

一种基于直方图特性的颜色量化方法^①

A Method For Image Color Quantization Based on Histogram

李永刚 殷海明 龚迅炜 乐光学 (嘉兴学院数学与信息工程学院 浙江嘉兴 314001)

摘要: 颜色量化是彩色图像处理中的关键技术之一。针对色调在颜色量化时容易出现偏差,提出了一种基于直方图特性的颜色量化算法,在颜色量化时对色调进行修正,并采用脉冲耦合神经网络对颜色量化结果进行分割验证。实验结果表明,该算法是一种复杂度低,性能较好的图像颜色量化方法。

关键词: 颜色量化 彩色图像 直方图 HIS 脉冲耦合神经网络

1 引言

在多媒体应用、工艺美术、印染工业等诸多领域中,彩色图像的处理是最迫切需要解决的问题之一。真彩色图像一般具有 2^{24} 种颜色,如何优选具有代表性的若干种颜色,而把各种颜色都量化归并到这些代表色上,并且使转换后得到尽可能好的效果,是彩色图像处理中的重要问题。这种把图像由24位的真彩色变成伪彩色(8-256色)的图像压缩方法通常称为图像颜色量化。近年来,陆续提出了许多种图像颜色量化算法。典型的有 Heckbert 提出的中值分割算法^[1],其基本思想是先给定颜色数 K,在 RGB 颜色空间下递归正交分割基平面,使得形成的子空间含有大致相同的像素数,直至形成 K 个子空间。分割算法的特点是量化速度较快,但是不能获得全局最优。聚类算法有 Celenk 的 C-means 聚类算法^[2],Kotroopoulos 的学习向量算法^[3]等,这类算法通常是迭代算法,处理较费时,且依赖于初始聚类中心的选择。每种颜色量化算法的目标只有一个,即量化后的结果和原图像相比具有最小的差别。实践证明,现有的任何一种量化算法并非都是万能的。

本文在 HSI 颜色空间进行颜色量化时发现,由于人眼对颜色感知力最强的色调 H 用角度 $0^\circ \sim 360^\circ$ 度量,色调 0° 附近是色调直方图中的灰度值最大和最小部分,使得颜色量化结果与图像的直观效果出现了较大的偏差。因此,本文提出了基于直方图特性的颜色

量化方法。实验结果表明,本文提出的颜色量化方法速度快,可以达到满意的图像处理效果。

2 颜色空间的选择

颜色空间是对颜色进行量化的空间坐标。根据不同的应用场合,颜色模型可分为:RGB 模型、CMY 模型、YIQ 模型、CIE 模型和 HSI 模型等。其中,RGB 模型将所有颜色看作三基色红、绿、蓝的组合,是面向硬件设备最常用的一种颜色空间;CMY 模型是以红、绿、蓝三色的补色青、品红和黄为基色构成的颜色模型,常用于彩色打印机;YIQ 模型是以亮度 Y 和正交的两个颜色分量 I、Q 而构成的三维颜色空间,常用于彩色电视广播;CIE 颜色模型包括一系列颜色模型,是由国际照明委员会提出的,是基于人的眼睛对 RGB 的反应,被用于精确表示对色彩的接收;HSI 模型是以色调 H、饱和度 S 和亮度 I 为分量构成的三维颜色空间。在 HSI 模型中,H 描述了纯色的颜色属性;S 提供了由白光冲淡纯色程度的度量;I 表示色彩的亮度强度。色调和饱和度合起来称为色度。在所有模型中,最常用于彩色图像处理的模型是 HSI 颜色空间。这是因为 HSI 模型在许多处理中有其独特的优点。第一,在 HSI 模型中,亮度分量与色度分量是分开的(YIQ 模型虽然也将亮度分量和色度分量分开,但两个色度分量还是相关的),I 分量与

① 基金项目:湖南省自然科学基金项目(07JJ6140);湖南省自然科学基金项目(07JJ6109);湖南省科技计划项目(05FJ3018)

图像的色彩信息无关。第二,在 HSI 模型中,色调 H 和饱和度 S 的概念互相独立并与人的感知紧密相连。这些特点使得 HSI 模型非常适合基于人的视觉系统对彩色感知特性进行处理分析的图像算法^[4]。为此,我们选择了 HSI 颜色空间作为彩色图像处理的模型。

3 颜色量化算法

图像颜色量化是在不显著降低图像质量的情况下,抽取一些有代表性的颜色表示图像,从而达到降低存储空间和提高处理速度的目的,因此一个好的颜色量化方法对于彩色图像的处理是十分重要的。实验结果表明,HSI 颜色空间的量化结果优于 CIE L * a * b *、CIE LUV 以及其它颜色空间的量化结果。由于色彩信息是彩色图像的主要信息,颜色量化时色调占有主要的比重。

