

综合颜色空间特征和纹理特征的图像检索

黄 仁 胡 敏

(重庆大学计算机学院 重庆 400044)

摘 要 基于内容的图像检索一直是图像检索领域的研究热点。提出一种综合颜色空间特征和纹理特征的检索算法。首先将彩色图像转换到 HSV 颜色空间,进行非等间隔量化,提取颜色特征和颜色空间位置信息,再在灰度图像里利用中心块图像分形编码的方法,获取分形编码参数作为图像的纹理特征。在对特征进行内部和外部高斯归一化后,综合颜色空间特征和纹理特征,利用人工鱼群算法进行检索。实验结果表明,算法性能良好,在检索准确率和速率上取得了良好的效果。

关键词 图像检索,颜色空间信息,分形参数,人工鱼群算法

中图法分类号 TP391.4 文献标识码 A

Content-based Image Retrieval Using Color Position and Texture Fused Features

HUANG Ren HU Min

(Department of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract Content-based image retrieval is an important and fascinating point in the image retrieval. An image retrieval algorithm based on multiple features was proposed in this paper. First, the color image was transferred into HSV color space, quantized by unequal quantification method, and extracting color feature and each color position message. Then, we implemented image fractal coding based on the center area of the original gray image, and fractal coding parameters are used as texture features. After normalizing each component of the vector and different features by Gaussian normalization method, we combined the color features and the texture features for image retrieval using artificial fish swarm algorithm. The experiment results show that the algorithm can produce good performance in terms of the retrieval effect and the retrieval speed.

Keywords Image retrieval, Color position, Fractal parameter, Artificial fish swarm algorithm

1 引言

图像能够很好地再现过去的事物和场景,因此其应用非常广泛。随着电脑和网络的发展,大批量图像的存储已经实现。如何从海量的图像数据中准确并快速地找到我们需要的图像信息成为学术研究的热点^[1]。传统的基于文本的图像检索方法因存在诸多缺陷而被淘汰,基于图像内容的检索方法^[2]应运而生。基于图像内容的检索主要运用图像的底层特征^[3]进行检索,一般图像的底层特征有颜色、纹理、形状等。颜色是图像的重要视觉特征,对噪声、缩放和旋转具有很强的鲁棒性,并且图像颜色特征易于提取,因此其在图像检索中被广泛运用。纹理是图像的另一个重要而难以描述的特征,是一种不依赖颜色或亮度的反应图像同质现象的视觉特征,用来对图像中的空间信息进行一定程度的描述。传统的基于单一图像特征的图像检索方法虽然可行,但是准确度不高,因此出现了大量综合多特征的检索方法。近些年,基于语义的图像检索吸引了学者的注意,基于语义的图像检索旨在解决

图像底层特征和高层语义之间存在的语义鸿沟问题,但是如何准确定义图像的高层语义仍然是个难题。语义检索的检索准确率比基于文本和内容的要高,但其检索速率却相对较慢,在现在的互联网世界中,人们对速率的追求要远远大于准确率。因此,在研究和对比了以往常见的多特征图像检索算法后,本文提出了综合颜色空间^[4]特征和纹理特征的图像检索方法,旨在保证一定准确率的前提下,提高检索的速率,实现图像检索的应用价值。

颜色空间特征能够很好地避免两幅不同图像具有相同直方图的干扰,提高检索精度。纹理特征的提取已经有很多方法,但是没有哪一种方法是十全十美的,在总结前人研究结果的基础上,提出了利用中心块图像分形编码参数提取纹理特征的方法。人们习惯把主要内容放在图像的中间部分来展现,利用中心块不仅能保持原图主要信息不丢失,而且能很大程度地降低计算复杂度,提高检索速度。实验结果表明,综合颜色空间特征和纹理特征的检索方法的检索速度和准确率都有很大提高。

本文受中央高校基本科研业务费基金项目(CDJXS12180008)资助。

黄 仁(1962—),男,教授,硕士生导师,CCF 会员,主要研究方向为图像处理、嵌入式应用技术;胡 敏(1989—),男,硕士生,主要研究方向为图像处理、嵌入式系统、数据挖掘,E-mail:1737072163@qq.com。

