

基于提升小波的图像检索算法^①

王军锋, 舒 彬, 陈惠惠

(西安理工大学 理学院应用数学系, 西安 710054)

摘 要: 提升小波具有高效性和多分辨率等优点, 本文提出了基于提升小波的图像检索算法。该算法首先对图像进行提升小波变换, 得到每层的低频子图像和高频子图像; 然后分别提取低频子图像的形状特征和高频子图像的纹理特征; 最后通过计算特征向量之间的欧式距离, 检索出相似的图像。实验结果表明, 此算法的检索效率高于其他算法, 具有一定的优越性和通用性。

关键词: 提升小波; 形状特征; 纹理特征; 图像检索

Image Retrieval Algorithm Based on Lifting Wavelet

WANG Jun-Feng, SHU Bin, CHEN Hui-Hui

(Department of Applied Mathematics, School of Science, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054)

Abstract: In this paper, an image retrieval algorithm is proposed based on lifting wavelet, for it has many advantages such as high efficiency and resolution. Firstly, through lifting wavelet transform of the image, we can get each layer of the low-frequency sub-image and high-frequency sub-images. Then, shape feature of low-frequency sub-image and texture feature of high-frequency sub-images can be extracted. Finally, the Euclidean distance is calculated between the feature vectors and retrieved similar images. Experimental results show that the retrieval efficiency of this algorithm is better than other algorithms. It has advantages and versatility.

Key words: Lifting wavelet; shape feature; texture feature; image retrieval

随着计算机技术的发展, 大量的图像数据不断地涌现, 如何从海量的数据中快速地检索出用户感兴趣的信息, 已成为现今图像检索的热点问题之一。形状是物体稳定的特征, 它对平移、旋转、尺度都具有不变性。从图像中提取目标的形状, 获取目标的轮廓是基于形状特征图像检索的一个重要技术。纹理反映的是图像中像素的灰度空间分布的属性, 且可认为是具有某种规律性的模式。由于小波分析具有多分辨率的特点, 在时、频两域都具有表征信号局部特征的能力。因此, 应用小波分析来探究基于内容的图像检索已成为近年来国内外研究的一大热点^[1-3]: 文献[1]研究了基于小波分解提取图像的方向、规则等特征; 文献[2]基于树型小波分解, 分别采用四种距离度量函数, 研究了纹理分类问题。文献[3]分别研究了使用 84 维、80

维、64 维、256 维、341 维基于小波变换的纹理特征用于图像分类。本文重点研究基于提升小波变换的形状和纹理图像检索。

由于, 小波变换是一种很好的时(空)频域分析理论, 通过对图像进行小波变换, 可以将图像信号由时间域(空间域)表示变换到小波域表示。利用小波变换的正交/双正交变换特性, 消除图像像素间的相关性, 降低图像信号在空间的冗余。针对传统的卷积小波(第 1 代小波)变换过程复杂, 运算量大, 实时性较差的缺点, 1996 年, Sweldens 提出小波提升算法(lifting scheme)或称自举法^[4], 使小波的构造完全在空间域完成。提升小波变换又被称为第二代小波变换技术, 与经典的 Mallat 算法相比, 其运算量减少了一半; 能够实现小波变化的原位计算; 很容易实现整数到整数的小波变换, 能极大

^① 基金项目: 国家自然科学基金(61075007); 校基金(108-210901)

收稿时间: 2011-09-26; 收到修改稿时间: 2011-10-30

的减少计算的时间以及空间复杂度。因此，使用提升小波对图像进行分解，有利于提高检索的时间和准确性。

1 小波变换的提升实现

1.1 db2 小波变换的提升理论^[5]

