

基于颜色特征的图像检索技术研究^①

Research of Image Retrieval Based on Color Feature

尹 达 孙劲光 (辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院 辽宁 葫芦岛 125105)

摘 要: 为解决由全局直方图和分块直方图各自的缺欠而造成的检索结果不理想以及排序差等问题, 提出一种综合考虑图像的空间性和全局性的图像检索策略。其思想是根据人类视觉特征将图像非均匀划分为主次 9 块, 通过用户设定阈值的方法对中心区域相似度小于该阈值的明显不相关图像进行过滤, 以降低计算复杂度; 对大于该阈值的图像进行二次重叠划分, 突出中心区域的重要性, 采用全局直方图和分块直方图相结合的方法对中心区域的相似度重新计算。最后根据 9 个子块的不同重要性进行加权, 返回检索结果。实现了综合方法的图像检索系统。实验结果表明该方法具有旋转、平移不变性, 对于重点区域面积较大且集中在中部的图像的检索精度明显提高, 同时改善了排序。

关键词: 直方图 图像检索 相似度

1 引言

随着多媒体计算和通信技术的发展, 多媒体数据规模急剧增长^[1]。应海量数据库的要求, 90 年代提出了基于内容的图像检索技术。在检索所应用的特征中, 颜色是图像最明显、最直观的特征。近些年, 对于颜色特征的提取已经提出了很多的经典理论, 颜色直方图是在研究中最常用的提取颜色特征的方法。然而, 全局颜色直方图缺少空间信息的缺点和分块直方图缺乏旋转、平移不变性等问题一直是研究的一个热点。分块直方图是全局直方图的一个改进, 已提出的分块方法或是没有对图像的主体区域进行重点考虑, 或是对于边缘区域、四角区域以平等地位对待, 或是没有顾及到图像的平移、旋转等全局性问题, 从而导致检索结果不是十分理想。于是, 本文针对全局直方图和原有分块直方图的缺欠, 提出一种全局直方图和分块直方图相结合的检索策略。该方法的创新点在于同时考虑到图像的空间性和全局性, 通过设定阈值的方法来降低计算复杂度, 同时对中心区域进行二次重叠划分, 突出的主体重要性, 从而来提高图像检索系统的性能。

本文第 2 节介绍相关工作。第 3 节给出传统的颜

色直方图算法。第 4 节给出颜色直方图的改进算法。第 5 节给出实验数据以及分析结果。第 6 节给出结论以及未来工作。

2 颜色空间的选择和量化

颜色特征是图像检索中最显著的特征之一, 我们选择是最符合人的视觉感应的 HSV 模型^[2]。其中 H 表示色调, S 表示颜色的饱和度, V 表示亮度。

然而直接在真彩色上提取颜色特征, 计算量相当大。为减少计算量, 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, 从而降低存储空间、提高处理速度。

由于本文采用综合考虑全局和分块的算法, 所以利用非等间隔 256 级高级数量化的方法以改善做全局考虑时可能出现的查准率降低的情况, 量化公式如下:

量化后, 将 HSV 颜色空间分为 $L_h * L_s * L_v$ 个相似的颜色区空间, 其中 L_h 、 L_s 、 L_v 分别表示 HSV 的三个量化级数, $L_h=16$, $L_s=4$, $L_v=4$, 即颜色空间被划分为 256 个颜色区间。从而可以把 H, S, V 三个分量合并为一个一维的特征矢量: $L=L_s \times L_v \times H + L_v \times S + V$, 根据上面三个分量的值可得到:

