

视觉显著性的八叉树颜色量化方法

刘志福^{1,2}, 胡 君¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 针对彩色图像颜色量化过程中整体层次与局部细节之间存在的问题, 提出视觉显著性的八叉树颜色量化方法。将视觉注意机制引入图像颜色量化中, 分析视觉显著性模型获取视觉显著图方法及理论, 根据八叉树颜色量化方法中对细节量化不足的缺陷, 结合显著图进行颜色频度统计, 增加视觉显著区域的颜色频度。将该方法与八叉树颜色量化图像进行比较验证, 可见量化后的颜色具有丰富的层次感, 图像细节失真度降低, 轮廓清晰。

关键词: 八叉树; 颜色量化; 显著图; 图像处理

Octree Color Quantization Method of Visual Saliency

LIU Zhi-fu^{1,2}, HU Jun¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

【Abstract】 In order to reduce conflict between whole layer and local detail during color image quantization, this paper proposes an octree color quantization method of visual saliency. It introduces the visual attention mechanism into color image quantization. After analysing the method and theory of getting visual saliency image in visual saliency model, the paper gets the disadvantage that traditional octree color quantization has scarcity of quantizing detail, consults salient image during color register to increase the frequency of color in visual saliency area. Compared with result of octree color quantization, image quantized has more layers in color expression, less distortion in detail and has clear contours.

【Key words】 octree; color quantization; salient image; image processing

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.06.073

1 概述

随着计算机技术的发展,特别是多媒体技术的广泛应用,图像在信息传播中所起的作用越来越大,对图像处理技术的研究越显迫切。颜色量化作为图像处理中的基本技术之一,具有重要的实用价值。通过颜色量化技术,可以有效实现彩色图像的有损压缩,降低多媒体程序对带宽的要求;在计算机图形学中进行图像预览和渲染;解决只能显示或打印较少色彩的设备处理真彩图像的问题;预处理图像,使之更适合于存储量小的手持和移动设备进行图像处理。

为了重建图像尽可能地接近原始图像,减小人眼可觉察的视觉差异,研究者提出了许多方法。常用的颜色量化方法主要有统一量化算法、频度序列算法、中位切分算法、聚类算法、八叉树颜色量化算法等。现有的算法虽从色度空间、图像内容、存储空间、观察者经验等诸多因素进行不同的考量,但是目前还没有一种万能的算法适应所有的图像颜色量化,都存在一定的缺陷和都未能完全解决重构图像整体层次与局部细节之间的矛盾。八叉树法量化的图像层次感丰富,时空耗费较低,是一种较好的量化方法^[1],但是同样存在某些关键局部色彩由于出现频率低而被丢失的现象。

本文提出了一种基于视觉显著性的八叉树颜色量化方法,在颜色量化中考虑图像内容对人的视觉注意影响,使八叉树算法不再以单纯的频度统计为依据。

2 八叉树颜色量化算法

数字图像中采用最多的是 RGB 颜色空间,以红色、绿色、

蓝色(R 、 G 、 B 分量)3 种基本颜色为基础,进行不同比例的叠加,产生丰富而广泛的颜色。RGB 颜色空间可用立方体表示,3 个坐标轴分别对应 R 、 G 、 B 3 个分量,每个分量的范围为 $0 \sim 2^n - 1$,那么颜色立方体就有 $2^n \times 2^n \times 2^n = 2^{3n}$ 个坐标值,分别代表 2^{3n} 种颜色。

2.1 八叉树的结构

八叉树是一种便于表示 RGB 颜色空间的结构,每个八叉树结点代表一个立方体,其 8 个子结点代表立方体均分后的 8 个子立方体。依此对应关系, $2^n \times 2^n \times 2^n$ 的颜色空间可以由深度为 $n+1$ 的八叉树来表示,第 0 层的唯一一个结点表示整个颜色空间,第 n 层的 8^n 个叶子结点则对应颜色空间 2^{3n} 种颜色。

采用八叉树表示颜色空间便于查找,通过颜色的 R 、 G 、 B 三分量值即可得到从根结点到叶子结点的路径。从根结点开始,取 R 、 G 、 B 分量二进制的第 7 位,组合在一起形成一个 3 位的索引值,索引值范围为 $0 \sim 7$,分别对应于 8 个子结点;寻找到下一层结点后,取下 R 、 G 、 B 值的下一位进行组合,得到索引值;以此类推,就可查找到每种颜色对应的叶子结点。这一查找过程对应于将颜色立方体不断细分,深度越大,得到的结点表示越小范围的颜色空间。 $n=8, R=188, G=212, B=93$ 的路径索引序列及八叉树结构如图 1 所示。

