

谱聚类在图像检索中的应用

王春雪, 王继成, 郑吉

(同济大学 计算机科学与技术系, 上海 201804)

摘要: 为了进一步提高图像检索系统的效率, 提出了一种由谱聚类算法预处理的基于内容的图像检索方法。主要思想是在用户提出检索请求之前, 利用谱聚类算法将初始图像库划分为若干子库; 用户给出示例图片后, 首先搜索与示例图片相似度最大的子库, 再将搜索范围锁定在该子库内检索出与示例图片最相似的图片。实验表明, 该方法在保持了较高查准率的同时, 明显缩短了检索时间, 提高了检索效率。

关键词: 基于内容的图像检索; 颜色特征; 谱聚类; 相似度

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)01-0207-04

Application of Spectral Clustering in Image Retrieval

WANG Chun-xue, WANG Ji-cheng, ZHENG Ji

(Department of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: A content-based image retrieval method with the pre-processing of spectral clustering is proposed aiming to improve the efficiency of image retrieval systems. The main idea is to partition the initial image set into several subsets before the user's retrieval request proposes. When the sample image is provided, the method searches for the sample image's most similar subset first, and then searches for the most similar images only in this subset. Experiment results indicate that while holding the high accuracy, this method shortens the time for retrieval and approves efficiency considerably.

Key words: CBIR; color feature; spectral clustering; similarity

0 引言

基于内容的图像检索技术(CBIR)是提取图像的底层视觉特征, 建立图像的多维特征矢量进行相似查询和检索。该技术的关键是如何准确提取图像的底层特征、图像间相似度的度量以及寻找有效的图像搜索策略等。

作为一种有效的数据分析方法, 聚类算法已经被广泛应用于计算机视觉、信息检索、数据挖掘等领域。如何将聚类分析有效地应用于图像搜索策略是图像检索领域的一个研究热点。近年来所提出的谱聚类是一种较为实用的聚类方法^[1]。谱聚类源于图的谱分割^[2], 在进行聚类时首先以待聚类的对象集为顶点集构造赋权图, 然后通过分析一个与图相关的矩阵的特征向量和特征值得到聚类结果。由于图的边权可以结合待聚类对象的各种特征, 所以谱聚类方法简单, 可以处理复杂的数据类型, 故可在基于内容的图像检索系统中作用于图像的底层特征。

文中将谱聚类应用于图像检索领域, 建立了一种由谱聚类预处理的基于内容的图像检索系统(SC-CBIR)。该系统的主要工作步骤是: 利用谱聚类对图片库进行预处理, 划分为若干子库; 根据用户给定图片寻找最相似的图片子库, 在该子库中集中搜索给定图片的相似图片。该系统相对传统的图像检索系统, 很大程度上缩小了检索范围, 节省了检索时间, 因而提高了检索效率。

1 谱聚类

谱聚类算法的思想来源于谱图划分理论。它将聚类问题看成是一个无向图的多路划分问题。定义一个图划分判据, 如 Shi & Malik 提出的一个有效的图划分判据——规范切判据^[3], 最优化这一判据, 使得同一类内的点具有较高的相似性, 而不同类之间的点具有较低的相似性。谱聚类方法同时使用矩阵的多个特征向量, 利用这些特征向量构造一个简化的数据空间, 在该空间中数据的分布结构更加明显。代表性算法有 Ng 等人提出的 SC 算法^[4]。

谱聚类算法本质上是利用邻接矩阵的特征向量进

收稿日期: 2008-05-22

作者简介: 王春雪(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向为数字图像与语音处理; 王继成, 教授, 研究员, 研究方向为模式识别与智能系统、数字图像与语音处理。

行聚类。已知对象集合(数据点)的相似矩阵,可以通过全连通法构造邻接矩阵。文中用第 2.3 节定义的相似函数为图片库中的图片建立一个相似矩阵。

谱聚类算法是一种配对聚类方法,算法仅与数据点的数目有关,而与维数无关,因而可以避免由特征向量的过高维数所造成的奇异性问题。谱聚类算法又是一种判别方法,不用对数据的全局结构作假设。

