

中图分类号: TN911.73 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)01-0097-06

论文索引信息: 常瑞峰, 宋立新. 乳腺X线影像钙化病灶检索技术研究[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(1): 97-102

# 乳腺X线影像钙化病灶检索技术研究

常瑞峰, 宋立新

(哈尔滨理工大学电气与电子工程学院, 哈尔滨 150080)

**摘要:** 为帮助医生进行乳腺X线影像辅助诊断。针对乳腺X线影像微钙化簇相似病灶检索问题, 在分别研究单一特征和利用单距离相似性度量的特征融合的检索算法的基础上, 提出一种基于多距离特征融合和相关反馈的乳腺X线影像钙化病灶检索方法, 该方法针对不同特征采用多距离度量方法计算相似性, 并结合用户的反馈信息动态调整各个特征分量的权值来完成查询。实验建立在由250幅包含微钙化簇的乳腺X线影像构成的数据库基础上, 通过单一特征、特征融合及相关反馈图像检索的查准率-查全率(PVR)曲线验证该方法的检索性能。实验结果表明, 该方法比传统的基于单一特征检索方法以及运用单一距离度量的基于特征融合的检索方法有更好的检索效果。

**关键词:** 乳腺X线影像; 钙化病灶; 基于内容的图像检索; 特征融合; 相关反馈; 多距离度量

## Retrieval technology research of calcification lesions in mammography

Chang Ruifeng, Song Lixin

(Electric & Electronic Engineering College, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080 China)

**Abstract:** This research aims to assist doctors to detect micro-calcifications. In connection with the similar lesions retrieval problem of micro-calcification cluster in mammography, we develop a new algorithm with multi-feature fusion and relevance feedback based on the study of single feature and feature fusion using single distance measure image retrieving techniques, this method adopts multi-distance measure to calculate the similarity directing at different features. Experiment is based on mammography image database which contain 250 mammography images and each image contains calcification cluster, we verified the retrieval performance by the precision-recall ratio (PVR) of single feature, feature fusion and relevance feedback. Experimental results show that the method has a better retrieval result than these methods which are single feature and feature fusion based using single distance measurement.

**Keywords:** mammography image; calcification lesions; content-based image retrieval; feature fusion; relevance feedback; multi-distance measure

## 0 引言

随着医学图像数目的增加, 从大容量数据库中检索相关图像的性能变得越来越重要。尽管, 在其他领域的图像检索已取得很大的进步, 但在生物医学上仍然很受限<sup>[1]</sup>。加之乳腺X线影像区别于一般图像, 具有灰度分辨率高、图像在视觉上都比较

相似等特征。因此, 要从图像库中检索出在医学意义上相似的图像难度更大, 需要对影像诊断学、病理学和生理学有充分的理解<sup>[2]</sup>。如何根据乳腺X线影像的特点进行钙化病灶检索, 并使检索结果对医学诊断有所帮助, 还是一个值得深入研究的问题。

目前, 国外有一些文章研究了基于内容的图像检索(CBIR)在乳腺X线影像微钙化病灶检索上的应用, 如: El-Naqa 等人<sup>[3]</sup>利用微钙化簇检索乳腺X线

收稿日期: 2009-06-29; 修回日期: 2009-10-27

第一作者简介: 常瑞峰(1984—), 女。哈尔滨理工大学信号与信息处理专业硕士研究生, 研究方向为基于内容的医学图像检索。E-mail: changruifeng929@126.com。

影像图像,使用神经网络和支持向量机器学习网络通过人类观察的相似性得分来预测视觉相似性。Wei 等人<sup>[4]</sup>提出用 6 个相关反馈算子通过查询点移动的方法,用于提高基于内容的乳腺微钙化病灶的检索性能。国内,金仁超等人研究了乳腺肿块的检索<sup>[5]</sup>,而关于乳腺微钙化病灶的检索至今未见报道。尽管国外已经提出了 CBIR 在乳腺 X 线影像上的很多应用,但仍存在用于表示图像的数字特征与在这一应用领域是专家的用户对图像解释之间的语义差距<sup>[6]</sup>。这就需要通过结合用户相似性的判断和与查询图像对应的检索图像的相关性来指导检索算法<sup>[7-8]</sup>。

