

基于颜色特征图像检索与相关反馈综合研究

冯 亚,耿国华,周明全,刘瑞华

(西北大学 可视化技术研究所,陕西 西安 710127)

摘 要:介绍了三种基于颜色特征的图像检索算法,说明了相关反馈的基本原理,随后指出上述三种算法各自的优势与不足,提出了把上述三种算法和相关反馈进行综合考虑的算法思想,并通过实验数据给出说明该方法效率明显高于前三种方法,最后提出了该方法的进一步发展方向。

关键词:颜色特征;相关反馈;图像检索。

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)12-0251-04

Integrated Research of Color - Based Image Retrieval and Relevance Feedback

FENG Ya, GENG Guo-hua, ZHOU Ming-quan, LIU Rui-hua

(Institute of Visualization Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Discusses three algorithms of color - based image retrieval, and introduces relevance feedback's basic principle. Then summarizes the above algorithm's advantage and shortcoming, puts forward The integrated algorithm that integrate above three algorithm and relevance feedback, and shows this algorithm's efficiency is better than above threes by lab data. Finally points out the direction in which this algorithm will be well developed.

Key words: color feature; relevance feedback; image retrieval

0 引 言

信息世界里每时每刻都在产生大量无序的图像数据,人们自然就有了检索图像数据的需求。然而,与传统的文本信息相比,图像内容的表示、存储和检索目前还存在着很多难点。如何从海量的图像数据中检索到用户所需要的信息成为一个研究的热点。早期对图像内容的描述主要是通过图像人工添加与其内容相关的文本标注,但是,人工文本标注除了存在主观性、不准确和开销太大的弊端外,还难以实现图像外观的相似性检索。因此,有必要研究如何从图像的视觉特征来实现基于内容的图像检索。

文中介绍了三种常见的以颜色特征来实现的图像检索方法。

1 多分辨率分块主色检索算法

多分辨率分块主色检索算法对图像空间按照某种分块策略进行划分,然后为每个分块计算主色作为分块的颜色特征。这里分块的主色指在相应分块中所占像素数目最多的颜色。检索时首先逐一计算对应分块主色之间的距离,再将所有分块的距离进行某种程度的加权累加作为两幅图像的实际距离。两幅图像间的距离越小,则相似程度越高^[1]。

通常一幅图像具有若干表示主体内容的主画面,由于事先缺乏任何先验知识,因此无法自动确定这些主画面在图像中的位置及大小。尽可能让表现图像内容的主画面位于同一分块内是一种好的选择,因此设计了采用多种划分尺寸和排列方式的分块策略。对于任意一幅图像,文中给出了三种划分策略:

(1) 细分辨率划分 P_{R1} , 分块排列为 $M_f \times N_f$ 阵列;

(2) 中等分辨率划分 P_{R2} , 分块排列为 $M_m \times N_m$ 的阵列;

(3) 粗分辨率划分 P_{R3} , 分块排列为 $M_c \times N_c$ 阵列。

得到总的分块集合 T , $T = T_f + T_m + T_c$, 其中: T_f 、 T_m 和 T_c 分别为三种分辨率所对应的分块集合。考

收稿日期:2007-03-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60372072)

作者简介:冯 亚(1980-),男,陕西长安人,硕士研究生,主要从事数据挖掘与图像检索方面的研究;耿国华,教授,博士生导师,研究方向为数据结构、算法分析与设计、智能信息处理等;周明全,教授,博士生导师,主要从事计算机图形学、数字图像处理及科学计算可视化等方面的科研工作。

考虑到主题画面可能跨越分块之间,在划分时还强制相邻分块在水平和垂直方向上各有一定的重叠区域,取 $M_f = N_f = 16, M_m = N_m = 9, M_c = N_c = 5$,分块间的重叠区域取为分块尺寸的 $1/4$ 。这种分块策略能自动适应不同粒度以及位于不同位置的主题画面,弥补了单一固定分块策略在这方面存在的弊端。