2 图片库相似矩阵的构造

2.1 选取颜色空间

最常用的颜色空间是 RGB 颜色空间。然而,RGB 空间所计算出来的两种颜色之间的距离无法正确表征人们实际所感知到的真实差异。HSV 颜色模型有两个重要的特点。首先,亮度分量与色度分量是分开的, V 分量与彩色信息无关,其次 H 和 S 分量与人感受彩色的方式紧密相连,其中 H 分量尤其影响人类的视觉判断。这些特点使得 HSV 模型非常适合对彩色感知特性进行处理分析的图像算法。选择适合的颜色空间,可以更准确地提取图像的颜色特征;而对颜色空间进行量化则可以简化运算,加快计算速度,文中采用 Xiuqi Li^[5] 的颜色量化方法,具体量化方法如表 1 所示。

2.2 图像分块

由于大部分图像主体与背景色是不同的,如果能够限定主体部分的颜色,则可以明显地提高检索的精度。一般来说,图像的中间部分为图像内容的主体,图像的四周部分为主体内容所在的场景。

文中采用具有重叠方式的图像分块方法(如图 1 所示),通过在每一区域内统计颜色直方图来获得颜色的空间分布信息。首先将图像均分成 $6 \times 6 = 36$ 块。A =

{P2, P3, P4, P5}, B = {P7, P13, P19, P25}, C = {P12, P18, P24, P30}, D = {P32, P33, P34, P35}, E = {P8, P9, P10, P14, P15, P16, P20, P21, P22}, F = {P9, P10, P11, P15, P16, P17, P21, P22, P23}, G = {P14, P15, P16, P20, P21, P22, P26, P27, P28}, H = {P15, P16, P17, P21, P22, P23, P27, P28, P29}。P1、P2、P3、P4 这四小块是图像的四角,有用信息很少,不予考虑。A、B、C、D 这四块表示了图像的背景,E、F、G、H 是图像的主体部分,而且是重叠的,每一块都包含了 P15、P16、P21 和 P22,而这四个小部分是人们对一幅图像最感兴趣的部分。

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	P26	P27	P28	P29	P30
P31	P32	P33	P34	P35	P36

图 1 图像的分块

2.3 相似度计算方法

基于颜色直方图计算相似度,具有直观、计算方便的优点,然而颜色直方图也存在一定的缺陷:首先,同样的一个对象在不同的背景中得到的两幅图片,它们的颜色直方图可能有很大的差别而认为不相似;其次,两个直方图很相似,只是互相错开了一个区间,如果采用直方图求交的方法求相似度会得到很小的值。

产生上述第一个问题的主要原因是,颜色直方图把图像中的每一个像素看成对图像有相同的重要性。

表 1 HSV 颜色空间量化

Color Category ID	Color Category	Hue Range	Saturation Range	Value Range
1	white	Any	< 20	> = 85
2	blank	Any	Any	< 25
3	gray	Any	< 20	[25, 85]
4	red	[350°, 25°)		
5	red - yellow	[25°, 45°)		
6	yellow	[45°, 65°)		
7	yellow - green	[65°, 85°)		
8	green	[85°, 160°)		
9	green - blue	[160°, 180°)		
10	blue	[180°, 270°)		
11	blue - purple	[270°, 290°)		
12	purple	[290°, 330°)		
13	purple - red	[330°, 350°)		

一般来说,处于图像中间的部分对图像起着重要的作用,而四周仅仅是图像背景。因此,可以给图像中间位置的像素分配较大的权值,而远离中心位置的像素分配较小的权值。

针对传统颜色直方图中存在的第二个问题采用 Bhattacharya^[6]方法计算两个颜色直方图 $p = \{p_c\} | c = 1 \cdots b$ 和 $q = \{q_c\} (c = 1 \cdots b)$ 之间相似度,公式定义如下:

$$S = \sum_{c=1}^b \sqrt{p_c q_c}$$

当两个完全一样的直方图进行计算时,相似度趋近为 1。

计算加权平均得到最终结果。

$$\text{Similarity} = \omega_1 \times (S_A + S_B + S_C + S_D) + \omega_2 \times (S_E + S_F + S_G + S_H)$$