基于提升格式的小波变换，在对系统内存需求以及变换实现的复杂度等方面都是一种非常有效的实现形式。有限长双正交小波变换，可以通过有限步的提升和对偶提升操作完成。为得到提升小波变换的形式，令小波滤波器的多相矩阵为：

$$p(z) = \begin{bmatrix} h_e(z) & g_e(z) \\ h_o(z) & g_o(z) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中， $h_e(z)$ 、 $h_o(z)$ 、 $g_e(z)$ 、 $g_o(z)$ 分别为合成低通滤波器 h 及高通滤波器 g 的奇偶分量。对于双正交小波，其分解滤波器与合成滤波器是相同的，因此，对偶多相矩阵 $\overline{p(z)}$ 与 $p(z)$ 相等。对于给定互补滤波器对 (h, g) ，总是存在洛朗多项式 $s_i(z)$ 和 $t_i(z)$ ，(其中 $1 \leq i \leq m$) 以及常数 k 有^[6]：

$$p(z) = \prod_{i=1}^m \begin{bmatrix} 1 & s_i(z) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ t_i(z) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k & 0 \\ 0 & 1/k \end{bmatrix} \quad (2)$$

换句话说，所有有限长冲激响应滤波器小波变换都可以从一个懒小波变换开始，经过 m 步提升和双提升操作，最后进行尺度变换来完成。

$$\overline{p(z)} = \prod_{i=1}^m \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -s_i(z^{-1}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -t_i(z^{-1}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/k & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix} \quad (3)$$

对于 db2 小波，其低通和高通滤波器可采用如采用如下形式^[6]：

$$\begin{cases} h(z) = h_0 z + h_1 + h_2 z^{-1} + h_3 z^{-2} \\ g(z) = h_3 z - h_2 + h_1 z^{-1} - h_0 z^{-2} \end{cases} \quad (4)$$

其中：

$$h_0 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, h_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, h_2 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, h_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}。$$

对应的多相矩阵为：

$$p(z) = \overline{p(z)} = \begin{bmatrix} h_1 + h_3 z^{-1} & -h_2 - h_0 z^{-1} \\ h_0 z + h_2 & h_3 z + h_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

对其进行因式分解，可得如下形式：

$$p(z) = \overline{p(z)} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{\sqrt{3}}{3} z^{-1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{4} z + \frac{6-3\sqrt{3}}{4} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{3} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{3+\sqrt{3}}{3\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & \frac{3-\sqrt{3}}{3\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

若以 x 表示原始信号， d_i 和 s_i 分别表示小波变换后的高通系数和低通系数，则信号分解过程如下：

$$\begin{cases} d_l^1 = x_{2l+1} - \frac{\sqrt{3}}{3} x_{2l+2} \\ s_l^1 = x_{2l} + \frac{6-3\sqrt{3}}{4} d_l^1 + \frac{\sqrt{3}}{4} d_{l-1}^1 \\ d_l^2 = d_l^1 - \frac{1}{3} s_l^1 \\ s_l^2 = \frac{3+\sqrt{3}}{3\sqrt{2}} s_l^1 \\ d_l^3 = \frac{3-\sqrt{3}}{3\sqrt{2}} d_l^2 \end{cases} \quad (7)$$

1.2 二维图像的小波变换提升

设 F 是一个 $M \times N$ 的图像矩阵，首先对 F 的每一行按 1.1 节所述方法进行一维提升小波变换，矩阵 F 每一行的前 $[N/2]$ 项存储低频分量 $s = \{s_0, s_1, \dots, s_{[N/2]-1}\}$ ，后 $[N/2]$ 项存储高频分量 $d = \{d_{[N/2]}, \dots, d_{N-1}\}$ ；再对 F 的每一列进行一维提升小波变换，方法同行变换。变换后矩阵的存储如图 1 所示，实现了小波变换的原位计算。

S_{LL}	d_{HL}
d_{LH}	d_{HH}

图 1 小波变换后矩阵 F 的存储示意图

2 基于提升小波的图像检索算法

2.1 形状特征

对图像进行三层 db2 小波提升变换，分别得到每

层的低频子图像和高频子图像。如图 2 所示:

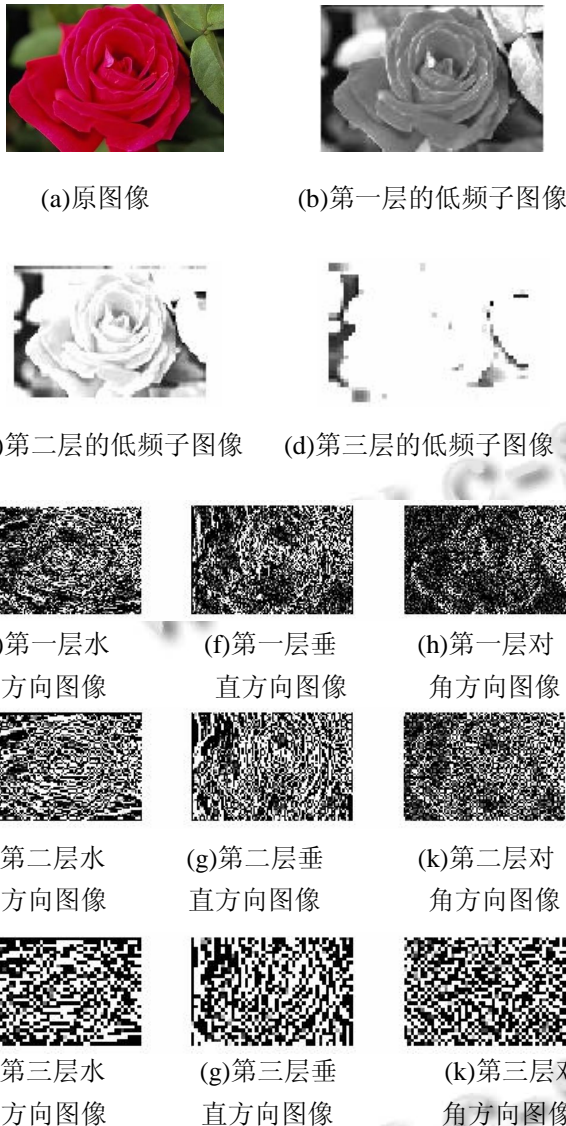


图 2 花类原图像及三层小波提升变换后得到的低频和高频子图像

由于低频子图像中包含着图像大量的概貌和轮廓信息, 因此对低频子图像进行边缘特征提取。提升小波变换产生了不同尺度上的小波系数, 其中小波变换的模局部极大值^[7]就对应着图像的突变点即边缘, 利用模局部极大值可以提取图像的边缘尺度信息。

由于直接在小波变换域中度量两个图像的相似性既困难又不方便。因此, 可以通过矩来描述边缘图像, 所谓的矩是以灰度分布的各阶矩来描述区域及其灰度分布特性。通过构造它具有平移、旋转、放缩不变性。

定义如下^[8]:

对于二维函数 $f(x, y)$, 它的 $(p + q)$ 阶混合原点矩定义为:

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy, \quad p, q = 0, 1, \dots \quad (8)$$

而 $(p + q)$ 阶混合中心矩定义为:

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad (9)$$

式中 $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}, \quad p, q = 0, 1, \dots$ 。尺度规格化后的中心矩定义为:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^r} \quad (10)$$

其中, $r = \frac{p + q}{2} + 1, \quad p + q = 2, 3, \dots$

将归一化的二阶中心矩 $\eta_{11}, \eta_{20}, \eta_{02}$ 和三阶中心矩 $\eta_{12}, \eta_{21}, \eta_{30}, \eta_{03}$ 进行组合可得到 7 个对平移、旋转和尺度变化不变的矩, 即:

$$h_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (11)$$

$$h_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (12)$$

$$h_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (13)$$

$$h_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (14)$$

$$h_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (15)$$

$$h_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (16)$$

$$h_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (17)$$

因此, 边缘图像特征就可表示为 1×21 维的向量, 如下所示:

$$F_x = [h_1^1, h_2^2, \dots, h_7^7, h_1^8, h_2^9, \dots, h_7^{14}, h_1^{15}, h_2^{16}, \dots, h_7^{21}] \quad (18)$$