2 颜色空间特征和纹理特征提取

2.1 颜色空间特征

传统的颜色直方图^[5]计算简便,易于实现,因此在基于颜色的图像检索的早期,传统的颜色直方图得到了广泛的应用。但是它的缺点也很明显,就是不能表示颜色的空间分布信息,有时两幅完全不同的图像也能得到完全相同的颜色直方图,严重影响检索结果,而基于颜色空间特征的图像检索的方法很好地克服了这一缺陷。

2.1.1 HSV 颜色空间量化^[6]

HSV 颜色模型^[7]比其它颜色模型更符合人的视觉感知方式,包括人所能感知的颜色的 3 个要素:色调(h)、饱和度(s)和亮度(v)。RGB 到 HSV 的转换公式如下:

$$h = \begin{cases} \frac{(G-B) \times 60}{\max - \min}, R = \max, & s = \frac{\max - \min}{\max} \\ \frac{2 + (B-R) \times 60}{\max - \min}, G = \max \\ \frac{4 + (R-G) \times 60}{\max - \min}, B = \max, & v = \max \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\max = \text{MAX}(R, G, B)$, $\min = \text{MIN}(R, G, B)$, $h \in [0, 360]$, $(s, v) \in [0, 1.0]$ 。

为了使人类视觉认知的颜色与理论上的颜色值更好地相关,本文以 HSV 颜色模型为基础分别对色调、饱和度和亮度进行量化,量化方法如下:

$$H = \begin{cases} 0, & h \in [316, 360] \\ 1, & h \in [1, 25] \\ 2, & h \in [26, 40] \\ 3, & h \in [41, 120] \\ 4, & h \in [121, 190] \\ 5, & h \in [191, 270] \\ 6, & h \in [271, 295] \\ 7, & h \in [296, 315] \end{cases}, \quad S = \begin{cases} 0, & s \in [0, 0.2] \\ 1, & s \in [0.2, 0.7] \\ 2, & s \in [0.7, 1] \end{cases} \quad (2)$$

$$V = \begin{cases} 0, & v \in [0, 0.2] \\ 1, & v \in [0.2, 0.7] \\ 2, & v \in [0.7, 1] \end{cases}$$

最后将 H, S, V 按照式(3)重新组合成一个量化矩阵 L , 矩阵 L 的量化级数为 72 级:

$$L = 9H + 3S + V \quad (3)$$

2.1.2 颜色空间特征

将彩色图像 $I(N_1 \times N_2)$ 从 RGB 空间转换到 HSV 颜色空间,在 HSV 空间中使用非等间隔量化的方法对像素逐个进行量化。计算并归一化图像 I 的直方图和每类颜色的中心位置,得到彩色图像的颜色空间特征 S :

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_k, \dots, s_n),$$

$$s_k = (h[c_k], \bar{x}[c_k], \bar{y}[c_k]) \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^n h[c_k] = 1, 0 \leq h[c_k] \leq 1,$$

$$0 \leq \bar{x}[c_k] \leq 1, 0 \leq \bar{y}[c_k] \leq 1$$

其中, $h[c_k]$ 表示索引值为 k 的颜色的频率:

$$h[c_k] = \frac{\sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} f(i, j, k)}{N_1 * N_2} \quad (5)$$

$$f(i, j, k) = \begin{cases} 1, & Q(T(I[i, j])) = c_k \\ 0, & \text{others} \end{cases}$$

\bar{x}, \bar{y} 为每个颜色的中心位置:

$$\bar{x}[c_k] = \frac{\sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} i \cdot f(i, j, k)}{N_1 \cdot \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} f(i, j, k)} \quad (6)$$

$$\bar{y}[c_k] = \frac{\sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} j \cdot f(i, j, k)}{N_2 \cdot \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} f(i, j, k)}$$

2.2 纹理特征

纹理^[8]分析在计算机视觉、模式识别以及数字图像处理中起着重要的作用。纹理结构反映图像亮度的空间变化情况,由纹理基元非随机排列而组成的某种局部的序列性,在该序列更大的区域内会不断重复出现,在纹理区域内各部分具有大致相同的结构。常用的纹理特征提取方法主要有基于分形维数提取法^[9]、小波提取法、Gabor 滤波器提取法、灰度共生矩阵提取法等,这里我们提出基于中心块图像分形编码参数的纹理特征提取法。

2.2.1 图像分形编码^[10]

