

马尔可夫边缘描述符的图像特征提取算法

崔宁海*, 刘丽萍

(沈阳理工大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110159)

(*通信作者电子邮箱 icnh@163.com)

摘要:分析目前 MPEG-7 标准下对纹理特征提取的研究,在边缘直方图描述符的基础上,借鉴马尔可夫链的思想,提出了马尔可夫边缘描述符。该描述符使用马尔可夫链的初始分布表征同种类型边缘之间的空间分布信息,采用马尔可夫链的极限分布来表征不同类型边缘之间的空间分布信息。实验表明,马尔可夫边缘描述符在具有直方图描述符优点的基础上,可以很好地捕获图像边缘的空间信息,对同种或不同种边缘类型间的空间分布都有较好的检索效果,检索效果优于边缘直方图描述符。

关键词:基于内容的图像检索;特征提取;MPEG-7;马尔可夫链;边缘描述符

中图分类号: TP312;TP391.41 **文献标志码:** A

Markov edge descriptor for feature extraction algorithms of image

CUI Ning-hai*, LIU Li-ping

(College of Information Science and Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang Liaoning 110159, China)

Abstract: After analyzing the texture feature extraction on MPEG-7 standard, a new Markov Edge Descriptor (MED) was proposed based on Edge Histogram Descriptor (EHD), which was in virtue of the Markov chain. It adopted initial distribution of Markov chain model to represent the spatial information between the same kinds of edges. And it adopted stationary distribution of Markov chain model to represent the spatial information between different edges. The experimental results show that MED has the merits of EHD, and MED can describe the spatial information between the image edges. It has corking retrieval performance for the same or different kinds of edges. Its retrieval performance is better than EHD.

Key words: content-based image retrieval; feature extraction; MPEG-7; Markov chain; edge descriptor

0 引言

目前,在 MPEG-7^[1] 多媒体内容描述接口 (Multimedia Content Description Interface, MCIDI) 标准下,对图像颜色和纹理特征提取的研究取得了很大的进展。对于边缘直方图描述符的提取方法,文献[2]提出了全域和半全域边缘直方图的概念,将边缘直方图的维数扩展到了 150 维。文献[3]在边缘直方图描述符的 5 种边缘类型基础上,将边缘类型分为 6 种,然后构造局部和全局边缘直方图描述符。文献[4]结合边缘信息与彩色直方图提出一种基于边缘彩色直方图的图像检索算法。文献[5]在边缘直方图描述符基础上,提出了一种游程编码直方图方法。文献[6]提出了一种边缘能量描述符。在文献[7]中,边缘直方图描述符与 K-近邻算法相结合,实现了对矿物图像的分类。在文献[8]中提出了一种基于内外边缘颜色特征的图像检索算法。虽然以上几种边缘特征提取方法使检索精度得到一定的提高,但实际上它们仍然基于边缘直方图的思想,无法全面地获得边缘的空间分布信息,只能以累加个数的方式获得图像中边缘的信息。Pianpian 等^[9]提出了一种用共生矩阵方法表示边缘信息的方法。该方法虽然能够获得边缘空间分布信息,但它占用存储空间大,抗干扰性差。根据以上分析,研究出一种包含边缘分布信息、存储空间小、抗干扰性强的边缘特征提取方法具有重要意义。本文在分析边缘直方图描述符的基础上,提出了马尔可夫边缘描述符 (Markov Edge Descriptor, MED),它使用马尔可夫链的初

始分布和极限分布来表征图像中边缘的空间分布信息。

1 边缘直方图描述符

边缘直方图描述符 (Edge Histogram Descriptor, EHD) 是 MPEG-7 标准推荐的一种纹理描述符,采用直方图的方法累加不同类型的边缘出现的次数,用以表征图像的纹理特征。

边缘直方图描述符中定义了 5 种类型的边缘,分别为 0°, 45°, 90°, 135° 边缘和无方向边缘^[10],边缘直方图描述符对图像中的 5 种边缘进行累加,生成边缘直方图,用以表征一幅图像的边缘分布特征。纹理空间选择是将 RGB 彩色图像空间转化到灰度空间。灰度是指黑白图像中点的颜色深度,灰度图像中的每个像素都有一个 0 (黑色) 到 255 (白色) 之间的亮度值。彩色图像可以方便地通过 RGB 空间到灰度空间的转换,变成灰度图像^[11]。

