

区域加权信息熵及其在图像特征提取中的应用

李爱国, 马子龙

(西安科技大学 计算机科学与技术学院, 西安 710054)

(liag@xust.edu.cn)

摘要: 图像特征提取是当前基于内容图像检索领域的研究重点,然而单纯基于信息熵的图像特征提取方法无法体现图像内容的位置信息。分析现有的基于颜色-空间图像特征提取算法的基础上,结合图像信息熵概念与图像分割算法,提出了一种新的图像信息熵描述方法,即区域加权信息熵,并证明了区域加权信息熵的若干性质。采用信息熵性能评价指标从概率的角度描述因权值变化而引起的图像信息熵分布的变化,并考虑应用的兴趣区域以及权值粒度从而确定合理权值。实验表明区域加权信息熵方法比单纯信息熵方法描述图像内容准确率提高了 50% 以上。

关键词: 图像处理; 基于内容的图像检索; 特征提取; 区域加权信息熵; 兴趣区域

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Regional weighted comentropy and its application in image feature extraction

LI Ai-guo, MA Zi-long

(School of Computer Science and Technology, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an Shaanxi 710054, China)

Abstract: Image feature extraction is the research focus in the field of content-based image retrieval; however, entropy-based image feature extraction cannot demonstrate the location of image content information. A new description method of image comentropy named regional weighted comentropy was proposed, which combined the concept of image comentropy and image segmentation algorithm after analyzing the current color-space image feature extraction algorithms. Some properties of regional weighted comentropy were proved. The distribution change of image comentropy, which was caused by weight's change, was described by using comentropy performance evaluation index in terms of probability, considering the interested regions and weights precision applied by users, then the reasonable weight was determined. Experimental results show that the accuracy of image content described by regional weighted comentropy method is more than 50% higher than that of traditional comentropy methods.

Key words: image processing; Content-based Image Retrieval (CBIR); image feature extraction; regional weighted comentropy; interested region

0 引言

近年来由于迫切的需求,基于内容的图像检索(Content-based Image Retrieval, CBIR)技术得到了广泛的关注以及迅速的发展。颜色作为图像的主要特征之一,一致被认为是首选特征优先提取。但即使最大频率颜色直方图^[1]方法也仅仅描述了图像颜色的全局特性而无法捕捉颜色组成之间关系。为了利用图像颜色特征结合空间分布特征进行检索,较好的方法是综合颜色与局部空间特征方法^[2],这种方法虽然使用了 HSV 颜色空间,但是其数据结构难以处理。为了给图像降维,文献[3]采用 Shannon 熵进行图像检索,但图库是只有 4 类 500 幅图片组成的简单图库样本,且限定图库图片以及检索图片大小,所以通用性不高。文献[4]提出了一种新型熵的定义优化了熵计算的时间性能,但损失了熵的可加性。在上述方法的基础上,本文结合信息熵概念以及图像分割算法提出了一种区域加权信息熵方法。区域加权信息熵不但体现了图像的颜色以及空间信息,而且香农熵的性质得以保留。

1 图像信息熵概念

信息熵最早是由香农给出的,它表示为随机变量的概率

分布函数。信息熵主要有下列特性:对称性、非负性、确定性、扩展性、可加性及极值性等。设矢量 $Y = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 假定 $x_i \in Y$ 的概率 $p_i = P(x_i)$, 则 Y 的信息熵可定义如下:

$$E_Y = - \sum_{i=1}^n p_i \lg(p_i) \quad (1)$$

图像的信息熵是信息熵公式在图像上的应用,图像的颜色直方图被看成概率密度函数,假设 v_i 表示被量化颜色 i 像素在整幅图像所占的百分比,它的值等于颜色 i 的概率密度函数 p_i , 从而图像的信息熵可表示为:

$$E_v = - \sum_{i=1}^n v_i \lg(v_i) \quad (2)$$

2 区域加权信息熵

2.1 区域加权信息熵定义

由于人们对于一张图像不同区域的关注程度不同,所以相同的画面信息出现在图像不同区域时给人带来的信息重要程度是不同的。故有必要按照图像信息出现不同区域的重要程度重新对图像信息熵进行定义,这就是区域加权信息熵。

本文定义一幅图像区域加权信息熵为:

$$E = \sum_{i=1}^n \rho_i E_i \quad (3)$$

收稿日期:2009-06-03;修回日期:2009-08-06。 基金项目:陕西省科技攻关项目(2008K01-58)。

作者简介:李爱国(1966-),男,甘肃张掖人,教授,博士,CCF 高级会员,主要研究方向:机器学习、数据挖掘、软件测试; 马子龙(1985-),男,湖北孝感人,硕士研究生,主要研究方向:基于内容搜索引擎、图像处理。