3.1 色调的旋转

色调 H 可以用一个色环来描述,如图 1(a) 所示,0° 的颜色为红色,120° 的颜色为绿色,240° 的颜色为蓝色^[5]。由于色环中的颜色是循环渐变的,即大于 0° 和小于 360° 的颜色接近,如果把略大于 0° 的颜色量化成 0,稍小于 360° 的颜色量化成 255,则必然把 0° 附近的颜色量化到两个极端,不利于图像的处理。从彩色图像中提取的 H 分量如图 3 所示。

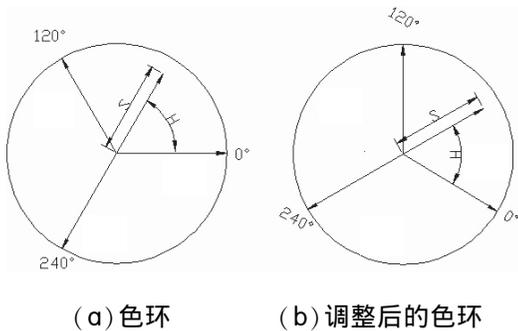


图 1 色环



(a) capsicum (b) baboon

图 2 彩色图像原图

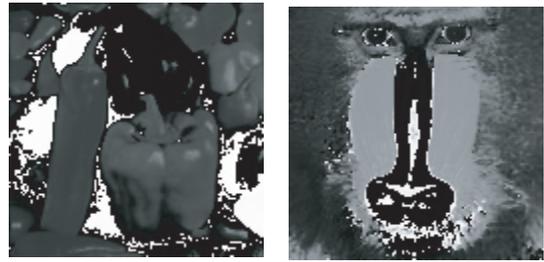


图 3 彩色图像的 H 分量

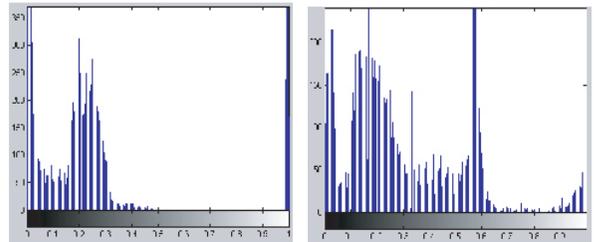


图 4 H 分量的直方图

图 4 为图 3 对应的直方图。从图 4 可以看出,颜色相近的红色分布在 x 轴的两端,构成了 H 分量图中的最亮和最暗部分,如图 3 所示。如果直接将 H 分量作为量化输入,如图 3(a) 中的红色辣椒、(b) 中狒狒的鼻子就被划分成不同的区域,显然和彩色图像的直观效果相差很大。需要解决的问题就是如何调整彩色图像的色调 H,使得彩色图像中颜色相近的区域尽可能地归属到同一个区域。通过直方图的平移可以实现这一目的。

平移的规则是根据直方图叠加并获得其最小值,公式描述如下:

$$M = \min(\sum_{i=m}^{m+1} count(i)), \quad 0 \leq m \leq 255 \quad (1)$$

$$i = \begin{cases} i & \text{if } 0 \leq i \leq 255 \\ i - 256 & \text{if } i \geq 256 \end{cases} \quad (2)$$

其中 count(i) 记录着归一化的色调 H 中像素值从 0 到 1 各灰度级的像素数,即直方图中各柱的高。 $\sum_{i=m}^{m+1} count(i)$ 表示连续个灰度级的累加, M 表示其中最小的一个。取得 M 时的 m 即为平移后的直方图的原点,这样可以使得连续 l 个灰度级直方图叠加最小的地方作为直方图新的原点。为了使直方图平移后的图像和原图像保

持一致,平移的方向规定如下:

$$H' = \begin{cases} H - m' & \text{if } 0.5 < m' \leq 1 \\ H + m' & \text{if } 0 < m' \leq 0.5 \end{cases} \quad (3)$$

其中 $m' = m/256$, 是 m 归一化的结果。

即如果 $0.5 < m' \leq 1$, 则直方图向右平移; 如果 $0 < m' \leq 0.5$, 则直方图向左平移。因为色调是连续变化的, 直方图平移后色调仍然是连续的, 如图 1(b) 所示。