① 基金项目:2008-10-10

$$H = \begin{cases} 0, H \in [354, 15] \\ 1, H \in [15, 25] \\ 2, H \in [25, 45] \\ 3, H \in [45, 55] \\ 4, H \in [55, 80] \\ 5, H \in [80, 108] \\ 6, H \in [108, 140] \\ 7, H \in [140, 165] \\ 8, H \in [165, 190] \\ 9, H \in [190, 220] \\ 10, H \in [220, 255] \\ 11, H \in [255, 275] \\ 12, H \in [275, 290] \\ 13, H \in [290, 316] \\ 14, H \in [316, 330] \\ 15, H \in [330, 345] \end{cases} \quad S = \begin{cases} 0, S \in [0, 0.15] \\ 1, S \in [0.15, 0.4] \\ 2, S \in [0.4, 0.75] \\ 3, S \in [0.75, 1] \end{cases} \quad V = \begin{cases} 0, V \in [0, 0.15] \\ 1, V \in [0.15, 0.4] \\ 2, V \in [0.4, 0.75] \\ 3, V \in [0.75, 1] \end{cases} \quad (1)$$

$$L = 16H + 3S + V \quad (2)$$

这样，我们可以根据量化后的图像可以统计得到 256 柄的一维直方图。

3 颜色直方图

Swain^[3]和 Ballard 提出的颜色直方图具有与生俱来的旋转、尺度和平移不变性。其核心思想是统计每一个量化通道在整幅图像颜色中所占的比重。横坐标表示色彩归一化的值，纵坐标表示每个小的颜色区间对应的图像像素的总和。图像的统计直方图是一个一维的离散函数：

$$h_k = \frac{n_k}{n}, k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3)$$

其中， k 表示颜色的特征值， L 表示特征取值的个数。于是我们得到图像 P 的颜色直方图为：

$$H(p) = [h_1, h_2, \dots, h_{L-1}] \quad (4)$$

全局颜色直方图是图像特征提取中最简单的方法，它的计算方法和匹配方法都很高效，具有旋转和平移不变性；然而全局直方图统计的是整幅图像的颜色分布信息，因此丢失了颜色空间信息，两个完全不同的图像可有相同的直方图。

分块颜色直方图是对于全局颜色直方图的一种改进，使其能够包含图像的部分空间信息。然而分块直方图却同时缺失了平移、旋转不变性。在以往的研究中，通常是将图像平均的分为左、中、右三块或者上、中、下三块，或者平均分为 9 块的策略，这样没有突出图像的主体部分，对于所有分块平等对待，忽视了人眼对图像不同区域关注的差别。另外一些研究为了

注重直方图的空间信息将图像分块较多，使得图像被分得过分零碎而在检索中对图像造成噪声，破坏了图像的完整性。已提出的颜色-空间二维直方图方法^[4]对图像的中部区域进行了重点考虑，这种方法大大的提高了图像的检索精度，然而，该方法对最不重要的四角区域重叠划分了两次，使得计算量做出了无谓的增加；其次，该方法对边缘区域和四角区域进行同等地位考虑，没有注意到这两个区域地位的差别；再次，该方法没有顾及图像的平移、旋转等图像的全局性问题，致使图像检索的查全率较低。

4 颜色直方图改进算法

综合上述问题，本文综合考虑全局直方图和分块直方图方法，提出新的检索策略，该方法对于重点区域面积较大且处于中部的图像，检索精度和排序效果都明显得到改善。同时对于目标图像的翻转、旋转等情况也能彻底的检索出来，提高了图像检索的查全率。该算法具体思想及步骤如下：

第 1 步：将示例图像 P 平均分成 55 个单元，对 25 单元划分成如下 9 块，该划分方法注意到了人类视觉的特点，将图像的中间区域、四角区域和边缘区域分开讨论。

P1	P2	P3	P4	P5
P6	P7	P8	P9	P10
P11	P12	P13	P14	P15
P16	P17	P18	P19	P20
P21	P22	P23	P24	P25

图 1 将图像不均匀划分 9 块

$A1 = \{P1\}$; $A2 = \{P5\}$; $A3 = \{P21\}$; $A4 = \{P25\}$;
 $A5 = \{P2, P3, P4\}$; $A6 = \{P6, P11, P16\}$; $A7 = \{P10, P15, P20\}$;
 $A8 = \{P22, P23, P24\}$; $A9 = \{P7, P8, P9, P12, P13, P14, P17, P18, P19\}$;

