

基于相关聚合直方图的 CBIR

郑爱彬, 张 明

(南京师范大学 数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 在颜色直方图的基础上, 结合图像的颜色、形状和纹理特征, 提出了一种基于相关聚合直方图的图像检索算法. 该算法通过集合聚合度的概念, 在图像的颜色统计信息中融入了多粒度的空间聚合信息, 具有对图像平移、旋转与尺度变化不敏感及检索性能受数据库大小变化影响较少等特点. 为了验证算法的有效性, 对该算法进行了性能比较实验. 实验数据表明, 该算法具有较好的检索性能.

[关键词] 图像检索, CBIR, 颜色, 聚合度, 直方图

[中图分类号] TP391.41 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2005)04-0057-04

The Research of the Correlation and Polymerization Histogram in CBIR

ZHENG Aibin ZHANG Ming

(School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210097, China)

Abstract With color histogram as its basis and combinatory with the color, shape and texture characteristics of image, this paper puts forward a kind of search algorithm based on the correlation and polymerization histogram. With the concept of set's polymerization degree, the space polymerization information is incorporated into the color statistical information in the algorithm. It has such many advantages as insensitivity to the picture's translation, rotation and size change and its retrieval performance having little to do with the size of the database. As to testifying the validity of the algorithm, this paper carries out some experiments about the search algorithm of the correlation and polymerization histogram. The data from experiments suggest that the search algorithm of the correlation and polymerization histogram has a better retrieval performance.

Key words image retrieval; CBIR; color polymerization degree; histogram

0 引言

随着多媒体和网络技术的飞速发展, 图像检索呈现出越来越旺盛的生命力. 直到现在, 横跨数据库系统和计算机视觉的图像检索仍然是图像研究中十分活跃的研究领域.

本文结合图像的颜色、形状和纹理特征, 提出了一种新的图像检索算法. 理论分析和实验数据证明, 该算法具有较好的检索性能.

1 相关聚合直方图的提出

1.1 颜色聚合直方图

在图像 L 中, 某个象素集合 $S \subseteq L$ 与象素点 P_x 距离的倒数之和与集合中元素的个数 $\|S\|$ 之比为 K , 即:

$$\frac{\sum_{P_i \in S} \frac{1}{\text{Dist}(P_i, P_x)}}{\|S\|} = K \tag{1}$$

称象素集合 S 对象素点 P_x 的聚合度为 K .

将它进一步推广, 给定集合 S 与 S' , 设集合 S 对集合 S' 中所有点的聚合度之和与集合 S' 中元素的个数 $\|S'\|$ 之比为 K , 称集合 S 与集合 S' 的聚合度为 K , 即:

$$\varphi(S, S') = \frac{\sum_{P_j \in S'} \frac{\sum_{P_i \in S} \frac{1}{\text{Dist}(P_i, P_j)}}{\|S\|}}{\|S'\|} = \frac{1}{\|S\| \cdot \|S'\|} \sum_{P_j \in S'} \sum_{P_i \in S} \frac{1}{\text{Dist}(P_i, P_j)} \tag{2}$$

它反映了两个给定集合 S 与 S' 的空间聚合程

度. 集合 S 与 S' 结合得越紧密, $\varphi(S, S')$ 的值越大, 反之, $\varphi(S, S')$ 的值越小.

给定图像 L 及颜色划分 $XC = \{C_i | i = 1, 2, 3, \dots, m\}$, 定义象素集合 $L_{c_i} = \{P | C(P) = C_i\}$. 其中, P 是图像 L 中的象素点, 它同时具有空间坐标信息 (x, y) 和颜色信息 $C(P)$; C_i 表示颜色划分中的某颜色. 根据集合聚合度的概念, 则有:

$$\varphi(L_{c_i}, L_{c_j}) = \frac{1}{\|L_{c_i}\| \cdot \|L_{c_j}\|} \sum_{P_i \in L_{c_i}, P_j \in L_{c_j}} \frac{1}{\text{Dist}(P_i, P_j)} \quad (3)$$

该式反映了图像中所有颜色为 C_i 的象素与图像中所有颜色为 C_j 的象素之间的聚合程度. 特殊地, 让 $C_i = C_j$ 则:

$$\varphi(L_{c_i}) = \varphi(L_{c_i}, L_{c_i}) = \frac{1}{\|L_{c_i}\|^2} \sum_{P_i \in L_{c_i}} \frac{1}{\text{Dist}(P_i, P_i)} \quad (4)$$

