

文章编号:1001-9081(2006)12-2854-02

基于视觉感知特性的颜色直方图

胡 珊, 郭 雷, 沈云涛

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072)

(yuhao8175@tom.com)

摘 要:对颜色视觉感知特性进行了研究,利用 HSV 空间和 Weber-Fechner 定律分别讨论了颜色的亮度、色调和饱和度三个分量对主观感知的影响,综合这三方面的影响构造了一种颜色主观信息量函数。将此函数应用于直方图提取,得到一种基于视觉感知特性的颜色直方图。对比试验证明该直方图能稳定提升图像检索性能。

关键词:感知特性;颜色直方图;图像检索

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Computing color histogram based on perceptual characteristics

HU Shan, GUO Lei, SHEN Yun-tao

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

Abstract: The perceptual characteristics of color's Hue, Saturation and Value (HSV) were studied. To measure the information carried by different colors, a function was proposed by virtue of Weber-Fechner law and the hexagonal-pyramid model of HSV color space. It was used later to compute a perception-based color histogram. Contrast experiment proves the effectiveness of the new color histogram in image retrieval.

Key words: perceptual characteristic; color histogram; image retrieval

0 引言

为了实现不同颜色间的感知距离与颜色空间中欧氏距离的一致性,CIE(Commission International de l'Eclairage,国际照明委员会)提出了 $L^*a^*b^*$ 和 LUV 颜色空间^[1],文献[2]整合了 HSV(Hue, Saturation, Value)系列颜色模型,给出了一般性的 GLHS(Generalized Lightness, Hue, and Saturation)颜色模型;文献[3]根据视觉系统对图像边界和平滑区域的不同关注度,提出了一种基于边缘强度的加权主颜色特征提取算法;基于人眼对图像不同区域关注程度的不同,文献[4]给出了一种加权距离算法。本文致力于研究不同颜色视觉感知强度间的差异,通过构建颜色主观信息量函数,实现对这种差异的量化描述。在此基础上构建了符合视觉感知特性的颜色直方图。该直方图在统计图像中落入某颜色量化区间内像素点个数时,每个像素以该点颜色的主观信息量函数值记为个数,体现了颜色间的视觉感知强度的差异。

1 颜色视觉感知特性

心理视觉学研究指出^[5]:高亮度、高饱和度的颜色鲜明,与其他颜色的视觉差异大,对目标特征的表征能力强,所以人们更倾向于选择这类颜色作为分辨不同景物的主要识别特征。从 HSV 空间六棱锥模型(图 1)可以看到,不同色度的颜色间的视觉差异随亮度 v 的增大而增大,即高亮度下,视觉系统具有更高的颜色分辨率。虽然视觉系统可以分辨出超过 10000 种以上的颜色,但它只能“记住”其中很少的一部分。人们一般可以记住 11 种焦点性颜色,即:红、绿、蓝、黄、紫、橙、粉红、棕、灰、白和黑。在各种文化中,上述 11 种颜色大体

上也存在相应的语言文字与之对应,一般称其为文化色^[5]。以上情况说明,人眼对不同颜色的视觉感知强度是有差异的,颜色的亮度、饱和度和色调都是引起这种差异的原因。

在光照条件或者其他视觉条件发生变化时,同一景物的颜色在视觉上会产生差异,但通常被认为是一致的。这种现象称为颜色一致性^[6]。颜色一致性现象说明,视觉系统对颜色的感知不但与该颜色自身的特点有关,还会根据环境的颜色进行自适应调整。其中一个重要的特性就是视觉系统对场景平均颜色的计算。

2 颜色主观信息量函数

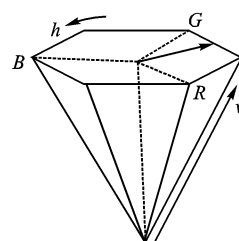


图 1 HSV 六棱锥模型

2.1 颜色空间

HSV 颜色空间通过采用色度、饱和度和亮度分离的方式实现对色彩的定量描述,相对于其他颜色模型,它更符合人类视觉系统对色彩的理解方式。文献[7]也指出:在基于直方图的图像检索中,与 RGB、Munshell 以及 CIE 的 $L^*a^*b^*$ 和 LUV 颜色模型相比,HSV 空间具有更高的检索效率。因此,本文选择在 HSV 空间提取直方图。图 1 给出了常用的 HSV 六棱锥模型。

2.2 颜色主观信息量函数

为了量化不同颜色间主观信息量的差异,我们引入颜色主观信息量函数 $f(h, s, v)$ 。假设黑色的主观信息量为 1,其他颜色的主观信息量相对于黑色的增量由两部分组成:亮度增大引起的主观信息增量 $f(v)$ 和色度引起的主观信息增量