由于简单的基于单一距离的相似性度量方法不能满足乳腺钙化病灶检索结果在医学意义上的相似<sup>[3]</sup>,因此,本文利用最优查询规则法确定的多距离度量方法进行相似性计算,解决了基于单一距离度量存在的缺陷。并结合用户的相关反馈动态调整各个特征分量的权值,拟补均衡调整权值的偏差,从而提高了医学意义上的相似性。

## 1 图像检索算法

### 1.1 特征提取

常规的基于内容检索系统旨在提高检索图与查询图之间的视觉相似性,但乳腺 X 线影像在视觉上都相似,因此,特征选取的过程不应单纯基于视觉意义上的相似性。医生更倾向于将同种类的图像看作相似图像,这便是医学意义上的相似性。所以,本文特征选取基于以下原则:一个特征在分类时有效,则它在检索时亦有效<sup>[5]</sup>。同时,考虑到钙化点的表现和特点,依据计算机图像识别和机器视觉的理论,使用下面特征进行检索:

1) 灰度特征:运用基于灰度直方图的统计特征,提取了直方图的均值、方差、峰度、偏度、熵以及能量作为灰度特征。

2) 纹理特征:由于 Tamura 纹理与人的主观感受比较吻合,Gabor 小波变换最符合人类的视觉特征,因此,将 Tamura 纹理<sup>[9]</sup>和 Gabor 纹理<sup>[10]</sup>相结合组成纹理特征。考虑到计算量,本文 Gabor 纹理的尺度数和方向数分别取 4 和 6。

3) 形状特征:使用 Hu<sup>[11]</sup>定义的每幅图像的 7 个不变矩以及本文新增的 5 个特征共同组成形状特征。

下面具体介绍一下本文增加的 5 个特征。

1) 交叉组合面积( $A$ ):微钙化簇(MCs)占据的面积。具体计算方法如下:(1)首先生成一幅二值图像,与 MCs 中心对应的像素置为 1,其余置为 0;(2)用 Delaunay 三角剖分连接这幅二值图像中 MCs 的中心点,用  $\bar{\rho}$  表示相邻 MCs 间的平均距离,然后用这个三角剖分来计算  $\bar{\rho}$ ;(3)利用半径为  $\bar{\rho}$  的圆形结构元素进行形态学闭运算,然后填充二值图像中 MCs 的间隙;(4)计算钙化簇所占区域的面积。

2) 紧密度:微钙化簇所占区域的圆形成度。由  $C_f = 4\pi A_f / P_f^2$  计算, $A_f, P_f$  分别是被钙化簇占据的固体区域(也就是说,把洞填满)的面积和周长。

3) 离心率:最小围绕椭圆区域的离心率,用椭圆焦距和主轴长度间的距离比来计算。

4) 密度:钙化簇中 MCs 的空间密度,也就是说每单位面积( $A$ )的 MCs 的数目。

5) 固靠度:交叉组合区域面积  $A$  和由 MCs 形成的凸起的外壳面积的比来计算的。

其中,离心率和固靠度是对乳腺 X 线影像中单个钙化点而言的。

由于每种特征的特征分量范围都不同,因此在进行相似性度量时首先运用高斯归一化进行特征内部归一化。方法如下

$$f_{i,j} = (f_{i,j} - \mu_i) / 3\sigma_i \quad (1)$$

式中, $f_i$  是一个特征向量, $f_{i,j}$  是其特征分量, $\mu_i$  和  $\sigma_i$  分别表示特征向量的均值和标准方差。

这样使得 99% 特征值落入  $[-1, 1]$  区间,将  $[-1, 1]$  范围外的值设为 -1 和 1,就保证了所有的值都在  $[-1, 1]$  范围内了。

### 1.2 基于多距离度量的特征融合图像检索方法

灰度、形状和纹理只反映了图像某方面的特征,单一特征无法覆盖多特征矢量。解决方案是融合多个特征并根据用户感兴趣因素调节各特征的权重来实现针对性图像检索。本文将包含微钙化簇的乳腺 X 线影像的灰度、形状和纹理特征结合起来检索乳腺钙化病灶。同时,针对单一距离度量存在的不足,对不同特征采用了不同的相似性度量的方法。

由于灰度、形状以及纹理特征在检索乳腺钙化病灶时重要程度不同,因此,在特征相似性度量时要调整灰度、纹理、形状特征的权值,具体方法如下<sup>[9]</sup>:

1) 根据提取的特征及其包含的特征分量的个

数,将所有权值  $W = [W_i, W_{ij}]$  初始化为  $W_0$ ,使所有的特征和特征分量具有相同权重:  $W_i = W_{0i} = 1/L$ ,  $W_{ij} = W_{0ij} = 1/J_i$ ,其中,  $L$  是集合  $F$  中的图像特征的数目,  $J_i$  是特征  $f_i$  的特征分量的数目。

2) 计算查询图像与数据库中图像的相似性

$$D(f_i) = \sum_j W_{ij} D_i(r_{ij}), D = \sum_i W_i D_i(f_i) \quad (2)$$

式中,  $D_i$  是特征向量之间的相似性度量方法,  $D$  为总的相似度。

目前,常用的相似性度量方法有 Minkowski 距、直方图相交距、Quadratic 距、欧氏距离、Canberra 距离。

1) Minkowski 距

$$D(q, p) = \left( \sum_m (q_m - p_m)^L \right)^{1/L} \quad (3)$$

当  $L=2$  时,即为欧氏距离。

2) 直方图相交距

$$D_{hi}(q, p) = 1 - \frac{\sum_{m=0}^{M-1} (h_q[m], h_p[m])}{|h_q|} \quad (4)$$

$$|h| = \sum_{m=0}^{M-1} h[m]$$

3) Quadratic 距

$$D(p, q) = \sqrt{(p_m - q_m)^T A (p_m - q_m)} \quad (5)$$

$A = [a_{ij}]$  是特征之间的相似性矩阵。

4) Canberra 距离

$$D(q, p) = \sum_{m=0}^{M-1} |q_m - p_m| / (|q_m| + |p_m|) \quad (6)$$

根据最优查询规则,确定了最优相似性度量方法来满足乳腺影像医学意义上的相似。最优查询规则的基本思想是:首先,将一定的特征表示组合一定的相似性度量方法构成一个集合,集合中每个元素代表一个查询规则。其次,对于任意给定的查询图像,分别计算每一个查询规则下它与数据库中每幅图像的距离,根据每个查询规则得到的距离对库中图像排序,并建立一个排序列表,列表中的图像是经距离度量后排序为前  $N$  幅的图像。检索结果中的图像若在排序列表中,那么它在列表中的顺序就代表了它的排序号,若不在列表中,则赋予其大于  $N$  的序号。并计算列表中出现的图像在使用不同查询规则时的排序号的平均值,根据这一平均值生成一个新的列表,该表包含了与示例图像相似的前  $N$  幅图像。再次,用户根据自己的感知对检索结果重新排序,生成一个最新的列表。最后,计算前  $N$  幅图像的排序差(用户重新排序前后  $N$  幅图像排序号的

差的绝对值之和),哪一种查询规则下排序差最小就认为这种查询规则最优。

通过最优查询规则,确定了这样的相似性最优度量方法:灰度特征采用 Quadratic 距,纹理特征采用 Canberra 距离,形状特征采用欧氏距离。

### 1.3 相关反馈算法

如果只利用图像的底层特征来进行乳腺影像的钙化病灶检索,并不总能满足用户的“语义”,为了减小用户与检索结果的语义差距,引入了相关反馈算法。其基本思想是:将初次检索出的前  $N$  幅图像提供给用户,用户根据自己的查询要求和主观意见,判断返回的每幅图像与查询图像间的相关程度。本文根据用户的反馈信息动态调整各个特征分量的权值,权值大小反映了各个分量的重要程度,进而提高了医学意义上的相似性。

具体方法:根据某一特征分量  $r_{ij}$  的相似度检索出最相似的前  $N$  幅(本实验取  $N=32$ ) 图像组成的集合为  $RT^{ij} = [RT_1^{ij}, RT_2^{ij}, \dots, RT_N^{ij}]$ 。用户判断  $RT^{ij}$  中每幅图像的相关性,令  $score$  表示用户对图像  $RT^{ij}$  所给出的反馈的分值组成的集合:

$$score_i = \begin{cases} 1 & \text{相关} \\ 0 & \text{不确定} \\ -1 & \text{不相关} \end{cases}$$

接下来,计算  $r_{ij}$  的权值  $W_{ij}$ 。首先初始化  $W_{ij} = 0$ ,然后计算:

$$W_{ij} = \begin{cases} W_{ij} + score_i & RT_i^{ij} \text{ 在 } RT^{ij} \text{ 集合中} \\ W_{ij} + 0 & RT_i^{ij} \text{ 不在 } RT^{ij} \text{ 集合中} \end{cases}$$