虽然直方图方法具有计算快速、空间利用率高、抗干扰性强等优点,但由于它不能捕获任何空间信息,在使用中有很大的局限。如图 1 所示,两幅图像都具有 2 种类型的边缘,每种类型的边缘个数也相等,但在空间分布上有较大差异。图像中 A 区域表示 135° 边缘的分布区域, B 区域表示 45° 边缘的分布区域,对这两个图像累加得到的边缘直方图相同,但图像中的内容是有很大的差异的。边缘直方图描述符无法获得同种边缘的空间分布信息,导致了图像匹配过程中出现误差。

图 2 中 A 区域表示 135° 边缘的分布区域, B 区域表示 45° 边缘的分布区域, C 区域表示垂直边缘的分布区域。对两

收稿日期:2011-10-18;修回日期:2011-12-07。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(61101116)。

作者简介:崔宁海(1977-),男,辽宁本溪人,讲师,硕士,主要研究方向:图像处理、软件应用; 刘丽萍(1980-),女,辽宁辽阳人,讲师,硕士,主要研究方向:计算机图形、图像处理、数据挖掘。

个图像进行边缘直方图累加,得到相同的结果,但实际上45°边缘和垂直边缘在空间分布上是有差异的。这种误差是由于边缘直方图缺乏对不同边缘之间的空间分布信息所导致的。

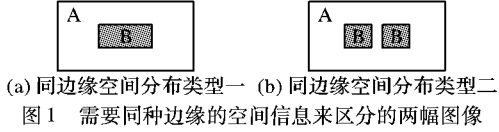


图1 需要同种边缘的空间信息来区分的两幅图像

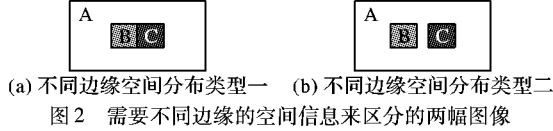


图2 需要不同边缘的空间信息来区分的两幅图像

根据以上的分析,本文在马尔可夫链(Markov chain)的基础上提出一种新的纹理描述符——马尔可夫边缘描述符(Markov Edge Descriptor, MED)。

2 马尔可夫边缘描述符

2.1 边缘类型共生矩阵

共生矩阵是图像的纹理分析中十分重要的概念,它使用两个位置的像素的联合概率密度来定义。任何图像表面都可以看成三维空间中的一个曲面,在三维空间中,相隔某一距离的两个像素,它们具有相同的灰度级,或者具有不同的灰度级,若能找出这样两个像素间的联合分布的统计形式,对于图像的纹理分析是很有意义的。

本文基于共生矩阵的思想,提出边缘类型共生矩阵的概念。对于边缘直方图描述符中定义的5种边界类型,使用5个数字对其表示,0表示垂直边缘,1表示水平边缘,2表示45°边缘,3表示135°边缘,4表示无方向边缘。

边缘类型共生矩阵包含了丰富的边缘空间分布信息,如果直接使用它进行图像匹配需要巨大的空间代价,而且它对图像的噪声非常敏感,最关键的是,它不能解决图2中所示的问题,即不能获得不同边缘之间的空间分布信息。

对于边缘类型共生矩阵 E_{ij} ,可以从统计学的角度进行分析。当边缘 E_i 和 E_j 的共生值较大的时候,说明边缘类型从 E_i 转化到 E_j 的概率比较大。根据以上分析,本文使用马尔可夫链来表征边缘之间的空间分布关系,将5种类型的边缘看做是马尔可夫链模型中的5种状态,由边缘类型共生矩阵获得5种状态的转换概率。这样,比较两幅图像的边缘就转换成了比较对应的马尔可夫链。

2.2 马尔可夫链

在物理学中,很多确定性现象遵从如下演变原则:过程(或系统)在时刻 t_0 所处的状态为已知的条件下,过程在时刻 $t > t_0$ 所处状态的条件分布与过程在时刻 t_0 之前所处的状态无关,这种情况称为马尔可夫性或无后效性。时间和状态都是离散的马尔可夫过程称为马尔可夫链,简称马氏链。