收稿日期:2006-06-06;修订日期:2006-08-12 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60175001)

作者简介:胡珊(1982-),女,湖北广水人,硕士研究生,主要研究方向:基于内容的图像检索;郭雷(1956-),男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要研究方向:神经计算、视觉计算、模式识别;沈云涛(1974-),男,辽宁沈阳人,博士,主要研究方向:模式识别、图像检索、视频跟踪。

$f(c)$, 即:

$$f(h, s, v) = 1 + f(v) + f(c) \quad (1)$$

Weber-Fechner 定律指出,亮度的感觉与亮度的对数呈线性关系,即:

$$S = K \cdot \ln B + K_0 \quad (2)$$

其中, S 表示主观亮度感觉, B 表示客观亮度, K 与 K_0 是常量参数。

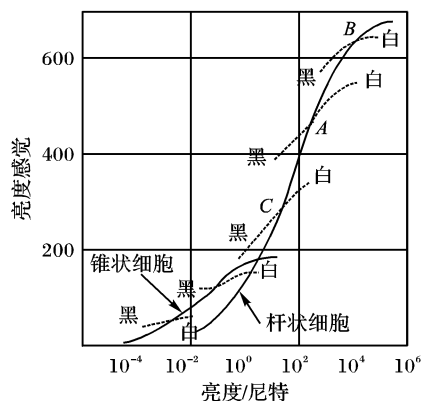


图2 人眼的主观亮度感觉和亮度的关系

图2是通过实验得到的主观亮度感觉与客观亮度的关系曲线。图中实曲线上每一点的横坐标表示客观亮度,纵坐标表示主观亮度感觉。图中虚线表示在适应了和实线交点所对应的客观亮度的情况下,人眼的相对视觉范围。当亮度超出了虚线对应的亮度范围时,主观亮度只有黑白两种感觉。

我们依据图2中的虚线来描述亮度值增大引起的主观信息增量。假设被观测的当前图像的平均亮度为 v_{aver} ,函数以点 $(v_{aver}, k_v \cdot v_{aver})$ 为界分为两段,由于亮度 $v \in [0, 1]$,亮度主观信息增量函数 $f(v)$ 如下:

$$f(v) = \begin{cases} k_v(v_{aver} + (1 - v_{aver})^{(1-t)} \cdot (v - v_{aver})^t) & v_{aver} \leq v \leq 1 \\ k_v(v_{aver} - v_{aver}^{(1-t)} \cdot (v_{aver} - v)^t) & 0 \leq v \leq v_{aver} \end{cases} \quad (3)$$

其中, k_v 为比例参数,幂指数 $t < 1$,图3给出了该函数的示意图。

为推导色调引起的主观信息增量,在极坐标系中表示六棱锥的HSV模型(图1)的水平切面,如图4所示,并不失一般性地假设: $s = 1$ 且 $f(h) = 1(h \in \{h | \text{mod}(h, \pi/3) = 0\})$,可以推出:

$$f(h) = \frac{\cos(\pi/6)}{\cos(\text{mod}(h, \pi/3) - \pi/6)} \quad (4)$$

饱和度对颜色视觉感知的影响接近线性,构造饱和度信息增量函数 $f(s)$ 如下:

$$f(s) = k_s \cdot s \quad (5)$$

色度感知是相应色调、饱和度和亮度共同作用的结果,采用下式来描述色度引起的主观信息增量:

$$f(c) = k_c \cdot f(v) \cdot f(h)f(s) \quad (6)$$

以上分别讨论了亮度、色调和饱和度对颜色感知强度的影响,把公式(3),(4),(5),(6)代入公式(1)就得到了完整的颜色信息增量函数。

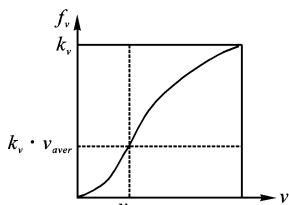


图3 亮度主观信息增量函数

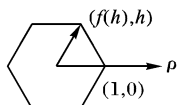


图4 色调主观信息增量建模

3 提取基于视觉感知特性的颜色直方图

传统的颜色直方图在计算落入某颜色量化区间内图像像素点个数时,每点均以1记入个数,并不区分不同颜色点间感知强度的差异。为了反映颜色间的视觉感知强度的差异,我们在统计各颜色量化区间内像素点个数时,以相应像素点颜色的主观信息量函数值记入个数。

