

互信息在图像检索中的应用

范自柱, 刘二根, 徐保根

(华东交通大学基础科学学院 南昌 330013)

【摘要】提出了一种新的相似性图像检索方法,它利用信息熵理论,分别对图像的颜色、形状和纹理特征进行描述,给出一个综合的相似性匹配算法。该方法首先分割图像,把一幅图像划分为若干子区域,抽取图像的主要形状和统计其所含的角度信息;然后利用信息熵计算图像之间的颜色、形状和纹理互信息。试验结果表明与其他方法相比,新的相似性图像检索方法具有更好的图像检索效果。

关键词 特征描述; 信息熵; 互信息; 纹理
中图分类号 TP391.4 文献标识码 A

Application of Mutual Information in Image Retrieval

FAN Zi-zhu, LIU Er-gen, XU Bao-gen

(School of Natural Science, East China Jiaotong University Nanchang 330013)

Abstract In this paper, a new content-based image retrieval method is proposed. By using the information entropy theory, the method describes the color, shape, and texture features of images, respectively. An integrated similarity match algorithm is presented. Firstly, an image is segmented into several sub-areas, and the angle information of the shape is computed after shape extracted from the image. Secondly, mutual information of color, shape, and texture among images is computed using information entropy. Compared with the other algorithms, experiments indicate that this approach has the advantages of good effect.

Key words feature description; information entropy; mutual information; texture

基于内容的图像检索技术研究主要集中在图像的低层特征(即颜色、形状、位置和纹理等特征)。由于颜色与其他特征具有很强的关联性,以及颜色在统计上的平移、旋转及尺度上的不变性,基于颜色的图像表示方法自然成为主要的图像索引技术。常用的颜色索引技术包括颜色直方图相交法^[1]、色彩聚合矢量法^[2]和累加直方图法^[3]等,这些方法实现简单,但会丢失颜色的空间分布信息。文献[4]给出了一种包围盒方法,考虑了颜色的部分空间分布特征,效果较好。但该方法要提高精度,需增加包围盒数,增加计算量,而且也不能完全解决空间信息丢失问题。要全面反映图像的空间信息,必须考虑其形状位置特征,因此,基于形状的图像检索方法近来越来越受到人们的关注。

基于形状的图像检索方法大致可以分为基于轮廓的方法^[5]和基于区域的方法^[6]。每种方法都只能描述形状的部分信息:(1)轮廓法着眼于物体形状的外部特征;(2)区域方法侧重于描述形状的内部信息。

形状能较好地反映图像的局部和一些细节信息,但在描述图像的全局特征时,效果不太理想。如果能把图像的形状和颜色、纹理特征结合起来,就能较全面地描述图像的整体信息。本文采用颜色、形状和纹理相结合的方法,利用信息熵理论实现图像检索。

1 Shannon互信息

利用互信息作为图像的相似性测度是可行的。Shannon互信息的定义^[7]如下:

假定A的概率分布密度函数 $p_i=P(a=i)$,其中 $i=1,2,\dots,m$,那么A的Shannon熵为:

$$H(A) = -\sum_i p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

式中 H 表示熵; A 表示图像; a 表示图像灰度值。对于两幅图像A和B,它们之间的Shannon互信息为:

$$I(A, B) = \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{p_i p_j} =$$

收稿时间:2007-09-07

基金项目:国家自然科学基金(10661007);江西省自然科学基金(0611009)

作者简介:范自柱(1975-),男,硕士,讲师,主要从事图形图像处理和模式识别方面的研究。

$$H(A) + H(B) - H(A, B) \quad (2)$$

式中 p_i 和 p_j 是 A 和 B 的灰度概率分布; p_{ij} 是联合灰度概率分布; $H(A, B)$ 是 A 和 B 的 Shannon 联合熵。

2 颜色、形状和纹理互信息

本文对 Shannon 图像互信息的定义作进一步的扩展。先分别计算两幅或多幅图像的颜色、形状和纹理互信息, 再把它们加权平均, 以便计算图像间的相似度。这样, 既能够反映图像的全局信息, 又考虑了图像的局部细节特征, 可使检索精度得到有效提高。