任意给定两幅图像 p 和 q ,在此假设 q 为查询目标, p 为图像库中任意一幅图像。首先计算对应分块的主色之间的距离,然后求出同一分辨率内所有分块的距离的加权和作为图像 p 和 q 在此分辨率上的距离,最后将不同分辨率的距离再次进行加权累加作为衡量图像 p 和 q 之间的距离。公式(1)和(2)定义图像 p 和 q 之间的距离测度 $D(p, q)$:

$$D_j(p, q) = \sqrt{(R_{pj} - R_{qj})^2 + (G_{pj} - G_{qj})^2 + (B_{pj} - B_{qj})^2}, j \in T \quad (1)$$

$$D(p, q) = \omega_f \sum_{i \in T_f} \omega_{fi} D_i(p, q) + \omega_m \sum_{i \in T_m} \omega_{mi} D_i(p, q) + \omega_c \sum_{i \in T_c} \omega_{ci} D_i(p, q) \quad (2)$$

$\omega_f + \omega_m + \omega_c = 1.0, \sum_{i \in T_f} \omega_{fi} = \sum_{i \in T_m} \omega_{mi} = \sum_{i \in T_c} \omega_{ci} = 1.0$
其中: $D_j(p, q)$ 是对应分块之间的距离, $D(p, q)$ 是整体距离; ω_f, ω_m 和 ω_c 分别为三个分辨率的权重系数, ω_{fi}, ω_{mi} 和 ω_{ci} 则为相应分辨率内每个分块的权重系数。

2 基于主色调匹配的图像检索方法

一幅彩色图像用到的颜色数量可能非常多,相应的直方图矢量维数也就非常大,若能对颜色空间进行适当归纳,将源图像的众多颜色根据人的视觉效果归类到较少的类别中去,则对新直方图进行的计算量将大大减少。

由于人眼对相近颜色的分辨能力有限,即人眼对颜色在某个范围内的变化是无法察觉的,故把一定范围内的颜色归为一类不会影响人的视觉判断^[2]。这里把 HSI 颜色空间的色度分量 H 沿分布轴分为 6 个空间,分别为 $[60 \times k, 60 \times (k+1)], k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$;把饱和度分量 S 分为 4 个空间,分别为 $[0, 0.25], [0.25, 0.45], [0.45, 0.65]$ 和 $[0.65, 1]$;把量度空间 I 分为 3 个空间: $[0, 85], [86, 171]$ 和 $[172, 255]$ 。量化结果为:

$$H = \begin{cases} 0, H \in [0, 60] \\ 1, H \in [60, 120] \\ 2, H \in [120, 180] \\ 3, H \in [180, 240] \\ 4, H \in [240, 300] \\ 5, H \in [300, 360] \end{cases} S = \begin{cases} 0, S \in [0, 0.25] \\ 1, S \in [0.25, 0.45] \\ 2, S \in [0.45, 0.65] \\ 3, S \in [0.65, 1] \end{cases}$$

$$I = \begin{cases} 0, I \in [0, 85] \\ 1, I \in [86, 171] \\ 2, I \in [172, 255] \end{cases}$$

量化完成后,将 HIS 空间划分为 $L_H \times L_S \times L_I$, 即 72 个相似色区间, L_H, L_I, L_S 分别是 H, S, I 分量的量化级数,量化后的直方图维数为 72。由于色度轴上各种颜色的分布是连续过渡的,以 60 为间隔将色度轴划分成 6 个空间,容易因量化间隙过大而引入较大误差,故对上述方法进行如下改进:

首先按上述方法计算出量化后的直方图,然后改变色度区间得到新的直方图。新的区间为: $[30 + 60 \times k, 30 + 60 \times (k+1)], k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ 。亮度和色度划分区间少,不易引起较大的误差,故仍按上面的方法划分。得到新的直方图后,将两次得到的直方图逐项计算加权平均值作为最终的检索特征直方图。

用 p 表示源图片, q 表示数据库中的任意一幅图片,则 p, q 之间的距离用下式表示:

$$D_k(p, q) = \sqrt{\sum_{i=0}^n \omega_i (\text{Histogram}(p_i) - \text{Histogram}(q_i))^2}$$

其中 $D_k(p, q)$ 是图片 p, q 间主色调直方图的欧式距离, $\text{Histogram}(p_i)$ 是图片 p 的主色调直方图的第 i 个分量。