图像分形编码以迭代函数系统 IFS (Iterated Function System) 和拼贴定理 (The Collage Theorem) 为理论基础,以图像的自相似性达到压缩目的。

将图像的自相似性表示为一种分块自相似性,将压缩变换变为图像方块之间的变换,以局部的仿射变换代替全局的仿射变换,利用中心块分形编码参数^[11] (值域块均值、对比度因子、拼贴误差)作为纹理特征向量。算法过程如下:

(1) 将原始图像 I 转换成灰度图像并提取出中心块域 Ω , 将 Ω 分割成大小为 $B \times B$ 互不重叠的值域块 R_i , $m = B \times B$ 为 R_i 像素个数。定义域块 D_j 是 Ω 上大小为 $D \times D$ 可重叠的块,通常 $D = 2B$ 。图 1 所示为中心块域 Ω , 图 2 所示为值域块 R 和定义域块 D 。

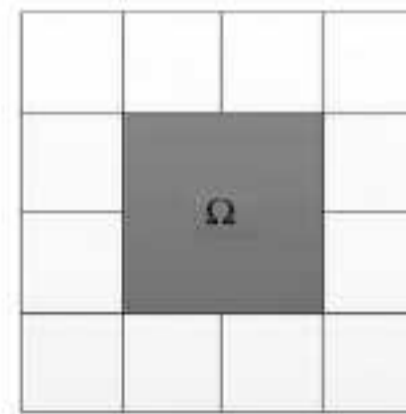


图 1 中心块域 Ω

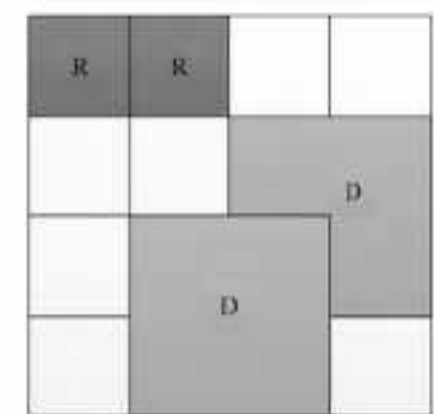


图 2 值域块 R 和定义域块 D

(2) 根据分块函数迭代系统理论,我们定义域块 D_j 的仿射变换公式如下:

$$R_i^{(n)} = \bar{R}_i U_r + s_j \gamma(T(D_j - \bar{D}_j U_d)) \quad (7)$$

其中, $\gamma(D)$ 是同构变换,为了提高检索精度, $\gamma(D)$ 由相等变换,中心旋转 $90, 180, 270$, 垂直和水平中轴正交反射,正反对角线正交反射,共 8 种仿射变换组成。 T 为压缩变换,用四邻域平均将 D_j 压缩为 $B \times B$ 大小。 s 是对比度因子, U 是所有元素均为 1 的相同大小矩阵, \bar{R} 是值域块亮度均值。 \bar{R}, s 和定义域块 D_j 的左上角坐标 (X_D, Y_D) 均是分形参数。

(3) 为 Ω 中心块域的每个值域块 R_i 寻找最相似定义域块 D_j , 即寻找使式(8)的值最小的分形参数组合。

$$E(R, D) = \| R - \bar{r}_i U_r - s_j \gamma(T(D - \bar{D}_j U_d)) \|^2 \quad (8)$$

其中, \bar{r}_i 是 R_i 值域块均值, $i = 1, 2, \dots, n$, s_j 是对比度因子, j

是 s 的量化等级。

对每一个 R_i 块,在灰度图像 I 中搜索一个大小为 $D \times D$ ($D=2B$) 的定义域块 D_j ,使 D_j 经过仿射变换后的误差最小。显然,仿射变换之后的值域块 R' 和原值域块 R 之间是存在变形失真的,我们定义拼贴误差来表示这种差异。

$$e = \min_{D \in \Omega} \sqrt{\frac{E(R,D)}{m}} \quad (9)$$

拼贴误差用来表示值域块和“最佳匹配”定义域块的相似性,同时也提供了图片纹理特征自相似性的定量描述,用拼贴误差作为纹理特征参数会获得更高的检索精度。

(4) 选取分形参数 \bar{r}, \bar{s} 和拼贴误差 e 作为纹理特征参数,在检索前对这 3 个参数进行适当的处理。 \bar{r} 量化成 64 级 $\{1, 2, \dots, 63\}$, \bar{s} 量化成 4 级 $\{0.25, 0.5, 0.75, 1\}$, e 按式(10)进行整数化。

$$e = \begin{cases} \text{round}(e), & e < T \\ T, & e \geq T \end{cases} \quad (10)$$