其中: n 表示不同图像区域的个数; ρ_i 表示第 i 个图像区域的权; E_i 表示第 i 个图像区域的信息熵, ρ_i 满足条件 $\rho_i \in \{\rho \mid 0 \leq \rho \leq 1\}$, 且 $\sum_{i=1}^n \rho_i = 1$ 。

区域加权信息熵, 指的是按照图像信息出现的位置关系人为的对图像进行区域划分, 并计算这些区域加权信息熵的和。区域加权信息熵具有如下数学性质。

性质 1 对于任意图像 I , 则有 $0 \leq E(I) \leq \ln n$, 其中 n 代表图像量化度。

证明 先计算出单个图像区域信息熵 E_v 的极值。

1) 当 $n = 2$, 每个量化区间的概率分别为 p 与 $(1-p)$, 则该图像区域的信息熵为 $E_v = -(p \ln p + (1-p) \ln (1-p))$ 。因为 $\lim_{x \rightarrow 0} x \ln x = 0$, 故当 $p = 0$ 或 $p = 1$ 时 $E_v = 0$ 。令 $\frac{dE_v}{dp} = 0$, 可得 $p = 1/2$ 时 E_v 取得极值。因为 $0 \leq p \leq 1$, 所以 $\frac{d^2 E_v}{dp^2} = -\frac{1}{p(1-p)\ln 2} < 0$, 故 $p = 1/2$ 时 E_v 取得最大值。

2) 当图像 I 的量化度为 n 时, 其信息熵为 $E_v = -\sum_{i=1}^n v_i \ln(v_i)$, 且 $\sum_{i=1}^n v_i = 1$ 。为了求 E_v 的极值, 设 $E_0 = -\sum_{i=1}^n v_i \ln(v_i) + \lambda(\sum_{i=1}^n v_i - 1)$, λ 为常数因子。令 $\frac{dE_0}{dv_i} = 0$, 可求得 $v_i = 1/n (i = 1, 2, \dots, n)$, 此时 $E_v = \ln n$ 为最大值。故 $0 \leq E_v \leq \ln n$, 将此式代入式(3)得: $0 \leq E \leq (\ln n) \sum_{i=1}^n \rho_i$ 。由于 $\rho_i \in \{\rho \mid 0 \leq \rho \leq 1\}$, 且 $\sum_{i=1}^n \rho_i = 1$, 可知性质 1 成立。证毕。

性质 2 对于单色图像 I 即图像中只有一种颜色, 则 $E(I) = 0$ 。

证明 由于是单色图像, 故其信息熵为 $E_v = -(0 \ln 0 + \dots + 1 \ln 1 + \dots + 0 \ln 0) = 0$ 。代入式(3)中有 $E = \sum_{i=1}^n \rho_i 0$, 所以可知性质 2 成立。证毕。

性质 3 对于均匀分布图片 I 即图像包含所有颜色且颜色分布概率相同, 则 $E(I) = \ln n$ 。

证明 性质 3 由性质 1 的证明过程可证。证毕。

由上述 3 个性质可知, 区域加权信息熵不但加入了图像区域分布特征, 而且香农熵的数学性质依然得到了保留。

图像区域划分有很多方法, 例如同心圆划分方法或矩阵划分法, 本文用一种比较简单的九宫格图像区域划分方法对图像进行划分进行说明。如图 1 所示, 将图像分为三类区域, 分别是位于中心的①号区域、位于四周的②号区域和位于边缘的③号区域。因为人们往往对于图像中心的信息比较敏感所以图像中心的信息重要程度往往更高, 即这三个区域信息的重要程度是①号区域 > ②号区域 > ③号区域。

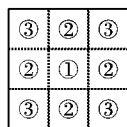


图 1 一种简单的图像区域分割方法

可以得到图的信息熵为:

$$E = \rho_1 E_1 + \rho_2 E_2 + \rho_3 E_3 \quad (4)$$

其中: E_1, E_2, E_3 为 3 个划分区域的信息熵; ρ_1, ρ_2, ρ_3 为这 3 个

区域的权值, $\rho_i \in \{\rho \mid 0 \leq \rho \leq 1\}$, 而满足 $\sum_{i=1}^3 \rho_i = 1$ 。

2.2 性能评价指标

对图像特征提取算法性能的评价, 不能仅仅从算法本身衡量, 还要从算法所描述的样本图库本身的复杂程度进行评判。对复杂类别样本图库的描述, 图像特征提取算法的准确率较低。

一个样本图库 V , 用信息熵方法进行描述后得到一维信息熵向量 $E_V = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$, 其中 n 代表图像库中图像的总数, E_i 表示第 i 个图像的信息熵。称向量 E_V 描述了样本图库 V 。

