

# 基于遗传算法和信息熵的图像检索方法\*

欧阳恺, 张明

(上海海事大学 信息工程学院, 上海 200135)

**摘要:** 采用信息熵描述图像的颜色和纹理特征, 构造图像信息熵元组, 以“螺旋方式”重新编码, 参与遗传操作, 采用颜色熵和纹理熵联合的欧氏距离测量图像的相似性, 提出一种设计遗传算法图像检索的方法。试验验证, 该方法在图像检索过程中非常有效。

**关键词:** 遗传算法; 颜色熵; 纹理熵; 图像检索

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

## Image retrieval based on genetic algorithm and information entropy

OUYANG Kai, ZHANG Ming

(College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China)

**Abstract:** This paper proposed an image retrieval method based on genetic algorithm and information entropy. Firstly, each image was segmented into a constant number of sub-images. The color and texture feature of sub-images were described by information entropy, which made up the entropy tuple. Secondly, the tuple vector of every image was reshuffled in a helix way, to produce the information entropy tuple sequence, which was used in the genetic operations. Finally, the similarity of images was measured by Euclidean distance with the color entropy and texture entropy. Through experiments, it was proved to be effective.

**Key words:** genetic algorithm (GA); color entropy; texture entropy; image retrieval

传统的基于文本标注的图像检索方法(Text-Based Image Retrieval)面对当今海量的图像信息, 已暴露出明显的弊端, 例如主观性强、人工标注满足不了图像增加的速度等问题。人们考虑利用图像颜色、纹理、形状、空间关系等自身的物理特征来克服TBIR的缺点。因此, 基于内容的图像检索方法(Content-Based Image Retrieval)成为了人们研究的热点。

由于遗传算法(Genetic Algorithm)借鉴生物界自然选择和自然遗传机制, 是一种随机性搜索算法。与其他搜索方法相比, 简单实用, 鲁棒性强, 还具有自适应性、全局优化性和隐含并行性等优点。因此, GA应用于图像检索领域, 可有效提高检索效率。然而, 将GA应用到图像检索方面遇到的首要问题就是图像检索解空间的设计, 即如何将图像特征信息映射成为GA的解空间。本文根据信息熵的概念, 并依据颜色和纹理特征, 设计图

像信息熵元组作为编码染色体基因来解决这一问题。

### 1 图像检索算法设计和系统结构

#### 1.1 遗传算法

20世纪60年代初, 美国的Holland教授提出了遗传算法, 也称为标准(简单)遗传算法SGA<sup>[1]</sup>(Simple Genetic Algorithm), SGA可定义为一个8元组:  $SGA = (C, E, P_0, M, \Phi, \Gamma, \Psi, T)$ , 其中 $C$ 是种群中个体的编码方法;  $E$ 是个体的适应度评价函数;  $P_0$ 是初始群体;  $M$ 是群体大小, 一般取20~100;  $\Phi$ 是选择算子;  $\Gamma$ 是交叉算子;  $\Psi$ 是变异算子;  $T$ 是算法终止条件, 一般终止进化代数数为100~500, 或者满足求解要求。

#### 1.2 图像检索算法

根据遗传算法的求解过程, 本文设计的图像检索算法具体步骤如下:

(1)图像特征预处理: 导入数据库的图像进行预处理

\* 基金项目: 上海市教育科研基金项目(教05-31)

理操作, 提取图像特征, 计算图像分块局部颜色熵  $E$  和纹理熵  $H$ , 组成图像信息熵元组向量  $C$ , 并建立特征数据库, 以提高检索效率;

(2)输入查询实例: 用户给出实例图像, 或者从图像数据库中选择贴近用户需求的一幅图像作为实例图像;

(3)初始种群生成: 根据用户给出的条件搜索出初始集合, 系统再以随机方式生成大小为  $X$  的第一代种群;

(4)相似度比较: 系统根据图像信息熵元组序列, 计算种群中个体的适应度值;

(5)遗传操作: 系统根据适应度值, 把其低于某一阈值  $\alpha$  的个体完全保留, 即为满足要求的图像; 然后把适应度值较低的图像作为父代, 通过对父代进行交叉和变异, 生成新的个体;

(6)生成子代种群: 保留下来的个体与新生成的个体组成下一代种群;

(7)相似度比较: 系统计算新一代种群中个体与实例图像的适应度值;