作者简介: 刘志福(1986—),男,硕士,主研方向:空间相机图像拼接,图像处理;胡 君,研究员

收稿日期: 2010-08-05 **E-mail:** liuzhifu1986@gmail.com

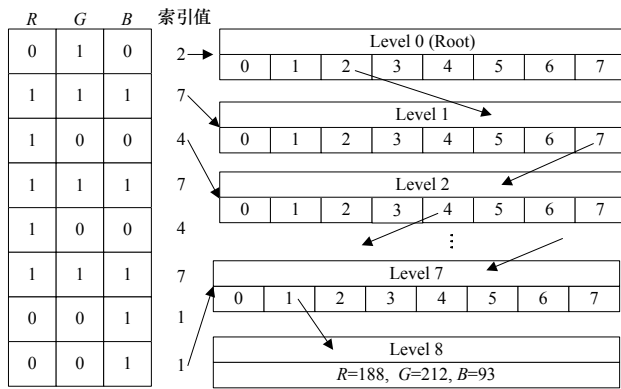


图1 $n=8, R=188, G=212, B=93$ 的路径索引序列及八叉树结构示例

2.2 八叉树颜色量化算法

用于实现颜色量化的八叉树结点数据结构用 C++ 语言描述如下:

```

struct OctNode{
    bool isLeaf;           //是否叶结点
    unsigned long count;  //频度
    unsigned long redsum; //R 分量累加
    unsigned long greensum; //G 分量累加
    unsigned long bluesum; //B 分量累加
    unsigned level;      //所在层
    struct OctNode *children[8]; //子结点指针
    struct OctNode *next;    //可归并结点链指针;
}
    
```

八叉树颜色量化可分为建立色彩八叉树、产生调色板、生成量化文件 3 个步骤。顺序读入像素颜色 (R, G, B) , 建立一棵叶结点小于 K (量化后颜色数) 的色彩八叉树。然后对色彩八叉树进行遍历, 对 K 个叶子结点计算出代表颜色并进行编号得到调色板。最后再次扫描文件, 将每一颜色映射到调色板上, 产生量化后的新图像。

建立色彩八叉树过程中涉及到颜色的查找、插入和结点归并 3 种操作。扫描图像, 对每一个像素颜色值 (R, G, B) 根据 2.1 节描述的方法计算路径索引值在色彩八叉树进行查找, 按查找结果进行插入操作:

(1)到了第 n 层未查到, 说明是新的颜色, 插入此新的叶结点 $count=1, redsum=R, greensum=G, bluesum=B, isLeaf=true$, 叶结点加数 1。

(2)找到是已有的颜色: $count++, redsum+=R, greensum+=G, bluesum+=B$ 。

(3)走到叶子结点, 但层数小于 n , 说明是归并过的结点, 操作同(2)。

为了便于归并的操作, 按层建立了可归并结点链, 链中结点按频度递减顺序排列, 在第(2)步、第(3)步 2 步中节点频度发生改变, 要对其在归并链中的顺序进行修改。

当叶结点数大于 K 时, 对色彩八叉树进行归并。首先选择深度最大的子树进行归并, 相同深度的子树频度最小优先。将该归并结点的所有子结点的 $count, redsum, greensum, bluesum$ 值进行累加和分别赋给该结点对应的变量, $isLeaf$ 值设为 $true$, 从可归并结点链中删除该结点。

对建立好的色彩八叉树进行遍历, 当遇到叶结点时计算该叶结点的代表颜色 $(redsum/count, greensum/count, bluesum/count)$, 将该颜色加入调色板, 并在叶结点中记录该颜色在调色板中的索引值。