计算各参数的统计直方图,得到图像 I 的纹理特征向量 $Q(HM, HS, HE)$ 。其中,

$$\begin{aligned} HM &= \{p_r(\bar{r}_i)\}_{i=1}^I, I=64; \\ HS &= \{p_s(\bar{s}_j)\}_{j=1}^J, J=4; \\ HE &= \{p_e(e_k)\}_{k=1}^T, T=14 \end{aligned} \quad (11)$$

3 综合特征的检索

获得颜色空间特征和纹理特征 (S, Q) 后,由于各个特征分量的物理意义和取值范围不同,在检索前用高斯归一化^[10]方法对颜色空间特征和纹理特征向量中的各个分量进行内部归一化,特征之间进行“外部归一化”,保证颜色空间特征和纹理特征具有可比性。

定义查询图像 F 和数据库图像 I 之间的综合特征距离为:

$$\begin{aligned} dis(F, I) &= \alpha \sqrt{\sum_{i=0}^{L_s-1} (F(S_i) - I(S_i))^2} + \\ &\quad \beta \sqrt{\sum_{j=0}^{L_q-1} (F(Q_j) - I(Q_j))^2} \end{aligned} \quad (12)$$

其中, L_s 为彩色图像的量化等级, L_q 为中心块域 Ω 里划分的值域块的个数, α 和 β 为不同特征的权重。

图像检索的过程就是寻找一组特征 $Para(S, Q)$,使得 $dis(F, I)$ 的值最小,这可以看成是一个全局寻优的过程,可以利用人工鱼群算法^[12]收敛速度快、鲁棒性高、全局搜索能力强的特点快速地找到最佳匹配图像。

人工鱼群算法(AFSA)是为模仿鱼类行为而提出的一种基于动物自治体的优化方法,是集群智能的具体应用。在一片水域中,鱼往往能自行或尾随其他鱼找到营养物质多的地方,因而鱼生存数目多的地方一般就是本水域中营养物质最多的地方。AFSA 就是根据这一特点,采用自下而上的设计模式,首先设计单个实体的感知、行为机制,然后将一个或一群实体放置于环境中,让它们在与环境的交互作用中解决问题。

在已知的解空间里,构造用于阈值计算的人工鱼个体(AF)模型,每条人工鱼代表 1 个潜在的解参数组 $Para$,同时定义人工鱼的行为函数:随机行为、觅食行为、聚群行为以及追尾行为。人工鱼当前位置的食物浓度 FC 由距离目标函数

$dis(F, I)$ 计算得到,两条人工鱼个体之间的距离为 $dis(I_i, I_j)$ 。

利用人工鱼群算法获取最优解参数组的基本流程如下。

步骤 1 人工鱼群规模 Num 及各参数定义。设置初始迭代次数 $iterateNum=150$,在图像库里随机选取参数组初始化鱼群。

步骤 2 计算初始各人工鱼个体当前位置的食物浓度值 FC ,将具有最小 FC 值的人工鱼赋给公告板,浓度记为 FC_b ,则该条人工鱼具有当前最优解参数组 $Para$ 。

步骤 3 各人工鱼分别模拟觅食行为、追尾行为和聚群行为,选择行动后 FC 值较小的行为实际执行,缺省行为方式为觅食行为。各人工鱼每行动一次后,检验自身的 FC 与公告板的 FC ,如果小于公告板,则以自身取代之。

