

# 基于曲率的角点检测及目标区域提取法<sup>①</sup>

郭爽<sup>1</sup>, 郝矿荣<sup>1,2</sup>, 丁永生<sup>1,2</sup>, 彭澎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

<sup>2</sup>(数字化纺织服装技术教育部工程研究中心, 上海 201620)

**摘要:** 针对图像检索系统提出了基于自适应阈值曲率增强的角点检测法, 以及基于角点曲率的目标区域提取法. 该算法将曲率作为角点重要程度的判断标准, 通过自适应阈值判断图像的真伪角点, 并增强真实角点的曲率信息, 利用具有较大曲率的角点确定图像的重心, 以重心为形心定位图像的目标区域. 实验结果表明, 本文算法不仅提高了图像角点检测的可靠性, 而且有效地确定了其目标区域, 最终达到了提高图像检索准确率以及算法运算效率的目的. 为检索背景复杂的图像提供了新的思路和方法.

**关键词:** 目标区域; 角点; 自适应阈值; 曲率; 图像检索

## Corner Detection and Target Area Extraction Based on Curvature

GUO Shuang<sup>1</sup>, HAO Kuang-Rong<sup>1,2</sup>, DING Yong-Sheng<sup>1,2</sup>, PENG Peng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(College of Information Sciences and Technology, Donghua University, Shanghai 201602, China)

<sup>2</sup>(Engineering Research Center of Digitized Textile & Fashion Technology, Ministry of Education, Shanghai 201602, China)

**Abstract:** In image retrieval, corner detection with auto-adaptive threshold and target area extraction based on curvature are proposed in this paper. The algorithm judges the importance of corners by using curvature. Firstly, it selects the true corners through the auto-adaptive threshold. Meanwhile, they enhance their curvature. Then, it determines the image's center of gravity by the corners with larger curvature. Last, it extracts the target area by regarding the center of gravity as the centroid. The image retrieval experimental results show that this algorithm can not only detect the corners and extract the target area effectively, but also improve the accuracy and efficiency of image retrieval compared with the traditional method. It provides a new approach for the retrieval of image with complicated background.

**Key words:** target area; corner; auto-adaptive threshold; curvature; image retrieval

## 1 概述

近年来, 随着互联网技术与多媒体技术的飞速发展, 人们在日常生活中开始接触到越来越多的图像信息. 图像检索利用图像自身的特征可以在大量图像库中检索出用户需求的图像, 大多数的检索算法都是针对图像的全局特征进行的, 对于用户来说, 更关心图像中的局部目标区域. 目前广泛使用的基于目标区域的图像检索方法分别以文献[1]、文献[2]提及的算法为主, 两种算法的共同点都是在检测图像角点的基础上, 提取图像的目标区域.

角点检测阶段, 文献[1-2]均采用 Harris 算法. 除此之外, 常用的角点检测方法还有 SUSAN 算法<sup>[3]</sup>和 Plessey 算法<sup>[4]</sup>等, 但它们都是在单尺度下检测图像的角点, 而实际上, 图像的角点是发生在多种尺度范围上的.

提取目标区域时, 文献[1]将角点个数最多的区域作为图像的目标区域, 文献[2]采用角点的凸包作为图像的目标区域. 实际上两种方法都可以进一步被改善, 原因在于文献[1]只是简单地利用角点的个数来确定目标区域, 而没有考虑到各角点的重要程度的差别; 文

<sup>①</sup> 基金项目: 国家自然科学基金重点项目(61134009); 长江学者和创新团队发展计划(IRT1220); 上海领军人才专项资金; 上海市科学技术委员会重点基础研究项目(13JC1407500, 11JC1400200); 上海市教育委员会科研创新项目(14ZZ067); 中央高校基本科研业务费专项资金(2232012A3-04)