其中, ω_1 是 A, B, C, D 的权重, ω_2 是 E, F, G, H 的权重。

3 图像检索算法

该算法的流程如图 2 所示。

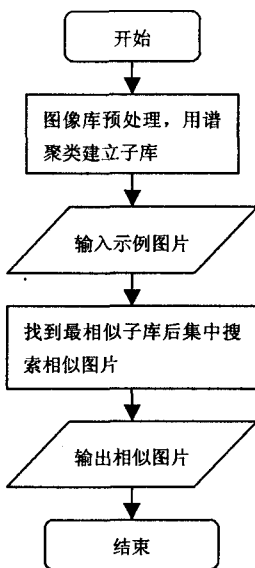


图 2 SC-CBIR 算法步骤

算法步骤如下:

(1) 对图像库进行预处理。

a. 对每一幅图像:分块,求量化的 HSV 直方图,进而获得图像颜色特征向量。

b. 根据图像颜色特征向量,计算相似矩阵,利用谱聚类将图像库划分成若干类。

该部分算法表述如下:

输入:图片库 $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, 聚类数 k 。

输出: $P_i = \{p_{i1}, \dots, p_{in}\}, i = 1 \cdots k, n_i$ 为每个子图片库中图片个数。

第一步:提取图像颜色特征,得每幅图片的特征向量 $V_i = \{v_{i1}, \dots, v_{iq}\}, i = 1, \dots, n, q = 13$ 为颜色空间量化后的维数。

第二步:计算相似矩阵 $S = (s_{ij})_{i,j=1,\dots,n}, s_{ij} = \sum_{c=1}^m \sqrt{v_{ic} v_{jc}}$, 并根据相似矩阵构造邻接矩阵 $W \in \mathbf{R}^{n \times n}$ 。

第三步:计算归一化 Laplacian 矩阵 $L_{\text{sym}} = D^{-1/2} L D^{-1/2} = I - D^{-1/2} W D^{-1/2}$, 其中 D 为对角阵, $d_{ii} = \sum_{j=1}^n \omega_{ij}$ 。

第四步:计算 L_{sym} 的最小的 k 个特征值对应的特征向量 v_1, \dots, v_k , 以每个特征向量为一列构造矩阵 $V \in \mathbf{R}^{n \times k}$ 。

第五步:对矩阵 V 进行归一化处理得到矩阵 $U \in \mathbf{R}^{n \times k}, u_{ij} = v_{ij} / (\sum_k v_{ik}^2)^{1/2}$ 。

第六步:令 $y_i \in \mathbf{R}^k$ 对应矩阵 U 的第 i 个行向量 ($i = 1, \dots, n$)。

第七步:用 k 均值算法将数据点集 $(y_i)_{i=1,\dots,n}$ 聚成 k 类 C_1, \dots, C_k 。

第八步:求得各类均值向量 $M = \{m_1, \dots, m_n\}$

输出:聚类 P_1, \dots, P_k , 其中 $P_i = \{j | y_j \in C_i\}$

(2) 进行图像检索。

a. 示例图片与各图像子库均值向量进行相似度计算,求得与示例图片最相似子库。

b. 将查询图像与该子库中所有图像计算相似度,得到与其最相似的若干幅图片。

算法步骤如下:

输入:用户给定图片 x 。

输出:与给定图片最为相似的若干幅图片, $R = \{r_1, \dots, r_t\}$ 。

第一步:提取示例图片颜色特征,得其特征向量 $V = \{v_1, \dots, v_q\}, i = 1, \dots, n, q = 13$, 为颜色空间量化后的维数。

第二步:计算给定图片与各子库均值向量相似度 $s_i = \sum_{c=1}^q \sqrt{v_c m_{ic}}, i = 1, \dots, k$, 求得最大相似度 s_d , 则第 d 组为所求组。

第三步:计算示例图片与第 d 组每幅图片的相似度, $\text{sim}_i = \sum_{c=1}^q \sqrt{v_c v_{ic}}, i = 1, \dots, n_d, \text{sim}_i > T$ 则输出 (T 为大于零的阈值)。

4 实验结果

实验使用的图像库中收集了 1000 多幅图片,包括蓝天、树木、夜景、建筑物、花、波浪、草地、夕阳、雪花等

10 类主要的图片。

使用该系统对一幅示例图片的检索结果如图 3 所示。其中(a)为用户给出的示例图片,(b)~(h)为该系统的检索结果。(b)为与(a)最相似的图片,(c)为次相似,依次类推。

