

基于感兴趣区的图像编码与渐进传输

卓 力¹, 沈兰荪¹, LAM Kin-man²

(1. 北京工业大学信号与信息处理研究室, 北京 100022;

2. Department of Electronic & Information Engineering, HongKong Polytechnic University, HongKong)

摘要: 本文采用一种任意形状的整型或非整型小波变换, 结合高效的 SPIHT (Set Partitioning In Hierarchical Trees) 图像编码算法, 分别实现了任意形状感兴趣区的无损压缩和非感兴趣的有损压缩算法. 另外本文还提出了两种感兴趣区优先编码策略, 可以保证在极低的码率下感兴趣区的重建质量远远好于非感兴趣区的重建质量, 满足用户快速、个性化的浏览需求. 这些方法得到的压缩码流都具有嵌入的特点, 支持渐进传输.

关键词: 适形小波编码; 提升小波; SPIHT 算法; 感兴趣区; 渐进传输

中图分类号: TN919. 81 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 03-0411-05

Region of Interest Based Image Coding and Progressive Transmission

ZHUO Li SHEN Lan-sun LAM Kin-man

(1. Signal & Information Processing Lab, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China;

2. Department of Electronic & Information Engineering, HongKong Polytechnic University, HongKong)

Abstract: In this paper, combined with highly efficient SPIHT algorithm, an arbitrary shape integer or non-integer wavelet transform is employed to implement the lossless compression of region of interest (ROI) with arbitrary shape and lossy compression of non-ROI. Further, two strategies of ROI coding with priority are proposed to guarantee that the reconstructed image of ROI can achieve more better visual quality than non-ROI even at very low bit rate, which will satisfy the quick and individual browse requirement of users. The compressed bitstreams are all embedded and suitable for progressive transform.

Key words: adaptive shape discrete wavelet transform; lifting scheme; SPIHT algorithm; region of interest; progressive transmission

1 引言

随着全球网络的迅速发展, 人们对基于网络的图像/ 视频传输、浏览、检索等多媒体应用有了更为广泛的需求^[1]. 因此提出了图像渐进传输要求: 先传输图像的轮廓, 然后边传输数据边解码, 用户可以得到不断提高了的图像质量. 如果用户发现所传输的图像是自己所需的, 则继续接收图像数据; 否则用户可以停止接收图像数据, 转而去浏览新的图像. 这种渐进的传输方式允许用户不必对压缩码流完全解码就可以了解图像的基本信息, 减轻了网络的传输压力, 提高了用户的浏览速度.

很显然, 现有的一些基于分块 DCT 变换的编码方法不能支持渐进传输. 而嵌入式的编码方法在编码时依照图像/ 视频信息的重要性程度依次进行, 码流按照信息的重要性程度放置. 因此重要的图像/ 视频信息被首先编码, 并被放在码流的初始部分. 这种编码方法允许对码流任意截断, 重建的图像质量与解码比特数成正比, 是一种支持渐进传输的编码策略.

在遥感、医学等应用领域, 人们往往只对一幅图像中的部分区域感兴趣, 而该区域之外的图像意义不大, 这部分区域往往被称作“感兴趣区”. 从压缩的角度看, 可以对这些区域采用无损或近无损的方法进行压缩, 而感兴趣区之外可以采用高压比处理, 在保证不丢失重要信息的同时, 又能有效地压缩数据量. 而从网络传输的角度看, 基于感兴趣区的编码方法与渐进传输结合起来, 使得用户不必完全接收整幅图像就可以清晰地浏览图像中感兴趣部分的内容, 能更好地满足用户的个性化浏览需求. 因此, 具有高效的压缩能力、支持感兴趣区编码并适合网络渐进传输的图像编码方法就成为目前的研究热点^[2~5].

本文采用一种可用于任意形状区域的整型或非整型小波变换, 结合 SPIHT 图像编码算法, 分别实现了感兴趣区的无损压缩和非感兴趣的有损压缩算法以及感兴趣区优先编码策略. 这些方法不仅可以高效地对任意形状的感兴趣区进行编码, 压缩后的码流还具有嵌入的特点, 支持渐进传输.