第 2 步：由已得到的 9 个区域，我们可以求出每个区域 $A_i (i=1, 2, \dots, 9)$ 的直方图 $H_i(P) = (h_{i0}, h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{i255})$ ，简单的直方图没有考虑到相邻颜色的相似性，所以，本文采用累加直方图^[5]的方法，设 $g_{ik}(P) = \sum_{j=1}^k h_{ij}$ ，其中 $i=1, 2, \dots, 9, k=0, 1, \dots, 255$ 。

从而得到图像 256 柄累加直方图：

$$G_i(P) = (g_{i0}, g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{i255}) \quad (5)$$

第 3 步: 应用直方图交叉的方法将示例图像 P 与图像库中的图像 Q 对应块进行相似匹配:

$$S_i(P, Q) = \sum_{m=0}^{255} \min(g_{im}^P, g_{im}^Q) \quad (6)$$

从公式(7)可以看出, 图像的相似度取值在 0 和 1 之间。若图像对应块的颜色分布完全相同, 其相似度为 1; 若完全不同, 则相似度为 0。由此, 得出了 9 个区域的相似度向量:

$$S(P, Q) = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_9) \quad (7)$$

第 4 步: 我们所分的 9 个区域中, A1、A2、A3、A4 四块是图像的四角区域, 是最不重要的部分, 所处地位相同; A5、A6、A7、A8 是边缘区域, 所处地位相同; A9 是图像最为重要的中间区域。这样我们在分配权重时, 就可以通过如下公式得到图像的加权颜色特征相似度 S:

$$S = w_1(S_1 + S_2 + S_3 + S_4) + w_2(S_5 + S_6 + S_7 + S_8) + w_3 S_9 \quad (8)$$

其中, w_1 、 w_2 、 w_3 为权重, 且 $4w_1 + 4w_2 + w_3 = 1$ 。且 $4w_1 < 4w_2 < w_3$

第 5 步: 为了对图像的中间区域进行重点考虑, 同时又兼顾图像的平移、旋转等问题, 提高图像检索的查准率和查全率, 本文对上面所求得的 S_9 进行分析:

首先由用户设定一个阈值 $T(0 < T < 1)$, 将得到的中间区域 A9 的相似度 S_9 与 T 相比较: $S_9 < T$ 时, 认为该图像与示例图像不相关, 将其过滤掉; $S_9 > T$ 时, 认为该图像与示例图像相关, 对其中间区域进行二次重叠分块。阈值的设定会使用户在进行图像检索时, 将不相关的图像先行过滤, 在未被过滤掉的相关图像中进行图像检索, 降低了计算的复杂度。

下面对中心区域 A9 进行二次重叠划分, 重叠划分的作用是突出中心主体块的重要性, 二次分块方法如下:

$B1 = \{P7, P8, P9, P12, P13, P14\}$; $B2 = \{P8, P9, P13, P14, P18, P19\}$; $B3 = \{P12, P13, P14, P17, P18, P19\}$; $B4 = \{P7, P8, P12, P13, P17, P18\}$;

这样, 我们将 A9 分为了 B1、B2、B3、B4 四个重叠的区域, 其中 P7、P9、P17、P19 作为 A9 中的

四角区域被重新划分了 2 次; P8、P12、P14、P18 作为 A9 中心部分的临近区域被重新划分 3 次; P13 作为 A9 的主体区域被重叠划分 4 次。这样使得一幅图像的 主体信息被重点突出出来。

第 6 步: 为了将全局直方图和分块直方图方法各自优点融合到中心区域 A9 中, 使检索结果更为理想, 本文采用全局直方图和分块直方图相结合的方法对公式(8)中的 S_9 进行重新计算。首先对二次重叠分块得到的四个区域进行 256 级量化, 得到它们的累加颜色直方图; 通过与数据库中的图像对应块进行直方图相交得到四个区域的相似度 S_{B1} 、 S_{B2} 、 S_{B3} 、 S_{B4} ; 此时, 本文将 A9 的全局相似度 S_9 加入相似度重新计算中, 给这 5 个相似度分配相同的权重 0.2, 求出 A9 的平均相似度, 即 S'_9 :

$$S'_9 = 0.2 \times (S_{B1} + S_{B2} + S_{B3} + S_{B4} + S_9) \quad (9)$$

从而综合考虑到了中间区域 A9 的全局性和空间性。

第 7 步: 最终公式(8)变更为:

$$S = w_1 \times (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) + w_2 \times (S_5 + S_6 + S_7 + S_8) + w_3 \times 0.2 \times (S_{B1} + S_{B2} + S_{B3} + S_{B4} + S_9) \quad (10)$$