(8)如果进化代数达到预设值, 或者种群中个体适应度值低于某一阈值的数量达到用户要求, 或者用户主动终止, 则终止检索; 否则转步骤(5)。

### 1.3 图像检索系统模型

根据以上设计的图像检索算法, 本文设计图像检索系统的结构如图1所示。

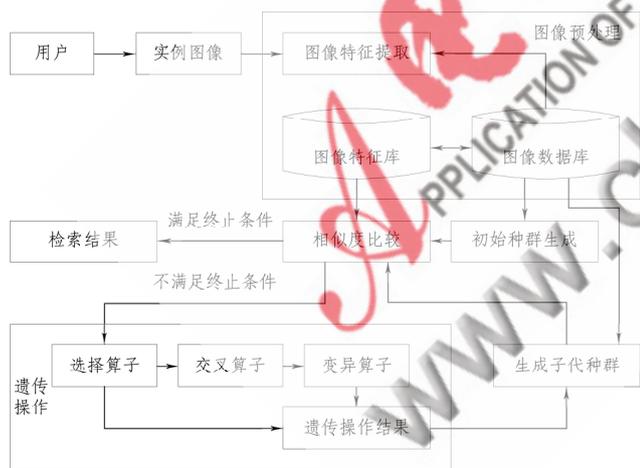


图1 检索系统结构

## 2 图像信息熵和解空间设计

### 2.1 图像信息熵

Shannon 指出, 信息是事物运动状态或存在方式的不确定性的描述, 信息熵<sup>[2]</sup>描述的是信源的不确定性, 是信源中所有目标的平均信息量。设信源  $S$  发出符号  $a_i$  的概率为  $p(a_i)$ , 其中  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $p(a_i) > 0$ ,  $\sum_{i=1}^n p(a_i) = 1$ , 则信息熵定义为:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p(a_i) \log p(a_i) \quad (1)$$

数字图像由于不同灰度的像素点以不同的概率分布填充不同的空间区域, 因而表现出不同的特征和信息。根据颜色、纹理等不同的物理特征描述, 以及信息熵的定义, 可以得到图像颜色熵、纹理熵等信息量。

假设一副图像大小为  $M \times N$ , 像素  $(x, y) \in M \times N$  具有灰度值  $f(x, y) \geq 0$ , 根据式(1)有图像颜色信息熵<sup>[3]</sup>:

$$E = -\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} p_{i,j} \log p_{i,j} \quad (2)$$

其中  $p_{i,j} = f(i, j) / \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j)$

把灰度空间量化为  $K$  个等级, 可以统计图像像素在  $\theta$  方向上, 距离为  $d$  的情况下, 灰度值为  $i$  和  $j$  的像素对出现的次数, 从而得到灰度共生矩阵<sup>[4]</sup>  $P(i, j, d, \theta) = \# \{(x_1, y_1), (x_2, y_2) \in M \times N \mid f(x_1, y_1) = i, f(x_2, y_2) = j\}$ ,  $\#$  代表数量, 归一化后可以得到  $P(i, j, d, \theta) / R = P(i, j)$ ,  $R$  为具有特定空间联系的像素对总数, 由式(1)和灰度共生矩阵可得图像纹理信息熵<sup>[4]</sup>:

$$H = -\sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} p(i, j) \log p(i, j) \quad (3)$$

### 2.2 解空间设计

根据式(2)和式(3)计算的颜色熵和纹理熵, 有效地表达了图像的全局信息, 但没有刻画其空间分布关系。所以可把图像划分成块, 对图像的某一局部定义熵, 利用分块的局部熵, 既可以反映图像的整体信息及其空间分布信息, 还可以方便解空间染色体的编码。本文设计步骤如下:

(1) 把彩色图像像素的 RGB 颜色值转化为灰度值, 从而方便进一步计算图像信息熵。假设图像  $I$  的分辨率为  $M \times N$ ,  $(i, j)$  处的像素值为  $(R, G, B)$ , 则根据灰度值变换公式  $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ , 可以得到一个  $(i, j)$  处对应的灰度值  $Y$ 。

(2) 由于图像分辨率大, 实现过程中直接对像素进行编码和遗传操作缺少可行性, 也缺乏必要性, 因此, 本文对图像进行分割处理。考虑到分割后的图像块, 既要包含足够的信息量, 又不使分割粒度过于粗糙, 本文把图像分割成 64 个图像块, 即 8 行 8 列。

(3) 对每一个图像块  $Area_{pq}(0 \leq p, q \leq 7)$ , 根据  $Y$  值和式(2)可以得到局部颜色熵:

$$E_{pq} = -\sum_{i=0}^{\frac{M}{8}-1} \sum_{j=0}^{\frac{N}{8}-1} p_{i,j} \log p_{i,j} \quad (4)$$