3 基于颜色直方图的图像检索方法

该方法以颜色直方图作为检索的特征向量,对于 RGB 颜色空间,每幅图片对应三个颜色直方图,即红色(Red)、绿色(Green)和蓝色(Blue)直方图。这种方法的缺点是完全滤除了颜色的空间关系,但同时也存在对图像旋转、平移不敏感的优点^[3]。由于这种方法考虑了所有图片用到的颜色,与主色调法相比,更适合颜色数目较多,或检索目标相对于背景较小的情况。

用 p 表示源图像, q 表示数据库中的任意一幅图像,则 p, q 的距离用下式表示:

$$D(p, q) = \omega_R D_R(p_R, q_R) + \omega_G D_G(p_G, q_G) + \omega_B D_B(p_B, q_B)$$

其中 $D_c(p, q)$ 是 p, q 两幅图片颜色直方图之间的距离, p_R, p_G, p_B 是图片 p 的红色(R), 绿色(G), 蓝色(B)分量直方图, $D_R(p_R, q_R)$ 是 p, q 两幅图片的红色分量的欧氏距离, $\omega_R, \omega_G, \omega_B$ 是三个直方图之间的欧氏距离的权值,并且有 $\omega_R \geq 0, \omega_G \geq 0, \omega_B \geq 0$ 且 $\omega_R + \omega_G + \omega_B = 1$ 。各个分量的欧氏距离的计算公式为:

$$D_K(p_K, q_K) = \sqrt{\sum_{i \in L_K} \omega_{Ki} (\text{Histogram}(p_{Ki}) - \text{Histogram}(q_{Ki}))^2}$$

其中: L_K 为颜色分量 K 的直方图维度, ω_{Ki} 对应颜色分量直方图第 i 维度的权值, $\omega_{Ki} \geq 0, K \in (G, R, B), i \in L_K$ 且 $\sum_{i \in L_R} \omega_{Ri} = 1, \sum_{i \in L_G} \omega_{Gi} = 1, \sum_{i \in L_B} \omega_{Bi} = 1$ 。

4 相关反馈

目前,在基于内容的图像检索技术中所抽取的图像特征基本上是图像的底层视觉特征,它们与图像的实际语义是脱离的,底层视觉特征目前尚无能力辨别出图像中所包含的物体。因此,无论采用何种特征,无论使用何种距离测度,最终决定两幅图像是否相似还取决于实际用户。我们认为:基于内容的图像检索系统应该尽可能地做到以用户为中心,而不是以计算机为中心。另外,由于侧重点的不同,不同的用户对图像的相似性的判断也存在不同的标准。为此需要研究如何使系统自动适应这种特定的需求,从而实现更好的查询效果。相关反馈是提高系统查询效果的一种强有力的方法。

相关反馈的目标是从用户与查询系统的实际交互过程中进行学习,发现并捕足用户的实际查询意图,以此修正系统的查询策略,得到与用户实际需求尽可能相吻合的查询结果,由于相关反馈可以实时地修改系统的查询策略,从而为图像检索系统增加了自适应功能^[4]。对于采用向量空间模型的系统,相关反馈技术一般采取两种策略:移动查询向量;调整距离测度策略。多分辨率的分块策略为相关反馈的实施提供了可能。

5 综合检索

主色调法适合目标和背景颜色相对比较简单图片,但无法捕捉颜色组成之间的空间关系;颜色直方图法关注图片中出现的每个颜色,适合图片颜色比较杂乱的情况,但也不关注颜色组成的空间关系;分块主色法以如下推断为假设:不同的图像如果在空间相近的位置同时存在颜色相似的大片区域,则这两幅图像具有较大的相似性,它关注颜色的空间分布,由此提出了利用相关反馈的综合方法。所谓综合是把上述三种方法综合考虑,使检索过程在某种程度上既考虑了颜色,又考虑了颜色的空间分布,既考虑了色度,又考虑了亮度和饱和度,既适用于图片用色比较少,又适用于目标比较小的情况,既能得到较好的检索结果,又能充分降低算法的复杂性。

对于多分辨率分块主色法,每将一幅图片进行分块,系统都将花费巨大的时间和空间代价。对一幅 500×500 像素的图片,粗分辨率需要 32×32 块,中分

分辨率需要 56×56 块,细分辨率需要 100×100 块,每块需存储主色和块内系数共需 16 字节,即使不计算维护数据所需的数据结构空间,每幅图片仍需要 $(32 \times 32 + 56 \times 56 + 100 \times 100) \times 16 = 226.56 \text{ kB}$ 。如果数据库的规模很大,让每幅图片都执行进行该方法是很不经济的。对于主色调法和颜色直方图法,虽然二者计算方法一致,但由于后者需要计算三个维度为 256 的直方图,而前者只需计算一个维度为 72 的直方图,所以主色调法时间复杂性要低得多。