收稿日期: 2003-01-28; 修回日期: 2003-10-18

基金项目: 863 项目 (No. 2001AA121061, 2002AA123041); 国家自然科学基金 (No. 90104013, 90304001); 北京市教委 (No. KZ200310005004, KM200410005022)

2 任意形状感兴趣区的小波变换

二维适形小波变换也包括水平和垂直两个方向的滤波。首先进行的是逐行水平滤波,每一行包含在形状区域内的像素将组成一个或多个水平分段。如果将低通滤波器的中心对齐在偶数位置上(如 $2i$),而将高通滤波器的中心定义在奇数位置上(如 $2i+1$),那么对这些分段水平滤波后,偶数列对应的是低通系数,奇数列对应的是高通系数,如图 1 所示。

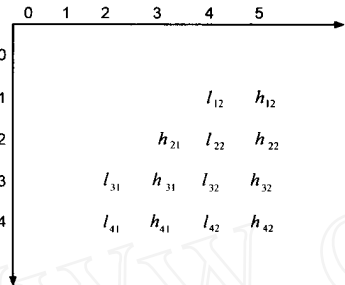


图 1 水平滤波后低通和高通系数对齐示意图

适形小波变换^[6]

可以对任意形状的区域进行小波变换,变换后的小波系数数目与该区域内所包含的像素数相同,并将该区域内的能量集中到为数不多的几个小波系数中;同时保留了小波系数的空间相关性、局部性、尺度间的自相似性等特点,便于进一步的高效压缩。

由 Daubechies 和 Sweldens 等提出的提升小波是构造紧支集双正交小波的一种新的方法。经过证明,任何 FIR 小波滤波器都可以分解为提升步骤。提升小波不仅可以提高小波变换的速度,易于边界扩展,还能将整数变换为整数形式,因而常用于图像的无损压缩。

我们将提升机制应用到适形小波变换中,实现了一种任意形状区域的整型或非整型小波变换。在适形小波变换中对水平和垂直方向的分段进行滤波时,不再采用滤波操作,而是采用提升方法。如果需要整型小波变换,则对各个阶段的中间结果取整,从而实现任意形状感兴趣区的整型或非整型小波

变换。

图 2 所示的是采用适形提升小波变换对 Lenna 图像的感兴趣区进行整型小波变换和非感兴趣区非整型变换的结果,其中整型变换采用的是 5-3 双正交滤波器,非整型变换采用的是 9-7 双正交滤波器。从图 2(c) 可以看出,经过适形小波变换后,感兴趣区小波图像保留了不同尺度间自相似特性、能量在空间、频率上的集中特性、衰减的谱分布特性等,便于下一步的压缩。

3 SPIHT 图像编码算法

SPIHT 算法是 Said 和 Pearlman 在 EZW (Embedded Zero-tree Wavelet) 算法基础上提出的一种高效的图像编码方法^[8],本文采用这种算法对小波图像进行编码。SPIHT 算法充分考虑了小波系数在空间、频率上能量集中的特性、不同尺度间小波系数的自相似特性以及衰减的谱分布特性,在继承了 EZW“零树”思想的基础上,设计了一种新的“空间方向树”结构来更有效地组织小波系数,每个树包括了同一空间位置处所有子带中的小波系数,因此 SPIHT 算法可以获得比 EZW 算法更高的压缩效率^[8]。

与 EZW 相同,SPIHT 算法也基于这样的假设:如果一个空间方向树的父节点是不重要的,那么很有可能它的子孙也是不重要的。为了有效表示小波系数的位置与幅度信息,SPIHT 算法采用了三个列表:重要像素列表 (LSP, List of Significant Pixels);不重要像素列表 (LIP, List of Insignificant Pixels);不重要集列表 (LIS, List of Insignificant Sets)。

如果采用整型小波变换,SPIHT 算法还可以进行图像的无损压缩。表 1 所示的是 SPIHT 无损压缩算法与 JPEG2000 国际标准无损压缩算法对 Lenna (512 × 512) 整幅图像编码效果的比较。从表 1 看出,SPIHT 算法的无损压缩效率要高于 JPEG2000 国际标准。