2.2 纹理特征

对图像进行三层 db2 小波提升变换, 图像纹理主要集中在高频部分, 因此, 选用高频子图像的均值和标准差来表示其纹理信息。提升小波变换后, 得到 9 个高频子图像记做 f_n , $n=1, 2, \dots, 9$ 。第 n 个高频子图像的均值 μ_n 和标准差 σ_n 分别为:

$$\mu_n = \frac{1}{RC} \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C |f_n(i, j)| \quad (19)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{RC} \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C (|f_n(i, j)| - \mu_n)^2} \quad (20)$$

其中, $i=1, 2, \dots, R, j=1, 2, \dots, C, R$ 和 C 是每一个高频子图像的行数和列数, 代表子图像的大小。于是, 整幅图像 F 的纹理特征可表示为 1×18 维的向量:

$$F_E = [\mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2, \dots, \mu_9, \sigma_9] \quad (21)$$

2.3 相似度的度量

由于计算出来的边缘图像特征和表示纹理特征的数值取值范围相差很大, 因此, 计算距离时不能直接叠加, 需要赋以一定的权值。设 m_1 为查询图像, m_2 为图库中的图像, 则它们的形状特征和纹理特征之间的欧式距离可表示为:

$$d = \alpha d_1 + \beta d_2 + \gamma d_3 \quad (22)$$

其中: $d_1 = \|h_k^{(m_1)} - h_k^{(m_2)}\|, d_2 = \|\mu_n^{(m_1)} - \mu_n^{(m_2)}\|, d_3 = \|\sigma_n^{(m_1)} - \sigma_n^{(m_2)}\|, \alpha=0.4, \beta=0.4, \gamma=0.2$; $\|\bullet\|$ 表示特征向量之间的欧式距离; $h_k^{(m_1)}, h_k^{(m_2)}$ 分别表示查询图像和图库中图像的低频子图像的边缘图像的不变矩 ($k=1, 2, \dots, 21$); $\mu_n^{(m_1)}, \mu_n^{(m_2)}$ 分别表示查询图像和图库中图像的高频子图像的均值 ($n=1, 2, \dots, 9$); $\sigma_n^{(m_1)}, \sigma_n^{(m_2)}$ 分别表示查询图像和图库中的图像的高频子图像的标准差, ($n=1, 2, \dots, 9$), d 的值越小, 表明它们越相似。

2.4 图像检索算法

- 1) 对图像进行 L 层小波提升变换; 得到各层的子图像。
- 2) 求出图像模极大值的平均值 t_0 。
- 3) 取 1 到 L 层的低频子图像, 分别求它们的模极大值的平均值 t_l ; 并设 $t_{l-3} + t_{l-2} + t_{l-1}$ 为阈值, 检测出

小波变换域中模是局部极大值且大于阈值的点, 得到边缘图像 E_l ($l=1, 2, \dots, L; l-3 \geq 0, l-2 \geq 0, l-1 \geq 0$)。

4) 分别计算 l 幅边缘图像 E_l 的 7 个不变矩, 可得一个 $1 \times 7l$ 的一维数组: $F_x = [h_i^l]$ ($l=1, 2, \dots, L, i=1, 2, \dots, 7$), 作为整个图像的边缘特征向量; 并对其进行归一化处理。

5) 取每层的高频子图像计算其对应的均值 μ_j^l 和标准差 σ_j^l , 得到整个图像纹理特征向量:

$$F_E = [\mu_i^l, \sigma_j^l] (l=1, 2, \dots, L, i=1, 2, \dots, 3l, j=1, 2, \dots, 3l)。$$

