受相异的颜色划分为同一类颜色,而将在视觉上感受相似的颜色却划分为不同颜色,造成误判. 显然颜色空间的选取是否得当直接影响到主色提取算法的有效性和准确性.

在众多颜色空间中,Lab 空间的色域最宽阔,甚至比人类视觉的色域还要宽. 鉴于 Lab 颜色空间的色域宽阔性及色彩均匀性,本文以此作为主色提取的颜色空间,这样既能够获取比任何一种颜色空间都更为优质的色彩,又能够确保颜色聚类的准确性.

RGB 空间需借助 XYZ 空间方可转换为 Lab 空间,具体转换公式如式(1)(2)所示:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.41240 & 0.35670 & 0.1805 \\ 0.21260 & 0.71520 & 0.0722 \\ 0.01930 & 0.11920 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{cases} L = 116f(Y/Y_n) - 16 \\ a = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\ b = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \end{cases}$$

其中:

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & t > 0.008856 \\ 7.787t + 16/116 & t \leq 0.008856 \end{cases} \quad (2)$$

2.2 图像预处理

作为基于自然图像的非真实感油画风格绘制的先决步骤,本文所提出的主色提取方法是面向自然图像展开相关研究工作的. 但拍摄于自然环境下的自然图像无法规避各种天气和环境的影响,尤其极端恶劣环境,其图像质量可想而知. 因此,图像预处理对于提取准确的主色信息具有决定性的作用.

2.2.1 图像尺寸压缩

由于自然图像通常都是通过数码相机或移动终端采集获取而来,其尺寸一般较大,在后续处理中势必会由于计算量过于庞大而导致算法效率低下. 而事实上,如果按照图像的横纵比例进行尺寸压缩,图像的颜色比例及分布并不会发生改变. 式(3)中,原图像的宽度和高度分别为 w 和 h ,压缩后图像的宽度和高度分别为 w' 和 h' , a 为常数(本文 a 取为 100),效果如图 2(b)所示.

$$\begin{cases} w' = a * w / \max(w, h) \\ h' = a * h / \max(w, h) \end{cases} \quad (3)$$

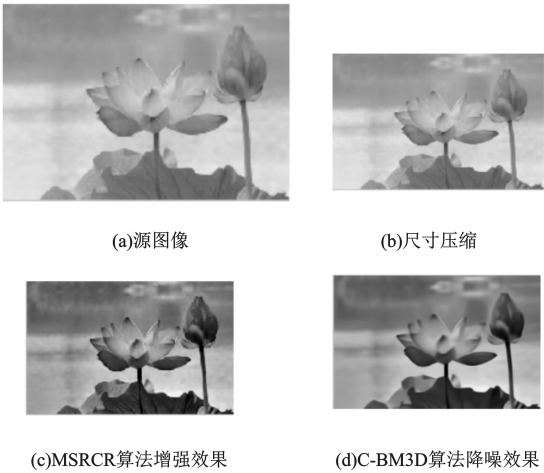


图 2 图像预处理结果

2.2.2 图像增强

(1) 偏色银子

在图像增强处理之前,首先利用偏色因子 K 对自然图像的图像质量进行评定,若为降质图像方才处理. 经大量统计得到图像的偏色因子 $K < 1.5$ 时为清晰图像,否则为降质图像. 其计算方法如式(4)(5)(6)所示:

$$d_a = \frac{\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h a}{w' h'} d_b = \frac{\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h b}{w' h'} \quad (4)$$
$$D = \sqrt{\pi}$$

$$M_a = \frac{\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h (a - d_a) 2}{w' h'}$$

$$M_b = \frac{\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h (b - d_b) 2}{w' h'}$$

$$M = \sqrt{\frac{M_a^2 + M_b^2}{2}} \quad (5)$$

$$K = D/M \quad (6)$$

式中, D 为图像的平均色度; M 为色度中心距。

(2) 图像增强算法

与传统图像增强算法相比, Retinex 算法能够在动态范围的压缩、边缘增强和颜色恒常之间达到平衡, 因此能够自适应地增强各种不同类型的图像, 尤其是雾霾图像、遥感图像、水下图像和放射检查图像等低照度图像, 得到了广泛的应用^[2,3]。

针对于彩色图像的增强, 本文选取了带色彩恢复的多尺度 Retinex 算法 (MSRCR), 该算法在增强图像局部细节的同时仍能较好地保持图像的色彩保真度^[4,5]。效果如图 2(c) 所示。

