

贝叶斯框架下基于区域的相关反馈算法

赵玉凤^① 赵耀^① 朱振峰^{①②}

^①(北京交通大学信息科学研究所 北京 100044)

^②(北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室 北京 100871)

摘要: 融合基于区域的图像表达方式和相关反馈技术能够有效地提高图像检索的性能。由于现有的方法没有充分考虑相同语义类内区域特征的分布情况,进而无法对该类的语义信息进行有效的描述,为此该文提出了贝叶斯框架下基于区域的相关反馈模型。在每轮相关反馈中,通过在线学习区域的贝叶斯分类器,同时根据最近邻最小错误估计原则确定分类器的可信度,可以可靠地建立图像相似性度量的概率模型。此外,在应用非参数密度估计技术来构造语义类的特征分布时,针对区域分割的不精确性,该文还考虑了区域特征空间的总体分布因素,进而对区域的后验分布进行更可靠地估计。最后的实验说明了该文方法的有效性。

关键词: 相关反馈; 贝叶斯分类器; 非参数密度估计

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)04-0937-04

Bayesian Probability Model Based on Region and Relevance Feedback

Zhao Yu-feng^① Zhao Yao^① Zhu Zhen-feng^{①②}

^①(Institute of information, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

^②(National key laboratory on machine perception, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Many researchers have found it can improve the retrieval performance by combining region-based representation and relevance feedback technology. Since the previous works have ignored the probabilistic distribution of regions in the same semantic class, it is hard to represent the semantic information effectively. In this paper, Bayesian probabilistic model based on region and relevance feedback is proposed. The probability model of image similarity can be constructed via the Bayesian classifier obtained by on-line learning and its certainty based on the least error probability of the nearest region in relevant images set. When it comes to the non-parameter density estimation technique for characterizing the region feature distribution, it also takes the collective distribution into consideration because of inaccurate segmentation. Thus, the posterior distribution of region feature can be estimated accurately, and the experimental results demonstrate its effectiveness.

Key words: Relevance feedback; Bayesian classifier; Non-parametric density estimation

1 引言

近几年的基于内容的图像检索中,研究的焦点是基于区域表达的相关反馈方法,并且已经提出许多有效的方法。通过用户对每次反馈结果标识出相关图像或不相关图像,系统根据反馈的信息优化图像基于区域的表达和相似性度量,在一定程度上克服了全局特征表达的局限性,同时又能够引入用户的语义信息,因此提高了检索性能。如 Gondra 等提出通过累计不同用户的反馈信息学习 SVM 分类器和更新区域的权重,进而提高图像检索的性能^[1]; Jing 等根据反馈信息学习区域的权重,更新图像相似性的度量,在检索中引入人的语义信息^[2]; 由于遗传算法较好的优化性能, Steji 等使用

遗传算法优化区域特征及其权重,学习新的图像相似度量模型,通过统计学习不断的使检索满足用户的需求^[3]; 在基于区域的图像表达中,为了解决特征维数的一致性问题, Dai 等提出应用区域映射的关系,并通过 adaboost 集成学习返回最可靠的相关图像^[4]; 文献[5]通过改变滑动窗口的尺度在图像中寻找用户感兴趣的目标,然后根据用户的反馈信息训练二级分类器来减小相关图像被错分的概率。

文献[1-5]提出的基于区域特征表达的相关反馈模型中,是基于更新区域权重的思想,来优化图像基于区域的表达和图像相似性的度量,还没有考虑相同语义类内区域的特征分布信息,进而无法对该类的语义信息进行有效的描述,为此本文提出贝叶斯框架下基于区域的相关反馈检索模型。在每轮反馈中,在线学习基于区域的贝叶斯分类器及其可信度,更新图像的相似度概率模型。在训练分类器时,文献[6]等通常事先假设区域特征分布的概率密度模型,但是由于受到各种因素的影响,如样本数量的限制,无法知道任何关于属于

2006-09-14 收到, 2007-06-07 改回

国家 973 计划(2006-B30314), 国家自然科学基金(90604032, 0602030), 新世纪优秀人才支持计划, NLPR 国家重点实验室开放基金和视觉与听觉信息处理国家重点实验室开放基金资助课题

同一语义类的区域在特征空间中分布的先验知识,因而本文通过 k -近邻的非参数密度估计方法来估计区域的后验知识,刻画图像区域所属的语义类在特征空间的分布。另外,由于区域分割的不精确性,区域特征的均匀分布假设并不成立,即使在查询特征的一个局部领域,也可能存在总体特征分布较大的变化,因此本文考虑区域总体特征分布的因素,更可靠地估计区域的后验分布,从而提高检索性能。