表 1 SPIHT 算法和 JPEG 2000 无损压缩效果比较

| 无损压缩算法 | JPEG2000 | SPIHT 算法 |
|------------|----------|----------|
| 压缩效率 (bpp) | 4.31 | 4.19 |

如果初始阈值选定为 2 的幂次方,则 SPIHT 算法可以看作是一种比特平面编码 (bit-plane coding) 方法,即从最重要的比特平面开始,每次编码一个比特平面。因此 SPIHT 算法不仅能以较小的复杂度实现对图像的无损或有损高效压缩,还可以得到完全嵌入的、具有连续可分级特性的输出码流,便于实现精确的码率控制,支持渐进传输。

4 感兴趣区的编码机制

4.1 感兴趣区的无损编码及非感兴趣区的有损编码

在本文中我们对原有的 SPIHT 算法进行了改进:若一个空间方向树所包含的全部系数均不在小波图像的感兴趣区内,则跳过对该空间方向树的编码;若一个空间方向树的部分系数不包含在感兴趣区内,则跳过对该系数的重要性检测;若一个空间方向树的系数全部包含在感兴趣区内,则采用原来的

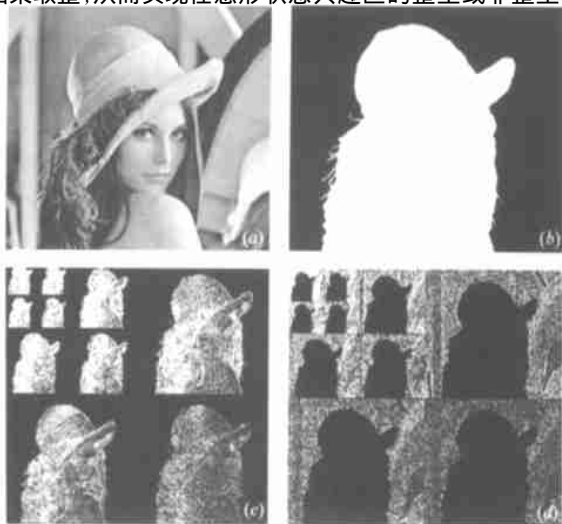


图 2 Lenna 图像的感兴趣区整型小波变换图像和非感兴趣区的非整型小波变换图像 (a) Lenna 原始图像; (b) 感兴趣区的形状; (c) 感兴趣区的三级整型小波变换图像; (d) 非感兴趣区的三级非整型小波变换图像

SPIHT 算法对该空间方向树进行编码. 实验结果表明, 在相同的码率下, 改进的 SPIHT 算法的性能可以比原有的方法提高 0.2 dB 左右.

4.2 感兴趣区优先编码策略

感兴趣优先编码策略是在对整幅图像进行编码时, 优先对感兴趣区进行编码, 感兴趣区和非感兴趣区的码流混杂在一起, 无法完全区分. 在解码端, 解码器首先对感兴趣区的码流进行解码. 在极低码率时, 感兴趣区也可以比非感兴趣区呈现更好的质量, 便于用户浏览.

如前所述, 当阈值为 2 的幂次方时, SPIHT 算法本质上是一种比特平面编码方法, 幅度值小的小波系数将被优先编码. 如果各小波子带内感兴趣区所对应的小波系数的比特平面上移得足够多, 则感兴趣区小波系数将被优先编码. 比特平面上移相当于使小波系数乘以 2 的幂次方^[9], 即

$$C(i, j) = C(i, j) \times 2^{\text{shift-value}} \quad (1)$$

其中 $C(i, j)$ 为各个子带内感兴趣对应的小波系数, $C(i, j)$ 为比特平面上移后的小波系数, shift-value 为上移的比特平面数. 图 3 为比特平面上移示意图.

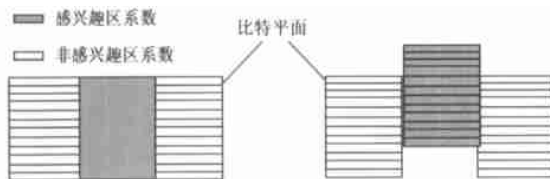


图 3 比特平面上移示意图

本文基于这种比特平面上移机制, 提出了两种感兴趣区优先编码方案.