第 8 步: 按相似度 S 大小排序, 返回前 N 幅图像。

5 实验结果及实验

本文验证系统应用 vc++6.0 开发。实验图库是从标准测试图像库 Corel 图像库中选取的 1000 幅图像组成的数据库, 其中包括雪山, 花卉, 恐龙以及干扰图像。

阈值 T ($0 < T < 1$) 设定的目的是为了过滤不相关图像, 从而降低计算复杂度, T 值越大, 过滤掉的图像就越多; T 值越小, 过滤掉的图像就越少。T 值可以由用户输入设定。

本文采用查准率、查全率以及排序的优劣作为系统性能的评价标准。

$$\text{查准率} = \frac{\text{检索得到的相关图像数目}}{\text{检索得到的全部图像数目}}$$

$$\text{查全率} = \frac{\text{检索得到的相关图像数目}}{\text{全部相关图像数目}}$$

首先, 我们通过 10 组权重的取值来确定公式(10)

中的 w_1 、 w_2 、 w_3 ，其中 $4w_1 + 4w_2 + w_3 = 1$ ，取以下 10 组权值实验：

表 1 十组权值取值表

组号	w_1	w_2	w_3
1	0.05	0.08	0.384
2	0.04	0.082	0.409
3	0.035	0.085	0.416
4	0.03	0.086	0.428
5	0.025	0.088	0.438
6	0.02	0.09	0.445
7	0.025	0.082	0.458
8	0.025	0.06	0.528
9	0.025	0.04	0.592
10	0.025	0.03	0.624

应用每组权值对三类图像分别进行检索，各类图像在 10 组权值下的查全率变化曲线如下图所示：

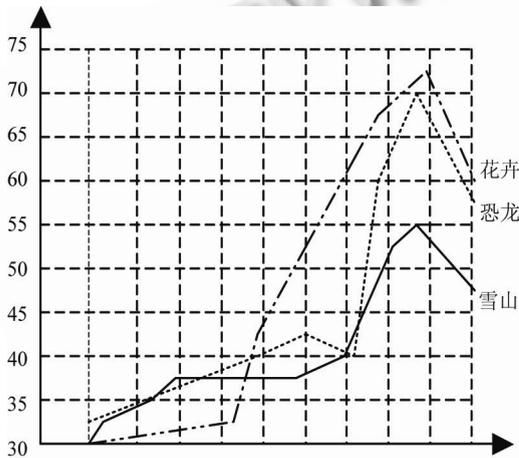
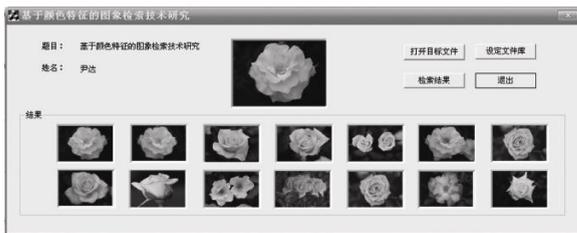


图 2 查全率变化曲线

由上述实验可知， w_1 、 w_2 、 w_3 大概取 0.025、0.04 和 0.592 时查全率最高。下面分别采用全局颜色直方图、平均分块颜色直方图、普通不均匀分块直方图以及本文所提出的不均匀二次重叠分块直方图四种方法对花卉图像进行的检索：