因此,综合方法仅用复杂性最低的主色调法遍历数据库,取欧氏距离最小的 $N1$ ($N1$ 必须“适当”,即进入下一轮检索的图片尽可能少,且应包含尽可能多的正反馈图片,文中取 150) 张图片进入颜色直方图法。经过颜色直方图法后,将前两次检索结果综合起来考虑,取欧氏距离较小的前 $N2$ ($N2$ 也应该“适当”,文中取 100) 张图片进入多分辨率分块主色法。然后把三次检索的结果综合考虑后取前 N (文中取 20) 张图片提供给用户。

用 p 表示源图像, q 表示数据库中的任意一幅图像,则 p, q 的距离用下式表示:

$$D(p, q) = \omega_h D_h(p, q) + \omega_c D_c(p, q) + \omega_b D_b(p, q), \omega_h + \omega_c + \omega_b = 1$$

由于计算欧氏距离时,主色调法和颜色直方图法用像素数为单位,多分辨率分块主色法用颜色为单位计算,故得到的结果可能相差几个数量级,为了让三种方法公平地参加计算,需要对 $D_h(p, q), D_c(p, q)$ 和 $D_b(p, q)$ 进行修正。采用“归一法”对每次检索的结果都乘以一个系数,使最小欧氏距离为 0.0,第 N (N 为最后提供给用户的图片数) 个欧氏距离为 1.0。修正后的欧氏距离表示为 $\overline{D(p, q)}$ 。故 p, q 的距离表示为:

$$\overline{D(p, q)} = \omega_h \overline{D_h(p, q)} + \omega_c \overline{D_c(p, q)} + \omega_b \overline{D_b(p, q)}$$

首次检索,取 $\omega_h = \omega_c = \omega_b = 1.0/3$,即认为三种方法在图像检索中起到的作用是一样的,但有些图片适合用主色调法进行检索,有些图片更适合用颜色直方图法或多分辨率分块主色法,而 $\omega_h = \omega_c = \omega_b = 1.0/3$ 只能保证检索结果是这三种方法的平均。所以,在相关反馈系统中,有必要对这三个系数进行修改,使适合的方法在检索中起到更大的作用。

如果系统最后提供给用户 N 张图片作为检索结果,设经主色调法得到的结果中前 N 张图片有 $N1$ 张正反馈图片,经过颜色直方图法得到的结果中前 N 张图片有 $N2$ 张正反馈图片,经多分辨率主色法得到的结果中前 N 张图片有 $N3$ 张正反馈图片,则:

$$\omega_h = N1/(N1 + N2 + N3)$$

$$\omega_c = N2/(N1 + N2 + N3)$$

$$\omega_b = N3/(N1 + N2 + N3)$$

6 实验评价

实验采用的数据库共有 500 多幅图片,被大致分为 12 个子类别的图片数据库,题材包括湖边风景、校园、体育、花卉、球场以及雪山等。文中设计了两个实验:一个是平均查准率对比实验,一个是相关反馈有效性实验。

第一个实验比较不同检索方法的查询效果。为此,在 12 个子类别中,每个子类别中随机抽取 5 幅图片进行检索,这样共构成了 60 次检索,计算当在查询结果中分别取前 1 直到前 20 幅图像时相应的查准率。综合 60 次查询,得到了相应的平均查准率,如图 1 所示。

