

基于内容的图像检索系统性能评价

韦娜 耿国华 周明全

(西北大学计算机科学系可视化技术研究所, 西安 710069)

摘要 在图像检索需求多元化和专业化的推动下, CBIR 技术日趋成熟, 目前已有越来越多的商用和科研系统相继推出。这样就迫切需要展开对 CBIR 系统性能评价标准的研究, 因为任何一项技术都是由该领域中相应的评价标准来推动的。为了使人们对这方面的现状动态有一概略了解, 首先讨论了基于内容的图像检索评价过程中的两个基本问题, 即大规模数据库的建立和获取进行相关性评判, 然后对近年来文献中所见的基于内容的图像检索系统性能评价方法进行了回顾和综述; 最后在此基础上, 对其发展方向进行了探讨, 并提出建立一个标准的测试数据集用来推动基于内容的图像检索系统性能评价的发展和更好地将人结合到基于内容的图像检索系统的性能评价过程中, 以发展交互式的性能评价方法的建议。

关键词 性能评价 基于内容的图像检索

中图法分类号: TP391.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)11-1271-06

An Overview of Performance Evaluation in Content-based Image Retrieval

WEI Na, GENG Guo-hua, ZHOU Ming-quan

(Department of Computer Science, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract Promoted by the professional and diverse demands of image retrieval, the technique of content-based image retrieval (CBIR) becomes more mature. More and more commercial and scientific research systems are developed. As any technique is promoted by the performance evaluation of corresponding research area, for the development of effective image retrieval applications it is imperative to study the standard of performance evaluation in content-based image retrieval. Problems such as a common image database for performance comparison and a means of getting correlation judgement for queries are explained. This paper presents a review of the methods of performance evaluation in content-based image retrieval proposed in the literatures and tries to figure out the developing direction in the future. This paper also recommends that the content-based retrieval research community should establish a standard test-bed for evaluating image retrieval effectiveness. Further work needs to be done to better involve users in the evaluation process because the ultimate aim is to measure the usefulness of a system for a user. Interactive performance evaluations including several levels of feedback and user interaction need to be developed.

Keywords performance evaluation, content-based image retrieval (CBIR)

1 引言

众所周知, 任何一项技术都是由该领域中相应的评价标准来推动的, 比如数据压缩领域的评价标准是信噪比 (signal noise ratio, 简称 SNR), 在基于

文本的信息检索领域是查准率 (precision) 和查全率 (recall)^[1], 而且一个好的评价标准会引导相关技术向正确的方向发展。鉴于对基于内容的图像检索系统进行评价的重要性, 这方面的工作近年得到较多重视^[2~5], 研究人员已开发了一些用于评价检索系统性能的系统^[6,7]。Benchathlon 网站则是一个典型

的基于内容的检索系统的评价行动^[8,9]。其宗旨是在国际上建立一个基于内容检索系统的重要的评价行动,其目标是建立一个通用的框架,以评价各种基于内容的图像检索系统的性能,以及鼓励基于内容的图像检索(content-based image retrieval, CBIR)的研究和对CBIR评价的研究等。

检索策略性能评估的比较通用的几个准则是:有效性(effectiveness)、效率(efficiency)、灵活性(flexibility)。它们分别代表查找与示例图像相似的图像的成功率、检索的速度及对不同应用的适应性。目前对检索效果的评价则更多地放在检索结果的正确与否上,即检索的有效性上。

本文从以下3个方面来综述基于内容的图像检索系统的性能评价问题:

- (1) 测试数据集的建立;
- (2) 量化的评价方法;
- (3) 相关性评价的获取;

2 建立一个平衡的大规模的测试数据集

对于图像压缩,人们已有Lena图像集,它已很好地涵盖了各种不同的图像纹理特征;对于视频压缩,MPEG也提供了许多标准的视频测试序列;对于基于文本的信息检索也已有相应的大规模测试数据集,但对于图像检索领域,一个具有相当规模的,平衡的测试数据集尚有待建立。建立这样的测试数据集将有助于更好地评价系统所提取图像特征的有效性和系统的整体性能。这种测试库中的图像应该可以免费获取,且没有版权限制,不仅库中图像应该具有充分的多样性,而且图像集要代表图像检索的实际应用。目前,一些研究小组虽做了这方面的尝试,但还没有一个大家公认的测试图库,其中使用最多的图像集有美国加州水资源图像集和Corel公司的22,000幅专业收藏照片^[10,11]、Brodatz纹理图像^[12]以及Vistex纹理数据库^[13]等;还有一些研究机构也自己建立了数据库,但图像数量还不够。