收稿时间: 2014-07-23; 收到修改稿时间: 2014-08-28

献[2]只利用角点来表示图像的方法是欠缺的,毕竟角点只是图像中一些特殊的点,仅仅利用这些少数的点来表征图像特征是远远不够的。

本文针对此现象,提出了基于自适应阈值曲率增强的角点检测法和基于角点曲率的目标区域提取算法。上述两个算法均充分利用了曲率这一概念,原因在于曲率包含丰富的图像信息,且其对曲线的平移、旋转、缩放等几何变换具有不变性。最后,融合目标区域的颜色<sup>[5]</sup>、形状<sup>[6]</sup>和纹理<sup>[7]</sup>特征对图像进行检索。实验结果表明,采用上述算法的图像检索与传统的方法相比,不仅可以有效地检索出图像的角点、提取出目标区域,而且能够提供更高的检索准确率。

## 2 自适应阈值曲率增强的角点检测

### 2.1 基本思想

多尺度角点检测方法中常用的为基于曲率尺度空间(Curvature Scale Space, 简称CSS)算法,首先在较大尺度下计算图像轮廓上各点的曲率,然后将大于预先设定的阈值的局部极值点作为候选角点,最后减小尺度,对角点进行准确定位。使用该算法时需要考虑两个问题:1)全局阈值是预先设定且恒定不变的,这在候选角点的选取时会有较大影响;2)检测角点时使用单一尺度,无法确定局部极值点的真伪性,容易遗漏真实角点、产生伪角点。

在此基础上,文献[4]提出了一种基于动态支撑区域和自适应阈值的角点检测法,该算法首先在较小尺度下得到候选角点,然后在动态支撑区域下,得到自适应局部曲率阈值和各角点的角度,最后利用自适应局部曲率阈值移除圆角点、利用角度阈值移除由于边缘噪声产生的角点。但该算法引入了过多的角度阈值,其控制难度和计算复杂度使得算法不利于应用在注重效率的图像检索中。文献[8]提出一种多尺度曲率乘积的角点检测法(MSCP)。此方法将多尺度下的曲率融合在一起,利用多尺度积来增强特征信息、抑制噪声对特征的影响。但一些重要的角点可能随着尺度的增大,曲率变得很小,从而使曲率积也很小,导致该类角点被当作假角点移除。文献[9]利用曲率多项式(MCP)对该问题进行了改善,对于局部极值点计算曲率加权和、非极值点计算曲率积,以此来降低真实角点被移除的概率。但该方法同时增加了伪角点的概率,因为噪声产生的极值点也被同时放大。

针对这一问题,本文提出一种基于自适应阈值曲率增强的角点检测法,在文献[9]的基础上,加入真实角点与伪角点的判断标准,在真实角点不被移除的同时,抑制噪声。

### 2.2 算法描述

记平面曲线的参数方程为

$$l(\mu) = (x(\mu), y(\mu)) \quad (1)$$

$\mu$ 表示弧长,加入参数尺度 $\sigma$ 后,曲线方程演化为

$$l(\mu, \sigma) = (X(\mu, \sigma), Y(\mu, \sigma)) \quad (2)$$

其中,

$$X(\mu, \sigma) = x(\mu) \otimes g(\mu, \sigma)$$

$$Y(\mu, \sigma) = y(\mu) \otimes g(\mu, \sigma)$$

$\otimes$ 为卷积操作, $g(\mu, \sigma)$ 为高斯函数。

基于曲线方程的曲率 $K$ 可表示为

$$K(u, \sigma) = \frac{X_u(u, \sigma)Y_{uu}(u, \sigma) - X_{uu}(u, \sigma)Y_u(u, \sigma)}{(X_u(u, \sigma)^2 + Y_u(u, \sigma)^2)^{1.5}} \quad (3)$$

