

# 面向图象压缩的图象分类及压缩结果预测

张旗<sup>1)</sup> 梁德群<sup>2)</sup> 李文举<sup>3)</sup> 沈小艳<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(大连海事大学自动化与电气工程学院, 大连 116026) <sup>2)</sup>(大连海事大学信息工程学院, 大连 116026)

<sup>3)</sup>(辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 大连 116038)

**摘要** 图象数据存在冗余使图象压缩成为可能, 而不同图象的数据冗余度特别是空间冗余度相差很大, 对被压缩图象的空间冗余度这一图象的本质属性进行研究、减少图象压缩及方法选择时的盲目性是非常必要的, 为此提出了面向图象压缩的图象分类这一新概念以及具体分类算法. 该算法利用图象小波高频系数的分布特点, 采用图象边缘度作为图象空间冗余度的度量, 将不同内容的图象按边缘度大小分类. 分类的结果可对不同图象的压缩结果进行预测. 实验结果表明, 图象分类结果和对压缩结果的预测是有意义的, 并与人的视觉相吻合. 该分类思想对其他图象处理算法的选择和优化也有参考价值.

**关键词** 计算机图象处理(520·6040) 图象压缩 图象边缘度 图象分类 小波变换

**中图法分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)04-0409-06

## Image Classification for Image Compression and Compression Result Forecast

ZHANG Qi<sup>1)</sup>, LIANG De-qun<sup>2)</sup>, LI Wen-ju<sup>3)</sup>, SHEN Xiao-yan<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Automation and Electrical Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026)

<sup>2)</sup>(School of Information Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026)

<sup>3)</sup>(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116038)

**Abstract** There is a considerable amount of redundant information in image data which makes image compression possible. Redundancy of data, spatial redundancy in particular varies with different images. It is necessary to study the spatial redundancy of compressed images and reduce the random selection of image compression methods. In this paper, a novel idea of image classification for image compression is proposed and its algorithm is presented too. The distribution of wavelet high-frequency coefficients in images is considered while edge active measure (EAM) is defined to describe the nature of images in this algorithm. By EAM images can be classified and compression result can be forecasted. The experiments have shown that the image classification and result forecast implemented in this paper make sense and correspond to human visual understanding. The idea suggested in this paper has been of great value to the election and optimization of algorithms for different purposes.

**Keywords** Computer image processing, Image compression, Image EAM, Image classification, Wavelet transform

## 0 引言

图象压缩是指以较少的比特率有损或者无损地(指信息)表示原来像素矩阵的技术, 也称图象编码. 图象数据存在冗余, 特别是存在空间冗余使图象压缩成为可能. 随着多媒体技术的飞速发展, 各种各样的图象压缩方法不断涌现. 但在实际应用时, 往往是

孤立地使用特定的方法, 如 DCT 编码、小波变换编码、分形编码等等. 由于缺乏对图象本质属性, 特别是图象空间冗余度的分析与研究, 使得压缩方法的选择和使用具有较大的盲目性.

然而, 在图象处理之前对图象整体进行分析是一个富有挑战性的工作, 特别是根据不同的处理目的对图象的基本属性进行分析研究仍很少见. Karu 等人用一种粗略的测度来判断图象中是否有纹理存在<sup>[1]</sup>;

Ran 等人将图象分成边缘区、平滑区和纹理区<sup>[2]</sup>; Chou 基于不同尺度下的边缘强度和模糊推理将图象像素分成边缘点,平滑点和纹理点<sup>[3]</sup>;也有的学者提出了基于图象邻域方向性测度的图象像素分类方法<sup>[4]</sup>.但是这些研究并没有进一步就面向某一图象处理目的,对整幅图象进行分析与研究.文献[5]中虽然定义了描述图象整体信息含量的图象信息度量,且该定义在一定程度上反映了图象所含信息量的大小,但它既没有考虑结构信息,也没给出更细的定量分类.

本文首先探讨了对整幅图象本质属性进行客观描述的必要性和可能性.在研究了图象小波高频系数的基础上,提出了面向图象压缩的图象分类新概念,即按图象的边缘度对图象进行分类,利用该分类结果可对图象的压缩结果进行预测.