$\varphi(L_{c_i})$ 体现了图像中所有颜色为 C_i 的象素之间的聚散程度. 对给定图像的各种颜色计算 $\varphi(L_{c_i})$, 得图像的颜色聚合直方图

$$\phi(L_{c_i}, P_{L_{c_i}}) = \frac{1}{\|L_{c_i}\|} \sum_{P_i \in L_{c_i}} \frac{f(P_i)}{\text{Dist}(P_i, P_{L_{c_i}})} = \frac{1}{\|L_{c_i}\|} \sum_x \sum_y \frac{f(x, y)}{\sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2}} = \frac{\sum_x \sum_y \frac{f(x, y)}{\sqrt{\left[x \sum_x \sum_y f(x, y) - \sum_x \sum_y x f(x, y) \right]^2 + \left[y \sum_x \sum_y f(x, y) - \sum_x \sum_y y f(x, y) \right]^2}}}}{\quad} \quad (5)$$

其中, 对于特定的颜色 C_i , $f(x, y)$ 是一个 0-1 阶段函数:

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{若 } p(x, y) \in L_{c_i} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

考虑图像的局部纹理特征, 结合直方图的统计方法, 进一步得到图像的相关聚合直方图

$$\phi^d(L_{c_i}) = \frac{1}{\|L_{c_i}\|} \sum_{P_i \in L_{c_i}} \frac{f^d(P_i)}{\text{Dist}(P_i, P_{L_{c_i}})} = \frac{\sum_x \sum_y \frac{f^d(P_i)}{\sqrt{\left[x \sum_x \sum_y f(x, y) - \sum_x \sum_y x f(x, y) \right]^2 + \left[y \sum_x \sum_y f(x, y) - \sum_x \sum_y y f(x, y) \right]^2}}}}{\quad} \quad (8)$$
$$f^d(P_i) = \begin{cases} \frac{\|K_{P_i}^d\|}{8d} & \text{若 } P_i \in L_{c_i} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (9)$$

$K_{P_i}^d = \{P_k < x_k, y_k > | (C(P_k < x_k, y_k >)) = C(P_i < x_i, y_i >)) \text{ 且 } (\max(|x_k - x_i|, |y_k - y_i|) = d)\}$, $\|K_{P_i}^d\|$ 表示集合 $K_{P_i}^d$ 中元素的个数, d 为局部精细范围设定值.

由式 (7) 可知, 相关聚合直方图在降低计算的时间复杂度 $O(dnm)$ 的同时, 融入了颜色局部信息, 反映了图像中各颜色的空间聚合概貌, 如图 1

$$HS(L) = (\varphi'(L_{c_1}), \varphi'(L_{c_2}), \dots, \varphi'(L_{c_i}), \dots, \varphi'(L_{c_m}))$$

$$\text{其中, } \varphi'(L_{c_i}) = \frac{\varphi(L_{c_i})}{\sum_{j=1}^m \varphi(L_{c_j})}$$

该直方图统计了图像中各颜色象素点的聚合度, 从而将图像的颜色信息与空间信息融合在一起, 在一定程度上表征了图像的颜色空间分布概貌.

1.2 相关聚合直方图

设给定的图像 L 拥有 n 个象素, 它的颜色被量化为 m 种颜色, 则利用式 (4) 计算颜色聚合直方图将花费 $O(n^2m)$ 的时间, 这个时间花费是巨大的. 对此, 改进如下:

计算图像 $f(x, y)$ 中各颜色 C_i 的象素集 L_{c_i} 的中心点坐标, 对象素点间的相对距离 $\text{Dist}(P_i, P_x)$ 取欧氏距离, 进而计算其象素集 L_{c_i} 对中心点 $P_{L_{c_i}}(\bar{x}_{L_{c_i}}, \bar{y}_{L_{c_i}})$ 的聚合度 $\phi(L_{c_i}, P_L)$:

$$HC(L) = (\phi_1^d(L_{c_1}), \phi_1^d(L_{c_2}), \dots, \phi_1^d(L_{c_i}), \dots, \phi_1^d(L_{c_m})) \quad (6)$$

其中

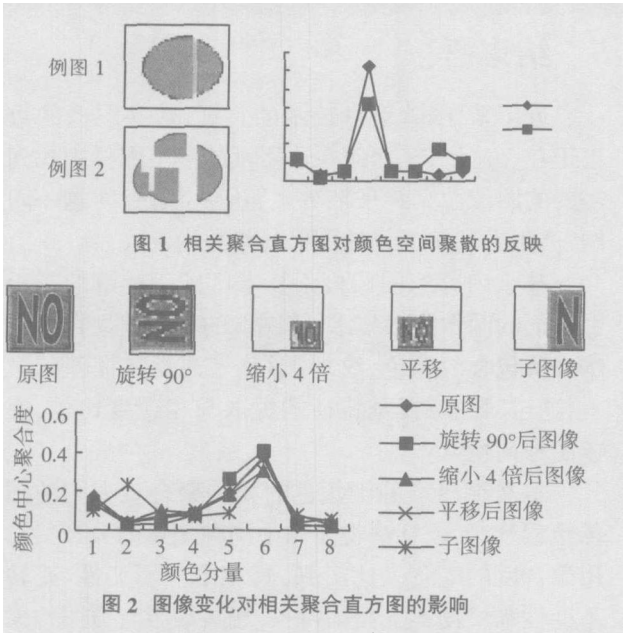
$$\phi_1^d(L_{c_i}) = \frac{\phi^d(L_{c_i})}{\sum_{j=1}^m \phi^d(L_{c_j})} \quad (7)$$