其中,

$$X_u(u, \sigma) = \frac{\partial}{\partial \mu}(x(\mu) \otimes g(u, \sigma)) = x(\mu) \otimes g_u(u, \sigma)$$

$$X_{uu}(u, \sigma) = \frac{\partial^2}{\partial \mu^2}(x(\mu) \otimes g(u, \sigma)) = x(\mu) \otimes g_{uu}(u, \sigma)$$

$$Y_u(u, \sigma) = \frac{\partial}{\partial \mu}(y(\mu) \otimes g(u, \sigma)) = y(\mu) \otimes g_u(u, \sigma)$$

$$Y_{uu}(u, \sigma) = \frac{\partial^2}{\partial \mu^2}(y(\mu) \otimes g(u, \sigma)) = y(\mu) \otimes g_{uu}(u, \sigma)$$

$g_u(u, \sigma)$ 和 $g_{uu}(u, \sigma)$ 分别为 $g(u, \sigma)$ 的一阶导数和二阶导数。

算法步骤如下:

1) 根据式(3)分别计算出多个尺度下图像轮廓上各点的曲率;

2) 划分真伪角点。由步骤(1)检测出的曲率局部极值点中,有一小部分极值点与其相邻区域的曲率差值较小,即曲线幅度较小,这类极值点是由噪声引起的,故被称为伪角点;而另一部分相对较尖锐的极值点与其相邻区域的曲率差值较大,曲线特征较明显,故称这类极值点为实际需要的真实角点。因此,根据此原理来确定划分真伪角点的阈值。

设 $\lambda$ 为曲线某处的局部极值点, $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 为其相邻的两个局部极值点,它们到 $\lambda$ 的弧长分别为 $L_1$ 、 $L_2$ ,将 $\lambda_1$ 到 $\lambda_2$ 所组成的曲线段定义为 $\lambda$ 的相邻区域,区域长度为 $L_1 + L_2$ ,如图1所示。

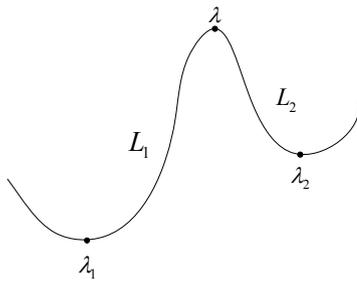


图 1 极值点相邻区域示意图

设划分真伪角点的阈值为  $\varepsilon$ ，公式如下：

$$\varepsilon_{(\lambda)} = C \times \bar{K} = 1.5 \times \frac{1}{L_1 + L_2} \sum_{i=\lambda-L_1}^{\lambda+L_2} K_i \quad (4)$$

其中， $C$  为常数，这里取值为 1.5， $K_i$  为曲线在  $i$  点的曲率， $\bar{K}$  为相邻区域的平均曲率。

定义  $|K_\lambda| < \varepsilon_{(\lambda)}$  的极值点为伪角点， $|K_\lambda| > \varepsilon_{(\lambda)}$  的极值点为真实角点。

1) 曲率增强。我们并不希望增强所有点的曲率，只有真实角点才需要被增强，故对不同尺度下的真实角点计算曲率的加权和，对伪角点和非极值点计算其曲率积，公式如下：

$$\begin{aligned} E_N^{(i)}(\mu) &= E_N^{(i-1)}(\mu) + K(\mu, \sigma_i) \\ E_N^{(j)}(\mu) &= E_N^{(j-1)}(\mu) * K(\mu, \sigma_j) \end{aligned} \quad (5)$$

其中， $i$  为幅度较大极值点， $j$  为幅度较小极值点和非极值点， $i, j = 2, 3, L, N$ ， $E_N^{(i)}(\mu) = K(\mu, \sigma_i)$ 。