由于统一标准的测试数据集的建立有利于对新的图像检索策略进行统一的评价,因而会加速新的更有效的检索策略的产生,同时更便于研究者之间的交流与合作。

3 获取相关性评价的通用方法

借助其内容已经标注的图像数据库是帮助评价

的一种方法。如借助Corel图像数据库,该数据库已将图像分为不同的类别,如斑马类、天空类等,这样就可以认定具有相同主题的图像是相关的,不同主题的是不相关的。由于此类评价往往不是根据整幅图像的全局特征,而是根据图像中的对象来确定相关性,因此用户还可以在已知分类的基础上将视觉上并不相似的图像从某分类中去除,这样更有助于性能评价的准确性。这种评价方法也存在如下一些困难:首先,根据标注来确定相关性可能并不真实;其次,为了得到有用评价,需要对图像内容进行全面的标注,这就带来工作量大和复杂性高的问题。

用户确定相关性的方法还有以下3种,分别适用于不同的量化评价方法^[14]:

(1) 预先制定一个阈值,对于每一测试查询图像,由若干用户确定图库中的图像与示例图像相关与否,若评判该图为相关图像的用户人数大于给定阈值,则确定该图为相关图像。最终,图库被分为相关图像和不相关图像两部分。

(2) 类似于以上方法,用户依旧对图库中图像判断其与测试查询图像是否相关。对于每一幅图,则首先统计评判该图为相关图像的用户个数,然后将归一化的该统计值作为该图像相关性权值。

(3) 由用户对每个测试查询图像依据相关性给图库中图像进行排序,其中最相似的赋以序号1,次相似的为2,依此类推。这种评判方法的结果将产生一个矩阵 Q 。 $Q(i, k)$ 代表将第 i 幅图像排在第 k 位的评判者的个数。

获取图像之间的相关性是进行性能评价的一个难点。如果图像库中有 N 幅图像和 M 个基准查询图像,则需要 $M \times N$ 次观察才能得到它们的相关性,可见这种观察的工作量是巨大的。

4 量化评价方法

有效性评价可以从以下两个方面来考虑:一是人的主观感受;二是有一个量化的评价标准,但是人的主观感受由于受其主观性和个体性影响,很难容易把握^[15],因此量化的评价标准是一种较直观,且具有通用性的检索有效性的评价方法。

4.1 查全率和查准率

查全率与查准率是信息检索中的标准评价方法,现在已被越来越多地使用在基于内容的图像检索当中^[15~22]。QBIC(query by image content)中就

使用了该方法。

以下用图 1 的 a, b, c, d 的关系来说明检索过程的查全率和查准率^[23]:

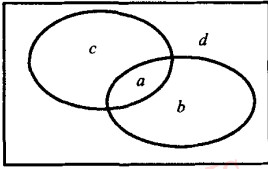


图 1 a, b, c, d 关系示意图

图中 $a+b+c+d=Q$ $a+c=A$ $a+b=B$

图 1 中, Q 为整个图像数据库, A 代表相关图像的集合, B 代表检索出的图像集合。

则 查准率

$$P = p(A|B) = \frac{p(A \cup B)}{p(B)} = \frac{a}{a+b} \quad (1)$$

查全率

$$R = p(B|A) = \frac{p(A \cup B)}{p(A)} = \frac{a}{a+c} \quad (2)$$

误检率

$$F = \frac{b}{b+d} \quad (3)$$

用查全率 R 作为 x 轴, 查准率 P 作为 y 轴, 绘制一条查准率-查全率曲线, 简称为 PVR 曲线。设 PVR 曲线为 $f(x, y)$, 则 $f(x, y)$ 与 x - y 轴围成的面积为, $S_f = \int_0^1 f(x, y) dx$, 称 S_f 为 PVR 指数。据研究, 该指数越大, 图像检索性能越好。

由此可以看出, 查全率反映检索的全面性, 而查准率则反映检索的准确性, 因此可以用查全率和查准率来评价系统的有效性。该方法的局限性在于没有考虑检索结果中相似图像所处的位置, 同时, 高的准确率与查全率并不一定表明一个系统工作得好, 这还要视具体的应用而定。

