

# 基于多进制小波变换的渐进式纹理图像检索

程起敏<sup>1</sup> 杨崇俊<sup>1</sup> 邵振峰<sup>2</sup>

(1 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室,北京市大电路甲 3 号,100101)  
(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

**摘 要:**提出了一种基于多进制小波变换的渐进式纹理图像检索方法,纹理图像的特征通过多进制小波分解结果来描述,用低频子图小波系数标准方差和多进制小波直方图结合相应的相似性距离函数,实现目标图像数据库由粗到精的渐进式检索。通过 Bordatz 和 USC 纹理图像数据库来检验本方法的精度和效率,获得了较理想的试验结果。

**关键词:**多进制小波;渐进式图像检索;小波系数标准方差;小波直方图;纹理

**中图法分类号:**TP751;P237.3

小波变换以其独特而强大的纹理特征检索能力正受到越来越多的关注,但现有的研究基本上都是基于二进制小波变换的。多进制小波是近几年刚刚发展起来的小波分析理论的一个新的组成部分,它提供了更大的小波选择范围,并找到了具有更好性质的小波函数,而这些性质是二进制小波所不具备的<sup>[1]</sup>。多进制小波在图像处理和分析中已有的应用包括图像压缩、边缘检测<sup>[1]</sup>、图像融合<sup>[2,3]</sup>、图像分类<sup>[4]</sup>、非监督图像分割<sup>[5]</sup>等。

## 1 理论基础

### 1.1 多进制小波变换的多尺度分析

多进制小波可以理解为频率域的分解问题,区别于二进制小波把频率域分解成 2 个通道, $M$  ( $M>2$ )进制小波把频率域分解成  $M$  个通道。多进制小波和多通道滤波器组( $M$ -channel filter bank)之间具有密切的联系,多通道滤波器组示意图,多通道理想滤波器组理论包含了如何去设计  $h_s(n)$ ,  $s \in \{0, 1, \dots, M-1\}$  和  $g_s(n)$ ,  $s \in \{0, 1, \dots, M-1\}$  使得  $y(n) = x(n)$ ,即理想完全重建理论,不仅给小波变换提供了快速计算结构,而且是有些小波理论的出发点<sup>[2,4]</sup>。

多进制小波的基本构造理论是多尺度分析。在二进制的情况下( $M=2$ ),基本小波函数只有一

个,记为  $\psi(x)$ ,可以由尺度函数  $\varphi(x)$  惟一确定;而在多尺度情况下( $M \geq 2$ ),有  $M-1$  个小波函数,记为  $\{\psi_s(x) | 1 \leq s \leq M-1\}$ ,不能由尺度函数  $\varphi(x)$  惟一确定<sup>[1,3]</sup>。

### 1.2 多进制小波的分解和重构

将一维多进制小波变换通过张量积推广到二维,可实现二维信号(图像)的多分辨率分解和重构。数字图像  $\{a_{0,k,l}\}$  的多进制正交小波分解和重构公式参见文献<sup>[1,6]</sup>。

### 1.3 将多进制小波变换应用于图像检索的出发点

从多进制小波理论的分析可以看出,多进制小波克服了二进制小波仅能处理分辨率之比为  $(1/2)^l$  的情况,以及在小波基的选择上有所限制的局限性,适合于分析带宽相对较窄的高频信号,同时一级多进制小波分解即可产生数量为  $M \times M$  的子带,这些性质非常有利于提高图像纹理描述的准确性。

## 2 算法思想

### 2.1 基于多进制小波变换的渐进式纹理特征检索方法描述

首先对纹理图像作多进制小波分解,计算出低频子图小波系数标准方差,通过计算查询图像和目标图像的低频子图小波系数标准方差的相似

性距离获取两者的相似程度,以此实现纹理图像的粗略检索,将不满足相似性距离条件的图像,从图像库中过滤掉,否则参与精确检索过程;对于纹理图像特征的精确描述,则采用小波直方图技术,这是因为小波直方图技术(wavelet histogram technology, WHT)是一种从空间域-频率域中自动提取图像的纹理区域特征并通过二进制集合来表示的纹理描述方法,具有较高的纹理识别能力以及较快的图像查询效率,通过计算查询图像和目标图像的多进制小波直方图之间的相似性距离获取两者的相似程度,返回满足相似性距离条件的图像作为检索结果输出,完成精确的检索过程。