重新扫描图像, 由每个像素的颜色值得出的路径查找到色彩八叉树中的对应的叶子结点, 用叶节点中记录的调色板

索引值表示该像素, 结果与调色板一起输出便可得到颜色量化后的新图像。

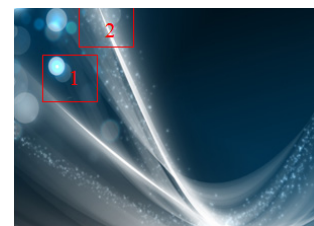
3 视觉显著性的量化

3.1 视觉显著性

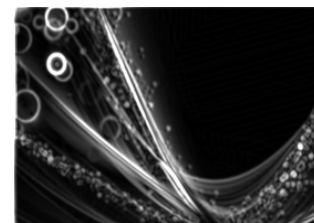
面对一个场景, 人类的视觉系统总会迅速优先选择几个区域进行处理, 该过程被称为视觉注意, 而被选中的区域被称为注意焦点。视觉注意机制作为视觉系统的一项重要的心里调节机制, 是人类从外界输入的大量信息中选择特定感兴趣区域的一个关键技术。视觉注意焦点的选择不是根据区域的自身特征, 而是基于它与周围区域比较产生的相对特征, 其称为视觉显著性^[2]。在一幅图像中, 关键的细节区域往往是首先引起人类视觉系统注意的地方。获取描述图像视觉显著性的信息就基本上等同于得到了图像中的大部分细节区域。一幅表明图像各像素点显著性的灰度图像被称为显著图, 某点越亮表明该像素点的显著度越大。

3.2 显著图的获取

视觉显著性度量当前主要研究方向是基于视觉反差的算法, 基中以文献[3]的算法模型最具代表性, 能较好地模拟人观察图像时注意焦点的选取过程。该算法从颜色、亮度、朝向等多方面提取特征图, 通过中央-周边算子比较视觉特征上的差异, 结果合成为一幅显著图。为减少处理时间, 本文方法只提取了朝向特征。视觉显著图如图 2 所示。



(a)实验用原图 1



(b)原图 1 的显著图

图 2 视觉显著图示例

单个 Gabor 滤波器与简单细胞的感受性质相似, 故以其为特征检测器的神经元表现出简单细胞的选择性, 即对具有特定朝向的刺激敏感。因此, 将图像投影到单个 Gabor 滤波器上, 提取的图像是在该 Gabor 滤波器对应朝向上的特征。首先得到图像的亮度图 I :

$$I(x, y) = \frac{R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)}{3}$$

用 4 个方向 $(0, 45, 90, 135)$ 的 Gabor 滤波器 g 对 I 进行滤波, 得到 4 个方向的特征图 $R^0, R^{45}, R^{90}, R^{135}$:

$$R^\theta(x, y) = I(x, y) \cdot g(\theta, x, y), \theta \in [0, 45, 90, 135]$$

通过算子 $N(\cdot)^{[4]}$ 将各幅特征图规则化, 再将它们加以合并得到显著图 S :

$$S(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{\theta \in \{0, 45, 90, 135\}} N(R^\theta)(x, y)$$

3.3 改进的颜色量化

在八叉树的归并优先次序依据的是频度序列思想: 归并当前代表最少色素数目的结点, 使得使用频度低的用较接近

的代表色填充,而频度高的结点未被归并,则用最接近的色彩填充。这样就存在一个问题,某些重要细节的颜色由于频度小而被先归并,丢失重要的颜色,且最后在计算代表色时,由于频度低造成与计算出的代表色距离偏大,走色严重。

由视觉显著模型获取的显著图描述的视觉显著区域中有很大一部分是图像的关键局部区域。增加视觉显著区域的颜色频度等同于增加了大部分关键细节区的颜色频度,从而可以减小这些细节区域重构后的失真度。

利用显著图可以增加重要信息区的颜色统计量,削弱平滑区或背景区的统计量。在八叉树颜色量化算法中,建立色彩八叉树进行图像扫描的同时对显著图同步扫描,结合每个像素点的显著值 $S(x,y)$ 进行插入操作。

依据像素显著值 $S(x,y)$ 增加该像素颜色的频度,八叉树颜色插入操作修改为:

(1)到了第 n 层未查到,说明是新的颜色,插入此新的叶结点 $\text{count}=S(x,y) \cdot \sigma$, $\text{redsum}=R \cdot S(x,y) \cdot \sigma$, $\text{greensum}=G \cdot S(x,y) \cdot \sigma$, $\text{bluesum}=B \cdot S(x,y) \cdot \sigma$, $\text{isLeaf}=\text{true}$, 叶结点加数 1。

