

文章编号 1004-924X(2009)01-0207-06

数码相机的彩色图像预处理过程

曲兴华, 官 辉, 贾果欣

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘要:结合数码相机图像采集特性和人眼视觉误差,讨论了彩色图像预处理过程。通过分析彩色图像的数据格式,将八叉树量化方法用于彩色图像的颜色信息量化,并采用矢量中值滤波消除彩色图像噪声,以实现彩色图像的合理预处理。结合实验讨论分析了矢量中值滤波法的滤波器窗口参数,并结合颜色信息相似度理论提出了彩色图像预处理效果的评价方法。实验获得了合理的颜色量化方法和滤波器窗口参数,处理得到的图像最大色差变化控制在3个CIELAB色差单位。结果表明,用八叉树结构量化和矢量中值滤波对数码相机采集到的彩色图像进行预处理可达到较理想的效果。

关键词:数码相机;图像预处理;色彩量化;八叉树;矢量中值滤波

中图分类号:TP391.4;O432.3 **文献标识码:**A

Preprocessing of color image based on digital camera

QU Xing-hua, GONG Hui, JIA Guo-xin

(*State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instrument,
Tianjin University, Tianjin 300072, China*)

Abstract: To realize color image segmentation, target identification, feature extraction, and other image processing projects, the image preprocessing methods are researched. Based on analysing characteristic of digital camera and human visual error and understanding data formats of color image, an octree arithmetic is applied to color quantization and a vector median filter is used to eliminate noise to realize preprocessing for color images. In combination with a experiment, this paper discusses and analyzes window parameters of vector median filter, and presents an effective evaluation methods by combining color information similarity theory. Finally, a reasonable color quantization method and window parameters are obtained for digital camera, and the chromatism can be controlled within 3 units. Experimental results show that octree color quantization and vector median filter can perform well in preprocessing of color image for digital camera.

Key words: digital camera; image preprocessing; color quantization; octree; vector median filter

收稿日期:2008-03-27;修订日期:2008-05-08.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 50875185);高等学校博士点基金资助项目(No. 20070056117)

1 引言

随着计算机性能的不断增强,机器视觉研究水平的不断提高,多媒体技术和虚拟现实技术的不断完善,特别是彩色成像设备的不断改进,对物体的色彩进行采集、传输和处理必将成为图像处理的重要研究趋势。彩色图像处理是针对图像处理中的颜色信息进行专门处理的技术,涉及色度学和信息编码学的知识。与灰度图像相比,彩色图像携带了更多的可视化信息。彩色图像处理系统的流程一般包括图像预处理、特征抽取、识别分析 3 个阶段。图像预处理阶段是彩色图像处理的重要过程,决定了后面处理程序的准确性和难易度,为后面的图像分析奠定了基础。

目前大部分关于彩色图像预处理的文献要么仅仅集中在颜色信息量化的算法研究上,要么只是对图像去噪进行讨论。其中典型的颜色量化算法包括统一量化算法(Uniform Quantization)^[1]、流行色算法(Popularity Algorithm)^[2]、中位切分算法(Median-cut Algorithm)和八叉树量化算法(Octree Algorithm)^[3],彩色图像滤波器主要有矢量中值滤波器(Vector Median Filter)^[4]、基本矢量方向滤波器(Vector Directional Filter)^[5]、距离方向滤波器(Directional-distance Filter)^[6-7]等,很少有文献将颜色量化和图像平滑去噪作为一个整体进行阐述。本文以彩色数码相机在 D65 光源下采集到的图像为原材料,系统论述了彩色图像预处理环节,分步介绍了预处理阶段所包含的彩色图像量化和图像平滑去噪两个主要过程,并结合实验对预处理过程的具体参数进行分析,提出了预处理效果的评价方法。实验证明,采用改进型八叉树颜色量化和 3×3 窗口大小的矢量中值滤波器对彩色图像进行预处理,处理速度快、可靠性高,预处理获得的图像与原始图像相似度高,数据结构大大简化,便于后面的图像处理。