6) 将图像的边缘特征和纹理特征组合, 得到图像的复合特征 $F = [F_x, F_E]$ 。

7) 根据公式(22)计算查询图像和图库中的每幅图像之间的距离; 距离越小, 相似程度越高。

3 实验结果和分析

本文实现了一个实验系统。测试使用文献[9]中 SIMPLiCity 系统测试集, 它是从 Corel 图像库选取的 600 幅图像, 包括 10 类, 每类 60 张, 如恐龙, 汽车、花、海滩、建筑、非洲土著居民等。在下面的两次实验中, 共选取 6 类图像(恐龙图, 马、海滩、公共汽车、花、建筑), 对每一类图像随机抽取 1 幅作为查询图像。在实验中选择 db2 小波对图像进行 $L=3$ 层提升变换。由于, 灰度共生矩阵法是公认的、经典的纹理图像检索方法, Mallat 小波变换也是比较经典的算法, 具有一定的权威性, 因此用它们和本文的算法做比较, 具有一定的说服力。限于篇幅, 只取三类结果, 如图 3-图 11 所示:

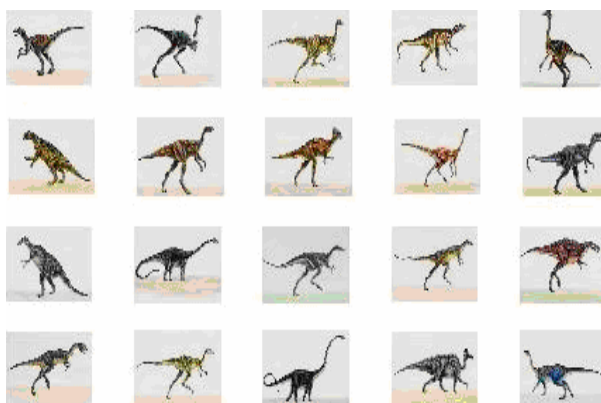


图 3 基于灰度共生矩阵的图像检索算法(恐龙)

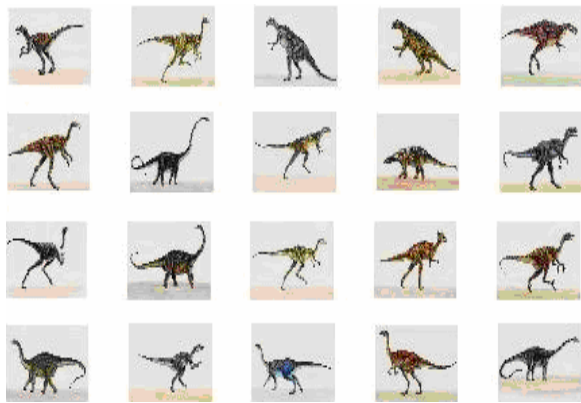


图 4 基于 Mallat 小波变换的形状和纹理特征图像检索算法(恐龙)

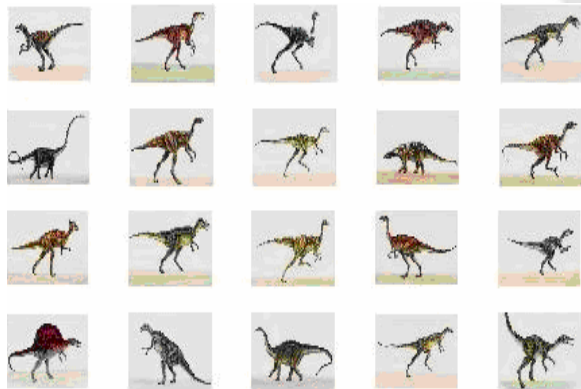


图 5 本文检索算法(恐龙)



图 6 基于灰度共生矩阵的图像检索算法(花)

图 3 到图 11 中, 系统返回 20 幅图, 其中第一幅图为查询图像。在图 3 到图 5 中, 可看到轮廓清晰的恐龙类图像, 三种算法都检索出了 20 幅图像。而在图 6 到图 8 中, 形状明显且纹理清晰的花类图像, 经典的灰度共生矩阵法检索出了 17 幅, 基于 Mallat 小波

变换法的检索算法和本文的算法检索出了 18 幅。图 9 到图 11 中, 边缘和纹理清晰的公共汽车类图像, 经典的灰度共生矩阵法检索出了 11 幅, 基于 Mallat 小波变换的图像检索算法检索出了 18 幅, 本文的算法检索出了 19 幅。