如果  $W_{ij} < 0$ ,就将其值设为 0。最后,对权值归一化,使归一化后的权值总和等于 1。

$$W_{ij} = W_{ij} / \sum W_{ij} \quad (7)$$

最后,计算特征  $f_i$  的权值  $W_i$ ,并对其归一化:

$$W_i = \sum_j W_{ij} W_i = W_i / \sum_i W_i \quad (8)$$

通过以上方法调整权值后就可以进行新一轮的检索了,反复循环,直到用户满意为止。

## 2 实验及结果分析

本实验中使用的图像来源于美国南佛罗里达大学的数字乳腺 X 线影像数据库。图像内容都经过临床诊断和病理证实。根据数据库中医生对钙化簇所在区域的标注,提取了 250 幅包含钙化簇的感兴趣区域(ROI),包含 145 幅恶性钙化点 ROI、105 幅

良性 ROI。每幅 ROI 是大小为  $256 \times 256$  像素。

为定量评价不同检索方法的查准率和查全率,采用 QBE(query by example) 的查询方式,从图像库中任选 4 幅作为样本图像。用 5 种方法进行实验,验证各种检索算法的性能,由于对医生而言,他们更

倾向于把同类病变的图像认为是相似的。因此,根据这一特点来评价检索性能。

实验验证了该方法优于传统的基于单一特征以及基于单一距离的特征融合检索方法。相关检索结果见图 1—图 5。

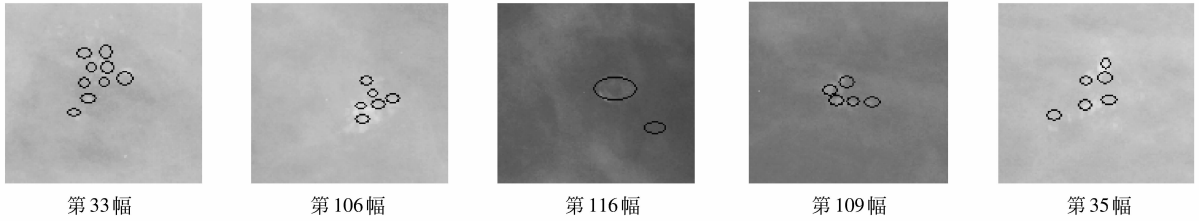


图 1 基于纹理特征的检索结果

Fig. 1 The retrieval result based on texture feature

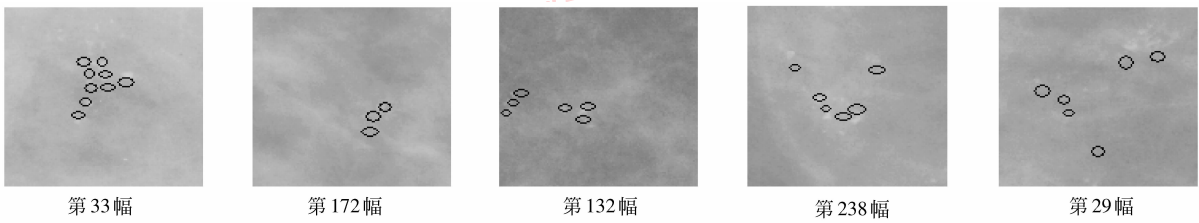


图 2 基于形状特征的检索结果

Fig. 2 The retrieval result based on shape feature