2 彩色图像量化

彩色图像的颜色信息量化是彩色图像预处理的重要组成部分。彩色采集设备采集到的图片一般都是 24 bits 的真彩色图像。真彩色可显示

颜色种类高达 $2^{24} = 16\,777\,216$ 种,因此真彩色图像具有显示所有颜色的能力,可以包含详尽的色彩信息。位图格式下真彩色图像的数据结构是不需要调色板的,然而较低档的计算机显示设备显示颜色能力具有缺陷,再加上储存容量和信道容量的限制,以及巨大的信息量给研究人员进行图像处理会造成诸多不便。因此,对彩色图像进行压缩处理尤其是颜色量化,使其尽可能完美地再现原始图像色彩效果,同时减少图像的冗余信息是十分必要的。实验将真彩色图像量化成 8 bits 图像,也就是具有 2^8 种颜色,即 256 色。量化基本步骤:

(1) 选取具有代表性的 256 种目标色。在 Windows 操作系统下,由于系统已经保留 20 种颜色,所以实际可选用的只有 236 种颜色。将这些目标色作为调色板索引色建立调色板。

(2) 将原始图像所有颜色映射到调色板索引色上,建立新的图像数据。

这样,如何寻找一个合适的目标调色板,使原始图像的色彩同结果图像的色彩最为接近是颜色量化的关键问题。本文采用八叉树算法^[8]对原始图像进行量化。

将图像中的 RGB 颜色值分布到层状的八叉树中从而获得颜色量化的方法就是八叉树颜色量化。算法的基本思路是:具有 9 层深度结构的八叉树包括 1 层根结点和分别表示 8 bits R、G、B 值的每一位数值的 8 层结点,较不重要的 RGB 值位于较低层。编程中去掉最下面 3 层,对结果影响不大,并且可以节省内存和提高运算效率。

颜色八叉树数据结构用 C++ 描述如下:

```
struct tagOctree { //八叉树结点类型
    unsigned long reff; //色彩频度技术
    unsigned redcolor; //红色分量
    unsigned greencolor; //绿色分量
    unsigned bluecolor; //蓝色分量
    struct tagOctree * Children[8]; //子结点指针
}
```

量化过程是:扫描图像的所有像素,每遇到新的颜色就将其放在八叉树中一个新建立的结点上,当叶结点数量大于所需重构的调色板颜色数时,就将最底层的叶结点归并到上层结点,将该结点转成叶结点并在结点数据上存储颜色及出现的

频数。这样减少叶结点数量也就减少了图像的颜色数,直到叶结点数量达到甚至少于调色板所需颜色数时,叶结点的颜色就可以作为调色板的颜色表。然后,再对源图像文件进行扫描,把每一个像素点映射到调色板索引色上,从而产生了一个新的目标图像文件。量化流程如图 1 所示。

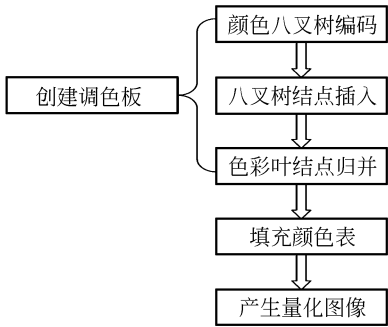


图 1 八叉树量化流程图

Fig. 1 Flow chart of octree quantization

3 彩色图像的去噪

在用 CCD 摄像头采集图像的过程中^[9],不可避免地会造成图像质量下降,尤其是设备的噪声干扰。噪声是一些强度随机的信号,常见的有白噪声、高斯噪声和脉冲噪声。其中白噪声服从频谱均匀分布;高斯噪声是亮度服从高斯分布或正态分布的噪声;脉冲噪声又称椒盐噪声,含有随机出现的黑白亮度值。由于噪声一般频率较高,所以多采取低通滤波的方式去除噪声。低通滤波又称图像平滑,因此去噪的过程一般称平滑滤波,简称为滤波。滤波的方法视噪声特性而定,在空间域或频率域采用不同的措施。彩色图像矢量中值滤波器采用的是首先计算滤波器窗口内的每一个矢量到窗口内其它所有矢量的距离和,对窗口内所有矢量进行排序,选取距离和最小的矢量作为滤波器输出。