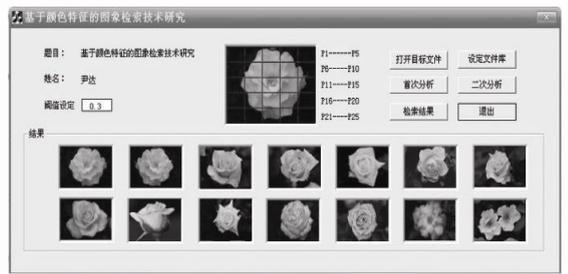
(a)全局颜色直方图检索结果



(b)平均分块直方图检索结果



(c)普通不均匀分块直方图检索结果



(d)本文方法检索结果

图 3 利用不同方法对花卉的检索结果

如图 3(a)采用全局颜色直方图的方法，由于缺乏颜色空间信息，故检索出 6 幅明显不符合要求的图像，且排序效果极差，但检索到第 2 幅示例图像的翻转图像；

如图 3(b)采用平均分块直方图的方法，检索出 5 幅不符合要求的图像，但由于没有注意中心区域的重要性使得排序效果仍不理想，没有将示例图像的翻转图像检索出来；

如图 3(c)采用普通不均匀分块直方图的方法，仍然将示例图像的翻转图像检索出来，且由于没有区分四角区域和边缘区域的地位使得第 3、5、7、8 幅图像排在更符合要求的第 9、10、11 幅图像前面，排序效果不是十分理想；

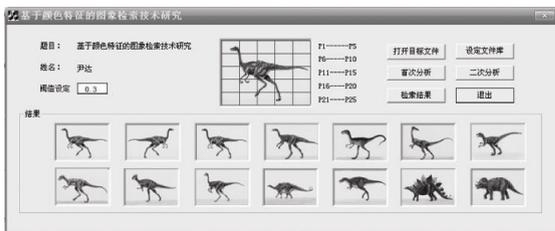
如图 3(d)采用本文的改进算法，不仅将示例图像的翻转图像检索出来排列在第 2 位，且考虑到不同区

域的不同地位,使得查全率和查准率有所提高,图像的排序情况良好。

下面利用改进方法对雪山和恐龙两类图像进行检索:



(a)检索雪山的实验结果



(b)检索恐龙的实验结果

图 4 利用改进算法检索的实验结果

由实验结果看出:该方法对于中心重点区域不明显的雪山图像如图 4(a)检索效果不是十分明显,检索结果中出现了海洋天空等干扰图像;而对于重点区域面积较大且处于中部的花卉和恐龙等图像如图 4(b),检索效果十分显著。

将恐龙与花卉图像应用本文算法检索的查准率、查全率的平均值与利用全局颜色直方图和传统 33 分

表 2 四种方法的比较

检索 算法	平均查 准率(%)	平均查 全率(%)	图像 排序
全局直方图法	37	52	差
3*3 均匀分块法	46	60	一般
普通不均匀分块	79	63	较好
二次重叠分块法	86	74	好

块颜色直方图以及已经提出的普通不均匀分块方法检索的平均值进行比较,同时列出对应用该四种方法检索到的图像排序评价:

通过实验可以看出,本文提出的二次重叠分块方法在查准率、查全率和图像的排序上有较已有算法都有所提高和改善,特别对于恐龙、花卉等重点区域面积较大且居中的图像检索效果和排序都得到了明显的提高和改善。

6 结束语

本文针对全局直方图缺乏空间性和分块直方图缺少平移、旋转不变性的问题。提出新的图像检索策略:通过设定阈值对明显不相关图像先行过滤,降低了计算量;提出融合颜色直方图和分块直方图的二次重叠分块检索策略,提高了检索的查准率、查全率,改善了排序。实验证明,该方法对于重点区域大集中在中部的图像来说检索效果十分明显,比传统方法具有更好检索效果和排序结果。如何同时提高重点不突出的图像检索精度将是本文下一步研究的重点。

参考文献

- 1 宋艳.综合颜色与纹理的图像检索.计算机工程与设计, 2007,9(2):42-50.
- 2 叶宇光.基于多特征信息融合的图像检索技术研究.华侨大学, 2006:32-64.
- 3 Swain MJ, Balland DH. Color Indexing of Computer Vision, 1991,7(1):11-32.
- 4 刘芳.基于颜色-空间二维直方图的图像检索.计算机工程与应用, 2002:35-43.
- 5 Montiel E. Texture Classification via Conditional Histograms. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(11): 1740-1751.