MPEG7 标准推荐的 HSV 空间量化方案为:色调 h 分为 m_h 级,饱和度 s 分为 m_s 级,亮度 v 分为 m_v 级。但是上述方案忽略了对图像中灰度成分的识别,本文增加了灰度特征,采用一致性量化,分为 m_{gray} 级。所以,图像颜色特征的总维数为 $m_{HSV} = m_{gray} + m_h \cdot m_s \cdot m_v$ 。设彩色图像 I ,则基于颜色主观信息增量的直方图记为 $H(I) = [p_{c_1}, p_{c_2}, \dots, p_{c_n}]$, $n = m_{HSV}$, p_{c_i} 表示颜色 c_i 所占视觉系统感受到的总信息量的百分比。

4 实验结果

实验的测试图像来自 COREL 图像库,共 12600 幅彩色图像。检索例图分别来自图库的 20 个类别,共 20 幅;其中全局匹配类型和部分匹配类型各 10 幅。为了验证本文算法的有效性,实验采用传统颜色直方图 H_1 和基于视觉感知特性的直方图 H_2 作为图像特征。为了验证本文算法对不同量化方案的适用性,实验采用了两种 HSV 空间的量化方案。其中,方案1采用 $[m_n, m_s, m_v, m_{gray}] = [8, 2, 2, 8]$, $m_{HSV} = 40$;方案2采用 $[m_n, m_s, m_v, m_{gray}] = [12, 4, 4, 8]$, $m_{HSV} = 200$ 。在两种方案下分别提取了两个颜色特征库。相似度量采用 MPEG-7 标准推荐的 L_1 距离;实验中取 $t = 0.8$, $k_v = 0.08$, $k_c \cdot k_s = 1.0$ 。

由于不同例图的相关图像数日常常差异很大,而传统的查全率和准确率存在精度不足,不易比较多次检索的综合性能等缺陷,所以实验的检索性能评估方法采用 MPEG-7 推荐的查全率和准确率的改进型:归一化的修正检索序数 NMRR (Normalized Modified Retrieval Rank) 和平均归一化的修正检索序数 ANMMR (Average Normalized Modified Retrieval Rank)。

表1 量化方案1中的检索结果

例图 序号	图像 语义	相关图 像数目	匹配 类型	NMRR		性能提 升(%)
				$L_1(H_1)$	$L_1(H_2)$	
1	黄色花	44	全局	0.389 8	0.367 9	5.618
2	马	35	全局	0.592 7	0.567 4	4.269
3	红色花	60	全局	0.591 8	0.566 9	4.208
4	轿车	56	部分	0.589 1	0.529 5	10.12
5	公交车	54	部分	0.400 9	0.371 4	7.358
6	狮子	71	部分	0.859 8	0.824 0	4.164
...
ANMMR				0.6279	0.5928	5.545

表2 量化方案2中的检索结果

例图 序号	图像 语义	相关图 像数目	匹配 类型	NMRR		性能提 升(%)
				$L_1(H_1)$	$L_1(H_2)$	
1	黄色花	44	全局	0.3038	0.2876	5.332
2	马	35	全局	0.5243	0.5002	4.597
3	红色花	60	全局	0.5537	0.5329	3.757
4	轿车	56	部分	0.4044	0.3648	9.792
5	公交车	54	部分	0.2384	0.2270	4.782
6	狮子	71	部分	0.7800	0.7539	3.346
...
ANMMR				0.5283	0.5006	5.243

优块因子,并将此时的空间占用值作为测试结果。七种情况下的测试结果表明:

1) 随着体内属性不均质性的提高,使存储空间最小的最优块因子呈逐渐增大趋势。

2) 在体内属性均质性较强的情况下,虚拟八叉树模型占用的存储空间与线性八叉树相当。随着体内不均匀性的提高,线性八叉树的空间占用增长很快,甚至要高于网格模型;虚拟八叉树模型的存储空间增长缓慢,而且随着不均质性的提高,存储空间将趋于一个固定值。

造成上述差异的原因在于两种模型的原理:线性八叉树模型中,每个节点都有一个 5 字节或更长的位置码和层号信息,体内不均质性的提高会导致节点数量的增加,必然也导致其存储空间的增长;在虚拟八叉树模型中,节点中没有地址码等坐标信息,节省了大量的空间,虽然因为存储空节点而导致了一定的空间浪费,但是这种空间浪费所占的比重会随着体内属性不均质性的提高而降低:一方面,新增加的节点中有一部分已经存在,只不过是作为空节点存在,对于这类节点只需进行相应的修改,无需开辟新空间;另一方面,虚拟八叉树模型可以通过调整块因子大小实现进一步存储空间压缩和优化。