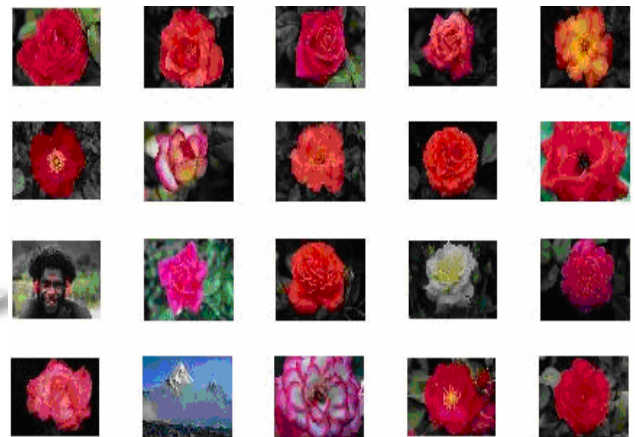


图 7 基于 Mallat 小波变换的形状和纹理特征图像检索算法(花)

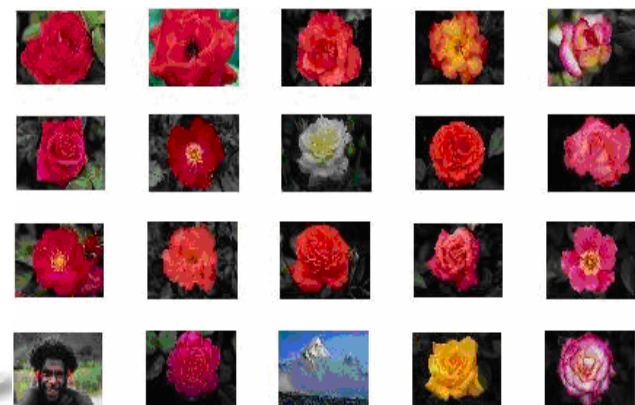


图 8 本文检索算法(花)

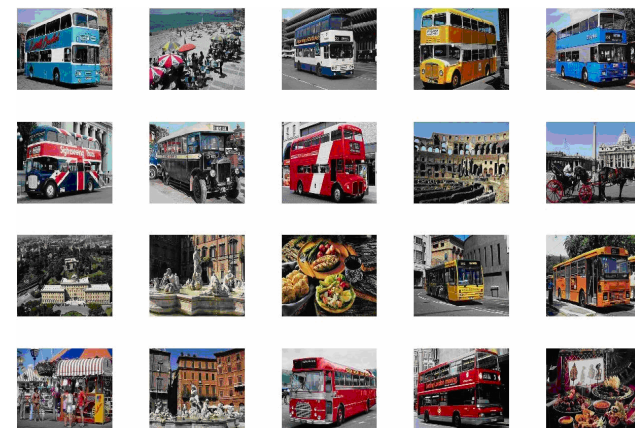


图 9 基于灰度共生矩阵的图像检索算法(公共汽车)

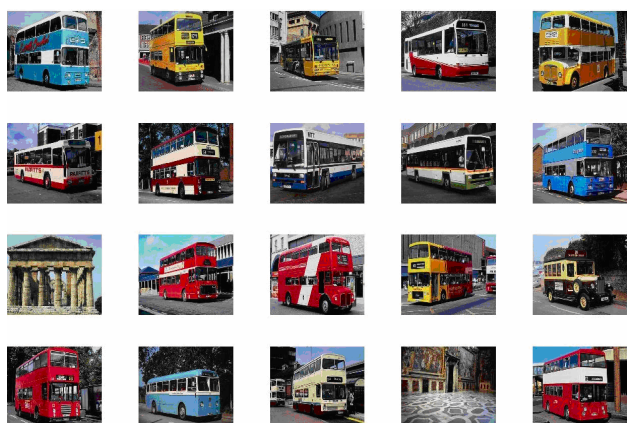


图 10 基于 Mallat 小波变换的形状和纹理特征图像检索算法(公共汽车)