(2)找到,是已有的颜色: $\text{count}+=S(x,y) \cdot \sigma$, $\text{redsum}+=R \cdot S(x,y) \cdot \sigma$, $\text{greensum}+=G \cdot S(x,y) \cdot \sigma$, $\text{bluesum}+=B \cdot S(x,y) \cdot \sigma$ 。

(3)走到叶子结点,但层数小于 n ,说明是归并过的结点,操作同(2)。

其中, σ 为显著度影响因子,可以根据量化效果进行调整,增大 σ 可以加强显著度对增加颜色频度的作用。

4 实验及分析

在 Windows XP 操作系统下,采用 Matlab7.0 获取视觉显著图;通过 VC++6.0 实现文献[5]中的八叉树颜色量化算法以及结合视觉显著图的八叉树颜色量化算法。实验用图 24 位 BMP 格式彩色图像,分别用 2 种方法进行 256 色颜色量化,并对结果的局部和整体效果分别进行对比。

图 3 左右两列分别对应于图 2(a)中方框标示部分的原图及采用不同方法量化的效果比较。

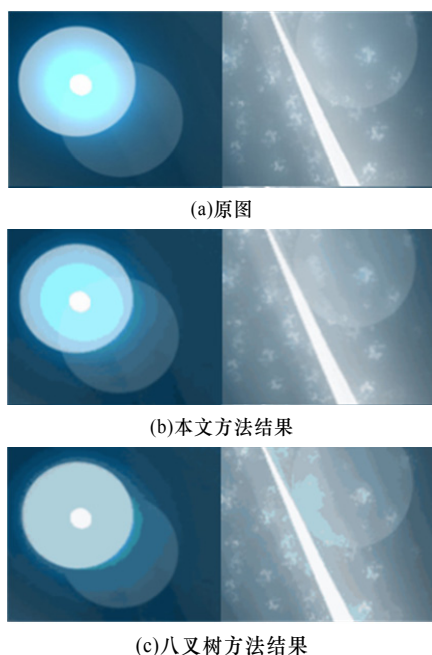


图 3 实验用原图 1 量化结果比较

其中,对于左列图,八叉树法处理后的图像丢失了描述内圆的天蓝色,缺少了一个圆形轮廓,而本文方法较好地保留了这一重要特征。使用八叉树法进行颜色量化使得右列图

中圆形物体靠近白色箭头部分着色变为浅色,与原图的颜色相差较远,出现了原图中没有的一些小色块,本文方法量化结果与原图基本一致。

图 4(a)中的“指示牌”是图中的显著区,也是颜色频度较低的区域。采用八叉树法的结果中“指示牌”边框颜色跳跃较大,表现不够细腻;“指示牌”中左下角偏深,与原图中的白灰色相差较大。而用本文的方法处理后,“指示牌”的边框用更多层次的颜色来表示,左下角也未出现大的颜色偏差。本文方法对原图背景草地和天空的着色也差别较小。



(a)实验用原图 2



(b)本文方法量化结果



(c)八叉树法量化结果

图 4 实验用原图 2 量化结果比较

5 结束语

本文选取了颜色量化算法中效果较好的八叉树量化算法进行介绍,然后在其基础上加以改进,提出了基于视觉显著性的八叉树颜色量化方法。该方法由人的视觉显著模型获取视觉显著图,根据显著图在八叉树量化过程中加大注意区域细节颜色的权重,增加了细节的颜色表示。实验表明,本文方法在保留八叉树颜色量化结果图像丰富的层次感同时,一定程度避免了八叉树颜色量化中细节描述出现的丢色、着色不正和着色层次少的现象,减小了细节失真度。

参考文献

- [1] 耿国华,周明全. 常用彩色量化算法的性能分析[J]. 小型微型计算机系统, 1998, 19(9): 46-49.
- [2] 曾志宏,周昌乐. 目标跟踪的视觉注意计算模型[J]. 计算机工程, 2008, 34(23): 241-243.
- [3] Itti L, Koch C. Computational Modeling of Visual Attention[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2001, 2(3): 194-230.
- [4] Itti L, Koch C, Niebur E. A Model of Saliency-based Visual Attention for Rapid Scene Analysis[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [5] 耿国华,周明全. 基本八叉树结构的色彩量化算法[J]. 小型微型计算机系统, 1997, 18(1): 24-29.

编辑 索书志