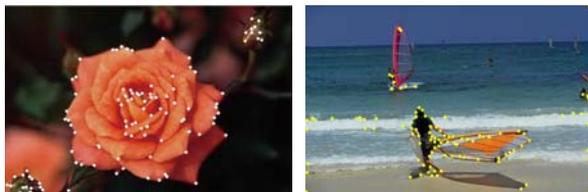
### 2.3 结果分析

本文采取角点检测的目的是为了提取更加准确的目标区域，故定义检索结果的准确性如下：

$$V = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (6)$$

其中， $n$  为目标区域中角点的个数， $N$  为整幅图像的角度个数。显然， $V$  越大，检测效果越好。

为了验证本文算法的特性，分别将其与 Harris 算法、MCP 算法在检测准确性和运行时间两个方面对比，结果如图 2 和表 1 所示。



(a) Harris 算法



(b) MCP 算法



(c) 本文算法

图 2 角点检测效果比较

由图 2 的结果可以看出，本文算法相比于其余两种算法更加准确：检测出的目标区域所含角点个数增加，同时非目标区域中角点个数减少。具体量化结果如表 1 所示。

表 1 角点检测个数比较

测试图像	Harris		MCP		本文算法	
	$n$	$N$	$n$	$N$	$n$	$N$
海滩	80	109	60	80	68	76
花卉	55	105	38	72	40	70

表 2 角点检测性能比较

测试图像	Harris		MCP		本文算法	
	$V$	$t/s$	$V$	$t/s$	$V$	$t/s$
海滩	73%	1.91	75%	0.14	89%	0.16
花卉	52%	1.96	53%	0.17	57%	0.18

由表 1 可以看出，在准确性方面，Harris 算法检测出的角点个数最多，但目标区域所含的角点数比率最低；MCP 算法检测出的总角点数降低，但有效角点的比率相对增加；本文算法检测出的目标区域角点数比率最高，即检测结果最有效，更有利于对图像目标区域的提取。

表 2 给出了时间性能方面的评价，Harris 算法运行时间过长，MCP 算法运行时间大大降低，本文算法虽然需要对阈值的自适应变化做一定的运算，但其运行时间并没有较大程度的增加。综上，本文算法在保持较低运算复杂度的同时提高了检测的准确率。

### 3 基于兴趣点曲率的目标区域提取

Atteave 在文献[10]中提出“图像由各式各样的曲线构成，而曲线的信息集中于角点曲率”的观点，由此

可见曲率对于角点来说是重要信息的表现形式. 因此本节从研究曲率出发, 提出了一种基于角点曲率的目标区域提取算法.

该算法的基本思想为在计算所有角点的重心时, 将曲率作为各个角点重要程度的判断标准, 即相比于曲率较小的角点, 曲率较大者在确定重心的位置时起到更关键的作用. 算法将各点的曲率作为权值, 结合各点的坐标位置来确定所有角点的重心  $(x_c, y_c)$ , 之后以重心为形心确定图像的目标区域.

重心计算公式如下:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i + C) * x_i}{n}, y_c = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i + C) * y_i}{n} \quad (7)$$

其中,  $(x_i, y_i)$  为角点  $i$  的坐标,  $K_i$  为角点  $i$  的曲率,  $n$  为角点的总个数,  $C$  为一个常数, 经多次实验  $C$  的最佳取值为 0.9.

在得到所有角点重心的基础上, 目标区域的确定步骤如下:

1) 计算重心与图像边界距离  $\{d_i | i=1,2,3,4\}$ , 如图 3 所示, 黑点为重心位置;

2) 分别计算所有角点的横、纵坐标的最大差值:

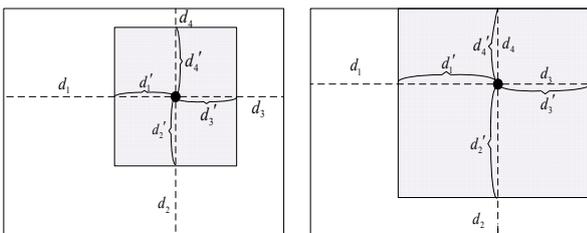
$$\begin{aligned} L_1 &= \max(X) - \min(X) \\ L_2 &= \max(Y) - \min(Y) \end{aligned} \quad (8)$$

其中  $X$  为所有角点的横坐标集合,  $Y$  为所有角点的纵坐标集合;