本文中边缘类型共有5种,定义状态空间为 $E = \{e_0, e_1, \dots, e_4\}$ 。从边缘 e_i 直接转化到边缘 e_j 的概率为 $p_{ij} = P(X_1 = e_j | X_0 = e_i)$,马尔可夫一步转移矩阵为 $P = (p_{ij})_{5 \times 5}$ 。根据上文的分析,可以由边缘类型共生矩阵得到一步马尔可夫转移矩阵,计算公式如下:

$$p_{ij} = e_{ij} / \sum_{j=1}^5 e_{ij} \quad (1)$$

该矩阵用以表示两种边缘在相邻的4个方向上(0°, 45°, 90°, 135°)的转换概率。

当 $n > 1$ 时称 $P_{ij}(n)$ 为多步转移概率。 $P_{ij}(n)$ 满足如下定理。

定理1 设 $\{X(n), n = 0, 1, 2, \dots\}$ 是一齐次马氏链,则对任意的 $u, v \in T_1$,有:

$$P_{ij}(u+v) = \sum_{k=1}^{\infty} P_{ik}(u)P_{kj}(v); i, j = 1, 2, \dots \quad (2)$$

该方程称为切普曼—科尔莫戈罗夫(Chapman-Kolmogorov, C-K)方程。写成矩阵形式为 $P(u+v) = P(u)P(v)$ 。

假设初始分布 $\pi(0)$ 经过 n 步转换后的分布为 $\pi(n)$,根据C-K方程可以得到 $\pi(n+1) = \pi(n)P$, $\pi(n) = \pi(0)P^n$,即齐次马氏链的有限维分布可以由初始分布与一步转移概率完全确定。进而,有如下定义。

定义1 当分布 π 满足 $\pi = \pi P$ 时,称 π 为马尔可夫链的极限分布,也称为稳定分布。

根据C-K方程可知, $\pi = \pi P = \dots = \pi P^n$ 。因此,极限分布可以看作是对马尔可夫链的稳定描述。使用极限分布表示边缘之间的分布信息是十分合适的,但必须保证对任意的马尔可夫链稳定分布都唯一存在。马尔可夫链可分为正则马尔可夫链和常规马尔可夫链。

2.3 马尔可夫边缘描述符的提取

本文中马尔可夫边缘定义为初始分布 $\pi(0)$ 和极限分布 π 的联合。 $\pi(0)$ 用以表征同种边缘的空间分布信息, π 用以表征不同类型边缘之间的空间分布信息。具体提取步骤如下。

- 1) 将图像划分成16个子图像,进一步将每个子图像划分为若干个图像方块。
- 2) 求出每个图像方块的边缘类型。
- 3) 给定 $d = 1$,求出每个子图像的边缘类型共生矩阵 $E_i = (e_{ij})_{5 \times 5}$ 。
- 4) 根据式(1),从 $E_i = (e_{ij})_{5 \times 5}$ 求出马尔可夫转移概率矩阵 $P_i = (p_{ij})_{5 \times 5}$ 。
- 5) 归一化的 $P_i = (p_{ij})_{5 \times 5}$ 对角线元素,得到初始分布 $\pi(0)_i$,它表征了子图像中相同类型边缘的空间分布信息。
- 6) 计算出稳定分布 π_i ,它表征了子图像中不同类型边缘的空间分布信息。
- 7) 结合 $\pi(0)_i$ 和 π_i ,得到图像的马尔可夫边缘描述符。表示为:

$$MED = (\pi(0)_i, \pi_i); i \in (1, 2, \dots, 9) \quad (3)$$

从上述的提取过程中可以看到,马尔可夫边缘描述符包含了图像中相同类型边缘和不同类型边缘的空间分布信息。相比边缘直方图描述符,它对边缘信息描述得更准确,所需空间更小。