设 E_V 的统计分布为 X , 则 X 的方差 $D(X)$ 是衡量向量 E_V 描述样本图库 V 性能的重要指标。

$$D(X) = \sum_{k=1}^n [X_k - \bar{X}]^2 P_k \quad (5)$$

$D(X)$ 的值越小则信息熵向量 E_V 的分布比较均匀, 则称此信息熵向量 E_V 描述样本图库 V 性能较优秀。

2.3 权值的选取

区域加权信息熵的权值确定主要分为三个步骤: 1) 使用者确定应用的兴趣区域, 从而大致确定权值范围; 2) 根据应用需要确定权值粒度, 若用于科研或军事目的则权值粒度较小, 用于民用则粒度可偏大; 3) 在权值范围内、权值粒度下用性能评价指标算出所有信息熵方差, 取方差最小权值组合, 即确定了区域加权信息熵的权值。

以图 1 为例: 首先, 假设中心区域为兴趣区域, 则适当增大中心区域的权值 ρ_1 , 故权值范围可为 $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3 \mid 0.6 \leq \rho_1 \leq 0.7 \text{ 且 } 0.2 \leq \rho_2 \leq 0.3 \text{ 且 } \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 = 1\}$; 然后, 根据需要取权值粒度为 0.01; 最后, 使用性能评价指标确定权值, 具体步骤见第 2.4 节。

2.4 区域加权信息熵图像特征提取实验

本文使用的实验样本图库共有 2 663 张图片 (网址: <http://www.mypcera.com/photo/index.htm>)。涵盖花草、动物、汽车、风景、军事等十余个领域。

区域加权信息熵实验采用图 1 中的图像区域分割方法, 8 位灰度直方图量化图像, 为了突出中心图像的信息度, 先取 $\rho_1 = 0.6, \rho_2 = 0.3, \rho_3 = 0.1$ 为区域信息熵加权。

按照区域信息熵方法得到的信息熵向量为 E , 如图 2 所示。图像信息熵的分布并不均匀, 显然图像信息熵多集中于 [5, 8]。且由区域加权信息熵的性质 1 可以得出, 由于使用 8 位颜色量化, 故区域加权信息熵值域为 $[0, \ln 256]$, 即约等于 $[0, 8.027]$ 。

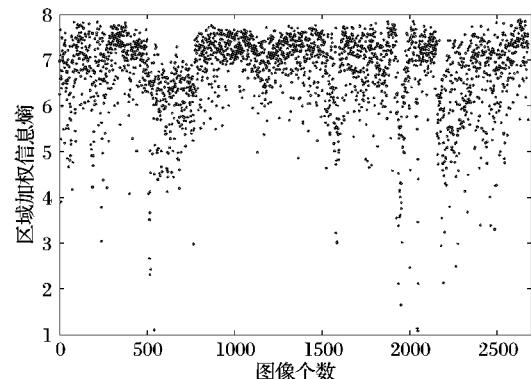


图 2 样本图库 V 的信息熵分布

取粒度为 0.01 做出信息熵分布 X , 如图 3 所示, 熵的分布

较为集中,且算出分布 X 的方差 $D(X) = 29.48452$ 。故此信息熵向量 E 不能很好地描述样本图库 V 。

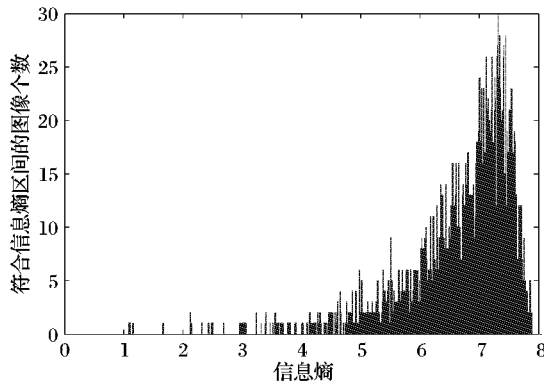


图3 信息熵的分布

按照第 2.3 节中选取的权值范围,规定权的粒度为 0.01 时,由于权值取值不同,信息熵分布 X 的方差 $D(X)$ 分布如图 4 所示。从中可以找出方差 $D(X)$ 分布的规律。在权值范围内选取信息熵分布 X 的方差 $D(X)$ 最小的权值组合,即为确定的权值。