3) 分别比较  $d_i$  与  $d_s = \min(L_1, L_2) / 2$  的大小, 在两者之间取较小者作为重心与目标区域边界的距离  $d'_i$ :

$$\{d'_i | d'_i = \min(d_i, d_s), i=1,2,3,4\} \quad (9)$$

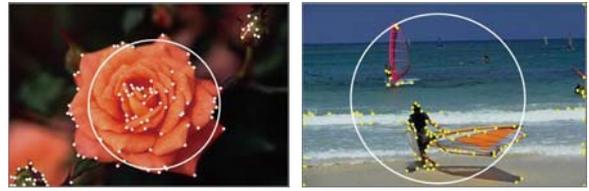
4) 如果  $d_i$  均大于  $d_s$ , 则以重心为形心, 以  $(2 \times d_s)$  为边长的正方形区域即为图像的目标区域, 如图 3(a) 所示; 否则目标区域为以重心为形心, 以  $(d'_1 + d'_3)$  和  $(d'_2 + d'_4)$  为边长所围成的矩形区域, 如图 3(b) 所示.



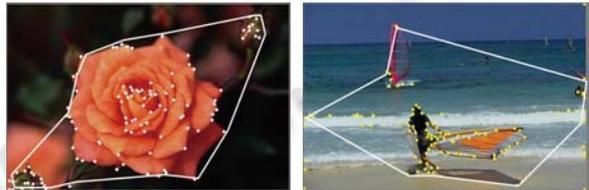
(a) 正方形目标区域 (b) 矩形目标区域

图 3 目标区域示意图

为了验证该算法的有效性, 分别将其与文献[1]和文献[2]的目标区域提取算法做了比较, 结果如图 4 所示.



(a) 文献[1]算法的提取结果



(b) 文献[2]算法的提取结果



(c) 本文算法的提取结果

图 4 目标区域提取结果比较

由图 4 的结果可以看出, 本文提出的基于角点曲率的目标区域提取算法相比于文献[1]和文献[2]的传统算法更好地将目标物体覆盖到了目标区域内, 这对于后续的图像检索垫定了可靠的基础.

### 4 实验结果验证

为了验证算法的有效性和可行性, 在相同的软硬件环境下, 分别选用 Corel 图像库和人体图像库, 将本文算法与文献[1]和文献[2]的算法进行比较. Corel 图像库包含 1000 幅图像, 这些图像共分为 10 类(如表 3 所示), 每类 100 幅. 人体图像库共包含 315 幅图像, 每类人体 15 幅, 共 21 类, 代表图像如图 5 所示.



图 5 人体图像库

针对图像的颜色、形状和纹理特征进行实验, 其

中颜色特征采用颜色直方图<sup>[11]</sup>, 形状特征采用描述边界形状的边缘直方图和描述区域形状的 Hu 不变矩<sup>[12,13]</sup>, 最后根据共生矩阵的统计量描述图像的纹理特征<sup>[14,15]</sup>.

采用查准率、查全率和平均运行时间这三个评价指标对三种算法的检索性能进行评估, 其中查准率与查全率定义如下:

$$\text{查准率} = P_r = \frac{\text{检索出的相关图像数}}{\text{检索输出的总图像数}}$$

$$\text{查全率} = P_r' = \frac{\text{检索出的相关图像数}}{\text{图像库中的所有的相关图像数}}$$

$T$  为检索输出的总图像个数.

#### 4.1 Corel 图像库

利用 Corel 图像库验证查准率.

从图像库中的 10 类图像中, 每类随机抽取 10 幅图像作为查询图像, 分别计算出这 100 幅图像的  $P_{10}$ ,  $P_{20}$ ,  $P_{30}$ , 继而再对每类图像计算其平均查准率  $\overline{P_{10}}$ ,  $\overline{P_{20}}$ ,  $\overline{P_{30}}$ , 结果如表 3. 运行时间对比结果如表 4 所示.