2.4 相似度检测

本文选用 χ^2 距离来计算马尔可夫边缘描述符的相似距离。对于两幅图像 A, B ,它们的马尔可夫初始分布分别是 $h_i(A)$ 和 $h_i(B)$,稳定分布分别是 $h_s(A)$ 和 $h_s(B)$,两幅图像的马尔可夫边缘描述符分别表示为 $h(A) = [h_i(A), h_s(A)]^T$ 和 $h(B) = [h_i(B), h_s(B)]^T$ 。 $h(A)$ 和 $h(B)$ 的 χ^2 距离定义为:

$$D(h_A, h_B) = D(h_i(A), h_i(B)) + D(h_s(A), h_s(B)) \quad (4)$$

$$D(h_i(A), h_i(B)) = \sum_{j=1}^5 \frac{[h_{ij}(A) - h_{ij}(B)]^2}{h_{ij}(A) + h_{ij}(B)} \quad (5)$$

$$D(h_s(A), h_s(B)) = \sum_{j=1}^5 \frac{[h_{sj}(A) - h_{sj}(B)]^2}{h_{sj}(A) + h_{sj}(B)} \quad (6)$$

其中: $h_i(A) = [h_{i1}(A), h_{i2}(A), \dots, h_{i5}(A)]^T$, $h_s(A) = [h_{s1}(A), h_{s2}(A), \dots, h_{s5}(A)]^T$, $h_i(B) = [h_{i1}(B), h_{i2}(B), \dots, h_{i5}(B)]^T$, $h_s(B) = [h_{s1}(B), h_{s2}(B), \dots, h_{s5}(B)]^T$ 。

由于本文将一幅图像分成 16 个子图像,所以需要逐一
对每个子图像按上述的方法求得相似距离,最后将得到的相
似距离累加,得到整张图像的相似距离。

$$D(Q, D) = \sum_{i=1}^{16} D(q_i, d_i) \quad (7)$$

其中: Q 为查询图像, q_i 为 Q 的子图像, D 为数据库中图像, d_i 为 D 的子图像。

3 实验分析

本文采用平均检索率 (Average Recall Rate, ARR) 和 MPEG-7 实验工作组定义的评价准则——平均归一化修正检索等级 (Average Normalized Modified Retrieval Rank, ANMRR) 作为检索实验的评价标准^[12],以减少对检索结果评价的片面性,提高检索算法的可信度。

实验严格按照 MPEG-7 颜色核心实验中使用的测试方案来对提出的描述符提取方法进行测试,即使用例子查询的形式作为评价的主要方法。通过检索结果计算出相对应的 ARR 和 ANMRR,作为衡量描述符检索效果的标准。

实验选用的图像库共包含 2 500 张图像,部分来自 MPEG-7 的通用颜色数据集 (Common Color Dataset, CCD) 和 Simplicity 系统使用的测试集^[13],部分来自百万图库^[14]。图像库中的图像共分为如下 5 类:花卉、人物、风景、汽车、动物。每类图像共包含 500 张图像,其中有若干组相似图像。对每组相似图像中的全部图像各做一次检索,通过计算 ANMRR 和 ARR 获得每种描述符对该类图像的检索情况。

图 3 是汽车类图像中的一组巴士图像,使用这组图像来分析两种边缘直方图描述符和马尔可夫边缘描述符的检索效果。图中的第一幅图像为查询图像,其余 10 幅图像为查询图像的相似图像,是期望检索到的图像。它们在检索结果中出现的位置越靠前,说明查准率越高;在检索结果中出现的个数越多,说明查全率越高^[15]。



图 3 汽车类之巴士

图 3 中汽车的颜色有较大差异,但它们的形状大体相同,通过纹理描述符获得它们的纹理信息是比较有效的检索方法。分别使用边缘直方图描述符和马尔可夫边缘描述符来检索这组图像,并通过检索结果来比较两种描述符的检索效果。

图 4 是使用边缘直方图描述符的检索结果。结果显示与查询图像中汽车方向相近的图像容易被检索到,汽车的方向不同的图像很难被检索到,相似图像在检索结果中没有集中在靠前的位置,而且有两幅相似图像没有被检索到。计算可得 $ANMRR = 0.2344$, $ARR = 0.82$ 。