图 5 为图 4 平移的结果, 图 6 为直方图平移后得到的图像。从图 5、图 6 可以看出, 直方图平移后的图像能够很好的将同一个区域的物体划分到同一部分。

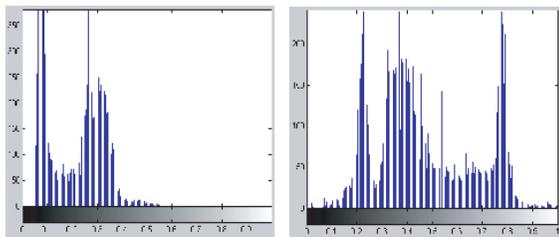


图 5 色调 H' 的直方图



图 6 色调 H' 分量

3.2 颜色的量化

按照人的视觉系统感知颜色特性的能力, 我们将 H, S, I 3 个分量进行非对称的量化。从对颜色模型的大量分析, 色调占有最为重要的比重, 我们把色调 H 分成 16 个空间, 饱和度 S 分成 4 个空间, 而亮度 I 与图像的颜色信息无关, 对视觉影响最小, 在图像处理中贡献最小, 故在颜色量化时, 将亮度 I 分量忽略不计。量化后的色调和饱和度值分别为:

$$H = \begin{cases} 0 & \text{if } h' \in [0, 0.0625) \\ 1 & \text{if } h' \in [0.0625, 0.125) \\ 2 & \text{if } h' \in [0.125, 0.1875) \\ \vdots & \\ 15 & \text{if } h' \in [0.9375, 1) \end{cases} \quad (4)$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{if } s \in [0, 0.25) \\ 1 & \text{if } s \in [0.25, 0.5) \\ 2 & \text{if } s \in [0.5, 0.75) \\ 3 & \text{if } s \in [0.75, 1] \end{cases} \quad (5)$$

将公式 (4)、(5) 量化后的颜色分量合并成一维特征矢量:

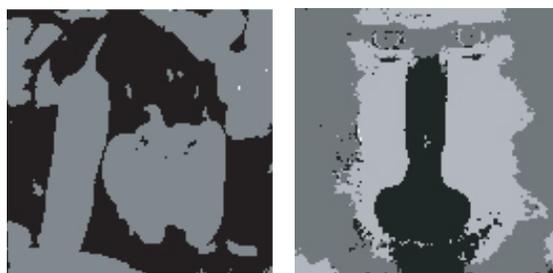
$$Q = q_s H + S \quad (6)$$

其中 q_s 是 S 分量的量化级数。颜色量化后直方图维数仅为 64 个。

4 结果和讨论

为了验证本文算法的有效性, 在 Dell 4400 双核 2.2G 微机上, 对多幅 24bpp, 128×128 彩色图像进行了量化分析, 本文方法的平均处理时间为 0.6 秒, 快于 K 均值算法的 0.9 秒。这表明本算法的复杂度低, 处理速度快。

将彩色图像量化的结果作为脉冲耦合神经网络 (PCNN) 的输入, 得到的分割结果如图 7 所示。从图 7 的分割结果来看, 能较好地分割出图像的特征部分, 能够清晰的分割出图 7(a) 中红色和青色的辣椒, 分割出了辣椒中的亮点和暗斑; 较好地分割出了图 7(b) 中狒狒的脸部轮廓、鼻子和眼睛。对于小区域的次要颜色显示稍有偏差, 若此小区域与周围的色差大时, 则处理后该区域颜色有些损失, 但仍然可以辨别。



(a) (b)

图 7 PCNN 分割结果

5 结论

在彩色图像处理中, 颜色的量化是一个重要的环节。本文选择量化效果更理想的 HSI 颜色空间作为量化空间。由于色调在 0° 附近的颜色量化到两个极端,

不利于颜色量化,因此着重对色调分量作了处理。通过对色调 H 的直方图的平移,使得颜色相近的区域分到同一个部分,再进行颜色的量化。实验结果表明,利用本文颜色量化方法速度快,直方图的调整可以调整图像曝光方面的不足,对图像的后续处理可以达到理想的效果。

参考文献

- 1 Heckbert P. Color Image Quantization for Frame Buffer Display. In: Proceedings of SIGGRAPH82, ACM, New York, 1982. 297 - 307.
- 2 Celenk M. A Color Clustering ,Technique for image Segmentation. Computer Vision 1990, 52:145 - 170.
- 3 Kotropoulos C, E Auge, I Pitas. Two - layer learning vector quantizer for color image quantization. In: J Vandewalle, R Boite, M Moonen, A Oosterlinck. Signal Processing IV: Theories and Applications, Elsevier, 1992. 1177 - 1180.
- 4 章毓晋. 图像工程(上册). 北京:清华大学出版社, 2006. 13 - 22, 158 - 182.
- 5 Kenneth. Rcastleman. Digital Image Processing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998: 473 - 485.
- 6 曹莉华,柳伟,李国辉. 基于多种主色调的图像检索算法研究与实现. 计算机研究与发展, 1999, 36 (1): 96 - 100.
- 7 龚斌,孟祥旭,汪嘉业. 一种新型图像颜色量化算法及其实现. 山东大学学报, 2003, 38 (1): 58 - 60, 72.