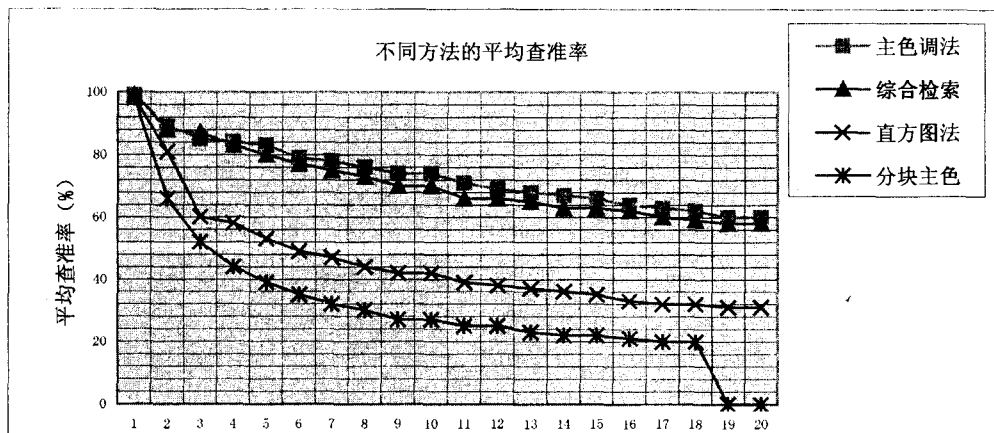


图 1 不同方法的平均查准率

主色调法由于使用了 HSI 颜色空间,充分考虑了亮度和饱和度,能够得到较好的检索结果。分块主色法使用 RGB 颜色空间,查准率偏低,但它在相关反馈中将发挥更大的作用。而经典的全局直方图法介于两者之间。由于综合法在没经过相关反馈前,取 $\omega_h = \omega_c = \omega_b = 1.0/3$,取各种检索方法的平均。

第二个实验判断相关反馈的效果。与第一个试验类似,在 16 个子类别中,每个子类别随机选取 5 幅图片进行检索,同时对每幅图片进行两次相关反馈,观察查准率的变化实验结果如图 2 所示。两次相关反馈都明显地提高了检索结果,查准率大幅度提高,且正反馈图片的位置比较靠前。

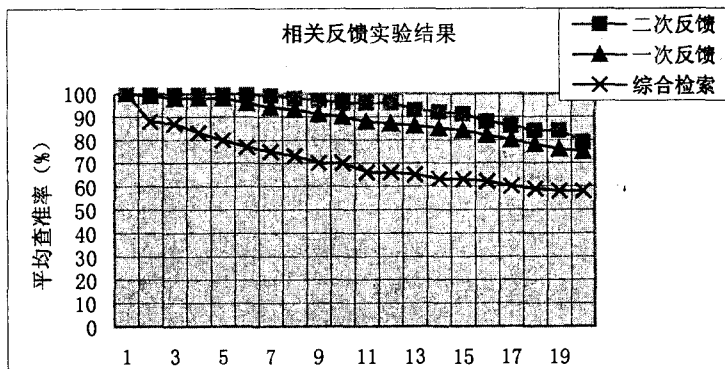


图 2 相关反馈实验结果

将主色调法和全局直方图法引入了相关反馈系统,在一定程度上能有效增强 CBIR 系统的灵活性,提高检索结果的准确性,但仍有不足之处,比如没有实现系统的“记忆”功能,用户即使是进行相同的检索,也必须先进行和上次一样的检索过程。

基于内容的图像检索技术是当今学术界的研究热点之一,虽然目前这项技术在研究和商业领域都取得了一定成果,但它也只在个别领域如指纹识别、商标检验获得了成功,要想让这项技术真正为普通用户所接受和使用,还必须解决以下两方面

的问题:一是必须完善底层特征的提取方式;二是必须使底层特征符合高层语义^[5]。因此,要将综合检索方法推广开来,今后的主要工作要围绕这两方面进行研究,并考虑再结合其它检索方法。

参考文献:

- [1] 陈林,汪卫星. 基于分块主色调和相关反馈技术的图像检索方法[J]. 计算机科学, 2003, 31(增): 274-277.
- [2] 黄元元,郭丽. 基于主色调匹配的图像检索方法[J]. 计算机工程, 2002, 28(6): 28-29.
- [3] 窦建军,文俊. 基于颜色直方图的图像检索技术[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(1): 84-88.
- [4] 刘倩. 基于内容的图像检索中的相关反馈技术[J]. 华东交通大学学报, 2003, 20(4): 71-74.
- [5] 何清法,李国杰. 综合分块主色和相关反馈技术的图像检索方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(10): 912-917.

7 总结

主要对传统的图像检索方法以及经典的全局直方图法进行了改进和综合,除多分辨率分块主色法外,又