需要指出的是,在图 8 中,线性八叉树模型所占的存储空间中并不包含任何索引结构,而虚拟八叉树模型中已经包含了索引结构所占用的存储空间。

测试平台:AMD2500 + 1G DDR400 + GeForce5200。

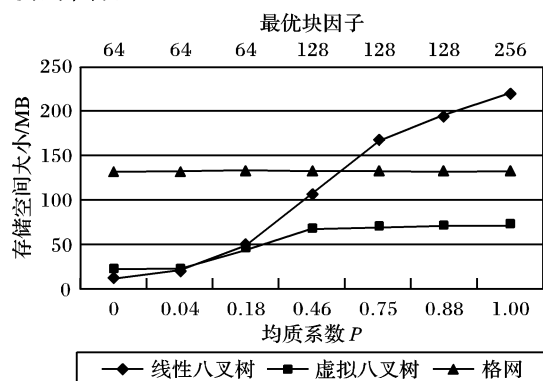


图 8 存储空间测试

4 结语

提出的虚拟八叉树模型具有与指针八叉树相当的时间效率,同时具有与线性八叉树相当、甚至更优的空间压缩效率,实现了八叉树结构在时间和空间上的优化和统一。由于八叉树结构和四叉树结构在原理上的近似,本文提出的虚拟八叉树模型同样也可以应用于四叉树相关的图像处理等领域。作者将在虚拟八叉树模型的基础上,对海量八叉树、并行处理与负载均衡、时空四维数据组织等方面进行进一步的研究。

参考文献:

- [1] MEAGHER D. Geometric modeling using octree encoding[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1982, 19(2): 129 - 147.
- [2] SAMET H. The design and analysis of spatial data structures[M]. Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.
- [3] 曹彤, 刘臻. 用于建立三维 GIS 的八叉树编码压缩算法[J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(1): 50 - 54.
- [4] 权毓舒, 何明一. 基于三维点云数据的线性八叉树编码压缩算法[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(8): 70 - 71, 129.
- [5] FRISKEN SF, PERRY RN. Simple and efficient traversal methods for quadrees and octrees[J]. Journal of Graphics Tools, 2002, 7(3): 1 - 11.
- [6] BHATTACHARYA P. Efficient neighbor finding algorithms in quadtree and octree[D]. MT thesis, Indian Institute of Technology, Kampur, 2001.
- [7] VOROS J. A strategy for repetitive neighbor finding in octree representations[J]. Image and vision computing, 2000, 18(14): 1085 - 1091.
- [8] SAMET H. Octree approximation and compression methods[A]. The 1st International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission[C]. Padova: IEEE, 2002. 19 - 21.
- [9] 宋涛, 欧宗瑛, 王瑜, 等. 八叉树编码体数据的快速体绘制算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(9): 1990 - 1996.
- [10] 李清泉, 李德仁. 八叉树的三维行程编码[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(2): 102 - 106.
- [11] MOKBEL MF, AREF WC, KAMEL I. Analysis of multi-dimensional space-filling curves[J]. GeoInformatica, 2003, 7(3): 179 - 209.

(上接第 2855 页)

表 1 和表 2 分别给出了 6 幅例图采用量化方案 1、量化方案 2 的检索结果,并且给出了相应 20 幅例图的 ANMRR。基于视觉感知特性颜色直方图的检索性能相比传统直方图,使用量化方案 1 时整体提高了 5.545%,使用量化方案 2 时整体提高了 5.243%。在对 20 幅例图的检索中,无论采用特征库 1 还是特征库 2,新直方图的检索性能都获得了稳定的提升,说明该直方图对检索性能的提高与采用的量化方案无关,其有效性具有普遍意义。

5 结语

本文根据视觉感知特性,构造了一种颜色主观信息量函数,以量化描述不同颜色间视觉感知强度的差异,在此基础上提出基于感知特性的颜色直方图。因为新算法反映了一般性的视觉现象,所以具有广泛的适用范围;又因为颜色主观信息量函数仅限于描述视觉形成的一个环节,具有很强的独立性,除了在本文提出的颜色直方图中的应用,还可以广泛用于其他颜色特征的提取。

参考文献:

- [1] CIE Publication 116. Industrial Colour-Difference Evaluation[M]. Vienna, 1995.
- [2] LEVKOWITZ H, HERMAN GT. A generalized lightness, hue, and saturation color model[J]. CVGIP, 1993, 55(4): 271 - 285.
- [3] DENG YN, MANJUNATH BS. An Efficient Color Representation for Image Retrieval[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2001, 10(1): 140 - 147.
- [4] HANSEN ME, CARSTENSEN JM. Density-based Retrieval from High Similarity Image Database[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(11): 2155 - 2164.
- [5] BERLIN B, KAY P. Basic Color Terms: Their Universality and Evolution[M]. Berkeley CA: University of California Press, 1991.
- [6] D'ZMURA M, LENNIE P. Mechanisms of Color Constancy[J]. Journal of Optical Society Am., 1986, A3: 1662.
- [7] FENG D, SIU WC, ZHANG HJ. Multimedia Information Retrieval and Management-Technological Fundamentals and Applications[M]. Springer, 2002.