2.1 颜色互信息的改进

为了计算一致, 有必要对图像亮度进行归一化处理, 虽然可能使图像丢失少量信息, 但并不影响检索效果。目前的很多基于颜色(尤其是基于直方图)的检索方法, 往往没有考虑图像的空间信息, 使得检索效果降低。本文给出一种改进方法, 在计算图像颜色的互信息前, 用区域生长法把图像分割成若干子区域, 再通过这些子区域计算图像间的互信息。假设图像 A 经分割后得到 n 个子区域 A_1, A_2, \dots, A_n ; 图像 B 经分割后, 得到 m 个子区域 B_1, B_2, \dots, B_m 。则由式(2)知, 分别来自 A 和 B 的两子区域 A_i 和 B_j 的 Shannon 互信息为 $I(A_i, B_j) = H(A_i) + H(B_j) - H(A_i, B_j)$ 。

对于每个 A_i , 计算 $I(A_i, B_j)$ ($1 \leq j \leq m$)。为更好地反映子块间颜色的相似性, 选取这 m 个值中的最大者。因此, 经改进后的两幅图像 A 和 B 的颜色整体互

信息可以定义为 $I_c(A, B) = \sum_{i=1}^n \max_{j=1}^m (I(A_i, B_j))$ 。

2.2 形状互信息

要计算两幅图像的形状互信息, 应先提取图像的边缘特征, 再给出图像的形状描述。本文采用 canny 算子检测法提取图像的边缘特征。canny 算子是一种比较新的边缘检测算子, 具有很好的边缘检测性能, 提取的图像边缘十分完整, 边缘的连续性也很好, 总体效果优于其他算子。

2.2.1 形状的角度描述法

提取图像的形状后, 要对它们进行描述。对形状的描述方法很多, 本文给出一种快捷的描述算法, 即角度描述法。设有一封闭形状 S , 它由 n 个有序点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 构成。可以任意选定一个点如 $P_i(x_i, y_i)$ 为起始点, 再按逆时针方向选定后面的两个点 $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ 和 $P_{i+2}(x_{i+2}, y_{i+2})$, 可构成两向量 $U = P_i P_{i+1}$ 和 $V = P_i P_{i+2}$ 。则它们之间的夹角满足 $\cos \theta = \frac{U \cdot V}{|U||V|}$ 。持续选点, 直到点 P_i 再次被选为起始点为止。

为了计算简便又不失准确性, 规定 θ 的取值范围在 0 和 π 之间。把区间 $[0, \pi]$ 量化为 60 等级, 每 3° 为一级。它们分别是 $p_i[3i, 3i+2]$, $i=0, 1, \dots, 59$, 角度 π 归入最后一级。本文中, 把 p_i 称作角度级。一般地, 在形状变化较平滑时, 角度级比较少, 特别是有规则的平滑图案, 有的只有几个角度级。对于每一个角度级, 都可以统计它在整个形状中出现的频率, 也就是它的概率分布 q_i 。因此有 $q_i = N_i / N_{\text{sum}}$ 。其中, N_i 表示每一角度级出现的次数; N_{sum} 表示形状中总的角度个数。同理, 也可以定义两个形状联合角度概率分布 q_{ij} 。

2.2.2 形状熵和形状互信息

与 2.1 节类似, 用计算颜色互信息的方法定义形状之间的互信息。把式(1)和(2)中的 p_i 和 p_{ij} 换成 q_i 和 q_{ij} , 就可以分别得到形状熵以及形状互信息的定义。对于一图像 A , 其形状熵可以定义为 $H_s(A) = -\sum_i q_i \log_2 q_i$ 。与颜色熵相同, 形状熵也具有平移、缩放和旋转不变性, 并且形状的描述与起始点的选取无关。假设图像 A 经过边缘检测提取得到的形状集为 S , 它包含 k 个子形状 S_1, S_2, \dots, S_k ; 图像 B 经过边缘检测提取得到的形状集为 T , 它包含 l 个子形状 T_1, T_2, \dots, T_l 。则 A 和 B 的任意两子形状 S_i 和 T_j 的 Shannon 互信息为:

$$I_s(S_i, T_j) = H_s(S_i) + H_s(T_j) - H_s(S_i, T_j)$$

两幅图像间的形状互信息定义为:

$$I_s(A, B) = \sum_{i=1}^k \max_{j=1}^l (I_s(S_i, T_j))$$

2.3 纹理互信息

图像纹理的描述方法很多, 如粗糙度、纹理基元和灰度共生矩阵等。在众多的描述中, 灰度共生矩阵被用来定义纹理熵和纹理互信息。灰度共生矩阵^[8] $P_i(d, \varphi)$ 分别对应四个方位, 其中 $i=1, 2, 3, 4$ 。可由灰度共生矩阵给出纹理熵和纹理互信息, 以 $d=1$ 、 $\varphi=0^\circ$ 为例, 其对应的灰度共生矩阵为 P 。

与前述颜色和形状熵类似, 计算纹理熵也从频率统计入手。设 $N = \text{Max}(P(i, j))$, $0 \leq i, j \leq m$, 则有纹理概率分布:

$$t_i = \text{Sum}(i) / (m+1)^2 \quad 0 \leq i \leq N \quad (3)$$

式中 $\text{Sum}(i)$ 为灰度共生矩阵中 i 的个数; m 为灰度级数。与颜色熵类似, 图像 I 的纹理熵可定义为 $H_t(I) = -\sum_i t_i \log_2 t_i$ 。同理, 也可以定义两图像纹理的联合角度概率分布 t_{ij} 。由 2.1 节知, 假设有两图像 A

和B, 图像A经分割后, 得到n个子区域 A_1, A_2, \dots, A_n ; 图像B经分割后, 得到m个子区域 B_1, B_2, \dots, B_m 。分别来自A和B的两子区域 A_i 和 B_j 的纹理互信息为:

$$I_t(A_i, B_j) = H_t(A_i) + H_t(B_j) - H_t(A_i, B_j) \quad (4)$$

因此, 两幅图像A和B的纹理互信息 $I_{t_i}(A, B)$ 可以定义为:

$$I_{t_i}(A, B) = \sum_{i=1}^n \max_j (I_t(A_i, B_j)) \quad d=1; \varphi=0^\circ \quad (5)$$

同理, 当 $d=1, \varphi=45^\circ$ 时, 可得到纹理互信息为 $I_{t_2}(A, B)$; $d=1, \varphi=90^\circ$ 时, 纹理互信息为 $I_{t_3}(A, B)$; $d=1, \varphi=135^\circ$ 时, 纹理互信息为 $I_{t_4}(A, B)$ 。为计算简便, 两幅图像A和B的纹理整体互信息可定义为:

$$I_t(A, B) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 I_{t_i}(A, B) \quad (6)$$

3 相似度定义

下面给出两幅图像A和B之间的总体互信息为:

$$I^*(A, B) = \alpha I_c(A, B) + \beta I_s(A, B) + \gamma I_t(A, B) \quad (7)$$

式中 $0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1, \alpha + \beta + \gamma = 1$ 。本文记:

$$H_1 = \alpha \sum_{i=1}^n H_c(A_i) + \beta \sum_{j=1}^m H_s(A_j) + \gamma \sum_{r=1}^n H_t(A_r)$$

$$H_2 = \alpha \sum_{i=1}^k H_c(B_i) + \beta \sum_{j=1}^l H_s(B_j) + \gamma \sum_{r=1}^k H_t(B_r)$$

式中 $H_c(A_i)$ 和 $H_c(B_i)$ 是图像A和B的第i个子图像 A_i 和 B_i 的颜色熵; $H_s(A_j)$ 和 $H_s(B_j)$ 分别为图像A和B的第j个子图像 A_j 和 B_j 的形状熵; $H_t(A_r)$ 和 $H_t(B_r)$ 分别为图像A和B的第r个子图像 A_r 和 B_r 的纹理熵。 α 、 β 和 γ 取值同式(7), 可以根据需要确定, 本文分别取值0.4、0.4和0.2。两幅图像的相似度定义为 $S(A, B) = I^*(A, B) / \max(H_1, H_2)$, 以证明 $0 \leq S(A, B) \leq 1$, 满足图像间相似度定义的要求。