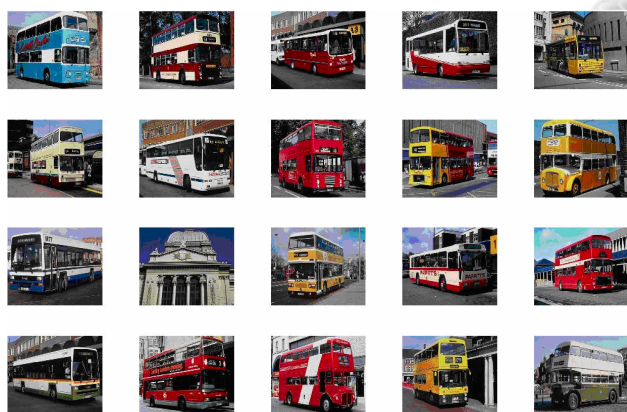


图 11 本文检索算法(公共汽车)

本文用查全率(recall)^[10]和查准率(precision)^[11]来评价算法的优劣。查全率指：系统返回的查询结果中相关图像的数目占图像库中所有相关图像数目(包括返回的和没有返回的)的比例。设是一幅查询图像，其查全率和查准率可分别定义为：

$$R = n / N, P = n / F \quad (23)$$

其中， N 为图像数据库中找出的与查询图像 w 相似的图像数目； n 为一次查询中检索系统检索到的相关图像； F 为检索系统自动检索输出的总的图像数目。这两个指标越大，表明该检索系统的效果越好。以下为各种算法检测结果的比较表。

实验 1：对恐龙、花、马三类图像检索

实验 2：对公共汽车、建筑、海滩类图像的检索

从表 1 和表 2 中不难看出，灰度共生矩法，虽然对各类图像查询所需的时间短，但是它所对应的查全率 P (%)和查准率 R (%), 大部分情况下，明显低于 Mallat 小波变换法和本文的算法(对于马类图像，灰度共生矩

阵法对应的查全率和查准率高于本文中的其他两种算法)。而 Mallat 小波变换法和本文的检索算法，在对应的查全率 P (%)和查准率 R (%)相同的情况下，本文的算法所需的查询时间明显低于 Mallat 小波变换法的查询时间。由此可见，本文的检索算法优于其他两种算法；具有一定的实用性和通用性。

表 1 三种方法的检索性能数据比较

图像类别	查全率 P (%)			查准率 R (%)			检索时间(s)		
	灰度共生矩阵法	Mallat 小波法	本文算法	灰度共生矩阵法	Mallat 小波法	本文算法	灰度共生矩阵法	Mallat 小波法	本文算法
	恐龙	33	33	33	100	100	100	390	1342
花	28	30	30	85	90	90	412	589	518
马	23	18	20	70	55	60	389	1152	1058

表 2 三种方法的检索性能数据比较

图像类别	查全率 P (%)			查准率 R (%)			检索时间(s)		
	灰度共生矩阵法	Mallat 小波法	本文算法	灰度共生矩阵法	Mallat 小波法	本文算法	灰度共生矩阵法	Mallat 小波法	本文算法
	汽车	18	30	32	55	90	95	404	825
建筑	10	25	25	30	75	75	405	743	676
海滩	15	22	23	45	65	70	392	848	788

4 结语

本文提出了一种基于提升小波提取形状和纹理特征的图像检索算法，首先，对图像进行三层 db2 小波提升变换，得到每层的低频子图像和高频子图像；其次，对低频子图像采用动态阈值提取形状(边缘)特征；对高频子图像，通过计算它们的均值和标准差来提取纹理特征；最后，计算图像各特征之间对应的欧式距离，完成检索过程。尽管本文的算法，具有形状特征描述能力，且能够体现一定的纹理特性，但是缺乏对图像语义的描述，如对土著居民的检索效果不是很理想，对此将在下一步进行研究探讨。

(下转第 131 页)

