

# 基于全局颜色的图像检索算法与实现<sup>\*</sup>

于汶涤 王崇骏 伍 静 陈兆乾

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京210093)

**摘 要** 本文描述了基于全局颜色的图像检索算法及其实现算法,也讨论了颜色空间划分方法、全局颜色直方图特征提取方法和基于全局颜色直方图特征的检索算法。这种算法检索速度快、准确率高,并给了一个具体检索实例。

**关键词** 图像检索,基于内容的图像检索,特征提取,颜色空间

## Image Retrieval Algorithm Based on Global Color and its Implementation

YU Wen-Di WANG Chong-Jun WU Jing CHEN Zhao-Qian

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing, 210093)

**Abstract** This paper describes the technique of image retrieval based on global color and the algorithm to implement it, also shows the method of color space partition, the method of global color histogram characteristic extraction and the retrieval algorithm based on global color histogram characteristic. This algorithm has faster retrieval speed and higher rate of veracity. The paper also gives an image retrieval example.

**Keywords** Image retrieval, Content-based image retrieval, Characteristic extraction, Color space

### 1. 前言

颜色特征是图像最直观、最明显的一种视觉特征,在人类的认知活动中起着非常重要的作用。每种物体都有其特有的色彩特征,同一类的物体往往有相似的色彩特征,可以根据色彩特征来检索图像,采用基于内容的图像检索系统来对图像进行管理和检索网上的图像成为当今研究的热点<sup>[1]</sup>。图像是物体表面视觉信息的载体,因此我们可以用图像的色彩特征来检索图像。目前在国际上已出现一些实用化的 CRIR 系统,如:IBM 的 QBIC 系统,哥比亚大学的 Visualeek 系统,Virage 公司的 Virage 等已有的基于内容的图像检索系统中都提供了基于颜色特征的图像索引和检索方法<sup>[2-4]</sup>。在颜色特征索引中目前存在的主要问题是人在对颜色特征的视觉感知方面考虑得仍然不够。这与颜色空间的选择关系密切,如果能选择一个恰当的颜色空间,使这个颜色空间中两种颜色的差别与人们的视觉准确地相对应,就可以使颜色查询获得较好的效果。同时,在使用图像颜色特征进行相似性匹配时,有多种距离度量方法可供选择,针对不同的图像颜色特征选择合适的距离度量方法,也会显著提高查询效果<sup>[5]</sup>。基于内容的图像检索系统 CBIR(Content Baseal Image Retrieve)是通过分析图像的内容,如颜色、纹理等建立特征索引,并存储在特征库中,用户在查询时,只要把自己对图像的模糊印象描述出来,系统通过对图像视觉特征进行相似性匹配在容量图像库中检索到用户想要的图像。基于内容的检索已广泛地应用于遥感图像处理、空间探测、医疗图像、天气预报、艺术馆藏资料管理等工业领域。尤其是随着 Internet 的发展,图像已成为网上的重要资源,所以基于内容的检索是不可缺少的检索手段。

我们对基于内容的图像检索关键技术进行了研究,并实现了一个基于内容的图像检索系统@IMAGE,本文给出的基于全局颜色的图像检索算法 GHR 已应用于@IMAGE 系统。GHR 算法检索速度快,准确率高。文中描述了 GHR 算法和

相关的技术,并给出了一个具体的检索实例。

### 2. 颜色空间的划分方法

@IMAGE 系统中主要研究了 RGB 颜色空间和 HSV 颜色空间在图像检索中的应用。

自然界中的所有颜色都可以由红绿蓝(R、G、B)三原色组合而成。针对含有某种原色成分的多少,可以人为地分成0到255个等级,0级表示不含该原色成分,255级表示含有100%的该原色成分。这样,根据红、绿、蓝各种不同的组合我们就能表示出 $256 * 256 * 256$ (约1600万)种颜色。