本文的组织如下:第2部分详细介绍基于区域的相关反馈概率模型,第3部分对实验结果进行了分析,最后是结束语。

2 基于区域的相关反馈概率模型

与以前的基于区域的相关反馈算法相比,本文提出的方法考虑相关区域在特征空间的分布特性构建分类器,算法详细介绍如图1所示。

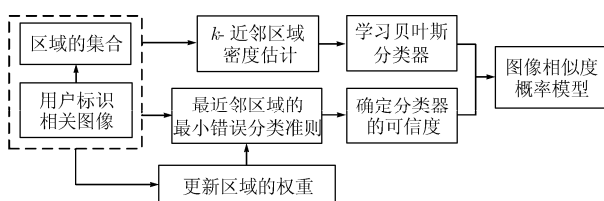


图1 基于区域贝叶斯分类器的图像

该模型包括3个模块,首先用户标识出相关图像构成区域的集合,在该集合上应用 k -近邻非参数密度估计方法学习贝叶斯分类器,刻画属于相同语义类的区域在特征空间的分布;而且为了减小分类误差对检索结果的影响,本文提出根据最近邻最小错误分类准则设置分类器的可信度。本文应用文献[8]提出的区域权重更新方法,实现区域权重的长时统计学习;最后由相关区域的相关性与相应分类器的可信度来更新图像的相似度概率模型。

2.1 训练贝叶斯分类器

对于任意图像 I 由区域集合 $I = \{r_1^I, r_2^I, \dots, r_{n_I}^I\}$ 表示,根据贝叶斯法则,对每一个区域 r_j^I 进行分类,即属于相关类 R 和不相关类 N , 区域 r_j^I 属于相关类 R 的后验概率可以表示为

$$p(R|r_j^I) = \frac{p(R) \times p(r_j^I|R)}{p(r_j^I)} \quad (1)$$

其中 $p(R)$ 为相关区域的先验概率密度, $p(r_j^I|R)$ 为相关区域的类条件概率密度, $p(r_j^I)$ 是区域(不区分相关或不相关)的概率密度。

以往计算该后验概率的方法中,假设现实图像库中的区域特征均匀分布,即 $p(r_j^I)$ 并总是一个常数,事实上这种假设并不成立。在实际中,由于区域分割的不精确性,特征总体分布的不均匀性对估计后验概率是有影响的,因此本文考虑区域特征的总体分布,更可靠地估计贝叶斯分类器,文献

[9]在图像全局特征表达基础上考虑特征的总体分布。不用事先假设概率密度函数的形式,通过 k -近邻非参数密度估计相应区域的后验知识,每个区域的后验概率为

$$p(r_j^I|R) = p(R) \times \frac{k_r/(N_r V_r)}{k/(NV)} = p(R) \times \frac{k_r}{k} \times \frac{N_r}{N} \times \frac{V}{V_r} = C \frac{V}{V_r} \quad (2)$$

其中 N 是全体图像区域的总数, V 是以 r_j^I 为中心刚好包含 k 个近邻区域的体积, N_r 是所有标记为相关图像区域的总数, v_r 是以 r_j^I 为中心在标记为相关图像中,刚好包含 k_r 个近邻区域的体积, C 是常数。另外,在一个 d 维特征空间,有

$$V \propto (D(k))^d \quad (3)$$

其中 $D(k)$ 是区域 r_j^I 到图像库中第 k 个近邻区域的欧式距离。设 $D(k_r)$ 是区域 r_j^I 到标记为相关图像的第 k_r 个近邻区域的欧式距离,则

$$p(r_j^I|R) = \frac{V}{V_r} = \frac{D(k)}{D(k_r)} \quad (4)$$

根据图像库的大小,在实验中取 $k = 20$ 及 $k_r = 1$ 。当区域的后验概率满足 $p(r_j^I|R) \geq 0.5$ 时,设定该区域属于相关类 R ,否则属于不相关类 N 。

2.2 贝叶斯分类器的可信度

另外,本文提出训练贝叶斯分类器时,以图像区域的权重为依据,按照最近邻最小错误分类准则确定每个分类器的可信度,以减小由于训练分类器的误差对检索结果的影响,校正图像相似度的度量模型。另一方面,从图像相似度的度量模型来看,可信度也恰好能够表明区域的相关性对图像相似度的贡献。对于图像库中的任意图像 I 的区域 r_j^I , 它的贝叶斯分类器的可信度由 ω_j 表示,下面给出获得可信度 ω_j 的伪代码的步骤:

(1)区域 r_j^I 最近邻的区域所在的相关图像 p , 由区域集合 $p = \{r_1^p, r_2^p, \dots, r_{n_p}^p\}$ 表示。

(2)根据相关图像 p 的区域最小错误分类原则更新区域 r_j^I 的分类器的可信度 ω_j :

(a)相关图像区域的分类错误为 $\varepsilon_j = \sum_{\substack{1 \leq i \leq n_p \\ 0 \leq p(r_i^p) \leq 0.5}} A_i$, A_i

为相关图像 p 的第 i 个区域的权重。

(b)区域 r_j^I 分类器的可信度: $\omega_j = \ln \frac{1 - \varepsilon_j}{\varepsilon_j}$ 。

(3)根据文献[8]中的方法累计更新图像的区域权重 A_i 。对于图像 I , 根据上述算法确定了各个区域所属的类别,同时获得相应分类器的可信度,最后该图像的相似度概率模型如下式所示:

$$p(I) = \sum_{j=1}^n \omega_j p(R|r_j^I) \quad (5)$$

其中 n 为图像 I 中判断为相关区域的个数。

3 实验结果与分析

为了检验本文算法的性能，从 Corel 标准库中选择了 20 类图像进行测试，其中每一类中包含 100 幅语义相关图像。系统首先对图像库进行离线区域分割预处理和特征提取，同时离线计算每对区域之间的欧式距离及每个区域的第 k 个邻近距离值，将结果保存到特征库文件中。当开始查询时，同样对查询图像进行相同的处理，然后根据本文提出的方法进行相似度计算，按照图像的相似度输出检索结果。用户在检索结果中标识出相关图像，系统根据反馈信息训练贝叶斯分类器，获得图像的相似度概率模型，对于用户满意的检索结果系统更新其区域的权重，系统的结构如图 2 所示。

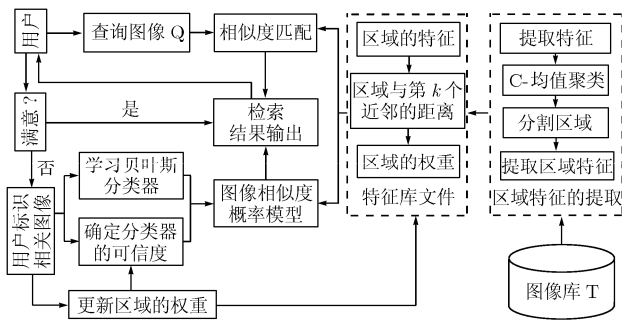


图 2 系统结构图

与文献[7]相同，本文采用 C-均值的区域分割方法，同时也提取三维颜色特征与三维纹理特征。以下实验的默认设置为：在每类图像中随机取 20 幅图像，共 400 幅图像作为查询图像，对于每次查询共进行 5 次反馈，每轮反馈返回给用户 50 幅图像。

3.1 不同反馈方法的比较

为了说明本文方法的检索性能，在实验中将本文方法与文献[8]的优化区域权重方法进行了比较。这里采用默认的实验设置，将本文方法标记为 A1，文献[8]中的方法记为 A2，二者的性能分析如图 3 所示。从图中可以看出，在第 5 轮反馈时，本文方法的平均准确率比 A2 的相关反馈方法提高了 10% 以上。A2 方法通过用户的反馈更新图像区域的权重，从而优化图像相似度函数，但是图像库内的大量区域仅仅依靠每次查询修改其权重，对准确检索图像的要求是远远不够的。而在本文方法中，图像的相似度概率模型是根据贝叶斯原则时时更新，逐渐接近用户的语义要求，因此提高了检索性能。

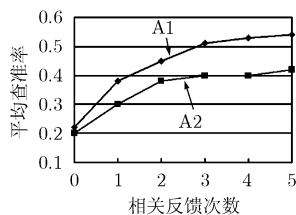


图 3 不同反馈方法的检索结果

3.2 参数与非参数密度估计的比较

本实验给出了非参数与参数密度估计方法对检索性能的影响。实验中，随机在图像库中抽取 500 幅图像作为查询图像，分别返回给用户 20, 40, 60, 80, 100 幅图像，计算反馈进行到第 4 轮时系统检索的平均准确率。参数估计假设图像区域的特征向量在特征空间服从 Gaussian 分布，对用户标识的相关图像的区域进行聚类，同一聚类中的所有样本的均值作为高斯的均值，高斯方差为同一聚类中的区域特征与聚类中心区域特征的统计方差。图 4 中，B1 为应用非参数密度估计的检索结果，B2 为采用参数密度估计的检索结果。应用参数密度估计训练贝叶斯分类器的检索结果较差的原因可能是：假设图像区域的特征向量在特征空间服从 Gaussian 分布，但在实际的检索过程中，由于受到各种因素的影响，因此该先验知识是很难满足的。并且由于 B1 应用非参数密度估计时还考虑了全体样本的分布，从而也提高了检索性能。