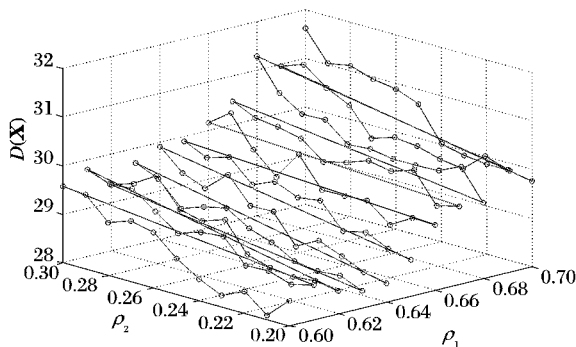


图4 不同权值取值域信息熵分布的方差

由计算结果得出,当采用九宫格图像分割算法,权值取值范围为 $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3 \mid 0.6 \leq \rho_1 \leq 0.7 \text{ 且 } 0.2 \leq \rho_2 \leq 0.3 \text{ 且 } \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 = 1\}$,权取值粒度为 0.01 时,采用区域加权信息熵方法描述样本图库 V 的最佳分布方差 $D(X) = 28.07922$ 。即意味着当权值取 $\rho_1 = 0.60, \rho_2 = 0.21, \rho_3 = 0.19$ 时,区域信息熵对于图库样本 V 分布最为均匀。

3 对比实验及分析

实验以本课题组自主开发的 SooTu 基于内容搜索引擎作为实验平台,服务器配置为:处理器 Inter Q8200,内存 4 GB,主板 Inter P43,硬盘 ST500 GB。软件配置:操作系统 Windows Server 2003 X86,数据库 SQL Server 2005,编译环境 JDK 1.6.1,开发工具 Eclipse 3.2.0。对比实验采用区域加权信息熵方法、文献[3]方法及文献[5]方法。区域加权信息熵方法采用九宫格图像分割,权值选择分别采用重视中心区域 $\rho_1 = 0.6, \rho_2 = 0.3, \rho_3 = 0.1$ 以及经过性能评价指标优化过的最优分布 $\rho_1 = 0.60, \rho_2 = 0.21, \rho_3 = 0.19$ 的权值选择。每种方法的实验分别随机取各类图像 10 个进行查询,且查询图库样本并没有人为的进行分类,将各类图片混合在一起仅靠特征提取算法来检索相似图片,摒弃了查全率和查准率^[6]评价方法,参照 Berman 和 Shapiro 的评价方法^[7],取返回的结果集中前 15、30、50 个图像中与查询图像同类的图像。最后取各类

查询图像的平均值并由此统计出前 15、30、50 个图像结果的准确率。结果如表 1 所示。

表1 实验中的正确率比较

方法	结果集前 15 个图像	结果集前 30 个图像	结果集前 50 个图像
文献[5]方法	38.0	28.6	27.0
文献[3]方法	40.3	34.0	30.2
区域加权信息熵 (重视中心权)	56.4	44.3	42.2
区域加权信息熵 (优化分布权)	57.3	45.2	43.3

实验结果表明,由于样本图库的高复杂性,故准确率整体较低。采用熵的图像特征提取方法^[3]比主色匹配方法^[5]准确率略高 12.3%。区域加权信息熵方法较前两种方法准确率均高,区域加权信息熵(重视中心权)比文献[5]方法检索准确率高 53.6%,区域加权信息熵(优化分布权)比文献[5]方法检索准确率高 55.8%。重视中心区域的权值选取得到了较高的准确率,这与人们的构图习惯有关。经过性能评价指标优化过的权值,由于信息熵性能评价指标 $D(X)$ 比重视中心权小了 5%,故概率分布特征更优准确率更高。

4 结语

本文提出了一种基于熵的颜色与空间图像描述方法,即区域加权信息熵方法。区域加权信息熵可以根据用户关注的范围确定重点加权区域,并通过信息熵性能评价指标来确定权值选择。数学证明表明,区域加权信息熵能够提取图像的颜色以及空间特性,并且保留了香农熵的数学特性。实验表明,区域加权信息熵实验结果的准确率高于单纯的颜色特征提取算法。

参考文献:

- [1] RASHEED W, AN Y, PAN S, *et al.* Image retrieval using maximum frequency of local histogram based color correlogram [C]// AICMS 08: 2nd Asia International Conference on Modeling & Simulation. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 322 - 326.
- [2] RIAZ M, KANG G. Efficient image retrieval using adaptive segmentation of HSV color space [C]// Proceedings of the 2008 International Conference on Computational Sciences and Its Applications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 491 - 496.
- [3] ZHANG LIANG-BIN, XI LI-FENG, ZHOU BI-SHUI. Image retrieval method based on entropy and fractal coding [J]. WSEAS Transactions on Systems, 2008, 7(4): 332 - 341.
- [4] 范自柱, 刘二根. 一种新的颜色信息熵图像检索方法[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(1): 281 - 282.
- [5] 袁晔, 朱淼梁. 基于主色匹配的图像检索系统[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 12(12): 917 - 921.
- [6] DEL B A, 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.
- [7] BERMAN A P, SHAPIRO L G. Efficient content-based retrieval: Experimental results [C]// Proceedings of the IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999: 55 - 61.