除了以上的 PVR 曲线, 还可以用准确度-检索图像数量曲线图和查全率-检索图像数量曲线图来表达基于内容的图像检索的性能指标^[7]。

基于查全率和查准率, 研究者们还用以下几种度量方法来评价图像检索系统的性能:

(1) 3 点平均值: 查全率为 0.2, 0.5, 0.8 处查准率的平均值^[24];

(2) 11 点平均值: 在 11 个查准率点处查准率的平均值;

(3) 当准确度下降到 0.5 时的查全率;

(4) Berman 和 Shapiro 通过判断相关图像出现在返回的前 25 幅和前 400 幅图像中的比例来评判检索性能^[25]。

4.2 排序评价方法

设查询的返回图像幅数为 N , 在 N 幅返回图像中, N_R 为检索到的相关图像的数目(下角 R 代表 related), ρ_r 为相关图像的排序序号, \hat{N}_R 为实际的相关图像数, 则评价参数^[26]如下:

检索到的相关图像的平均排序为

$$K_1 = \frac{1}{N_R} \sum_{r=1}^{N_R} \rho_r \quad (4)$$

理想的相关图像的平均排序为

$$K_2 = \frac{\hat{N}_R}{2} \quad (5)$$

相关图像的丢失率 r 为

$$r = \frac{N_R}{\hat{N}_R} \quad (6)$$

K_2 表示理想情况下的平均排序, 即返回相关图像全部排在最前面时的平均序号。 K_1 越接近 K_2 , 表示查询效果越好。此外, 在文献[1]中, 还提出了使用以下标准化的平均排序方法:

$$K_3 = \frac{1}{N\hat{N}_R} \left(\sum_{r=1}^{N_R} \rho_r - \frac{\hat{N}_R(\hat{N}_R - 1)}{2} \right) \quad (7)$$

对于最理想的检索, K_3 是 0。

4.3 匹配百分数^[27, 28]

有一种实用的判别方法是从 512×512 大小的图像中选取两块不重叠的 256×256 大小的子图像, 并取其中一幅作为查询图像, 另一幅作为目标图像。在理想的检索情况下, 目标图像应该在检索结果中排位第一。由于在实际检索中, 很难要求检索算法每次都能把目标图像提取在第 1 个位置, 所以衡量检索结果优劣的匹配百分数 M 定义为

$$M = \frac{N - S}{N - 1} \times 100\% \quad (8)$$

其中, N 是数据库中目标图像的总数, S 代表另一幅图像在检索结果中的排位。如果进行多次试验, 并取平均匹配百分数, 则 M 反映了检索结果的优劣。该方法虽简便易于计算, 但是由于仅考虑了一幅相关图像的检索情况, 而未顾及更多相关图像, 因此对于需要较高查全率的应用并不适应。

4.4 tau 系数

tau 系数 H ^[29] 定义如下:

$$H = \frac{V_1 - V_2}{V} \quad (9)$$

其中, V_1 代表有序对个数, V_2 代表未按顺序排列的序对个数, V 代表总的可能的序对个数。

以下举例说明:

表 1 为一个理想查询结果, 表 2 为计算出的相应的 τ 系数 H 。这里设返回图像个数为 4, 则对于检索出的非相关图像, 其排序均定为 7。

对于返回图像数为 $N=4$ 来说, 有序对的总个数为 $V=N(N-1)/2=4 \times 3/2=6$ 。

表 1 一个理想查询结果

与图像 D_{30} 相似的图像	D_{30}	D_{23}	D_{27}	D_{98}	D_{62}	D_{10}
排序序号	1	2	3	4	5	6

表 2 计算 τ 系数

查询结果	对应的排序	τ 系数 H
A: D_{30} D_{23} D_{27} D_{62}	1 2 3 5	$(6-0)/6=1$
B: D_{30} D_{23} D_{98} D_{27}	1 2 4 3	$(5-1)/6=0.67$
C: D_{10}	6 7 7 7	$(3-0)/6=0.5$

该方法仅考虑了有序对的个数, 而对于一些漏检情况, 则可能会得到较高的 τ 系数 H 。

4.5 检索评分法

以下是对检索结果进行评分的一种方法^[30]。设对一个图像数据库进行了 $q=1, 2, \dots, Z$ 次查询, 并设与第 q 次查询相对应的相关图像的数量为 G_q , G_{\max} 为 G_q 的最大值。对于一次查询, 理想情况下, 将返回所有 G_q 幅相关图像, 并依次排序, 但由于实际的查询结果并不是理想的, 所以有可能出现下列几种情况:

- (1) 返回了 G_q 幅图像, 但并非有序排列;
- (2) 返回了 G_q 幅图像, 且已按顺序排列, 但返回图像中还夹杂了一些不相关的图像;
- (3) 丢失了部分相关图像;
- (4) 所有相关图像都未返回。

这里采用的评分系统的基础是排序方法。一个评分窗口 W_q 与第 q 次查询相对应, 它包括的图像数为 T_q , $T_q > G_q$ 。根据索引 $m=1, 2, \dots, N$ 排序, 将包含在 W_q 中的返回图像, 其一个示例图见图 2, 其中, 第 3 和第 8 幅图像是正确的返回图像。



图 2 评分窗口和返回的图像集合示意

定义以下阶跃函数:

$$\theta(m - g) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } m \sim g \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

当在索引位置 m 检索出的图像和一幅匹配图像 g 匹配时, 则函数值记为 1。

在窗口 W_q 中, 所返回的正确图像数为

$$F_q = \sum_{m=1}^N \theta(m - g) \quad (11)$$

在窗口 W_q 中, 未返回的相关图像数为

$$L_q = G_q - F_q \quad (12)$$

则检索排序 J_q 定义如下:

$$J_q = U_q + w_q \cdot L_q \quad (13)$$

此处

$$U_q = \sum_{m=1}^N m \cdot \theta(m - g) \quad (14)$$

为相关图像的排序和。

权重 w_q 是对未返回图像的惩罚。在以下的讨论中, 使用 $w_q = T_q + 1$ 。

定义相对(relative 简称为 R)检索排序为

$$J_q^R = \frac{J_q}{G_q} \quad (15)$$

理想情况下, $F_q = G_q, L_q = 0, J_q = G_q(G_q + 1)/2$, 若将该式代入式(15), 则最好的相对(best-relative, 简称为 BR)检索排序为

$$J_q^{BR} = \frac{1 + G_q}{2} \quad (16)$$

在最坏的情况下, 由于窗口 W_q 内不包含相关图像, 检索排序 J_q 即成为 $w_q \cdot G_q$, 即最坏的相对(worst-relative, 简称为 WR)检索排序 $J_q^{WR} = 1 + T_q$, 因此, 在一般情况下, 相对检索排序的值在 $[J_q^{WR}, J_q^{BR}]$ 。这样, 归一化(normalization, 简称为 N)的相对检索排序定义如下:

$$J_q^{NR} = \frac{J_q^R - J_q^{BR}}{J_q^{WR} - J_q^{BR}} = \frac{J_q^R}{1 + T_q - \frac{1}{2} \cdot (1 + G_q)} \quad (17)$$

而最终的检索评分(retrieval score)就是如下对所有查询的归一化的平均排序:

$$D = \frac{\sum_{q=1}^Z J_q^{NR}}{Z} \quad (18)$$

该检索评分方法已被 MPEG-7 的研究者使用^[31], 其中, $T_q = \min(4 \cdot G_q, 2 \cdot G_{\max})$ 。

4.6 相似性排序百分比

相似性排序百分比(percentage of similarity

ranking, PSR)^[32]是由 Bimbo 和 Pala 提出的。该评价方法首先得到第 3 节的相似性评判矩阵 $\{Q_j^{(i,k)}\}$, 其中 $Q_j^{(i,k)}$ 代表对于查询图像 j , 将图像 i 排在第 k 位的人数; 然后根据该矩阵计算图像 i 每一行的均值 $\bar{p}_j^{(i)}$ 和方差 $\sigma_j^{(i)}$ 。设对于查询图像 j , 图像 i 的返回位置是 $p_j^{(i)}$, 则相似性排序百分比 $E_j^{(i)}$ 的计算如下:

$$E_j^{(i)} = \sum_{k=p_j^{(i)} - \frac{\sigma_j^{(i)}}{2}}^{p_j^{(i)} + \frac{\sigma_j^{(i)}}{2}} Q_j^{(i,k)} \quad (19)$$