4 试验结果

本文试验中, 对Stamford大学图像库VARY中约10 000幅大小为 85×128 像素左右的图像以及从因特网上搜索的3 000幅大小为 100×100 像素左右的图像采用本文方法进行试验。试验时, 先用区域生长法对图像分割, 提取其分块的颜色特征; 再用canny算子进行边缘检测, 抽取图像所包含的形状, 以便计算图像的形状互信息。在计算图像的分块颜色熵时, 考察的主要是面积比较大的区域, 对于面积较小且灰度方差小于整个图像的总方差区域, 则不需计算颜色熵或互信息。同样, 对于面积较小的形状, 也可以忽略不计。本文中, 如果一个颜色块或者一

个形状的面积小于图像大小的1%, 则在计算互信息时不予考虑。

计算形状互信息时, 考虑封闭形状才能方便地计算多边形的形状熵。如果某一形状长度较长, 说明它包含的形状信息比较重要, 可能是形状的主要部分。如果形状不封闭, 可以用边缘连接^[9]的方法使其封闭。

本文用Visual C++ 6.0编程语言在Windows 2000平台上, 分别采用直方图法、文献[7]的方法和本文的方法重点对480幅动物、山峰、水波、船舶图像进行检索试验, 结果如表1和表2所示。

表1 加噪声前检索结果

类别	累加直方图法	文献[7]的方法	本文的方法
动物	0.733	0.904	0.917
山峰	0.687	0.856	0.932
水波	0.626	0.903	0.889
船舶	0.706	0.837	0.875

表2 加噪声后的检索结果

类别	累加直方图法	文献[7]方法	本文的方法
动物	0.548	0.893	0.905
山峰	0.467	0.862	0.926
水波	0.527	0.814	0.819
船舶	0.513	0.785	0.834

本文的方法中, 颜色与形状的权值相同, 均为0.4; 纹理的权值为0.2。对试验结果的评价, 本文采用检索效率这个参数。

采用本文方法进行检索试验, 前15幅图的正确率为95%; 前25幅图的正确率为89%。而用文献[7]方法进行检索试验, 前15幅图的正确率为86%; 前25幅图的正确率为80%。三种方法中, 累加直方图法效果一般, 文献[7]的方法效果较好, 本文的方法总体效果最优。原因是本文的方法既考虑了图像的颜色特征, 又考虑了图像的形状和纹理特征。

由表1可知, 本文的方法在检索水波图像时, 并不比文献[7]的方法有优势, 原因是水波图像的形状特征不太明显, 在图像分块和边缘检测时, 会引进一些误差, 降低检索效率。但在检索带有噪声的图像时, 本文的方法具有明显的优势, 原因是本文的方法在用canny算子进行边缘检测时, 已经对图像的噪声滤波。即使图像的噪声使形状的边缘断裂, 本文使用的边缘连接方法也可以使其完整, 保证图像的形状信息更全面, 检索效果更好。特别是在对细节较丰富的图像进行检索时, 本文的方法更具有优势, 因为本文的方法考虑了图像的纹理等细节信息。

5 结论

本文提出了一种基于互信息计算的图像检索方法,对图像熵的定义进行推广,引进了图像分块颜色熵、形状熵和纹理熵的新概念。在进行图像检索时,考虑了图像的形状、纹理和颜色三个最主要的低层特征。试验表明,本文的方法适用于很多类型的图像检索,能够取得很好的效果。所以本文的方法有很好的应用前景。但本文的方法在进行纹理互信息计算时,时间和空间的开销较大,这是下一步需要解决的问题。

本文研究工作得到华东交通大学校立科研基金(06ZKJC03)的资助,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] SWAIN M, BALLARD D. Color indexing[J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1):11-32.
- [2] PASS G, ZABIH R, MILLER J. Comparing images using

color coherence vectors[C]//In: Proceedings of ACM Intern Conf Multimedia. Boston: [s.n.], 1996.