RGB 颜色模型如图1所示。

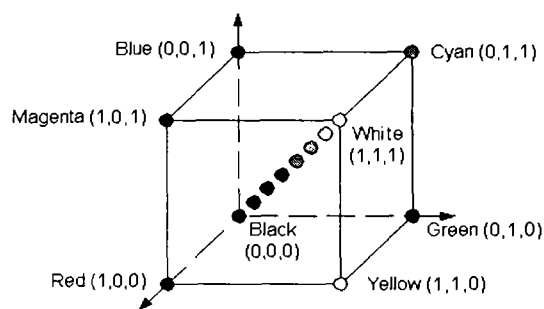


图1 RGB 颜色模型

采用 RGB 颜色模型,与计算机显示的颜色模型相一致,因此计算简单。但是 RGB 颜色模型与人眼的视觉感知存在差异。因此如果能够另选择一个恰当的颜色空间,使这个颜色空间中两种颜色的差别与人们的视觉准确地相对应,把该颜色空间作为实现颜色直方图方法的基础,就可以获得更好的查询效果<sup>[6]</sup>。

实验证明,HSV 颜色模型(色调 Hue、饱和度 Saturation、亮度 Value)与人眼的视觉感知相一致,是一种适合人眼分辨的模型<sup>[7]</sup>。其中,亮度 V 是颜色的明暗程度,通常用百分比度

<sup>\*</sup> 本文得到江苏省应用基础研究的资助(BJ200009)。于汶涤 硕士生,研究方向是智能化图像处理与分布式人工智能。王崇骏 博士生,研究方向是计算智能及智能化图像处理。伍 静 硕士生,研究方向是机器学习及图像处理。陈兆乾 教授,博士生导师,研究方向是机器学习、分布式人工智能及图形图像处理。

量,从0%为最暗的黑色,至100%为最亮的白色。饱和度 S 指颜色的深浅程度,即在纯色中包含的白色光的成份,用百分比度量。色调 H 和饱和度 S 分量合起来定义了颜色的色度 (Chromaticity) 特性。HSV 颜色空间是一个圆柱体,如图2所示。H 代表色度 ( $H \in [0^\circ, 360^\circ]$ ), S 代表饱和度 ( $S \in [0, 1]$ ), V 代表亮度值 ( $V \in [0, 1]$ )。一般情况下,我们得到的都是 RGB 图像,因此需要从 RGB 空间转换到 HSV 空间,其转换方法如下。

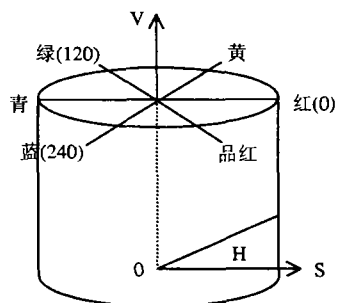


图2 HSV 颜色空间

**定义1** 给定一幅图像的 RGB 值为  $(r, g, b)$ ,  $r, g, b \in [0 \dots 255]$ ,

令  $m = \max(r, g, b)$ ,  $n = \min(r, g, b)$ , 并定义:

$$r' = \frac{m-r}{m-n}, g' = \frac{m-g}{m-n}, b' = \frac{m-b}{m-n}$$

根据上述定义,则 RGB 空间转换到 HSV 空间可用下述的式(1)计算:

$$v = m/255, s = \frac{m-n}{m}$$

$$h = 60 * \begin{cases} (5+b'), (r=m) \cap (g=n) \\ (1-g'), (r=m) \cap (g \neq n) \\ (1+r'), (g=m) \cap (b=n) \\ (3-b'), (g=m) \cap (b \neq n) \\ (3+g'), (b=m) \cap (r=n) \\ (5-r'), \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