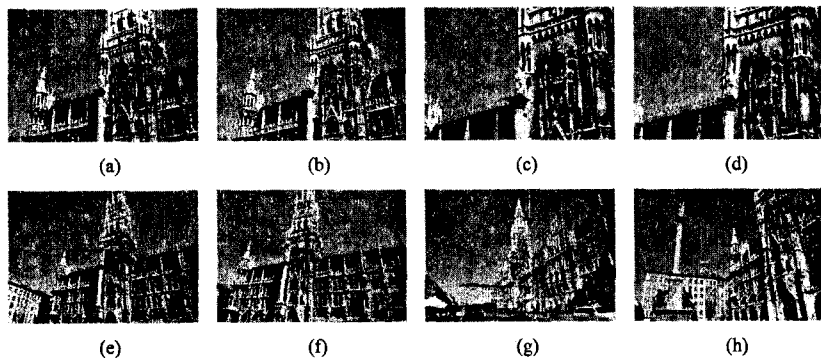


图 3 检索结果

查准率和查全率是衡量基于内容的图像检索系统的性能的两个重要指标。将本系统所用方法与其它方法作比较:颜色直方图(CH)基于颜色的方法,颜色自动相关图(CAC)基于颜色-空间的方法,比较结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出,SC-CBIR 方法在平均查准率以及平均速度上都有很大改善。由于预处理中,构造了基于图片颜色特征的相似矩阵,谱聚类根据该相似矩阵将图片库分为若干子图片库,较为相似的图片分到同一子库中。根据示例图片检索其相似图片时,首先找到最相似子库,然后在该子库中寻找相似图片。一方面,很大程度上减少了与示例图片比较的图片数量,缩短了检索时间,因而提高了检索速度;另一方面,由于预处理的划分子库,过滤了与示例图片极不相似的图片,提高了检索准确率。但是由于图片分类的不完美性,在实验中出现了与示例图片相似的某张图片被分到另外一个子库中的情况,影响到图像检索的查全率。在今后的研究中应考虑如何增强图片分类的准确性。

表 2 与其他方法的性能比较

	CH	CAC	SC-CBIR
平均查准率	0.569	0.651	0.823
平均查全率	0.445	0.598	0.566
平均速度(秒)	8.342	13.445	6.231

5 结束语

文中提出了将谱聚类应用于图片库预处理的图像检索系统,为了突出一幅图像的主体部分,设计了一种具有重叠部分的图像分块方法,并使用了一种基于 HSI 模型的颜色非均匀量化的方法。实验表明,将谱聚类用于图像检索,极大地缩小了检索范围,提高检索效率及准确度。由聚类算法预处理的图像检索算法,不仅有效而且便捷。

但是要进一步提高该图像检索系统的性能,有两点需要注意:首先,单一特征很难准确地描述图像,需要结合图像的形状,纹理特征;其次,计算机和人对图像感知之间存在着一定的差异,亟需通过引入相关反馈方法,从用户与查询系统的实际交互过程中进行学习,发现并捕捉用户的实际查询意图,并以此修改系统的查询策略,从而得到与用户实际需求尽可能相吻合的查询结果。

参考文献:

- [1] Xing E P, Jordan M I. On semidefinite relaxation for normalized k-cut and connections to spectral clustering[R]. Berkely: University of California, 2003.
- [2] Fiedler M. A property of eigenvectors of non-negative symmetric matrices and its application to graph theory[J]. Czech Math J, 1975, 25(100): 619-633.
- [3] Shi J, Malik J. Normalized cuts and image segmentation[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 888-905.
- [4] Ng A Y, Jordan M I, Weiss Y. On spectral clustering: Analysis and an algorithm[C]//In: Dietterich T G, Becker S, Ghahramani Z. Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). Cambridge: MIT Press, 2002: 849-856.
- [5] LI Xiuqi, CHEN Shu-Ching, SHU Mei-Ling, et al. A Novel Hierarchical Approach to Image Retrieval Using Color and Spatial Information[C]//Proceeding of The Third IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2002). Hsinchu, Taiwan: IEEE, 2002: 16-18.
- [6] Comaneci D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.

(上接第 206 页)

Opportunities, and Challenges[J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91(8): 1-15.

- [4] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868.

- [5] Chipcon. Cc1000 Single Chip Very Low Power RF Transceiver [EB/OL]. 2005. http://www.chipcon.com/files/CC1000_Data_Sheet_2_1.pdf.