- [3] STRICKER M, ORENGO M. Similarity of color images[C] //In: Proceedings of SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases. San Jose: [s.n.], 1995.
- [4] 范自柱, 蒋先刚. 基于包围盒的图像检索技术[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(增刊): 260-263.
- [5] KLASSEN E, SRIVASTAVA A, WASHINGTON M, et al. Analysis of planar shapes using geodesic paths on shape spaces[J]. Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, 2004, 26(3): 372-383.
- [6] FENG Jing, LI Ming-jing, ZHANG Hong-Jiang, et al. An efficient and effective region-based image retrieval framework[J]. Transactions on Image Processing, 2004, 13(5): 699-708.
- [7] 时永刚, 邹谋炎. 图像配准中统计型相似性测度的比较与分析[J]. 计算机学报. 2004, 27(9): 1278-1283.
- [8] 夏良正. 数字图像处理[M]. 修订版. 南京: 东南大学出版社, 1999.
- [9] FARAGAND A, DELP E J. Edge linking by sequential search[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(5): 611-633.

编辑 熊思亮

(上接第1291页)

图4是超市管理系统的模拟数据库,由八个表组成。其中商品清单、供货商清单和客户清单是关键表,用于存放基本的数据信息、记录客户购买商品的情况以及供应商供货的情况。

根据表中信息,利用本文给出的聚类算法,可以对客户进行分析,得出具有相似购买能力的客户群,从而可以使超市提供更快捷和周到的优质服务,提高客户满意度,吸引和保持更多的客户,增加营业额,并通过信息共享和优化商业流程有效地降低经营成本。最具有意义的聚类是那些包含最多事例的聚类,因为较小的聚类由于其一致特性只能提供较少的含义。由于不同特性的具体综合不能提供足够的信息以做出概括性的区别,所以有一些类可能被忽略。

3 结论

本文结合基于密度和基于网格方法优势,给出了一种基于密度和网格的增量式聚类算法,在模拟数据库中进行实验,验证了算法的有效性。但是算法的聚类质量依赖于网格结构的最低层细度。若细度非常高,那么处理开销将会增加许多;若网格结构的最低层太粗,那就会降低聚类分析的质量。对于网格结构的细度以及对新增数据聚类的处理,还有待进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] SUN Zhi-wei, ZHAO Zheng, WANG Hong-mei. A

clustering algorithm based on grid and density with random sampling[J]. Journal of Tianjin University, 2006, 39(5): 621-626.

- [2] CHEN Ning, CHEN An, ZHOU Long-xiong. An incremental grid density-based clustering algorithm[J]. Journal of software, 2002, 13(1): 1-7.
- [3] YAN Xin, ZHOU Li-hua, HEN Ke-ping, et al. Improved clustering algorithm based on density and grid in the presence of obstacles[J]. Computer Applications, 2005, 25(8): 1818-1823.
- [4] LIU Jun-ling, SUN Huan-ling, WANG Da-ling, et al. Optimized cell-based clustering algorithm[J]. Mini-Micro Systems, 2006, 27(10): 1927-1930.
- [5] LAI Jiang-zhang, NI Zhi-wei, LIU Zhi-wei. A grid fast clustering algorithm based on density-tree[J]. Computer Engineering, 2006, 31(17): 69-70.
- [6] MA Guang-zhi, NI Guo-yuan. An increasable fuzzy clustering algorithm[J]. Microcomputer Applications, 2005, 26 (1): 5-7.
- [7] QIU Bao-zhi, SHEN Jun-yi. Grid-based and extend-based clustering algorithm for multidensity[J]. Control and Decision, 2006, 21(9): 1011-1014.
- [8] HU Yang, CHEN Gang. An effective cluster analysis algorithm based on grid and intensity[J]. Computer Application, 2003, 23(12): 64-67.
- [9] ZHANG Guang-Jian, HUANG Xian-Ying. Study on a new clustering algorithm based on minimum clustering cell and its application in CRM[J]. Computer Technology, 2006, 33(7): 188-189.
- [10] 陈梅兰. 基于网格和密度聚类算法研究[J]. 计算机与现代化, 2005, 2: 1-6.
- [11] YAO Xiao-yun, LI Xuan, SU Qiang. Study on the customer relationship management and its application in Chinese hospital[C]// ICSSSMO5. chongqing: IEEE, 2005: 188-192.

编辑 漆蓉