在确定了颜色空间后,还需要对颜色空间进行适当的划分,以减少需要的存储空间和检索时间。以上无论是采用 RGB 颜色空间还是 HSV 颜色空间,对颜色级数的划分均很细。在 RGB 颜色空间中,将  $r, g, b$  都进行了 256 等分,产生了  $256 * 256 * 256$  种颜色,在 HSV 颜色空间中,如果将  $h$  进行 360 等分,  $s$  和  $v$  分别进行 100 等分,则将产生大约  $3.6 * 10^6$  种颜色。如此大数目的颜色对图像直方图特征的存储提出了很高的要求,对相似性匹配时的速度也将产生负面影响。但实际上,人对颜色的分辨能力是有限的,在颜色空间中,当两个颜色之间色差的距离小于一定的值时,人眼已经不能区分出它们的差别,而认为是同一种颜色。因此我们需要将颜色空间进行划分,将颜色空间分割为较少数目的颜色。

目前关于颜色空间的划分有两种方式:均匀颜色空间的划分和非均匀颜色空间的划分。考虑到人的视觉感知特性,适合人眼感知的划分应该是不均匀的。在我们的系统中,对 RGB 颜色空间采用了均匀颜色空间划分,对 HSV 颜色空间采用了非均匀颜色空间划分。

在 RGB 颜色空间中,我们将  $r, g, b$  分别进行了 8 等分,共形成了  $8 * 8 * 8 = 512$  种颜色。这样,存储一幅图像 RGB 直方图所需的存储空间减小为未划分空间时的  $1/256 * 3 = 1/768$ ; RGB 直方图匹配时,所需时间也减为未划分空间时所需时间的  $8 * 3 / 256 * 3 = 0.03215$ 。

在 HSV 颜色空间中,我们采用了非均匀颜色空间划分,这是考虑到人眼对颜色的辨别能力。人眼分辨饱和度和亮度

的能力比分辨色度的能力差,因此将  $h$  分为 8 份,而将  $s$  和  $v$  分别分为 3 份。此外,因为人眼对高低色度(饱和度,亮度)比中间色度(饱和度,亮度)要敏感,因此在进行非均匀划分时,两边较密集,而中间较疏松。

对 HSV 颜色空间的划分方法如式(2)所示:

$$H = \begin{cases} 0, h \in (316, 10) \\ 1, h \in (11, 25) \\ 2, h \in (25, 40) \\ 3, h \in (41, 120) \\ 4, h \in (121, 190) \\ 5, h \in (191, 270) \\ 6, h \in (271, 295) \\ 7, h \in (296, 315) \end{cases} \quad S = \begin{cases} 0, s \in [0, 0.2) \\ 1, s \in [0.2, 0.7] \\ 2, s \in (0.7, 1] \end{cases} \quad (2)$$

$$V = \begin{cases} 0, v \in [0, 0.2) \\ 1, v \in [0.2, 0.7] \\ 2, v \in (0.7, 1] \end{cases}$$

这样,存储一幅图像 HSV 直方图所需的存储空间减小为原来的  $1/50000$ ; HSV 直方图匹配时,所需时间也减为原来所需时间的 0.025。

### 3. 全局颜色直方图特征提取方法

特征是图像的压缩表示,特征抽取是 CBIR 系统的最基础部分,它决定了 CBIR 系统的性能好坏。而颜色是图像最重要的特征,颜色直方图(Color Histogram)是使用最广泛的特征,代表了红、绿、蓝颜色频道强度的概率。颜色直方图表征了图像颜色的分布频率,用颜色直方图可以描述图像的整体颜色特征,具有对图像大小,平移,旋转等变化不敏感和易于计算等优点。

**定义2** 设对于一幅大小为  $N_1 * N_2$  的数字

图像 I,其颜色(或灰度)由  $n$  级组成,每一种颜色(灰度)值为  $C_k (k=1, 2, \dots, n)$ 。在整幅图像中,定义一组象素的统计值  $h[C_1], h[C_2], \dots, h[C_n]$  为该图像的颜色出现频数,如式(3)所示:

$$h[C_k] = \frac{\sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} \begin{cases} 1, \text{如果 } T((I[i, j])) = C_k \\ 0, \text{其他} \end{cases}}{N_1 * N_2} \quad (3)$$