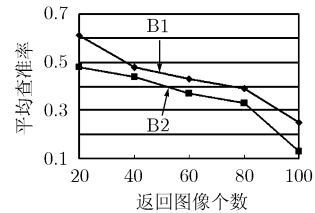


图 4 应用参数与非参数密度估计的检索结果

3.3 分类器可信度的影响

图 5 说明了分类器的可信度对图像相似度度量的影响，这里采用默认的实验设置。图中 C1 是考虑分类器的可信度对检索结果的影响，C2 是未考虑分类器可信度对检索结果的影响。从图中可以看出考虑了分类器可信度的检索效果能够明显的得到提高。特别是在第 5 轮反馈时，其平均准确率能够提高 10% 以上。

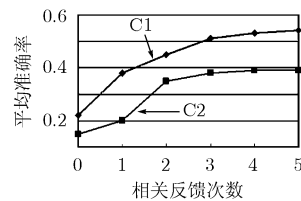


图 5 分类器可信度的影响曲线

3.4 k 值对检索性能的影响

对式(4)中参数 k 的取值对检索性能是有影响的，采用默认的实验设置，检索性能的度量采用第 5 轮反馈后的平均查准率，其结果如图 6 所示。从图中可以看出，随着 k 的增加，检索性能稳步提高。当 k 大于 10 后，性能提高缓慢；当 k 大于 20 后，检索性能趋于稳定。也就是说，当 k 比较大后，检

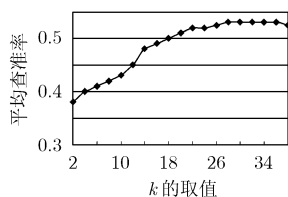


图6 k 的取值对检索性能的影响

索性能对 k 的取值就不敏感了, 这种特性也正是我们所希望的。

4 结束语

为了减小图像低层特征与高层语义之间的差异, 本文提出融合基于区域表达与相关反馈技术的检索算法。与以前同类方法相比较, 该算法考虑了属于同一语义类的区域在特征空间中分布的特性, 也考虑了总体特征的分布, 实验表明了算法的高效性。另外, 提出的图像相似度的度量模型, 校正了贝叶斯分类器的误差, 在一定程度上也提高了检索效果。最后的实验证明了本文算法的高效性。

参考文献

- [1] Gondra I and Heisterkamp D R. Learning in region-based image retrieval with Generalized support vector machines [C]. IEEE International conference on computer vision and pattern recognition workshops. Washington, 2004, 9: 149.
- [2] Jing F, Li M, Zhang B, and Zhang H J. Region-based relevance feedback in image retrieval [C]. IEEE International symposium circuits and systems (ISCAS), Scottsdale, 2002: 145-148.
- [3] Steji Z, Takama Y, and Hirota K. Relevance feedback-based image retrieval interface incorporation region and feature saliency patterns as visualizable image similarity criteria [J]. *IEEE Trans. on industrial electronics*. 2003, 50(5): 839-852.
- [4] Dai S Y and Zhang Y J. Adaboost in region-based image retrieval [C]. IEEE International conference on acoustics, speech and signal processing. Montreal, 2004: 429-432.
- [5] Hoiem, D, Sukthankar R, Schneiderman H, and Huston L. Object-based image retrieval using the statistical structure of images [C]. IEEE International conference on computer vision and pattern recognition. Washington, 2004: 490-497.
- [6] Munesawang P and Guan L. An interactive approach for CBIR using a network of radial basis functions [J]. *IEEE Trans. on multimedia*. 2004, 6(5): 703-716.
- [7] Wang J Z and Li J. SIMPLcity: Semantics-sensitive integrated matching for picture libraries [J]. *IEEE Trans. on pattern analysis and machine intelligence*. 2001, 23(9): 947-963.
- [8] Jing F and Li M J. An efficient and effective region-based image retrieval framework [J]. *IEEE Trans. on image processing*. 2004, 13(5): 699-708.
- [9] Hong W, Hanqing L, and Songde M. The role of sample distribution in relevance feedback for content-based image retrieval [C]. IEEE International conference on multimedia and expo. Lausanne, 2002: 225-228.

赵玉凤: 女, 1978年生, 博士生, 研究方向为模式识别、基于内容的图像检索。

赵耀: 男, 1967年生, 教授, 研究方向为图像编码、数字水印、基于内容的图像与视频检索。

朱振峰: 男, 1974年生, 讲师, 研究方向为模式识别、图像处理、基于内容的图像与视频检索。