2.2 基于低频子图小波系数标准方差的粗略检索过程

首先对纹理图像作多进制小波分解,图 1 给出了多进制小波( $M=3$ )分解示意图, $X$  表示原始图像, $X_{11} \sim X_{13}$  表示经过三进制小波分解后的结果, $X_{11}$  对应于图像的低频信号,即低频子图;其余的 8 个信号表示图像的高频信号。计算出低频子图小波系数标准方差  $\sigma_{LL}$ ,用来粗略描述图像的纹理特征。

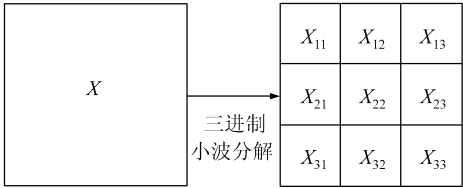


图 1  $M$  进制小波( $M=3$ )分解示意图  
Fig. 1 Decomposition of  $M$ -band Wavelet( $M=3$ )

图像数据库所有目标图像的低频子图小波系数标准方差  $\sigma_{LL}^T$  通过离线计算方式得到,并存入特征库。当用户提交查询图像时,在线对查询图像进行多进制小波分解并计算低频子图的小波系数标准方差  $\sigma_{LL}^Q$ ,按照公式(4)计算查询图像和目标图像的低频子图小波系数标准方差之间的相似性距离  $\text{sim}(Q, T)$ 。与预设距离阈值  $D_{\sigma}^{\text{TV}}$  相比较,如果  $\text{sim}(Q, T)_{\sigma} > D_{\sigma}^{\text{TV}}$ ,则进入下一步的精确检索过程,否则从目标库中过滤掉。

$$\text{sim}(Q, T)_{\sigma} = | \sigma_{LL}^Q - \sigma_{LL}^T | \quad (1)$$

2.3 基于多进制小波直方图的精确检索过程

1) 多进制小波直方图及多进制快速小波直方图。

小波直方图技术提供了灵活的纹理特征多尺度描述手段以及简便的相似性距离计算方法,快速小波直方图技术是在小波直方图技术基础之上、为降低小波直方图级数从而提高效率而提出

来的一种技术<sup>[7]</sup>。然而,小波直方图最初的提出及目前的应用都是基于二进制离散小波变换(DWT)的,为了结合小波直方图在图像特征检索方面的优势以及多进制小波变换在描述图像细节信息方面的优势,本文提出采用多进制小波直方图技术( $M$ -band wavelet histogram technology, MWHT)实现纹理图像的检索方法。

多进制小波直方图技术实质上是将目标图像与查询图像之间的相似程度通过多进制小波变换转化为纹理特征二进制集合,并采用直方图来描述。图 2 给出了基于  $M(M=3)$  进制小波变换的纹理抽取、特征集合描述示意图,其中,  $H_0$ 、 $\delta_0$  和  $G_0$  分别是用于进行纹理分类的小波滤波器、用于二值化的预设阈值和用于进行纹理特征增强的非线性滤波算子。图 3 以三进制小波为例,描述了多进制小波直方图的产生过程。

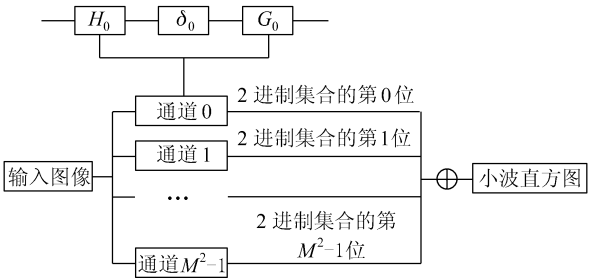


图 2 基于  $M$  进制小波变换的  
纹理抽取、特征集合描述示意图  
Fig. 2  $M$ -band-Wavelet-based Texture  
Extraction and Representation

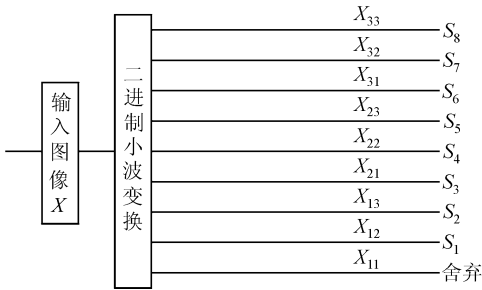


图 3  $M$  进制小波( $M=3$ )小波直方图产生框图  
Fig. 3 Generation of  $M$ -band Wavelet Histogram

需要说明的是,由于一级多进制小波分解即可产生数量足够多、高频细节信息足够丰富的通道,因此仅作一级分解。这样在提取各个通道上纹理信息的过程中,省去了向下采样和向上采样的步骤。然而多进制小波直方图的缺点在于在提高细节信息精度的同时,也提高了计算复杂度,一级  $M$  进制小波分解将产生级数为  $2^{M^2-1}$  的小波直方图。当  $M=3$  时,小波直方图的级数为 256。