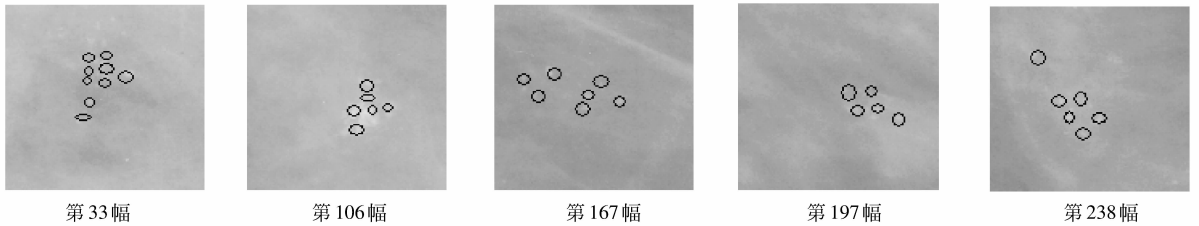


图 3 基于单距离度量的特征融合的检索结果

Fig. 3 The retrieval result based on single distance measure feature fusion

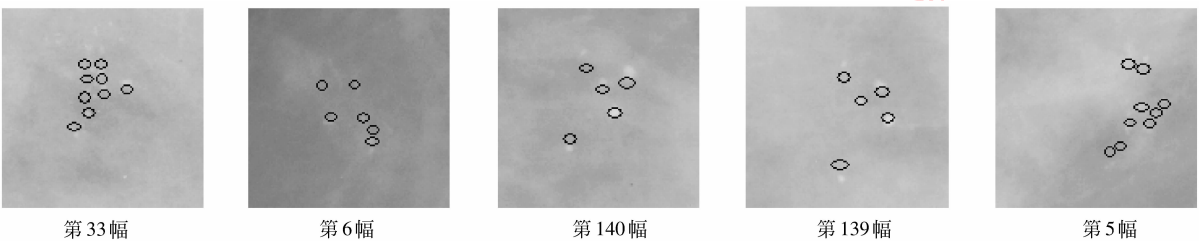


图 4 基于多距离度量的特征融合的检索结果

Fig. 4 The retrieval result based on multi-distance measure feature fusion

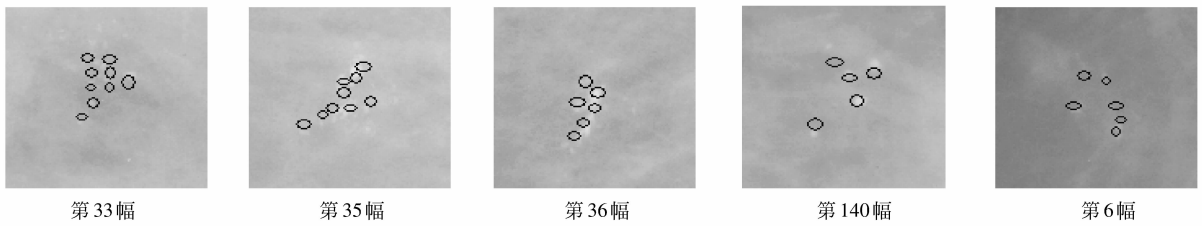


图 5 基于多距离度量的特征融合和相关反馈的检索结果

Fig. 5 The retrieval result based on feature fusion using multi-distance and relevance feedback

图 6 给出了基于单一特征和利用单一距离以及多距离进行相似性度量的特征融合的检索结果的查准率与查全率,图 7 给出了不同反馈次数的平均查

准率。其中,查准率是检索到的相关图像数与检索到的图像数之比,查全率是检索到的相关图像与数据库所有相关图像数之比。二者是相互制约的,查准率高,查全率就低,反之亦然。因此,一般在两者间进行折中,即认为达到了较好的检索性能。

从图 6 可以看出,基于多距离相似性度量的特征融合的检索结果的查准率和查全率都比较高,效果明显优于基于单一特征以及利用单一距离相似性度量的特征融合的检索结果。从图 7 可以看出,随着反馈次数的增加,平均查准率随之增加,考虑到检索时间,反馈次数不宜太多。通过特征融合和相关反馈,检索结果更接近用户的检索要求。