## 1 图象的基本属性与图象边缘

图象分类与分类的目的密切相关.角度不同对图象的看法也不同.比如,按艺术的观点,边缘模糊的图象可能是一幅“很美”的、梦幻般的图象,但从图象增强的任务出发,这就成了质量差的图象.同理,目的不同,对图象进行分析与处理的结果也会不同.如目前图象研究领域中热门的“基于内容的图象检索”,是在图象数据库中找出满足某一特定内容的图象处理过程,显然这种分类是按照图象的内容(如人

物图象、动物图象、风景图象等)进行的.

对于一般的图象处理来说,关于图象属性可以有一个统一的观点,即图象属性分为物理的和几何(或结构)的.物理属性包括灰度特性(强度、分布和变化情况)和噪声特性(类型、强度和分布等);几何属性包括区域特性(整体和分区的灰度分布和纹理特性等)和边缘特性(类型、强度和方向等).心理学的研究表明:①图象是由不同知觉意义的3部分组成的,即平滑区、边缘区和纹理区<sup>[2]</sup>,如果灰度变化比较平缓,则属于平滑区,如果灰度变化比较剧烈,则属于边缘区,边缘区内边缘的密度是区分边缘区和纹理区的依据;②高质量图象的平滑区应足够平滑,边缘应有足够的强度;③人的视觉系统(HVS)识别对象和允许失真的能力对不同区域也是不同的.按照这一观点,可将内容不同的图象按人们的视觉特点进行简单分类,如图1所示.

对图1进行比较可以发现:被处理的图象不仅内容不同,其边缘的分布也不相同.从压缩的观点来看就是图象的空间冗余度相差较大.大量的实验结果也表明,不同的图象适合于不同的压缩算法,比如平滑图象适合DCT方法,纹理图象适合分形方法,中间级别的图象可用混合算法.因此客观地对边缘分布不同的图象进行描述与分类是非常必要的,其实际意义在于:

(1) 由于高压缩比和高质量是图象压缩的目

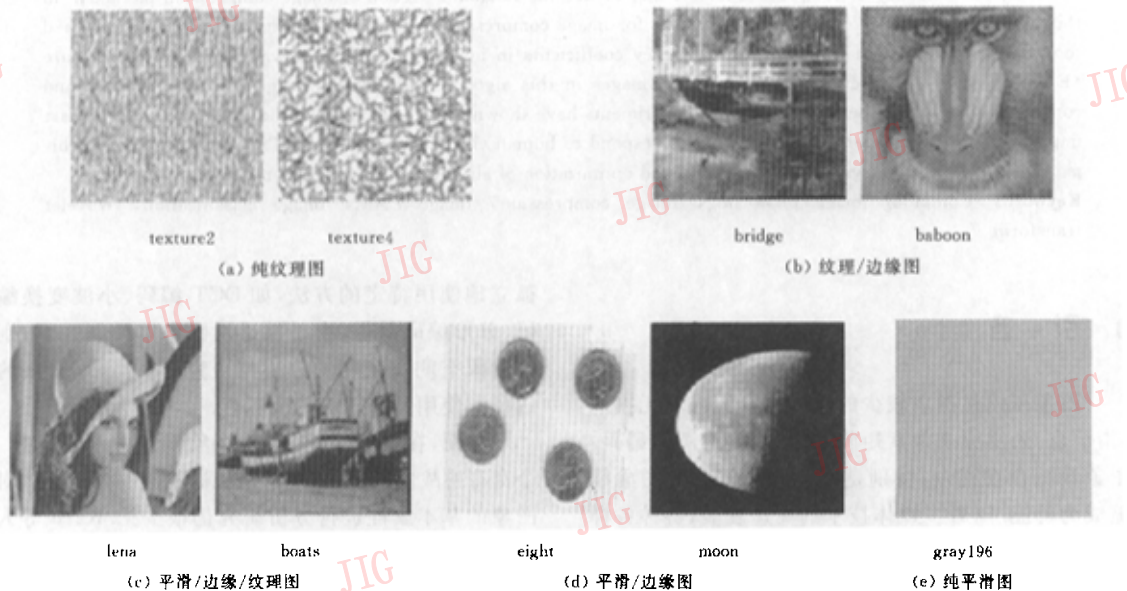


图1 平滑区、边缘区、纹理区不同的图象对比

标,而这一目标与图象中边缘的分布密切相关.对图象边缘的分布情况进行描述就有可能对图象压缩结果进行预测

(2) 图象边缘是图象的本质属性之一.在图象压缩时,可根据其强度与分布情况选择不同的压缩方法或确定相关参数,为自适应压缩算法提供客观依据;

(3) 考虑人的视觉特点,可着重从边缘损失来考查压缩结果,进而做出更客观的定量评价.