其中  $p_{i,j} = Y_{ij} / \sum_{i=0}^{\frac{M}{8}-1} \sum_{j=0}^{\frac{N}{8}-1} Y_{ij}$

(4) 对每一个图像块  $Area_{pq}$  求局部纹理熵。将灰度值  $Y$  量化为 16 个等级, 取参数  $d = 1$ ,  $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ , 可以得到 4 个方向上的灰度共生矩阵  $P(i, j, d, \theta)$ , 分别用对应

## 图形、图像及多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

的归一化常数  $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ 、 $R4$  进行归一化, 最后根据式(3), 可以得到局部纹理熵:

$$H_{pq1} = -\sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^{15} \frac{p(i, j, 1, 0^0)}{R1} \log \frac{p(i, j, 1, 0^0)}{R1} \quad (5)$$

其中  $R1=2N/8(M/8-1)$ ,

$$H_{pq2} = -\sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^{15} \frac{p(i, j, 1, 45^0)}{R2} \log \frac{p(i, j, 1, 45^0)}{R2} \quad (6)$$

其中  $R2=2(M/8-1)(N/8-1)$ ,

$$H_{pq3} = -\sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^{15} \frac{p(i, j, 1, 90^0)}{R3} \log \frac{p(i, j, 1, 90^0)}{R3} \quad (7)$$

其中  $R3=2M/8(N/8-1)$ ,

$$H_{pq4} = -\sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^{15} \frac{p(i, j, 1, 135^0)}{R4} \log \frac{p(i, j, 1, 135^0)}{R4} \quad (8)$$

其中  $R4=2(M/8-1)(N/8-1)$ ,

(5) 组合每个图像块  $Area_{pq}$  的颜色熵和纹理熵, 构成图像信息熵元组  $C_{pq}=(E_{pq}, H_{pq1}, H_{pq2}, H_{pq3}, H_{pq4})$ ,  $0 \leq p, q \leq 7$ , 将其作为解空间个体的基因, 则染色体的编码为元组序列  $C00, C01 \dots, C10, C11 \dots, C70, C71 \dots, C77$ 。

(6) 根据人们认知图像的一般特点, 用户对图像中心区域的关注程度高于对边缘区域的关注程度, 因此, 以“螺旋方式”<sup>[5]</sup>对图像块的信息熵元组重新排列, 图像边缘部分位于编码前部, 中心部分位于编码后部, 编码前后可以完整分开, 分别进行不同的处理。用户感兴趣的重要部分位于编码后部, 并且是一幅完整的“子图”, 存在语义上的合理性和空间分布信息, 在遗传过程中应尽可能地保留这部分编码的完整性, 以保留信息量大的图像部分。

### 3 遗传操作设计

#### 3.1 选择算子

选择算子, 使拥有较低适应度值的个体以较高的概率被选中, 用于之后的遗传操作, 本文采用最常用的适应度比例法<sup>[5]</sup>选择染色体。

假如, 第  $p$  个个体满足  $p \in [1, X]$ , 且适应度值为  $f_p = dis(P, \text{实例图像})$ , 那么就得到该个体被选中的概率  $P_p$  为:

$$P_p = \frac{1/f_p}{\sum_{q=1}^X 1/f_q}, p=1, 2, \dots, X \quad (9)$$

#### 3.2 交叉算子

交叉算子是通过杂交保持父体中好的基因。为了保持图像中心区域的完整性, 交叉点的选择概率从个体的首部到尾部依次降低。同时, 为了保护信息熵大的基因, 其附近位置被选中的概率会降低。交叉算子的操作步骤如下:

- (1) 由系统选择配对的个体;
- (2) 尽量保护个体的交叉点远离尾部, 以保护图像

中心区域的完整性, 交换配对个体的尾部, 产生新一代个体。

#### 3.3 变异算子

变异算子的主要作用在于保持群体中个体的多样性, 其具体步骤如下:

- (1) 根据适应度值为  $f_p = dis(P, \text{实例图像})$ ;
- (2) 从种群中选取适应度值最高的一个个体, 并判断该个体适应度值是否高于某一阈值  $\beta$ , 若高于该阈值, 则从图像库中随机选取一幅图像作为下一代种群中的个体, 否则不变异。