其中  $h[C_k]$  为具有  $C_k$  值的颜色出现频数,  $T((I[i, j]))$  为像素点  $(i, j)$  在颜色空间中的颜色值。

以图像中的颜色级为横坐标,颜色出现频率为纵坐标绘出的图形就称为图像的颜色直方图。

**定义3** 图像的颜色直方图空间 H 定义为式(4):

$$H = \{ \langle h[C_1], h[C_2], \dots, h[C_n], \dots, h[C_n] \rangle \mid \sum_{i=1}^n h[C_i] = 1, 0 \leq h[C_i] \leq 1 \} \quad (4)$$

在我们的研究工作中,得到 RGB 和 HSV 两个颜色空间的颜色直方图特征。并且在 @IMAGE 的研究中,颜色直方图都是归一化的。

对于 HSV 三维直方图,我们使用式(5)将其合为一维特征矢量写入系统图像特征库:

$$I = H * Q_s + S * Q_v + V \quad (5)$$

其中,  $Q_s, Q_v$  分别为分量 S, V 的量化级数,在系统中,取  $Q_s = 3, Q_v = 3$ , 于是, (5) 式即变换为(6)式:

$$I = 9H + 3S + V \quad (6)$$

这样, H, S, V 三个分量在一维矢量上分布开来, I 的取值范围为  $[0, 1, 2, \dots, 71]$ , 将 3 个特征分量合成一个特征分量。为消除图像大小的影响,在量化之后还要对直方图进行归一化。

利用上述方法在 @IMAGE 系统中我们建立了颜色直方图 HISTsrc 和颜色直方图特征库 HIST-DB。

### 4. 基于全局颜色的检索算法 GHR

GHR 算法的基本思想就是用图像的全局颜色直方图作

为特征索引,利用式(7)的欧几里得(Euclidean)距离公式计算出两幅图像的距离<sup>[8]</sup>。当距离足够小时,就认为两幅图像是相似的。

$$D(H_i, H_j) = [(H_i - H_j)^T * (H_i, H_j)]^{1/2} = \sum_{i=1}^n [H_i(C_i) - H_j(C_i)]^2 \quad (7)$$