$E_j^{(i)}$ 值越高, 代表检索算法的准确率越高。

5 结 语

检索作为一个具有挑战性的研究课题和一种工程性的应用, 其检索可靠性如何需要有一个客观的全面的性能评价标准。虽然计算机图像检索技术已经有了很多年的发展, 但是由于图像检索系统依然缺乏普遍接受的性能评价标准, 以至于无法比较不同方法和系统的能力, 因此制定一个共同认可的标准的图像库, 以提供通用的量化评测尺度, 不仅是建立性能评价标准要解决的问题, 同时它也能促进图像检索从实验室走向实用化。本文综述了现有的基于内容的图像检索评价方法及其相关问题, 但需要指出, 要使图像检索性能评测方法被不同研究者所接受, 除了需要在完整性和实用性等方面下功夫外, 还应该加强对用户需求的研究, 例如, 当一个企业需要注册商标时, 可以将其新的商标作为示例检索数据库, 其需要较高的查全率, 但可以容忍较低的准确度, 而当某新闻公司从几千幅关于某个事件的照片中, 选取十几幅提供给媒体时, 则高的准确度很重要。从以上例子可看出, 把对用户需求的研究加入到系统性能评价的设计中, 是十分必要的。

将相关反馈技术引入到基于内容的图像检索是提高检索性能的一个行之有效的办法, 已受到人们的日益关注^[33,34]。由于其目标是从用户与查询系统的实际交互过程中进行学习, 以发现并捕捉用户的实际查询意图, 并以此修正系统的查询策略, 以便得到与用户实际需求尽可能相吻合的查询结果, 因此对于具有相关性反馈的图像检索系统的性能评价还需要进一步展开研究^[35]。这种具有相关反馈的交互式的性能评价也是未来的一个发展方向。

上述证明, 一个成功的图像检索系统, 需要多个研究领域的紧密合作。相信将来基于内容的图像检

索会有更多的运用, 定会给人们的工作和生活带来更多的方便和快乐。笔者将继续对此展开研究, 同时也欢迎就此论题开展各种讨论与协作。

参 考 文 献

- 1 Text retrieval Conference (TREC) web page[EB/OL]. <http://trec.nist.gov/>, Sponsored by the National Institute of Standards and Technology (NIST) and U. S. Department of Defense.
- 2 Santini S. Evaluation vademecum for visual information system [J]. Proceedings of SPIE, 2000, 3972:132~143.
- 3 Markus Koskela, Jorma Laaksonen, Sami Laakso, et al. Evaluating the performance of content-based image retrieval systems[A]. In: International Conference on Visual Information Systems (Visual 2000)[C], Lyon, France, 2000;2~4.
- 4 McDonald Sharon, Lai Ting-Sheng, Tait John. Evaluating a content based image retrieval system[A]. In: Proceedings of the 24th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval [C], New Orleans, Louisiana, USA, 2001;232~240.
- 5 Leung C, Ip H. Benchmarking for content-based visual information search[A]. In: International Conference on Visual Information Systems (VISUAL 2000) [C], Lyon, France, 2000;2~4.
- 6 Liu Wenjin, Su Zhong, Li Stan, et al. A performance evaluation protocol for content-based image retrieval algorithms/systems[EB/OL]. <http://www.cs.cityu.edu.hk/~liuwj/PE-CBIR/>.
- 7 Müller H, Müller W, Squire D M. A web-based image retrieval system for CBIR[A]. In: International Multimedia Conference Proceedings of the 2001 ACM Workshops on Multimedia: Multimedia Information Retrieval[C], Ottawa, Canada, 2001; 50~54.
- 8 CBIR system evaluation site [EB/OL]. <http://www.benchmarklon.net>
- 9 章毓晋. 基于内容的视觉信息检索[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- 10 徐曼. 基于内容的图像检索技术的研究与系统实现[硕士学位论文][D]. 南京: 南京理工大学, 2002.
- 11 Corel clipart&photos [DB/OL]. <http://www.corel.com/products/clipartandphotos/>.
- 12 Brodatz texture database [DB/OL]. <http://www.ux.his.no/~tranden/brodatz.html>.
- 13 MIT. Vision Texture database[DB/OL]. <http://www-white.media.mit.edu/vismod/imagery/VisionTexture/vistex.html>.
- 14 Lu Guojun, Atul sajjanhar. On performance measurement of multimedia information retrieval systems[A]. In: International Multimedia Conference[C], Ottawa, Canada, 2001; 21~28.
- 15 Squire D M, Pun T. A comparison of human and machine assessments of image similarity for the organization of image databases [A]. In: Proceedings of the 10th Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA'97) [C], Lappeenranta,