为此,从图象压缩角度出发,找出了描述图象边缘的度量方法,并按该量的大小对图象进行了分类,此分类结果还可对各类图象的压缩结果进行预测.

## 2 基于图象边缘度的图象分类

### 2.1 算法流程

边缘是图象灰度变化的一种表示.图象的边缘(纹理)不仅反映了图象的灰度统计信息,还反映了图象的空间分布信息和结构信息,因而在图象属性研究中,特别是在图象压缩过程中具有重要的意义.时(空)频分析方法是描述边缘(纹理)的有效方法<sup>[6]</sup>,而小波变换在时域和频域上同时具有良好的局部化性质.经过对小波系数统计分析和大量实验发现,低频的小波系数能量集中,是图象压缩算法处理的重点,而由小波分解后低频部分与高频部分的关系<sup>[7,8]</sup>可知,高频部分反映的是图象边缘的变化与分布,因此只要利用小波分解的高频部分就可以对图象边缘进行度量.

基于边缘度的图象分类方法流程如图 2 所示,即在研究小波高频系数的基础上,定义一个描述图象边缘程度的图象边缘度,并进一步对图象进行分类,同时研究图象边缘度与压缩结果之间的关系.

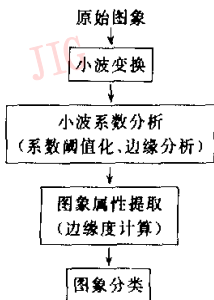


图 2 基于边缘的图象分类流程

### 2.2 算法实现

首先对图象进行 3 层小波变换,如图 3 所示.  $HL_i$  代表图象水平方向的高频( $i$  表示层数);  $LH_i$  代表图象垂直方向的高频;  $HH_i$  代表图象对角线方向的高频.由于小波变换后的高频系数反映了图象边缘的变化与分布,而  $HH_i$  带所反映的主要是高频噪声,所以在后面的分析中,主要对小波分解的  $HL_i$  和  $LH_i$  子带的高频系数进行研究<sup>[9]</sup>.

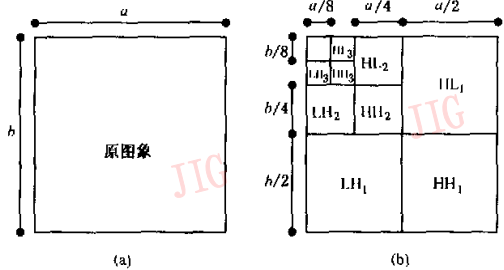


图 3 图象的小波变换

设  $D(i, j)$  为图象经小波分解后的某高频系数,考察小波分解的高频系数分布可知<sup>[9]</sup>:系数的均值接近 0,而方差的大小可作为边缘度量的基础.设  $s$  为该子带系数的标准差,则对各子带系数进行二值化可得

$$D_{bw}(i, j) = \begin{cases} 1 & D(i, j) > s \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

以 Lena 图为例,二值化后的结果如图 4 所示,其中系数为“1”可认为是活动的(图中的白点),系数为“0”可认为是非活动的(图中的黑点)<sup>[9]</sup>.由图 4 可以看出:二值化后小波高频系数(即系数的活动性)反映了图象边缘的分布情况.

为了对图象块边缘活动情况进行计算,将原图象分为  $P \times Q$  个块( $P$  与  $Q$  分别为水平方向与垂直方向的子图象块的个数),对于每个子图象有与之相对应的二值化高频系数子阵,该子阵的元素由“0”或“1”组成.根据视觉块的性质<sup>[9]</sup>和图 4 可知:每个图象块在任何一个尺度下,平滑区由于块内图象灰度变化平缓,二值化后该块含有较少的活动系数,而边缘区域只在边缘附近有活动系数(块内“0”比“1”的个数多),纹理区域有接近 50% 的活动系数(块内“0”与“1”的个数接近相同),因此可定义第  $(m, n)$  个图象块的边缘活动度(edge active measure)  $E_{m,n}$  为该块相对应的二值化后高频系数子阵  $D_{bw}$  的方差,即:

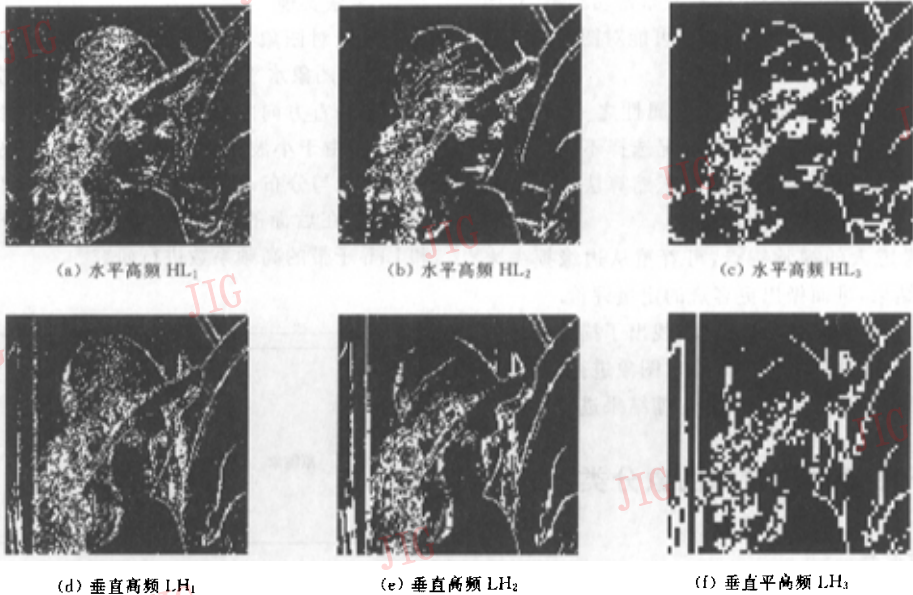


图 4 Lena 图象小波高频系数的二值图

$$E_{m,n} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K (x_k - \bar{x})^2 \quad (2)$$

$$m = 1, \dots, P, n = 1, \dots, Q$$

其中,  $x_k$  为子阵中的元素值,  $\bar{x}$  为该子阵中元素的均值,  $K$  为元素的个数. 子块中活动系数“1”的个数与边缘活动度的关系如图 5 所示. 图中水平方向为子块中活动系数“1”的个数, 垂直方向为边缘活动度. 以  $4 \times 4$  和  $8 \times 8$  的子阵为例, 活动系数为“1”的个数的变化范围分别为  $0 \sim 16$  和  $0 \sim 64$ . 由图 5 可以看出式(2)所定义的图象块的边缘活动度具有以下性质:

(1) 边缘活动度的大小与图象块的边缘活动频繁程度成正比. 对于边缘活动最频繁处(活动系数

个数约为 50%), 边缘活动度为最大, 而无边缘处(平滑处), 边缘活动度为 0.

(2) 边缘活动度与子图象的大小无关.

在计算每个图象块的边缘活动度的基础上, 考虑 3 个尺度下, 6 个小波高频系数, 就可得到用来描述整幅图象边缘程度的图象边缘度 EAM (edge active measure):

$$EAM = \frac{1}{P \times Q} \sum_{m=1}^P \sum_{n=1}^Q \frac{1}{6} \left( \sum_{i=1}^3 E_{m,n}^h + \sum_{i=1}^3 E_{m,n}^v \right) \quad (3)$$

其中,  $E_{m,n}^h$  为三尺度下水平方向  $(m, n)$  子图象的边缘活动度阵, 该阵由水平方向的  $E_{m,n}$  组成,  $E_{m,n}^v$  为三尺度下垂直方向  $(m, n)$  子图象块的边缘活动度阵, 该阵由垂直方向的  $E_{m,n}$  组成. 显然, 图象边缘度 EAM 可对图象的边缘进行度量. 它在一定程度上反映了图象的基本属性. 图象的边缘分布不同, 它的边缘度也不相同, 而不同内容的图象却可能有相同的边缘度.

### 3 实验结果

按照上述方法, 对几十幅图象进行了实验, 得到了各图象的边缘度见表 1~表 4, 其中图象边缘度 EAM 是归一化后的结果. 进一步对实验结果进行分析与研究, 结合人的视觉感觉, 可将被处理图象按其边缘度的大小分为 5 类, 如表 5 所示.