步骤 4 如果达到最大迭代次数或其他评判标准,结束程序;当前公告板记录的人工鱼即为具有最优解参数组 $Para$ 的最佳匹配图像;否则返回步骤 3。

4 实验结果与结论

4.1 实验数据集

本文选取 Corel 数据库中的一部分图像,包括花卉、动物、地板、丛林、沙滩等,每类 100 幅,共 10000 幅图像。首先我们分别用本文的颜色空间特征、纹理特征以及综合颜色空间特征和纹理特征进行检索,记录检索结果。之后我们分别采用基于颜色直方图、HVS 加权颜色特征法、灰度共生矩阵、纹理谱、综合加权颜色直方图和灰度共生矩阵法,分别对图像库中的图像进行检索。图 3 为检索样本图像。图 4 给出了利用灰度共生矩阵提取纹理特征的图像检索结果。图 5 是本文提出的利用图像分形编码参数提取纹理特征的图像检索结果。可以看出后者的检索结果与样本图像的相似性更高,且高相似性的图像同时也更靠前,证明利用图像分形编码参数提取纹理特征进行图像检索是有效的,而且准确率也有所提高。

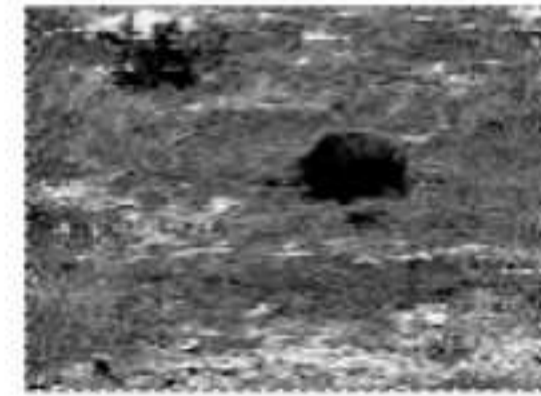


图 3 检索样本图像



图 4 基于灰度共生矩阵的图像检索



图 5 基于中心块图像分形编码参数的图像检索

同时,还通过如下的平均查准率和平均查全率的对比来评价各种方法的有效性和准确性:

$$\text{查准率} = \frac{\text{检索结果中相关图像的数目}}{\text{检索结果图像总数}}$$

$$\text{查全率} = \frac{\text{检索结果图像总数}}{\text{图像库里图像总数}}$$

以图像库中的花卉图像为例,取出 10 幅作为示例图像,计算 10 次检索结果的平均查准率、平均查全率以及平均检索时间。

表 1 各检索算法的检索效果比较

检索算法	平均检索查准率/%	平均检索查全率/%	平均检索时间/s
颜色直方图	40.21	3.950	6.3
本文颜色空间	43.17	4.509	7.5
HVS 加权颜色特征	43.03	4.164	7.1
灰度共生矩阵	57.83	5.139	12
纹理谱	62.48	6.022	16
本文纹理特征	70.13	6.945	9.8
综合加权颜色直方图和灰度共生矩阵	81.86	7.982	19.5
本文综合特征	85.18	8.304	17.3

从表 1 可以看出,基于颜色空间的检索算法略优于其他基于颜色的检索算法,虽然它们都表现出索引时间比较短,但是查准率和查全率不理想。提出的利用中心块图像分形编码参数提取纹理特征的检索效果要明显优于灰度共生矩阵和纹理谱的检索效果,在降低平均检索时间的同时提高了查准率和查全率。综合颜色空间特征和纹理特征的检索算法在平均检索时间、查全率和查准率上有所提高,检索效果优于相似综合特征的检索。

从图像库中随机选取 5 幅不同视觉特征的图像,每类 20 幅,计算平均准确率,检索结果如表 2 所列。从表 2 可以看出,对于具有不同视觉特征的图像,每一种检索算法的准确率都是有波动的,但是从整体来看,综合了颜色纹理的算法要比单一特征的检索准确率高,同时,本文提出的综合算法要比其他相似算法的检索准确率高。

表 2 不同视觉特征图像的检索准确率

算法	沙滩	花卉	风景	狗	地板
颜色直方图	39.03	40.21	50.27	58.38	57.31
灰度共生矩阵	48.86	57.83	49.66	64.29	65.04
加权颜色直方图+灰度共生矩阵	49.39	81.86	56.83	71.25	86.92
本文综合特征	52.77	85.16	60.27	79.52	89.23