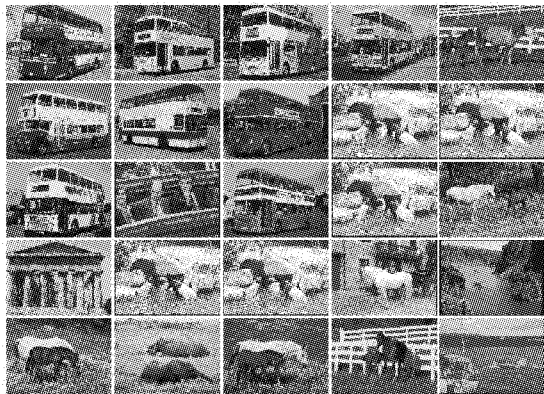


图 4 边缘直方图描述符对巴士的检索结果

图 5 是使用马尔可夫边缘描述符的检索结果。从图中可见,相似图像在检索结果中的位置更靠前,对于相似图像的识别能力更强,而且检索到的相似图像更多。本次检索 $ANMRR = 0.0861$, $ARR = 0.91$ 。



图 5 马尔可夫边缘描述符对巴士的检索结果

表 1 是使用边缘直方图描述符和马尔可夫描述符对各类图像的检索效果。表 2 比较了边缘直方图描述符和马尔可夫边缘描述符的平均归一化修正等级、平均检索率、存储空间和提取所需时间。在比较提取时间时,选用的是 384×256 大小的图像。

表 1 两种 MPEG-7 纹理描述符对不同内容图像检索效果

图像类别	EHD		MED	
	ANMRR	ARR	ANMRR	ARR
风景	0.2152	0.8679	0.1917	0.9107
人物	0.2376	0.8135	0.2163	0.8816
鲜花	0.3751	0.7464	0.3145	0.7753
动物	0.2468	0.7927	0.2185	0.8785
汽车	0.2236	0.8557	0.1841	0.9045

表 2 两种 MPEG-7 纹理描述符检索效果的比较

描述符	ANMRR	RR	Size/B	Time/ms
EHD	0.2597	0.8152	30	16
MED	0.2250	0.8701	15	12

如表 2 所示,马尔可夫边缘描述符无论在检索精度和查全性上都优于边缘直方图描述符。这是由于马尔可夫边缘描述符能够更好地把握边缘的空间分布信息。马尔可夫边缘描述符的 ANMRR 比边缘直方图描述符降低了 13.36%, ARR 提高了 6.31%,说明它检索能力要优于边缘直方图描述符。同时它节省了 60% 的空间,这是因为马尔可夫边缘描述符表征一幅图像只需 32 个向量,因此减少了对冗余数据的保存,变得更加简洁,而且描述符的提取时间只增加了 6.25%。

4 结语

马尔可夫边缘描述符在边缘直方图描述符基础上,借鉴马尔可夫链的思想,用马尔可夫链的初始分布表示图像中同种类型边缘之间的空间分布信息,用马尔可夫链的极限分布表示不同类型边缘之间的空间分布信息,实验表明马尔可夫边缘描述符的检索效果优于边缘直方图描述符。

参考文献:

- [1] MPEG-7 Overview (Version 10) [EB/OL]. [2010-09-01]. <http://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-7/mpeg-7.htm>.
- [2] MANJUNATH B S, OHM J R, VASUDEVAN V V, et al. Color and texture descriptors [J]. IEEE Transactions on CAS for Video Technology, 2001, 11(6): 703-715.
- [3] CHEE S W, DONG K P, SOO-JUN P. Efficient use of MPEG-7 edge histogram descriptor [J]. ETRI Journal, 2002, 24(1): 35-42.
- [4] SHIM O, CHOI T S. Edge color histogram for image retrieval [C]// Proceedings of International Conference on Image Processing. Piscataway: IEEE, 2002, 3: 957-960.
- [5] 康勤. 基于 MPEG-7 边缘直方图描述符的图像检索算法[J]. 西南大学学报, 2008, 30(5): 149-153.
- [6] LANTAGNE M, PARIZEAU M, BERGEVIN R. VIP: Vision tool for comparing images of people [C]// Proceedings of IEEE Conference on Vision Interface. Piscataway: IEEE, 2003: 35-42.
- [7] HICHEM F, GADER P. Detection and discrimination of land mines

in ground-penetrating radar based on edge histogram descriptors and possibilistic K -nearest neighbor classifier [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2009, 17(1): 185-199.