随着  $M$  的增大,计算复杂度迅速增加。为了降低多进制小波直方图的级数,提高检索效率,本文同时提出可以通过采用局部纹理特征空间的方法构造多进制快速小波直方图,即多进制快速小波直方图技术( $M$ -band fast wavelet histogram technology, MFWHT),具体选用的特征空间依具体情况而定。

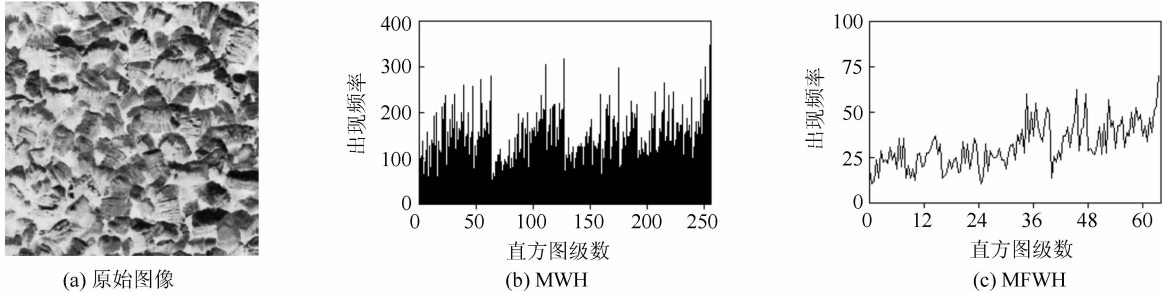


图 4 多进制( $M=3$ )小波直方图示例  
Fig. 4 Example of  $M$ -band Wavelet Histogram

2) 多进制小波直方图的相似性计算。

纹理图像的精确检索通过比较查询图像和目标图像的多进制小波直方图之间的相似性距离  $\text{sim}(Q, T)_{\text{MWH}}$  来实现,参见式(2):

$$\text{sim}(Q, T)_{\text{MWH}} = \sum_{j=1}^N \left( 1 - \frac{|H_H(t)_j - H_H(q)_j|}{\max(H_H(t)_j, H_H(q)_j)} \right) \quad (2)$$

式中,  $N$  表示直方图级数;  $H(t)_j$  和  $H(q)_j$  分别表示目标图像和查询图像的小波直方图级数  $j$  对应的频率。

将  $\text{sim}(QT)_{\text{MWH}}$  与预设距离阈值  $D_{\text{MWH}}^{\text{TV}}$  相比较,如果满足  $\text{sim}(QT)_{\text{MWH}} > D_{\text{MWH}}^{\text{TV}}$ , 则作为检索结果输出。

3 试验及分析

3.1 试验数据及性能评价方法

本文中用到的试验数据由来自 Bordatz 纹理数据库的 39 种纹理和 USC 纹理数据库的 19 种纹理,共计 58 种纹理组成。其中 33 幅大小为 1 024 像素×1 024 像素,25 幅大小为 512 像素×512 像素,通过影像切割得到 532 幅互不重叠的大小为 256 像素×256 像素的纹理图像,组成目标图像库。采用按例查询方式,查询图像为从目标图像库中任意选取的一幅图像,原则上认为从一幅原始图像分解的结果图像具有相似的纹理特征,因此,理想状况下,对查询图像的检索结果应该是与之同属于一幅原始图像的其他图像。

图 4 给出了一个多进制( $M=3$ )小波直方图效果示例图,图 4(a)为原始的纹理图像,大小为 256 像素×256 像素;图 5(b)为对应的三进制小波直方图,直方图级数为  $2^8=256$  级;图 4(c)为舍弃了  $S_2$  和  $S_6$  的三进制快速小波直方图,直方图级数降低为  $2^6=64$  级。

本文采用查准率 (precision) 和查全率 (recall) 作为评价检索性能的两个指标,分别描述检索到的相似图像的准确性和全面性<sup>[5]</sup>:

$$\begin{cases} \eta_p = n/M \\ \eta_r = n/N \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $\eta_p$  为查准率,  $\eta_r \in [0, 1]$ ;  $\eta_r$  为查全率,  $\eta_r \in [0, 1]$ ;  $n$  为一次检索到的相似图像的个数;  $M$  为一次检索返回的图像个数;  $N$  为图像库中与查询图像相似的图像总数。

3.2 试验结果及分析

本文试验中,查询图像和图像库中所有目标图像均采用一级三进制小波分解,图 5 给出了一个渐进式检索结果图,左边为查询图像选择及参数设置区,右边为查询结果显示区。图中显示了从目标图像库中查询出的与查询图像最为相似的 8 幅影像。