(3) 降噪

自然图像在成像和传输过程中受到成像传感器、通道传输误差等因素的影响引入各种噪声, 另外在上述图像增强过程中, 也会同时增强其中的噪声。当前应用最广泛的主要有 TV, BM3D, BLS-GSM 和 NLM 四类降噪算法。谭攀等人^[6]综合从处理效率和降噪质量两项评价指标上对上述算法进行了对比分析, 认为 BM3D 算法不仅可以保证降噪质量而且执行效率最高, 可作为降噪的最优选择。

BM3D 算法的基本思想是先将图像按照某分块策略划分为若干子块, 将具有相似结构的子块进行组合进而构成三维数组; 然后对其进行联合滤波; 最后再利用逆变换转换到原图像中。本文选取适用于彩色图像的降噪算法 C-BM3D^[7], 具体的参数设置是硬阈值滤波阈值为 3.0, 搜索距离阈值为 4000, 滤波方法为 DCT, 效果如图 2(d) 所示。

2.3 自适应提取主色

2.3.1 K 均值聚类算法

1967 年, J. B. MacQueen 首次提出了 K 均值聚类算法^[8]。该算法计算速度较快, 已经成为众多聚类算法中应用最为广泛的一种技术, 尤其适用于大数据集的聚类分析。其主要思想可以概括为: 通过不断地迭代过程将数据集划分为不同的聚类, 使得类内相似, 类间相异, 即聚类准则函数达到最小。具体步骤描述如下:

假定数据集 $\{x_1, x_2, \Delta, x_n\}$ 、聚类数 k 及 k 个聚

类子集 X_1, X_2, Δ, X_k 。

Step1 从数据集 $\{x_1, x_2, \Delta, x_n\}$ 中随机地选取 k 个元素作为初始聚类中心, 分别记为 c_1, c_2, Δ, c_k ;

Step2 分别计算数据集中每个剩余元素 x_i 到 k 个聚类中心 c_1, c_2, Δ, c_k 的距离 (通常情况下采用欧氏距离 $d(x_i, c_j) = \sqrt{(x_i - c_j)^2}$ ($j = 1, 2, \Delta, k$)), 根据最小距离原则将其划分到离它最近的聚类中心所代表的聚类中;

Step3 将重新划分后的聚类子集中所有元素的均值作为新的聚类中心;

Step4 计算聚类准则函数 (通常采用误差平方和函数 $E = \sum_{j=1}^k \sum_{p \in X_j} \|p - c_j\|^2$), 如果收敛, 算法终止, 否则转向 Step2, 继续进行迭代。

2.3.2 Silhouette 轮廓系数

Silhouette 轮廓系数是一种评估聚类效果好坏的有效性评价指标, 特别适用于实际类别信息未知的情况。具体定义如下:

(1) 样本 i 的轮廓系数 $s(i)$

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))} = \begin{cases} 1 - \frac{a(i)}{b(i)} & a(i) > b(i) \\ 0 & a(i) = b(i) \\ \frac{b(i)}{a(i)} - 1 & a(i) < b(i) \end{cases} \quad (7)$$

其中, $a(i)$ 是样本 i 与其所在聚类内所有其他样本之间的平均距离, 代表聚类内的凝聚度; $b(i)$ 是样本 i 与其他聚类中所有样本之间的平均距离的最小值, 代表聚类间的分离度。

显然 $s(i) \in [-1, 1]$, 且若 $a(i) \rightarrow 0, b(i) \rightarrow \infty$ 时, $s(i) \rightarrow 1$, 即凝聚度和分离度均相对最优, 此时聚类效果最佳。

(2) 整体轮廓系数 S_k

$$S_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s(i) \quad (8)$$

式中, n 是数据集中的样本数; k 是聚类数。

(3) Silhouette 轮廓系数与传统 K 均值聚类算法相结合

具体步骤如下:

Step1 选取聚类数 k 的搜索范围 $[k_{\min}, k_{\max}]$;

事实上, $k_{\min}$ 和 $k_{\max}$ 一般不会太大, 本文取为 $k_{\min} = 2, k_{\max} = 10$;

Step2 对于 $[k_{\min}, k_{\max}]$ 区间中的每一个 k ,

① 调用 K 均值聚类算法;

- ② 按照式(7) 计算每个样本的轮廓系数;
- ③ 按照式(8) 计算数据集的整体轮廓系数.