分析滤波器窗口尺寸和滤波效果的关系^[10],编程设计可调窗口大小的矢量中值滤波器,窗口大小分别选择 3×1 、 3×3 、 5×5 。窗口矢量数 N 分别是 3、9、25。算法流程如下:

窗口中 N 个矢量的集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$, 将其通过一个矢量中值滤波器后得到的输出中值矢量是 $x_{VM} = VM\{v_1, v_2, \dots, v_N\}$, 其中 $x_{VM} \in \{v_1,$

$v_2, \dots, v_N\}$ 。

(1) 窗口中的每个矢量到其余矢量的距离之和 $S_i = \sum_{j=1}^N \|v_i - v_j\|$, $(i = 1, 2, \dots, N)$, 即矢量差值二范数之和,选出其中的最小值记为 S_k ;

(2) 对应的 v_k 满足

$$\sum_{j=1}^N \|v_k - v_j\| \leq \sum_{j=1}^N \|v_i - v_j\|, (i=1, 2, \dots, N),$$

即 v_k 为输出的中值矢量,因此,矢量中值滤波是在滑动窗口中寻找一个距离其它像素矢量最近的像素,并以此像素替代滤波器窗口中心像素。当出现最小值有多个情况时,则选择离滑动窗口中心最近的矢量。

另外,光强分布不均对彩色图像的颜色影响也很大,会直接影响后期图像处理尤其是图像分割效果,主要原因是光源多数是点光源,导致采集的图像光强分布中间亮、旁边暗。设计图像采集设备时,在现有条件允许时选择多光源照明,并且在光源前方装上毛玻璃等装置对光照密度进行均匀化。对于已经受到光照不均匀影响的图像,可以先通过数字化处理得到背景的亮度变化的差值,然后对待处理图像进行亮度补偿,消除背景光的不均匀性造成的影响^[11]。

4 实验

运用本文提出的彩色图像预处理步骤进行了实验,对文章阐述的理论进行实例验证,分析滤波窗口对滤波效果的影响。实验采用了深圳天友利公司的 T60 标准观察箱, D65 施照态,照度为 830 cd/m^2 ; 尼康 D200 数码单反相机作为采集设备, 麦克贝司 24 色板作为采集和处理对象, 通过专用 45° 标准看台实现 $45^\circ/0^\circ$ 的标准照明方式, 以消除镜面反射光对测量的影响。T60 标准观察箱采用多个灯管, 提供了多光源的光照设备, 同时灯管前方有毛玻璃, 有效地对光线进行均衡分布, 消除光照不均匀对图像颜色采集造成的影响。为了有效消除杂散光影响, 在暗室中进行图像采集。图 2 是实验采集设备, 图 3 是实验流程图。

Windows XP SP2 系统下, 采用 Visual C++ 6.0 实现了本文提出的八叉树量化算法, 将原始图像量化成 8 bit 图片; 图片量化情况见如图 4、图 5 所示。