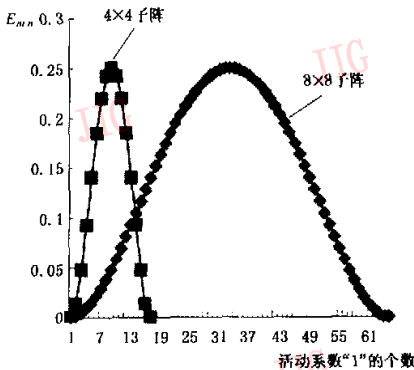


图 5 '1' 的个数与边缘度的关系

表 1 图象边缘度大于 0.6 的图象集

图象名	texture1	texture2	texture3	texture4
图象边缘度	0.820 0	0.773 5	0.665 5	0.658 0

表 2 图象边缘度介于 0.6 与 0.4 之间的图象集

图象名	bridge	baboon	rice	skull	shot1	goldhill	blood	crowd	pout
图象边缘度	0.553 0	0.540 5	0.496 0	0.491 5	0.446 5	0.421 5	0.417 5	0.406 0	0.404 0

表 3 图象边缘度介于 0.4 与 0.2 之间的图象集

图象名	circuit	lake	tire	couple	barbara	lena	boats	columbia	enamel
图象边缘度	0.396 5	0.381 5	0.369 0	0.353 5	0.338 5	0.294 5	0.292 0	0.272 0	0.235 5

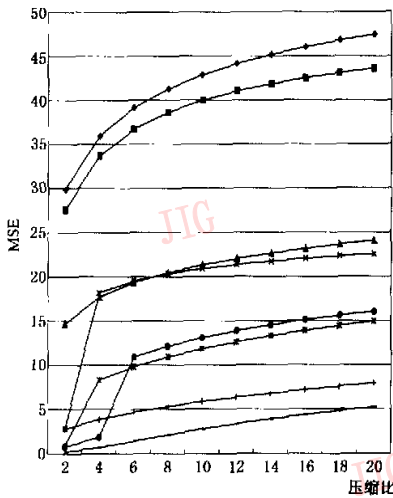
表 4 图象边缘度介于 0.2 与 0.1 之间的图象集

图象名	ic	saturn	moon	alumgrns	eight
图象边缘度	0.199 5	0.199 5	0.189 5	0.176 5	0.120 0

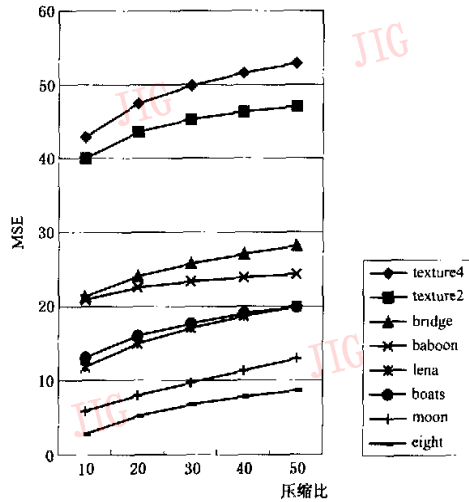
表 5 图象类别与图象边缘度

边缘度	图象类别	图象特点	图象例
大于 0.6	第 1 类边缘图象	纯纹理图象	图 1(a)
0.6~0.4	第 2 类边缘图象	纹理/边缘图象	图 1(b)
0.4~0.2	第 3 类边缘图象	纹理/边缘/平滑图象	图 1(c)
0.2~0.1	第 4 类边缘图象	边缘/平滑图象	图 1(d)
小于 0.1	第 5 类边缘图象	纯平滑图象	图 1(e)

为了找出不同类图象与压缩结果的关系,对图 1 所示的不同类别的图象采用了相同的、基于小波分解的方法进行了压缩实验,结果如图 6 所示。从图 6 可以看出,对于不同边缘度的图象,压缩的结果大不相同;在相同的压缩比下,图象边缘度较大的图,恢复后的误差也大;反之,恢复后的误差较小,对于纯平滑图象,恢复后的图象是没有误差的,这一结果表明,可以利用图象边缘度的大小来对图象的压缩结果进行预测,这也与人们的主观视觉相吻合。