Step3 选取 $[k_{\min}, k_{\max}]$ 区间内整体轮廓系数的最大值所对应的聚类数 k 作为最佳聚类数;

Step4 将最佳聚类数 k 的聚类结果作为主色集.

3 实验结果及分析

本文所述主色提取算法的实现是基于 Intel-CoreTM i5-4200M 2. 50GHZ 中央处理器、4GB 容量内存的 Windows10 操作系统, 采用 Matlab R2014a 进行实验仿真. 对大量拍摄于各种自然环境下的自然图像进行了算法测试, 但因篇幅有限, 在此仅列出了 4 幅分别拍摄于晴天、雾霾、阴天和逆光环境下自然图像的测试结果.

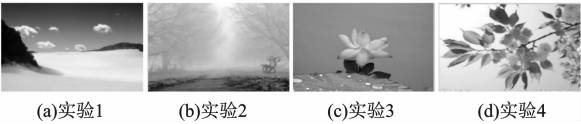


图 3 待测试的自然图像集

根据式(4)(5)(6)计算图 3 中待测试自然图像的偏色因子以评定图像质量, 如表 1 所示. 不难发现实验 1 是清晰图像, 其他均为降质图像.

表 1 图像质量评定指标

	实验一	实验二	实验三	实验四
偏色因子	0. 7654	2. 1389	1. 8342	2. 5235

在图 4、图 5、图 6 和图 7 中列出了清晰图像(实验 1)和降质图像(实验 2、实验 3 和实验 4)的测试结果. 其中每个测试实例的第一列是尺寸压缩后的图像, 第二列是利用 MSRCR 算法增强后的图像(实验 1 即清晰图像则跳过此步), 第三列是利用 C-BM3D 算法降噪后的图像, 第四列是利用本文算法得到的聚类图像及主色.

对于一幅用户给定的自然图像, 本文算法实现了最佳聚类数即主色数目的自适应选取, 实验 1、实验 2、实验 3 和实验 4 的主色数目依次为 5、7、4 和 10, 大大降低了主色提取的错漏率. 但算法在实现过程中没有考虑代码的执行效率, 在利用 Silhouette 轮廓系数寻找最佳聚类数时计算量过多, 未来还需进一步优化算法以提高其执行效率.

总之, 通过主观观察可以看出, 本文算法所获得的主色较准确地代表了原图像中的颜色特征. 以上测试实例说明本文算法对不同自然环境下所拍摄的自然图像均具有普适性.



图 4 实验 1 的主色提取结果

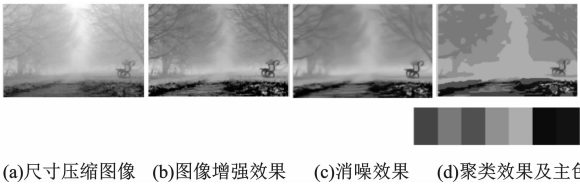


图 5 实验 2 的主色提取结果

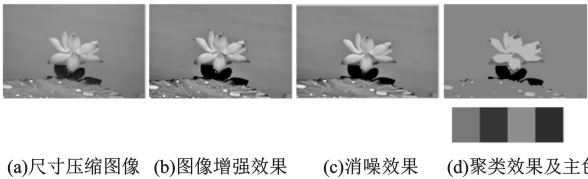


图 6 实验 3 的主色提取结果

4 结束语

本文在深入分析当前图像主色提取技术的基础上, 面向各种自然环境下所拍摄的自然图像, 本文提出了一种自适应主色提取方法, 在传统 K 均值聚类算法的基础上, 引入 Silhouette 轮廓系数, 实现了聚类数 k 的自适应选取, 克服了传统 K 均值聚类算法需事先确定聚类数 k 的局限性. 但今后的工作中还需对算法进行进一步的优化.

参考文献:

[1] [1]朱臻阳,刘春晓,伍敏等. 主色提取的直方图峰值筛选与剔除方法[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(9): 1151-1160.

[2] Daniel J. Jobson, Zia-ur Rahman, Glenn A. Woodell. A Multiscale Retinex for Bridging the Gap Between Color Images and the Human Observation of Scenes [J]. IEEE transactions on image processing: a publication of the IEEE Signal Processing Society, 1997, Vol. 6 (7), pp. 965-76.

[3] 程娅荔,张也驰. 基于 MSR 的雾天图像清晰化算法研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(4): 305-308.