图 2 实验装置照片

Fig. 2 Photo of experiment set-up

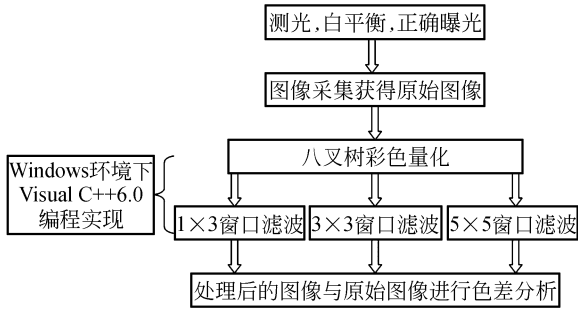


图 3 实验流程图

Fig. 3 Flow chart of experiment

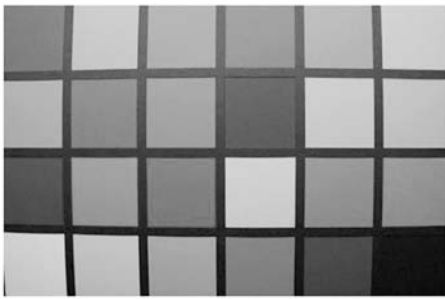


图 4 原始图片

Fig. 4 Original image

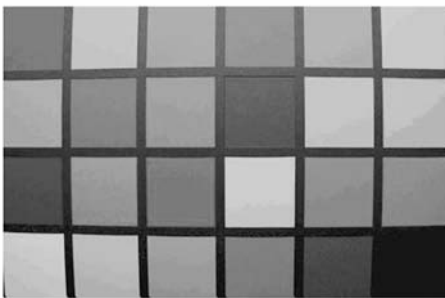


图 5 量化后图片

Fig. 5 Image after quantization

可见,图 4 中的原始图像经过八叉树量化得到的图片,层次感大部分表现良好,颜色效果与量化前的图像区别不大,只是在一些由于光影不均匀的局部地方可能会产生层次不合理感,如橙黄色系列色卡的层次表现。因此,量化后的 256 色图像基本可以代替原始真彩色,而且在 PC 机上进行实验时,整个量化过程速度较快,没有出现严重的内存耗费现象。

对量化后的图像采用矢量均值滤波法进行处理,滤波器窗口大小分别选择 3×1 , 3×3 , 5×5 。滤波后的图片就是分别采取不同预处理过程得到的最终图片。

为了对量化过程和滤波效果进行评价,另外用相机在低感光度 ISO100 下进行了拍摄,这样采集到的图片具有非常少的噪点^[12],可作为标准图像对处理完成的图片进行评价。

在标准图像和 3 幅预处理完毕图像的 24 个色标中心取像素颜色值,将 3 幅图与原始图片分别在 CIELAB 颜色空间内做色差分析,如图 6 所示;其中 X 轴代表麦克贝司色板的 24 个色块中心像素点序号, Y 轴代表预处理获得图片与原始图片颜色相似度差值,用 CIE LAB 空间色差来做预处理获得的图像与标准图像相似性分析。

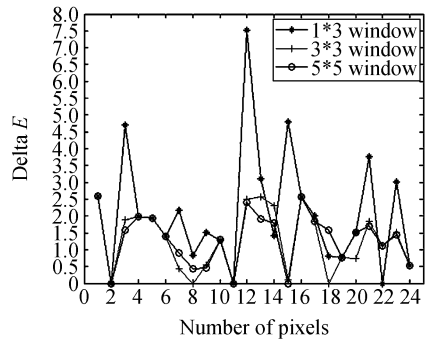


图 6 3 种预处理过程得到的色差

Fig. 6 Chromatism after three different preprocesses

量化后的图片分别采用窗口大小不同的矢量均值滤波法以完成过程不同的预处理。其中 1×3 窗口的预处理获得的色差明显高于其它两种窗口大小, 3×3 和 5×5 的处理效果基本一致,色差均控制在 3 以内,属于微小色差范围^[13],与标准图像相似度较高。而 5×5 的窗口在处理过程中耗费较多的时间和资源,这样采用 3×3 窗口大小

矢量中值滤波器进行的滤波效果和时间复杂度都比较理想。因此,数码相机采集到的图像采用改进型八叉树量化算法,3×3 矢量中值滤波器作为图像预处理过程可以取得较满意的效果。

5 结 论

总之,彩色图像预处理的设计,存在如何有效量化和滤波并且同时提高图像细节保持能力的问题。在微机系统下,一般采取八叉树法进行量化,八叉树量化方法所处理的图像质量层次感丰富,细节质量好,而且时间复杂度和资源耗费均低于其它算法,所占存储量与图像复杂度无关,执

行速度快,特别适合于微机工作环境,不失为一种彩色图像量化的好方法。对于彩色图像滤波常用的矢量中值滤波法,滤波器窗口的大小和形状对滤波效果的影响很大。在不同滤波要求下,滤波器的窗口固定对于图像的边缘和细节损失影响较大。为了能改进这种滤波器的缺陷,可以分别检测窗口大小不同的矢量中值滤波器,根据滤波效果来判断选择窗口的大小。实验结果证明,采用改进型八叉树颜色量化和 3×3 窗口矢量中值滤波器对数码相机采集到的图像进行预处理,预处理获得的图像与标准图像的色差控制在 3 个 CIELAB 单位以内,且相似度极高,整个处理过程迅速,能较理想地达到图像预处理目的。