(a) 小压缩比时 MSE 的变化曲线



(b) 大压缩比时 MSE 的变化曲线

图 6 图象边缘度与图象压缩结果的关系

需要强调的是:面向图象压缩的图象分类不同于基于内容的图象分类,在图象处理中是一个比较新的课题,这方面的研究工作还很少,目前尚没有公认的客观评价标准。从上述的分析与实验可以得到以下结论:

(1) 图象边缘度可以对图象本质属性即被压缩图象的空间冗余度进行客观描述。

(2) 图象边缘度与图象压缩结果密切相关,是影响压缩算法效率的重要因数。

(3) 在图象压缩时,可根据图象边缘度的大小或图象的类别选择不同的压缩方法或确定相关参数。如对于表 5 所定义的第 1 类、第 2 类边缘图象,可考虑采用分形压缩方法;对于第 2 类、第 3 类边缘图象,可考虑采用混合的自适应方法,即根据子块的边

边缘自适应地选择参数,如孩子块基本是平滑区,可尽量取低频系数,从而加大压缩比,在纹理区则要注意适当保留高频分量;对于较简单的第4类、第5类边缘图象可采用小波或DCT压缩方法。

## 4 结 论

首次从面向图象处理任务(图象压缩)的角度出发,提出了对图象的边缘信息进行度量与分类的概念,并对分类的重要性与可行性进行了讨论。从分析、比较及实验的结果看,图象边缘度(EAM)不仅可对图象压缩结果进行预测,而且也可对压缩算法及参数的选择有指导意义。进一步的工作是研究图象存在噪声时,对图象边缘度的影响以及与压缩结果的关系。当然,在实际应用中,还应在自适应性和复杂性方面进行综合考虑。

在图象处理领域中,大部分的研究工作都集中在算法的研究和改进上,对被处理的对象——图象的本质属性(特征)进行分析或分类研究则涉及很少。本文虽然只对图象边缘与压缩的关系进行了初步的探讨,但其基本思想对其他图象处理算法的选择和优化也有参考价值。

## 参 考 文 献

- 1 Karu K, Jain A K, Bolle R M. Is there any texture in the image? [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(8):1437~1446.
- 2 Ran X, Favardin N. A perceptually motivated three-component image model-Part I: description of the model[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1995, 4(3):430~447.
- 3 Chou W S. Classify image pixels into shaped, smooth and textured points[J]. Pattern Recognition, 1999, 32(9):1697~1706.
- 4 杨海军,梁德群,毕胜等.基于图象方向性信息测度的图象像素分类[J].中国图象图形学报,2001,6A(5):429~433.
- 5 [美]张系国著.图象信息系统设计原理[M].北京:科学出版社,1990:46~47.
- 6 Mallat S, Zhong S. Characterization of signals from multiscale edges [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(7):710~732.
- 7 Johnsen O, Shentov O V, Mitra S K. A technique for the efficient coding of the upper bands in subband coding of images [A]. In: Proc. IEEE ICASSP'90 [C], Albuquerque, NM, USA, 1990, 4:2097~2100.
- 8 Mohsenian M, Nasrabadi M M. Edge based subband VQ techniques for images and video[J]. IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol, 1994, 4(1):53~67.
- 9 Ramos Marcia G, Hemami S S, Tamburro M A. Psychovisually-based multiresolution image segmentation [EB/OL]. <http://foulard.ee.cornell.edu/publications.html>, 2001-08-01

**张 旗** 1960年生,副教授,1985年获大连海事大学自动化专业硕士学位,现为大连海事大学通信与信息系统专业在职博士生。主要研究兴趣有小波在图象处理中的应用、图象检测、模式识别。



**梁德群** 1940年生,教授、博士生导师,1966年毕业于西安交通大学工业企业电气化与自动化专业。主要从事图象处理和模式识别的研究,目前主要研究兴趣是低级视觉、并行结构和图象检测。



**李文举** 1964年生,副教授,1992年获西安交通大学工业自动化专业硕士学位,现为大连海事大学通信与信息系统专业在职博士生。主要研究方向为图象处理、模式识别等。



**沈小艳** 1962年生,副教授,1989年获大连海事大学通讯与电子专业硕士学位,现为大连海事大学通信与信息系统专业在职博士生。目前主要从事信号分析与图象处理的研究。