[4] 罗玲利. 低照度图像的增强及降噪技术研究[D]. 西安电子科技大学, 2013.

而言已达到较高水准. 综上所述, 本文提出的校准算法要优于目前大多数的校准算法, 在 SNDR/SFDR 性能提升方面具有较大优势.

5 结束语

文章使用的数字校准算法能够有效校准 Pipeline ADC 中存在的电容失配、运算放大器有限增益和比较器失调等因素引起的非线性误差. 所搭建的 16 位流水线 ADC 经过基于 LMS 算法的数字校准算法后, 流水线 ADC 的有效位数分别由 9.6 bit 提高至 15.7 bit, 无杂散动态范围由 64.9 dB 提升至 110.8 dB, 信噪比由 67.5 dB 提升至 97.6 dB, 失真噪声比由 59.5 dB 提升至 96.6 dB. 该数字校准算法能够有效地减小流水线 ADC 中的非线性误差、提高流水线 ADC 的性能.

参考文献:

- [1] Zhou Liren, Luo Lei, Ye Fan, 等. A 12-bit 100 MS/s pipelined ADC with digital background calibration 采用后台数字校准的 12 位 100MHz 流水线模数转换器[J]. Journal of Semiconductors, 2009, 30(11):109-113.
- [2] Miyahara Y, Sano M, Koyama K, et al. A 14b 60 MS/s Pipelined ADC Adaptively Cancelling Opamp Gain and Nonlinearity[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2014, 49(2):416-425.
- [3] Lewis S H, Gray P R. A pipelined 5-Msample/s 9-bit analog-to-digital converter[J]. Solid-State Circuits, IEEE Journal of, 1987, 22(6):954-961.
- [4] Abou-El-Kheir N T, Khedr M E, Abbas M. A fast power efficient equalization-based digital background calibration technique for pipelined ADC[C]// Mixed Design of Integrated Circuits & Systems. IEEE, 2014:108-112.
- [5] Panigada A, Galton I. Digital Background Correction

of Harmonic Distortion in Pipelined ADCs[J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems I Regular Papers, 2006, 53(9):1885-1895.

- [6] Ray S, Song B S. A 13-b Linear, 40-MS/s Pipelined ADC With Self-Configured Capacitor Matching[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2007, 42(3):463-474.
- [7] Ryu S T, Ray S, Song B S, et al. A 14-b linear capacitor self-trimming pipelined ADC[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2004, 39(11):2046-2051.
- [8] 戴澜, 周玉梅, 胡晓宇, 等. 一种流水线 ADC 数字校准算法实现[J]. 半导体学报, 2008, 29(5):993-997.
- [9] 赵郁炜. 一种应用于流水线 ADC 的自适应后台校正技术[J]. 微电子学, 2014, 44(3):281-284.
- [10] Chen H, Deng H, Yin Y. A correlation-based background calibration technology for the pipeline A/D Converter[C]// IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology. IEEE, 2017.
- [11] 熊召新, 蔡敏, 贺小勇. 基于比较器抖动的数字后台校准算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(8):24-29.
- [12] Zhang S, Ding L, Xu J, et al. Digital Background Calibration of MDAC Stage Gain Error and DAC Error in Pipelined ADC[C]// 2010 10th IEEE international conference on solid-state and integrated circuit technology. 2010:251-253.

作者简介:

张章 男, (1982-), 博士, 副教授. 研究方向为混合集成电路与系统设计. E-mail: zhangzhang@hfut.edu.cn.

徐姚华 男, (1992-), 硕士研究生. 研究方向为数字集成电路与系统设计.

解光军 男, (1970-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为微纳电路与系统、集成电路设计.

(上接第 102 页)

- [5] 魏海锋. 基于 Retinex 的彩色图像增强算法研究[D]. 安徽大学, 2015.
- [6] 谭攀, 姜超. 几种图像去噪算法的对比分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(7):39-42.
- [7] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. Egiazarian. Color image denoising via sparse 3D collaborative filtering with grouping constraint in luminance-chrominance space. Proc. IEEE Int. Conf. Image Process, ICIP 2007, San Antonio, TX, USA, September 2007.

- [8] MACQUEEN J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations[C]. proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley: University of California Press, 1967:281-297.

作者简介:

杨慧炯 男, (1972-), 硕士, 副教授. 研究方向为机器视觉、图形图像处理. E-mail: yhj_0@163.com.