#### 3.4 下一代种群的生成和相似性度量

一方面, 要对实例图像和种群个体之间进行相似性度量, 另一方面, 对父代进行遗传操作产生子代后, 图像库中不可能出现完全符合子代特征数据的图像, 因此要对子代个体和最相近的图像之间进行相似性度量, 来确定新一代的种群。

这里采用颜色熵和纹理熵联合的欧氏距离公式(10)进行相似性度量:

$$dis(a, b) = \beta_1 \sqrt{\sum (E_{pq}^a - E_{pq}^b)^2} + \beta_2 \sqrt{\sum_{i=1,2,3,4} (\sum (H_{pq_i}^a - H_{pq_i}^b)^2)} \quad (10)$$

其中,  $\beta_1, \beta_2 \in [0, 1], \beta_1 + \beta_2 = 1$ 。

### 4 实验结果

本文在 WindowsXP 平台上, 使用 Java 编程语言, 通过 JCreator 集成开发环境, 建立了一个原型实验系统。实验图像库使用图像检索标准数据库 SIMPLIcity, 该图像库由 1 000 幅  $384 \times 256$  大小的图像组成, 主要包括动物、植物、建筑、风景和人物等 10 个图像分类。

在实验过程中, 选取阈值参数  $\alpha = 3.2$ ,  $\beta = 5.8$ , 种群大小  $X$  为 20 幅图像, 如图 2 所示。选取图像库中的 5 个分类各 5 幅图像分别作为待检索图像, 这样构成了 25 次检索。图 3 所示为检索结果的一个实例。最后, 以排序前 15 位图像的查准率为准, 计算对于不同分类图像 5 次检索的平均查准率, 用于评价检索效果。如图 4 所示。



图2 初始种群的一个实例

(下转第 57 页)



图3 检索结果的一个实例

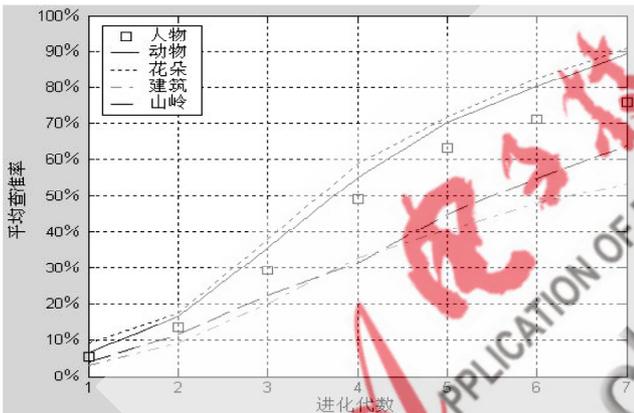


图4 检索性能

试验结果显示，本文提出的图像检索方法是有效的，而且对于包含对象少、对象集中在中心区域的图像，检索效果非常好。在检索过程中，借助于遗传算法的优化特性，随着进化次数的增加，通过遗传操作逐渐接近目标，收敛到全局最优。在很大程度上，用户可以得到所需的图像。

《电子技术应用》, www.ChinaAET.com 征检索可以提高效果，但要面对计算量大的缺点；(2)图像分割问题，“螺旋编码”弱化了图像边缘对象的信息，在细粒度分割图像后，边缘图像块间的相关信息完整性遭到破坏。如果能够加入有效的图像分割技术，首先确定重要对象的大小，相信会有助于在运算量和基因有效描述上找到一个平衡点。这些正是将来的工作重点。

本文使用信息熵描述图像的物理特征，利用颜色熵和纹理熵构造解空间的编码，在此基础上，根据遗传算法提出了一种新的基于内容的图像检索方法。通过试验初步证明了这种方法的效果，能够很好地满足用户的查询要求。

#### 参考文献

- [1] 王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002:18-50.
- [2] 李红,王琳,王晓东. 基于EBIR算法和遗传算法的图像信息检索[J]. 西北民族大学学报(自然科学版),2005,26(2):77-80.
- [3] JOHN M. Z. An information theoretic approach to content based image retrieval[D]. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2000:36-77.
- [4] 周明全,耿国华,韦娜. 基于内容图像检索技术[M]. 北京:清华大学出版社,2007:99-128.
- [5] 齐岩,卢德唐. 交互式遗传算法在基于内容的图像检索中的应用[J]. 中国图象图形学报,2004,9(1):46-55.
- [6] RRICARDODA S.T, ZHANG Bao Ping , EDWARD A.F. A genetic programming framework for content-based image retrieval[J]. Pattern Recognition, 2009,42(2):283-292.

(收稿日期:2009-03-18)