所示. 与此同时, 它具有旋转不变性、平移不变性和尺度不变性, 如图 2 所示. 实验证明, 利用它进行图像的检索能够收到较好的检索效果, 其平均查准率比颜色聚合直方图提高了约 12.71%.

2 基于相关聚合直方图的 CBR

2.1 距离度量函数的使用

在基于内容的图像检索中, 距离度量函数^[1~3]是影响图像检索效率的一个十分重要的因素. 理想的距离度量函数应该与人类视觉感知一



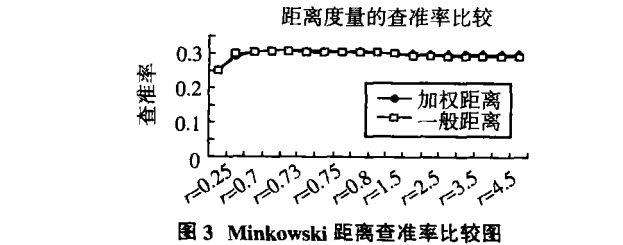
致, 即距离度量函数 $D_{\text{iff}}(L, L')$ 的值越小, 表明两幅图像看起来越相似。

目前主要用到的距离度量主要是 Minkowski 距离:

$$d(x, y) = \left[\sum_{i=1}^n |t_i - t'_i|^r \right]^{\frac{1}{r}} \quad (10)$$

式 (10) 中, t_i 与 t'_i 分别为两个向量 T 与 T' 的第 i 个分量。当 $r = 1$ 和 $r = 2$ 分别为 Manhattan 距离 (city-block 距离) 和 Euclidean 距离。

本文对 r 不同取值时相关聚合直方图查准率进行实验如图 3 所示, 比较后发现, 当 $r = 0.73$ 时, 加权 Minkowski 距离具有最高的平均查准率。



从而, 对图像 L, L' HSL 颜色空间的相关聚合直方图

$$\begin{aligned} HC_1^d(L) &= (\phi_1^d(L_{c_1}), \phi_1^d(L_{c_2}), \dots, \\ &\quad \phi_1^d(L_{c_i}), \dots, \phi_1^d(L_{c_m})) \\ HC_1^d(L') &= (\phi_1^d(L'_{c_1}), \phi_1^d(L'_{c_2}), \dots, \\ &\quad \phi_1^d(L'_{c_i}), \dots, \phi_1^d(L'_{c_m})) \end{aligned}$$

使用加权 Minkowski 距离 ($r = 0.73$) 作为直方图距离的度量:

$$D_{\text{minkowski}}(HC_1^d(L), HC_1^d(L')) = \sum_d \sum_{i=1}^m \frac{| \phi_1^d(L_{c_i}) - \phi_1^d(L'_{c_i}) |^{0.73}}{(\phi_1^d(L_{c_i}) + \phi_1^d(L'_{c_i}))^{0.73} + 1} \quad (11)$$

考虑到人类对 HSL 颜色空间中 3 个颜色分量变化的视觉感受灵敏程度的不同, 本文将计算出来的各个颜色分量距离的加权累加和作为整幅图像的距离, 即:

$$\begin{aligned} D_{\text{ist}}(L, L') &= w_k D_k(HC_1(L), HC_2(L')) + \\ &\quad w_s D_s(HC_1(L), HC_2(L')) + w_l D_l(HC_1(L), \\ &\quad HC_2(L')) \end{aligned} \quad (12)$$

由实验可知, 该距离度量的平均查准率较加权街区距离、加权欧氏距离、一般街区距离和平均豪氏道夫距离分别提高了 0.663 9%、2.235 8%、1.489 2% 和 40.982%。

2.2 主要算法描述

2.2.1 相关聚合直方图生成算法 (特征提取算法)