- [8] 郑秋梅, 王红霞, 闵利田. 基于内外边缘颜色特征的图像检索算法[J]. 工程图学学报, 2010, 31(2): 110-115.
- [9] WEI PIAN-PIAN, WANG BEI-ZHAN, QU CHENG. Improved generalized cooccurrence matrix for image retrieval using MPEG-7 texture edge [C]// ISISE '08: International Symposium on Information Science and Engineering. Piscataway: IEEE, 2008: 205-208.
- [10] MANJUNATH B S, OHM J-R, VASUDEVAN V V. Color and texture descriptors [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(6): 703-715.
- [11] TAKAHASHI N, IWASAKI M, KUNIEDA T. Image retrieval using spatial intensity features [J]. Signal Processing: Image Communication, 2000, 16(1): 45-57.
- [12] 高立春, 徐叶强. MPEG-7 分块加权主颜色及相关反馈的图像检索方法[J]. 计算机应用, 2011, 31(6): 1549-1551.
- [13] Test database used in SIMPLICITY paper [EB/OL]. [2010-09-01]. <http://wang.ist.psu.edu/docs/related.shtml>.
- [14] 百万图库 [EB/OL]. [2011-06-05]. <http://www.mypcera.com/photo/index.htm>.
- [15] 孙君顶, 毋小省. 纹理谱描述符及其在图像检索中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(3): 516-520.

(上接第 1103 页)

征可以有效地反映改进 Contourlet 变换域纹理图像的结构信息,而广义高斯分布参数特征可以准确地刻画改进 Contourlet 变换域纹理图像的随机分布信息。因此,这两类特征具有互补性。实验结果表明,和采用单一特征相比较,利用互补的特征可以有效地改善纹理图像数据库的检索性能。

由于本文方法充分考虑了图像的完全重建和稀疏表示特性,因此适用于目前所有的多尺度、多方向变换域。

参考文献:

- [1] DATTA R, JOSHI D, LI JIA, et al. Image retrieval: Ideas, influences, and trends of the new age [J]. ACM Computing Surveys, 2008, 40(2): 1-60.
- [2] RAO A R, LOHSE G L. Towards a texture naming system: identifying relevant dimensions of texture [J]. Vision Research, 1996, 36(11): 1649-1669.
- [3] MANJUNATH B S, MA W Y. Texture features for browsing and retrieval of image data [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(8): 837-842.
- [4] RANDEN T, HUSOY J H. Filtering for texture classification: A comparative study [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(4): 291-310.
- [5] DO M N, VETTERLI M. Wavelet-based texture retrieval using generalized Gaussian density and Kullback-Leibler distance [J]. IEEE Transactions on Image processing, 2002, 11(2): 146-158.
- [6] KOKARE M, BISWAS P K, CHATTERJI B N. Texture image retrieval using new rotated complex wavelet filters [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, 2005, 35(6): 1168-1178.
- [7] DO M N, VETTERLI M. The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106.

- [8] LU YUE, DO M N. A new contourlet transform with sharp frequency localization [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Atlanta: IEEE, 2006: 1629-1632.
- [9] HEEGER D, BERGER J R. Pyramid-based texture analysis/synthesis [C]// Proceedings of International Conference on Image Processing. New York: ACM Press, 1995: 648-651.
- [10] OJALA T, PIETIKAINEN M, HARWOOD D. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 51-59.
- [11] VETTERLI M, KOVACEVIC J. Wavelets and subband coding [M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall PTR, 1995.
- [12] QU HUAI-JING, PENG YU-HUA, SUN WEI-FENG. Texture image retrieval based on contourlet coefficient modeling with generalized Gaussian distribution [C]// Proceedings of Second International Symposium on Advances in Computation and Intelligence. Berlin: Springer, 2007: 493-502.
- [13] LIU XIU-WEN, WANG DE-LIANG. Texture classification using spectral histograms [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(6): 661-670.
- [14] MOULIN P, LIU JUAN. Analysis of multiresolution image denoising scheme using generalized Gaussian and complexity priors [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1999, 45(3): 909-919.
- [15] OLSHAUSEN B A, FIELD D J. Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images [J]. Nature, 1996, 381: 607-609.
- [16] VO AN P N, ORAINTARA S, NGUYEN T T. Using phase and magnitude information of the complex directional filter bank for texture image retrieval [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. San Antonio: IEEE, 2007: 61-64.