算法复杂度等进行分析, 决定采用垂距限值法进行数据的抽稀; 在显示雷达回波图像, 利用了 OPENGL 的采用双缓冲动画结构, 采用双层图像结构用于显示雷达图像; 同时根据电磁波反射原理, 分析静态目标的遮挡情况, 给出静态目标的回波生成算法, 并使用单个线性表用于存储回波产生区域, 并对算法进行了实现。然而, 本文设计的系统还存在一定的不足之处, 其主要在回波生成方法中用到了较多的判断两线段是否相交, 求两线段交点, 以及直角坐标与极坐标之间的转换等运算量较大的算法, 因此在大数据量的雷达/ARPA 模拟器上速度上会显得较慢, 这是今后有待改进的地方。

参考文献

- 1 王世远. 航海雷达与 ARPA. 大连: 大连海事大学出版社: 1998.
- 2 Modern Radars Demand So phisticated Signal Simulation, MSN, May 1990.
- 3 李柯, 金一丞. 圆周扫描方式雷达模拟器图像生成的研究. 大连海事大学学报, 1996, 22(4): 37-40.
- 4 尹勇, 刘秀文, 李志华. 采用真雷达显示器的航海雷达模拟器的关键技术. 系统仿真学报, 2007, 19(5): 1014-1017.
- 5 邹小海, 韩宏伟, 华祖耀. 雷达模拟器中地物杂波信号仿真的方法研究. 计算机仿真, 2007, 27(6): 280-183.
- 6 Dave Shreiner. OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL, Versions 3.0 and 3.1, Addison-Wesley Professional, 2011.
- 7 王宏, 樊世友, 陈再旺. 基于 OpenGL 的雷达显示器计算机仿真的实现. 计算机系统应用, 2006, 15(6): 55-60.
- 8 张剑, 杨雷, 董晓明. 基于 OpenGL 的雷达显示器仿真. 中国舰船研究, 2009, 4(5): 71-74.
- 9 张宏, 温永宁, 刘爱利. 地理信息系统算法基础. 北京: 科学出版社, 2006.
- 10 Gao, J.L. 2D and 3D Surface Image Processing Algorithms and their Application [PhD Dissertation]. New Jersey Institute of Technology, May, 2001.
- 11 刘彦花, 叶国华. 矢量曲线抽稀算法分析. 城市勘测, 2001 (4): 1-4.

(上接第 80 页)

参考文献

- 1 Balmelli L., Mojsilovi A. Wavelet Domain Features for Texture Description, Classification and Replicability Analysis. Proc. of IEEE ICIP99. 1994, 4: 440-444. Image and Video Databases, 1994, 2185: 34-47.
- 2 Chang T, Kuo CCJ. Texture analysis and withtree-structured-wavelet transform. IEEE Trans. on Image Processing. 1993, 2(4): 429-441.
- 3 Laine A, Fan J. Texture classification by wavelet packet signatures. IEEE Trans. Pattern And Machine Intel., 1993, 15: 1186-191.
- 4 Sweldens W. The lifting scheme: A custom design construction of biorthogonal wavelets. Appl. Harmon. Anal, 1996, 3(2): 186-200.
- 5 赵志杰, 林茂六, 曹志民, 刘增玉. 基于 db2 提升小波的可伸缩视频编码方法. 通信学报, 2009, 1, 30(1): 88-94.
- 6 Daubechies I. et al. Factoring wavelet transforms into lifting steps. J Fourier Anal Appl, 1998, 4(3): 247-269.
- 7 李丽君. 小波模极大值法在图像检索中的应用. 科技情报开发与经济, 2007, 3(17): 169-170.
- 8 孙即祥. 图像分析. 北京: 科学出版社, 2005: 123-124.
- 9 杨红颖, 吴俊峰, 于永健, 王向阳. 一种基于 HSV 空间的彩色边缘图像检索方法. 中国图象图形学报, 2008, 13(10): 2036-2038.
- 10 刘忠伟, 章毓晋. 综合利用颜色和纹理特征的图像检索. 通信学报, 1999, 20(5): 36-40.
- 11 王华, 戴芳. 一种基于基元的彩色图像检索方法. 计算机系统应用, 2011, 20(1): 95-99.