- (1) 将图像分割成 4×4 大小相等的分块;
- (2) 对每一图像分块, 执行如下操作:
 - (a) 对分块中每像素 (H, S, L) 分量的各个量化区间, 计算式 (8) 中 $\sum \sum f(x, y)$, $\sum \sum_{x'} f(x, y)$, $\sum \sum_{y'} f(x, y)$ 的值;
 - (b) 再次扫描分块, 分别就给定的局部范围 d 计算像素的局部信息 $f^d(x, y)$, 进而计算相关聚合直方图的各个分量;
 - (c) 累计各 HSL 量化区间的像素总数;
- (3) 将各分块的相关聚合直方图分量与像素总数存入数据结构中保存。

2.2.2 相关聚合直方图匹配检索算法 (特征匹配算法)

- (1) 用上述特征提取算法生成示例图像 L_q 的相关聚合直方图;
- (2) 对图像数据库中每一图像 L'_i 执行如下操作:
 - (a) 用式 (11) 计算图像 L'_i 与图像 L_q 的每个对应分块相关聚合直方图分量的距离;
 - (b) 用式 (12) 进一步计算图像 L'_i 与图像 L_q 的每个对应分块的特征距离;
 - (c) 将图像 L'_i 与图像 L_q 每个对应分块的特征距离累加, 计算整幅图像的特征距离。
- (3) 将图像数据库中的所有图像, 按与示例图像 L_q 的特征距离从小到大排序, 显示输出排在前面的多幅图像 (图像显示数目由用户指定)。

3 与其他直方图检索算法的性能比较

为了使基于相关聚合直方图检索算法与基于其他直方图检索算法性能的比较在同一尺度下进

行,本文选用同一模拟图像数据库进行实验 (PIII 机器、W indow s2000操作系统).

给定查询范围 $b=10$ 模拟 5 次查询,得到结果如表 1 所示.

表 1 与其他直方图检索算法的比较

直方图名称	颜色直方图	颜色相关直方图	相关聚合直方图
平均查准率	0.444519	0.446417	0.462185
平均查全率	0.77	0.79	0.89
预处理时间 /s	0.03517283951	2.0531975308	0.2071481481481
平均查询时间 /s	0.098414	0.096274	0.090463

由表 1 可知,基于相关聚合直方图的检索算法具有较高的平均查准率、平均查全率和较少的查询时间.

4 数据库大小的影响

为了研究颜色相关聚合直方图检索性能受到图像数据库大小影响的程度,本文在拥有不同图像数目的图像数据库上进行实验,实验结果如图 4 所示:

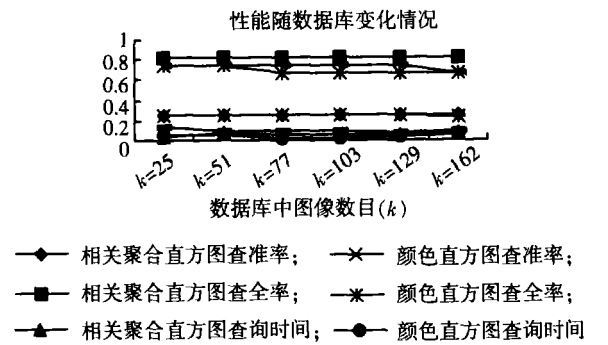


图 4 几种直方图检索算法对图像数据库大小相关性的比较

通过实验发现,相关聚合直方图的检索性能受到图像数据库影响较小.

5 结束语

近年来,随着信息技术的发展,数字图像的数量正在飞速增长.如何在这海量的数字图像中找到需要的图像数据越来越被人们所关注.针对这一问题,产生了基于内容的图像检索技术.

基于内容的图像检索技术区别于传统的基于关键词的图像检索技术,将图像的检索建立在图像本身所包含的颜色、纹理、形状等视觉特征基础上,通过对图像视觉特征的提取与相似度比较,完成图像的检索^[4].

本文给出了基于颜色的相关聚合直方图的图像检索算法.该算法将图像中同种颜色的分布信息用聚合度的概念表达出来,具有平移不变性、旋转不变性和尺度不变性等特点.相关聚合直方图检索算法在统计图像聚合度的同时,融入了图像的局部信息,保持了颜色聚合直方图检索算法的对平移、旋转和尺度变化不敏感的特点.实验表明,利用相关聚合直方图进行基于内容的图像检索能够收到较好的效果.

[参考文献]

[1] Huang Jing Color-spatial image indexing and applications [D]. New York ComellUniversity, 1998
[2] 段立娟,高文,林守勋,等. 图像检索中的动态相似性度量方法 [J]. 计算机学报, 2000 11 (24): 1157 - 1162
[3] 声蓉,熊璋. 基于低层视觉特性的图像相似性度量方法 [J]. 微电子学与计算机, 1999 (6): 29 - 32
[4] 伯晓晨,刘建平. 基于颜色的图像检索中若干关键问题的研究 [J]. 小型微型计算机系统, 1998 (10): 42 - 47.

[责任编辑: 刘 健]