参考文献:

- [1] HECKBERT P. Color image quantization for frame buffer display[J]. *Computer Graphics*, 1982, 16(2): 297-307.
- [2] ANDREADIS I, BROWNE M A, SWIFT J A. Image pixel classification by chromaticity analysis[J]. *Pattern Recognition Letters*, 1990, 11(1): 52-58.
- [3] ORCHARD M T, BOUMAN C A. Color quantization of image[J]. *IEEE Trans. Signal Processing*, 1991, 39(12): 2677-2690.
- [4] ASTOLA J, HAAVISTO P. Vector median filter[J]. *IEEE*, 1990, 78(4): 678-689.
- [5] TRAHANIAS P E, VENETSANOPOULOS A N. Vector directional filters—a new class of multichannel image processing filters[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1993, 2(4): 528-534.
- [6] KARAKOS D G, TRAHANIAS P E. Generalized multichannel image-filtering structures[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997, 6(7): 1038-1045.
- [7] 金良海,李德华.改进型距离方向矢量滤波器[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(5): 798-806.
- JIN L H, LI D H. Improved directional-distance filter[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(5): 798-806. (in Chinese)
- [8] YAMAGUCHI K, KUNII T L. Octree-related data structures and algorithms[J]. *Computer Graphics and Applications*, 1984, 4(1): 53-59.
- [9] 李云飞,李敏杰,司国良,等. TDI-CCD 图像传感器的噪声分析与处理[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(8): 1196-1202.
- LI Y F, LI M J, SI G L, *et al.*. Noise analyzing and processing of TDI-CCD image sensor[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(8): 1196-1202. (in Chinese)
- [10] 王明佳,张旭光,韩广良,等. 自适应权值滤波消除图像椒盐噪声的方法[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(5): 779-783.
- WANG M J, ZHANG X G, HAN G L, *et al.*. Elimination of impulse noise by auto-adapted weight filter[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(5): 779-783. (in Chinese)
- [11] CHEN W, ER M J, WU SH Q. Illumination compensation and normalization for robust face recognition using discrete cosine transform in logarithm domain[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 2006, 36(2): 458-466.
- [12] 王鑫,阎晓东. 数码相机 CCD 噪点的检测[J]. *影像技术*, 2004(1): 30-33.
- WANG X, YAN X D. The examination for hot pixels of digital camera CCD[J]. *Image Technolo-*

gy, 2004(1):30-33. (in Chinese)

- [13] 汤顺清. 色度学[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1999.

TANG SH Q. *Chromatics*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1999. (in Chinese)

作者简介:



曲兴华(1956—),男,山东莱州人,工学博士,教授,博士生导师,主要从事精密测试技术及仪器的研究。E-mail: quxinghua@tju.edu.cn

宫 辉(1982—),男,安徽怀远人,工学硕士,主要从事彩色图像测量的研究。E-mail: higonghui@gmail.com

贾果欣(1974—),女,天津市人,工学硕士,讲师,主要从事彩色信息化方面的研究。E-mail: jiagx@tju.edu.cn

● 下期预告

机载 DIRCM 激光指示系统控制设计

郭 劲¹, 苗用新^{1,2}, 林洪沂^{1,2}, 陈兆兵^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

为提高机载激光指示设备三轴工作系统控制精度,对其进行建模仿真分析。首先,根据拉格朗日定理推导出指示设备三轴耦合框架非线性动力学模型,对各框架回转轴之间速度耦合及动力学耦合进行分析,并理论推导出其解析关系。然后,根据执行元件力矩电机的电学和力学方程建立被控制对象开环传递函数矩阵,并进一步设计串联解耦控制器来实现系统解耦控制。分析表明,解耦后,在系统中串联添加校正环节,可以使系统在稳定工作的同时,达到快速响应的要求。阶跃响应速度最快时间为:方位框达 0.45 s,俯仰框达 0.50 s,横滚框为 0.85 s。最后,通过计算机仿真验证理论模型的正确性,为接下来研究和设计高精度机载激光指示设备的控制器和控制参数的选取及优化提供了理论参考和模型基础。