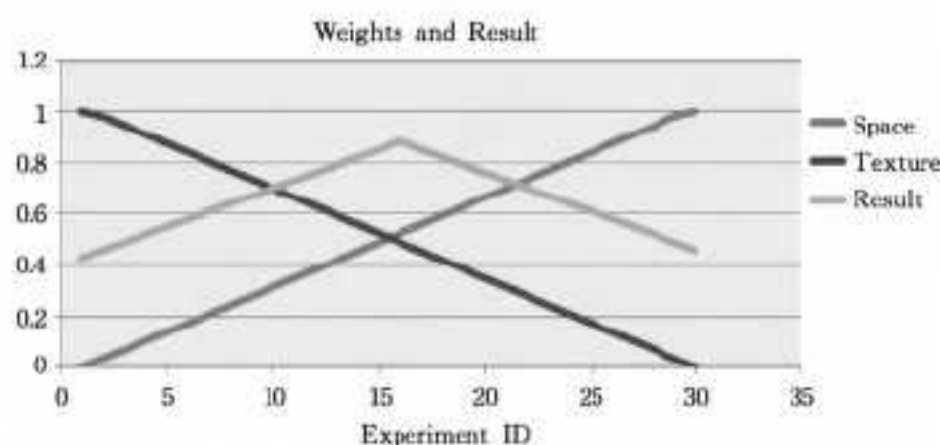


图 6 颜色空间特征和纹理特征权重实验

在综合颜色空间和纹理特征检索时,不同的权重比例对检索结果有不同程度的影响。为了确定颜色空间特征和纹理

特征的权重比例,我们进行了 30 次试验。试验中 α 的值从 0 到 1 逐渐增大, β 的值从 1 到 0 逐渐减小,试验结果如图 6 所示。

从图 6 可以看出,当颜色空间特征和纹理特征相等时,检索结果最佳。所以在综合两特征进行检索时,我们取颜色空间特征和纹理特征的权重分别为 $\alpha=0.5, \beta=0.5$ 。

结束语 通过对以前 CBIR 图像检索方法的研究,本文提出了基于颜色空间特征和纹理特征的 CBIR 检索方法,在传统的颜色特征基础上加上了空间信息,很好地解决了拥有相同颜色直方图的不同图像对检索结果的干扰。在提取纹理特征的方法上,依据纹理的特点提出了利用中心块图像分形编码参数的方法,实验结果良好,而且该方法对于经过分形压缩后的图像也适用。最后在经过归一化后,综合两种特征,利用人工鱼群算法收敛速度快、全局搜索能力强、可分布式并行作业的优点,进行图像的检索实验。在对大量实验结果进行分析后我们得出,单一特征的图像检索查准率和查全率偏低,实际应用价值不强,而本文提出的综合颜色空间特征和纹理特征的方法能很大程度地提高检索的准确度,其代价是在检索时间上的少许增加。与同类的综合多特征的图像检索相比,其性能要好得多。未来我们可以将更多图像的低级特征有机地综合起来,使 CBIR 系统具有更高的准确度和鲁棒性。图像特征匹配方法和基于语义的图像检索也是 CBIR 系统的两个重要方面。

参考文献

- [1] 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,2007:53-46
- [2] 向友军,谢胜利. 图像检索技术综述[J]. 重庆邮电大学学报,2006,18(3):348-354
- [3] 网耀南,李树涛,毛建旭. 计算机图像处理与识别技术[M]. 北京:高等教育出版社,2001:146-173
- [4] 郭士会,杨明. 基于颜色的图像检索方法的研究[J]. 西南大学学报,2012,34(1):125-129
- [5] 邹武,李龙澍,周闪闪. 一种基于颜色直方图的图像检索方法[J]. 计算机技术与发展,2009,19(4):38-40
- [6] Yue Jun, Li Zhen-bo, Liu Lu. Content-based image retrieval using color and texture fused features[J]. Mathematical and Computer Modelling,2010(4)
- [7] Nidhi, Kanchan, Ashok. A Novel Approach for Content Based Image Retrieval[J]. Procedia Technology,2012(4):245-250
- [8] 张彩华. 基于颜色和纹理特征的图像检索[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2010
- [9] 肖鹏,徐军. 纹理特征提取方法[J]. 电子科技,2010,23(6)
- [10] 朱华,姬翠翠. 分形理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2011:1-127
- [11] Pi M, Li H. Fractal indexing with the joint statistical properties and its application in texture image retrieval[J]. IET Image Processing,2007(4)
- [12] 江铭炎,袁东风. 人工鱼群算法及其应用[M]. 北京:科学出版社,2012:1-131