方案 1 首先对感兴趣区和非感兴趣区分别进行适形小波变换, 将感兴趣区的小波系数进行比特平面上移后与非感兴趣区的小波系数重新组合成整幅的小波图像, 然后采用原有的 SPIHT 算法对小波图像进行编码. 编码过程如图 4 所示. 解码是编码的逆过程, 先进行 SPIHT 解码, 感兴趣区内的小波系数比特平面下移后, 再分别进行感兴趣区和非感兴趣区小波反变换, 最后将感兴趣区和非感兴趣区的解码图像组合成整幅解码图像.

方案 2 首先对整幅图像进行小波变换, 然后对感兴趣区的形状图像进行 Lazy 变换得到各个小波子带内感兴趣区的位置, 如图 5 所示. 根据 Lazy 变换图像将各个子带内感兴趣区的小波系数进行比特平面上移, 最后用原有的 SPIHT 算法对整幅小波图像进行编码. 编码过程如图 6 表示. 解码过程与方法 1 的解码过程类似: 先进行 SPIHT 解码, 然后根据 Lazy 变换图像将各个子带内感兴趣区的小波系数进行比特平面下移, 最后进行小波反变换的得到解码图像.

比较起来, 方案 2 允许用户在编码的过程中改变感兴趣区, 而对于方案 1 来说, 一旦确定感兴趣区, 则编码过程中无法再更改. 方案 1 需要进行两次适形小波变换, 而方案 2 需要一次适形、一次 Lazy 变换. 二者均需要比特平面上移、SPIHT 编码等过程, 因此方案 2 实现起来更加灵活, 运算复杂度也要略低于方案 1.

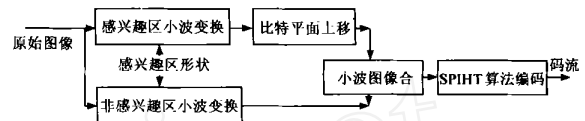


图 4 感兴趣区优先编码方案一框图

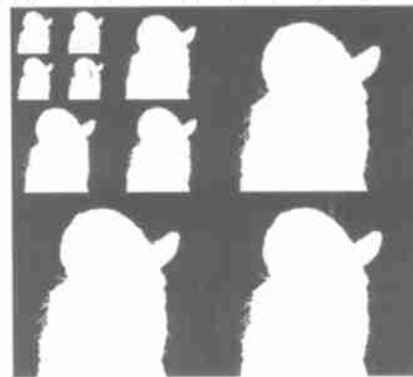


图 5 Lenna 感兴趣区形状图像的 3 级 Lazy 变换



图 6 感兴趣区优先编码策略方法二框图

5 实验结果

为了验证本文方法的有效性, 我们分别对标准灰度测试图像进行了实验. 在进行无损和有损压缩时, 本文分别采用 5-3 双正交小波滤波器和 9-7 双正交小波滤波器, 并进行 5 级小

表 2 感兴趣区无损压缩以及非感兴趣区的有损压缩算法编码结果

| | 像素数(个) | 所用比特数(bit) | 压缩率(bpp) | PSNR(dB) |
|----------------------|--------|------------|----------|----------|
| 整幅图像无损压缩 | 262144 | 1119138 | 4.19 | — |
| 感兴趣区无损压缩 | 126351 | 622491 | 4.93 | — |
| 非感兴趣区有损压缩 | 135793 | 33949 | 0.25 | 38.77 |
| | | 67897 | 0.50 | 40.21 |
| | | 101845 | 0.75 | 41.41 |
| 感兴趣区无损压缩 + 非感兴趣区有损压缩 | 262144 | 135793 | 1.0 | 42.52 |
| | | 656440 | 2.50 | — |
| | | 690388 | 2.63 | — |
| | | 724336 | 2.76 | — |
| | | 758284 | 2.89 | — |

波分解. 需要指出的是, 本文提出的这些方法无论是编码端还是解码端, 都需要用户首先确定感兴趣区的形状. 而感兴趣区的形状和大小将对整个编、解码结果产生很大的影响. 形状编码属于其他领域的研究范畴. 在本文中, 我们假设形状信息对编、解码器来说都是已知的.