具体检索过程如算法 GHR 所示。

GHR 算法:基于颜色特征的全局检索算法 GHR。

输入:待检索图像的颜色直方图 HIST<sub>src</sub>和颜色直方图特征库 HIST-DB

输出:按距离值大小排序的相似图像集 ResultSet

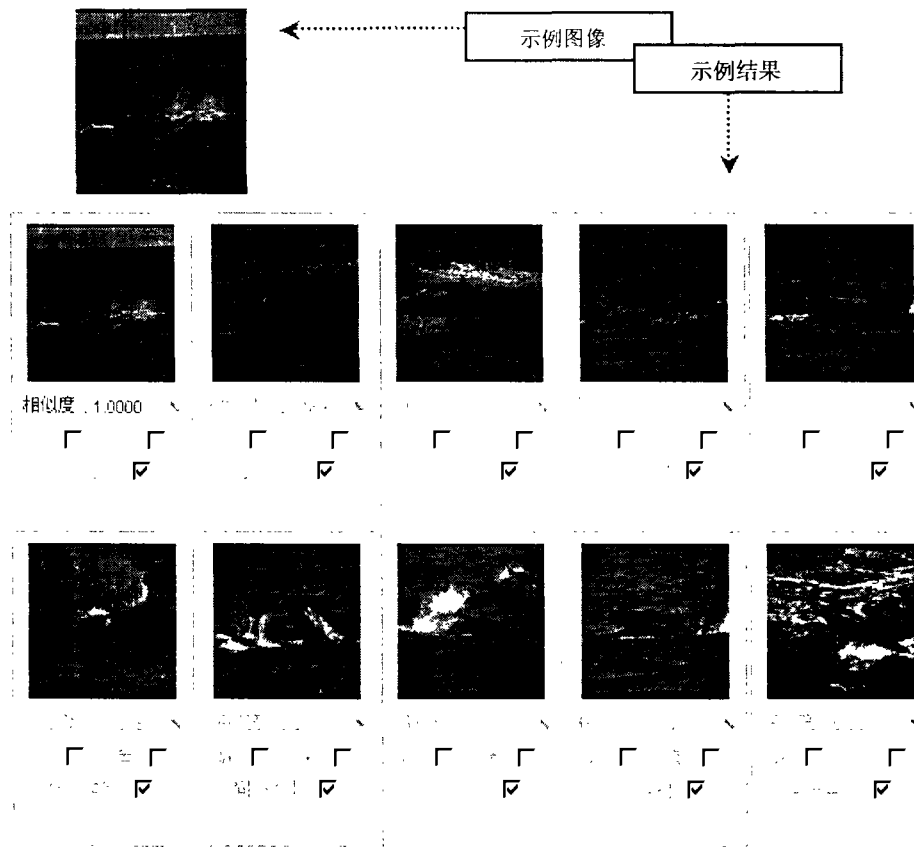


图3 GHR 算法检索实例

GHR 算法采用 JAVA 语言编程实现,图3是用 GHR 算法得到的检索实例,其中左上方是我们需要检索的图像示例。检索出的10幅图像其图像颜色与给出的图像示例颜色基本相符,其相似度均在0.92以上,效果很好,即使用颜色查询,可以查到与用户所选择的颜色图像相似的图像。实验表明 GHR 算法的优点是:

- (1) 图像特征库的建立和管理简单,计算量少,查询速度较快;
- (2) 全局颜色直方图具有对图像大小,平移,旋转等变化不敏感等优点;
- (3) 算法简单,容易编程实现。

**结束语** GHR 算法已应用于基于内容的图像检索系统 @Image 中,该系统在 Windows 2000 环境下,采用 Java 语言、C++(特征提取)JSP 和面向对象的 Java Bean 技术编程实现,源程序共470KB,近万行<sup>[9]</sup>。实现了基于图像颜色、形状和纹理等内容的检索,该系统及其关键技术,已应用于“肺癌早期细胞病理诊断系统”和“高速公路路面破损图像智能识别系统”,其效果很好。

步骤1 用户选择需要检索的示例图像,并选择 RGB 或 HSV 颜色空间和度量算法,并提交检索要求;

步骤2 从图像信息数据库中获取全局颜色直方图信息;

步骤3 根据相性度量距离式(7)计算图像信息数据库中各图像与示例图像之间的相似性距离;

步骤4 若距离小于指定阈值,则将对应图像加入图像检索结果集中;

步骤5 将图像检索结果集图像排序输出。

## 5 GHR 算法实验效果

## 参考文献

- 1 韩炜,吴炜.一个基于颜色分布特征的实用图像检索系统.计算机工程与应用,2000,7
- 2 Niblack W, Barber R, Equitz W, et al. The QBIC project: Querying images by content using color, teature and shape. Storage and Retrieval for Image and Video Databases, SPIE-1908, San Jose, 1993
- 3 Smith J R, Chang S F. Visual SEEK: A fully automated content-based image query system. ACM Multimedia 96, Boston, 1996
- 4 Bach J R, Fuller C. Virage image search engine: An open framework for image management. In: Proc of SPIE, Storage and Retrieval for Image and Video Database IV. San Jose, 1996. 76~78
- 5 曹奎,冯玉才,王元.图像检索中一种新的相关反馈.计算机科学,2002,39(1)
- 6 伯晓晨,刘建平.基于颜色直方图的图像检索.中国图像图形学报,1999,1
- 7 Smith JR, Chang SF. Local Color and Texture Extraction and Spatial Query. In: proc. IEEE int. Conf on Image proc, 1996
- 8 李瑜,李磊.基于内容的图像检索方法研究.计算机科学,1999,26(8):6~11
- 9 杨育彬,杭燕,王亮,伍静,陈世福:[基内容的信息智能检索系统技术报告].南京大学,2002.12