表 3 平均查准率对比

测试图像类	$\overline{P_{10}}/\%$			$\overline{P_{20}}/\%$			$\overline{P_{30}}/\%$		
	本文	文献 [1]	文献 [2]	本文	文献 [1]	文献 [2]	本文	文献 [1]	文献 [2]
居民									
海滩	83	62	52	74	63	54	64	58	50
建筑	54	45	40	47	44	33	41	46	31
汽车	85	79	66	77	73	58	67	71	54
恐龙	84	70	69	79	61	62	71	64	62
恐龙	99	99	93	99	98	90	99	95	85
大象	62	56	52	52	54	42	48	46	37
大象	100	93	79	97	87	70	96	92	64
花卉	92	85	78	77	77	74	70	66	65
马	53	49	45	41	46	44	35	49	41
雪山	82	67	63	72	61	57	67	48	46
食物									

表 4 检索运行时间对比(单位: s)

测试图像类	本文算法	文献[1]	文献[2]
居民			
海滩	10.6	12.5	11.9
海滩	10.5	12.4	11.5
建筑	10.6	13.1	11.7
建筑	10.6	12.9	11.8
汽车	10.6	12.9	11.8
汽车	10.4	12.7	11.9
恐龙	10.5	12.9	12.0
恐龙	10.3	12.8	11.7
大象	10.6	12.8	11.6
大象	10.5	12.5	11.5
花卉	10.4	12.6	11.5
食物			

从表 3 的结果可以看出, 在输出图像总数  $T$  相同的条件下采用不同的角点检测法和目标区域提取法进行实验时, 检索的准确率大为不同. 传统的采用 Harris

角点最密集区域以及角点凸包作为图像目标区域的算法使得图像的检索准确率较低, 而本文算法使得检索准确率得到了很大的提高.

同时, 从表 4 还可以看出, 本文算法在提高检索准确率的同时降低了检索的运行时间.

#### 4.2 人体图像库

利用人体图像库验证查全率.

从人体图像库中随机选取 10 类, 每类随机抽 10 幅图像作为查询图像, 计算每类图像的平均查全率  $\overline{P_5}$ ,  $\overline{P_{10}}$ ,  $\overline{P_{15}}$ , 结果如表 5. 运行时间对比结果如表 6 所示.

表 5 平均查全率对比

测试图像类	$\overline{P_5}/\%$			$\overline{P_{10}}/\%$			$\overline{P_{15}}/\%$		
	本文	文献 [1]	文献 [2]	本文	文献 [1]	文献 [2]	本文	文献 [1]	文献 [2]
人体 1									
人体 2	28	25	24	42	40	39	48	44	40
人体 3	33	31	29	55	54	53	62	60	57
人体 4	29	28	26	46	45	45	56	54	53
人体 5	33	30	29	51	49	50	58	57	57
人体 6	27	25	23	41	41	41	51	49	48
人体 7	32	31	31	63	61	57	26	26	26
人体 8	33	33	33	59	57	56	75	72	67
人体 9	24	22	21	33	31	29	41	39	35
人体 10	33	33	33	67	67	67	100	100	100
人体 1	32	28	27	52	41	35	55	50	43
人体 10									

表 6 检索运行时间对比(单位: s)

测试图像类	本文算法	文献[1]	文献[2]
人体 1			
人体 2	3.7	6.1	5.1
人体 3	3.8	6.0	5.1
人体 4	3.5	5.8	4.9
人体 5	3.7	5.9	4.8
人体 6	3.8	5.9	5.0
人体 7	3.6	5.7	4.8
人体 8	3.5	5.8	4.7
人体 9	3.7	6.0	4.9
人体 10	3.7	6.1	5.0
人体 1	3.6	5.9	4.9

由表 5 和表 6 的结果可以看出, 在查全率上, 本文算法相比于其余两种算法拥有较高的检索精度, 且在提高检索精度的同时降低了算法的运行时间.