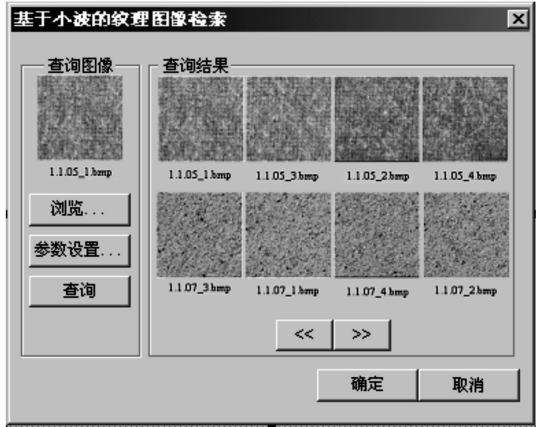


图 5 一个利用本文方法得到的查询结果图  
Fig. 5 Query Result

试验中用到的低频子图小波系数标准方差的相似性距离阈值  $D_s^{TV}$  和小波直方图的相似性距离阈值  $D_{MWH}^{TV}$  分别为 0.2 和 0.5。表 1 从查全率、查准率和直方图级数对比了三级二进制小波变换和一级三进制小波变换针对一组相同的查询图像和相同的目标图像库,得出的平均查全率和平均查准率。可以看出,基于一级三进制小波变换的算法效果比较好,充分反映了多进制小波变换在纹理检索中的优越性。

表 1 检索算法性能比较  
Tab.1 Performance Comparison

检索算法	平均查全率/%	平均查准率/%	小波直方图级数
一级三进制小波变换	76.3	81.2	256
三级二进制小波变换	73.8	77.4	512

参 考 文 献

1 朱长青. 小波分析理论与影像分析. 北京:测绘出版社,1998.127~136

2 王智均,李德仁,李清泉. 多进制小波理论在 SPOT 和 TM 影像融合中的应用,武汉大学学报·信息科学版,2001,26(1):24~28

3 朱长青,王倩,杨晓梅. 基于多进制小波的 SPOT 全色影像和多光谱遥感影像融合. 测绘学报,2000,29

(2):132~136

4 Chitre Y, Dhawan A P. *M-Band Wavelet Discrimination of Natural Textures*. Pattern Recognition,1999,32 (5):773~789

5 Acharyya M, Kundu M K. An Adaptive Approach to Unsupervised Texture Segmentation Using *M-Band Wavelet Transform*. Signal Processing, 2001,81(7):1 337~1 356

6 唐向宏,谢书琴,李奇良,等. *M* 带小波变换在图像压缩中的应用. 电路与系统学报,2003,7(1):108~111

7 Kokare M, Chatterji B N, Biswas P K. *M-band Wavelet Based Texture Features for Content Based Image Retrieval*. Electronics and Electrical Communication Engineering Department, 2002

8 汪祖媛. 基于树状小波分解的纹理图像检索. 中国图像图形学报,2001,6A(11):1 065~1 069

9 Uller H M, Uller W M, Squire D M, et al. Performance Evaluation in Content-based Image Retrieval: Overview and Proposals. Pattern Recognition Letters, 2001, 22(5):593~601

第一作者简介:程起敏,博士生。现主要从事网络地理信息系统、遥感图像处理、基于内容的图像检索研究等。  
E-mail:chengqm77@hotmail.com

Progressive Texture Image Retrieval Based on M-Band Wavelet Features

CHENG Qimin<sup>1</sup> YANG Chongjun<sup>1</sup> SHAO Zhenfeng<sup>2</sup>

(1 State Key Laboratory of Remote Sensing Information Sciences, IRSA, CAS, 3 Datun Road, Beijing 100101,China)

(2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** A *M*-band-wavelet-based features for progressive texture image retrieval method is presented. The information of a texture image is acquired through *M*-band wavelet decomposition of the original image. The integration of two feature descriptors, wavelet-coefficient standard deviation of the approximation sub-image and *M*-band wavelet histogram, and their corresponding distance similarity measure functions are used to realize progressive retrieval of target texture image databases. Finally, a texture database obtained from Bordatz album and USC image database is used to check the retrieval performance of the proposed method.

**Key words:** *M*-band wavelet; progressive image retrieval; wavelet-coefficient standard deviation; wavelet histogram; texture

About the first author: CHENG Qimin, Ph.D candidate, majors in WebGIS, Web-based GPS vehicle monitoring and content-based information retrieval.  
E-mail: chengqm77@hotmail.com