- Finland, 1997; 51~58.
- 16 Squire D M, Müller W, Müller H, *et al.* Content-based query of image databases, inspirations from text retrieval; inverted files, frequency-based weights and relevance feedback[A]. In: The 11th Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA'99)[C], Kangerlussuaq, Greenland, 1999; 143~149.
- 17 孙兴华, 郭丽, 郭跃飞等. 基于目标区域的彩色图像检索研究[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(9): 1112~1119.
- 18 曹奎, 冯玉才, 王元珍. 一种基于颜色的图像表示及全局相似检索技术[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(9): 1121~1125.
- 19 Kam A H, Ng T T, Kingsbury N G, *et al.* Content based image retrieval through object extraction and querying[A]. In: IEEE Workshop on Content-based Access of Image and Video Libraries[C], Hilton Head, South Carolina, USA 2000; 91~95.
- 20 Faloutsos C, Flickner M, Petcovic D, *et al.* Efficient and effective querying by image content[J]. *Journal of Intelligent Information Systems*, 1994, 3: 231~262.
- 21 樊亚春, 耿国华, 周明全. 用不变矩和边界方向进行形状检索[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(4): 659~652.
- 22 Porkaew K, Chakrabarti K, Mehrotra S. Query refinement for multimedia similarity retrieval in MARS[A]. In: Proceedings of the 7th ACM International Multimedia Conference [C], Orlando, Florida, USA, 1999; 235~238.
- 23 Smith John R, Chang Shih-Fu. Tools and techniques for color image retrieval[J]. *IS&T/SPIE Proceedings*, 1995, 2670: 1~11.
- 24 Smith John R. Image retrieval evaluation [A]. In: IEEE Workshop on Content-based Access of Image and Video Libraries (CBAIVL-98) [C], Fort Collins, Colorado, USA, 1998; 21~21.
- 25 Berman A P, Shapiro L G. Efficient content-based retrieval: Experimental results [A]. In: Proceedings of the IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Databases[C], Fort Collins, Colorado, USA, 1999; 55~61.
- 26 韦娜, 耿国华, 周明全. 结合颜色和空间信息的图像检索算法[J]. 计算机应用与软件, 2003, 20(8): 3~4.
- 27 Schaefer G. Compressed domain indexing of losslessly compressed images[J]. *Proceedings of SPIE*, 2002, 4676: 79~85.
- 28 Swain M J, Ballard D H. Color indexing [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1991, 7(1): 11~32.
- 29 Payne J S, Hepplewhite L, Stonham, T J. Perceptually based metrics for the evaluation of textural image retrieval methods [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and System 99 [C], Florence, Italy, 1999, 1: 793~797.
- 30 Gunther N J, Beretta G B. A benchmark for image retrieval using distributed systems over the Internet: BIRDS-I [J]. *Proceedings of SPIE*, 2001, 4311: 252~267.
- 31 MPEG-7 Visual part of experimentation Model version 2.0[S/OL]. MPEG-7 Output Document ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG99/N2694, Seoul, Korea, <http://www.cs.purdue.edu/homes/aref/cs-690d-presentations> 1999.
- 32 Bimbo A Del, Pala P. Visual image retrieval by elastic matching of user sketches [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, 19(2): 121~132.
- 33 张磊, 林福宗, 张铨. 基于支持向量机的相关反馈图像检索算法[J]. 清华大学学报, 2002, 42(1): 80~83.
- 34 Rui Y, Huang T S, Mehrotra S, *et al.* Relevance feedback: A Power tool for interactive content-based image retrieval [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1998, 8(5): 644~655.
- 35 Rui Y, Huang T S, Mehrotra S, *et al.* A relevance feedback architecture for content-based multimedia information retrieval systems [A]. In: Proceedings of IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries [C], Puerto Rico, 1997; 82~90.



韦娜 1977年生。2003年获西北大学计算机系硕士学位。现为西北大学计算机系博士研究生。主要研究领域为图像检索, 模式识别等。

E-mail: weinaok@sina.com



耿国华 1955年生。现为西北大学计算机系教授, 博士生导师。主要从事模式识别、知识库等方面的教学科研工作, 发表科研论文60余篇, 出版教材4部、学术专著1部。



周明全 1954年生。现为西北大学计算机系教授, 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教学科研工作, 曾主持多项国家“九五”项目及国家“八六三”、自然科学基金项目。