在人体库中任选某一人体图像进行检索实验, 结果如图 6 所示.

其中红框标记的图像为查询图像. 如图所示, 在输出图像总数  $T$  分别为 5、10、15 的前提下, 采用文献[1]的算法检索出的相关图像数分别为 4、7、8, 采用本文算法检索出的相关图像数增加为 5、10、12, 由此

可见,本文算法可明显提高系统的检索准确率。



(a) 文献[1]算法的检索结果



(b) 本文算法的检索结果

图6 人体图像检索结果

## 5 结语

本文提出了基于自适应阈值曲率增强的角点检测法和基于角点曲率的目标区域提取法。该算法在 MCP 算法的基础上进行改进,加入自适应阈值判断真实角点,增强其曲率信息,用较大曲率的角点确定图像的重心,并定位目标区域。实验表明,相对于传统的基于目标区域的图像检索系统,应用此算法的系统不仅可以更加有效地检索出图像的角点、提取出目标区域,而且能够提供更高的图像检索准确率,并降低了检索算法的运行时间。

尽管本文算法在一定程度上提高了图像检索的准确率,但其检索结果都不能完全为相关图像。原因在于图像视觉特征的相似性并不完全等同于图像内容的相似性,因此,可以引入相关反馈技术,即对每一次的检索结果,系统都允许用户对其进行相关性的标注,并将标注结果反馈给系统,根据用户的反馈结果,调整检索策略,指导下一轮的检索,使得再次检索的结果在相关性上有所提升,更加符合用户的需求。故如何在本文算法上加入相关反馈技术是下一步工作的重点。

### 参考文献

1 张桂月.基于显著区域及SVM相关反馈的图像检索技术研究[学位论文].西安:西安电子科技大学,2012.

- 2 Meng FJ, Guo BL. A novel image retrieval algorithm based on the color and distribution of interest points. *Journal of Xidian University*, 2005, 32(2): 256-259.
- 3 Smith SM, Brady JM. SUSAN—A new approach to low level image processing. *International Journal of Computer Vision*, 1997, 23(1): 45-78.
- 4 He XC, Yung NHC. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support. *Proc. of the 17th International Conference on Pattern Recognition*. Washington, DC, USA, 2004, (2): 791-794.
- 5 Kankanhalli MS. Cluster-based color matching for image retrieval. *Pattern Recognition Letters*, 2001, 22: 447-455.
- 6 Brandt S, Laaksonen J, Oja E. Statistical shape features in content-based image retrieval. *15th International Conference on Pattern Recognition*, Barcelona, Spain, September 2000, Piscataway N.J., IEEE, 2000: 1062-1065.
- 7 Tamura H, Mori S, Yamawaki T. Texture features corresponding to visual perception. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 1978, 8(6): 460-473.
- 8 Zhang XH, Lei M, Yang D. Robust image corner detection based on multi-scale curvature product. *Journal of Image and Graphics*, 2007, 7(12): 1270-1275.
- 9 孙君顶,郭启强,张兆生.基于曲率尺度空间的轮廓角点检测. *光电工程*, 2009, 36(7): 78-82.
- 10 Attneave F. Some informational aspects of visual perception. *Psychological Review*, 1954, 61(3): 183-193.
- 11 Iwaoka T, Kobayashi H, Ota S. Digital safari guidebook with image retrieval. *Proc. of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*. Italy, 1999, 2: 1011-1012.
- 12 苗静,杨勇,谷欣超,等.不变矩及其在基于形状特征图像检索中的应用. *长春理工大学学报(自然科学版)*, 2009, 32(1): 126-128.
- 13 Petrovic V. Subjective tests for image fusion evaluation and objective metric validation. *Information Fusion*, 2007, 8(2): 208-216.
- 14 刘鹏宇.基于内容的图像特征提取算法的研究[学位论文].长春:吉林大学,2004.
- 15 Haralick RM. Textural features for image classification. *IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics*, 1973, 3(6): 610-621.