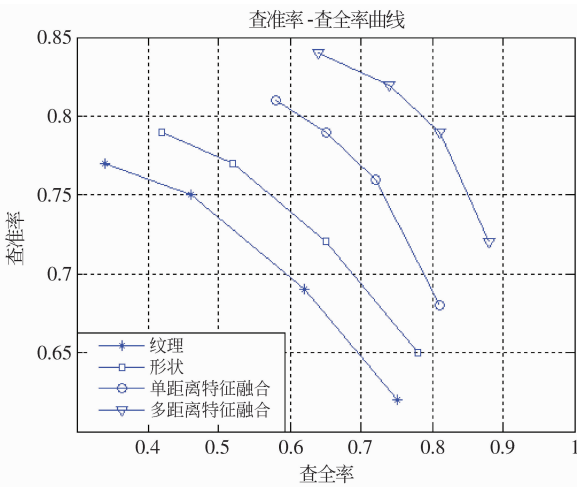


图 6 不同检索方法的 PVR 曲线

Fig. 6 PVR curves of different retrieval methods

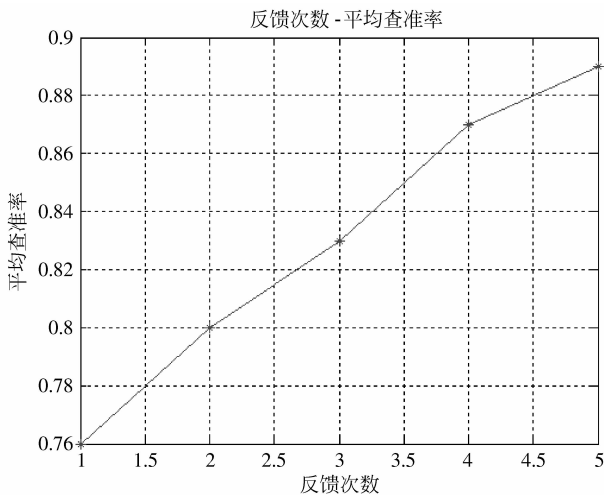


图 7 不同反馈次数的平均查准率

Fig. 7 The average precision of different feedback times

### 3 结 论

通过实验可以看出,乳腺 X 线影像的钙化病灶检索性能与提取的特征以及相似性度量方法有关。本文采用的基于多距离相似性度量的特征融合和相关反馈的检索算法有效地增强了基于内容的乳腺钙化病灶检索技术的有效性,并运用通过最优查询规则确定的最优相似性度量方法,提高了检索结果的准确性。由于提取的特征较多,计算速度较慢,因此,下一步应考虑特征优化问题,同时,为了减小用户需求与系统功能之间的差距,还应考虑将低层特征与语义特征(医生的诊断报告)相结合,从而更好地辅助医生进行乳腺钙化病灶的诊断。

### 参考文献 (References)

[ 1 ] Wong S. CBIR in medicine; still a long way to go [ C ]// Proceedings of the IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries. Washington DC: IEEE Computer Society, 1998:115-116.

[ 2 ] Shao Hong, Cui Wencheng, Zhao Hong. Research of content-based image retrieval technology [ J ]. Mini-Micro Systems,

- 2003, 24(10):1845-1848.
- [ 3 ] Wernick M N, Yang Y, Nishikawa R M, et al. A similarity learning approach to content-based image retrieval; application to digital mammography [ J ]. IEEE Trans Med Imaging, 2004, 23(10): 1233-1244.
- [ 4 ] Wei C H, Li C T. Calcification descriptor and relevance feedback learning algorithms for content-based mammogram retrieval [ C ] // Proceedings of the International Workshop on Digital Mammography 2006. Germany, Berlin: Springer-Verlag, 2006: 307-308.
- [ 5 ] Jin Renchao, Meng Bo, Song Enming. Content-based image retrieval for computer-aided detection of mammographic masses [ J ]. Mini-Micro Systems, 2008, 29(2): 326-327. [ 金人超, 孟波, 宋恩民. 从乳腺 X 线图像中检测肿块的基于内容的图像检索 [ J ]. 小型微型计算机系统, 2008, 29(2): 326-327. ]
- [ 6 ] Müller H, Michoux N, Bandon D. A review of content-based image retrieval systems in medical applications clinical benefits and future directions [ J ]. International Journal of Medical Informatics, 2004, 73(1):1-23.
- [ 7 ] Ricardo B Y, Berthier R N. Modern Information Retrieval [ M ]. New York: ACM Press, 1999: 2-4.
- [ 8 ] Furht B, Marques O. Handbook of Video Databases: Design and Applications [ M ]. New York: CRC Press, 2003: 511-536.
- [ 9 ] Zhou Quanming, Geng Guohua, Wei Na. Content-Based Image Retrieval Technology [ M ]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 100-101. [ 周全能, 耿国华, 韦娜. 基于内容的图像检索技术 [ M ]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 100-101. ]
- [ 10 ] Qiao Zhijie, Jiang Jiafu. Texture image retrieval based on Gabor wavelet transform [ D ]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2006. [ 乔志杰, 蒋加伏. 基于 Gabor 小波变换的纹理特征图像检索 [ D ]. 长沙: 长沙理工大学, 2006. ]
- [ 11 ] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants [ J ]. IRE Trans. Inf Theory, 1962; 8(2):179-187.