5.1 感兴趣区无损压缩和非感兴趣区有损压缩

我们对 Lenna (512 × 512, 8bpp) 标准测试图像进行了实验, 原始 Lenna 图像如图 2(a) 所示, 感兴趣区的形状如图 2(b) 所示. 表 2 所列的分别是感兴趣无损压缩和非感兴趣区有损压

缩的结果. 从表 2 中可以看出, 与整幅图像无损压缩相比, 对感兴趣区进行无损压缩而对非感兴趣区进行有损压缩, 在保证不丢失图像中重要信息的情况下可以大大小小提高图像的压缩比. 另外, 由于对感兴趣区和非感兴趣区采用的是嵌入式的编码方法, 因此该编码方法能支持感兴趣从有损到无损、非感兴趣区从低质量到高质量的渐进传输. 图 7 中所示的分别是 Lenna 图像的感兴趣区从 0.03bpp、0.125bpp 有损直到无损渐进传输的过程.



图 7 Lenna 图像从有损到无损渐进传输结果 (a) 0.03bpp; (b) 0.125bpp; (c) 无损压缩

表 3 两种感兴趣区编码策略的编码结果比较

| 编 码 方 法 压 缩 率 (bpp) | 方 案 1 | | 方 案 2 | | 原 有 的 SPIHT 算 法 | |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 整幅图像 PSNR (dB) | 感兴趣区 PSNR (dB) | 整幅图像 PSNR (dB) | 感兴趣区 PSNR (dB) | 整幅图像 PSNR (dB) | 感兴趣区 PSNR (dB) |
| 0.125 | 24.23 | 31.90 | 24.32 | 31.66 | 25.32 | 24.92 |
| 0.25 | 26.92 | 35.16 | 27.06 | 34.90 | 28.09 | 27.59 |
| 0.50 | 31.03 | 39.19 | 31.10 | 39.12 | 32.08 | 31.93 |
| 0.75 | 34.01 | 42.166 | 34.14 | 41.98 | 35.02 | 34.61 |
| 1.0 | 36.32 | 45.27 | 36.40 | 45.05 | 37.44 | 37.32 |

5.2 感兴趣区优先编码策略

我们对 Barbara (512 × 512, 8bpp) 标准测试图像进行了实验, 原始 Barbara 图像如图 8(a) 所示, 感兴趣区如图 8(b) 所示, 所包含的像素数为 23567, 上移的比特平面数为 2. 表 3 中所示的是两种感兴趣区编码策略在各种速率下的编码结果. 图 8(c) ~ (f) 所示的是采用方案 2 得到的 Barbara 图像编码与渐进传输的结果.

从表 3 中可以看出, 方案 1 和方案 2 虽然实现方法不同, 但编码效率基本相当, 且都支持渐进传输. 前面已经分析过, 方案 2 的计算复杂度略低于方案 1, 且实现简单, 允许在编码过程中改变感兴趣区. 从图 8 可以看出, 与未采用感兴趣区优先编码策略的 SPIHT 算法相比, 即使在极低的码率下, 本文的方法也能使感兴趣区呈现极好的清晰度, 这样用户只需要接收浏览感兴趣区的内容. 随着传输的渐进进行, 感兴趣区的重建图像越来越清晰.

需要说明的是, 感兴趣区的大小和比特平面上移的数目将直接影响到最后的解码结果. 比特平面上移得越多, 在感兴趣区相同的情况下极低码率时感兴趣区的重建质量越好. 而

在比特平面上移相同数目的情况下, 感兴趣区越小, 感兴趣区的重建质量越好.

6 结论

本文利用任意形状区域的小波变换, 首先实现了感兴趣区无损压缩和非感兴趣区有损压缩算法, 这种方法在保证感兴趣区的信息没有任何丢失的情况下, 大大小小提高了编码效率. 由于对感兴趣区和非感兴趣区采用的是嵌入式的编码方法, 因此该编码方法能支持感兴趣区从有损到无损的渐进传输, 同时非感兴趣区的压缩码流也支持从低质量到高质量的渐进传输.

本文还实现了两种感兴趣区优先编码方案, 这两种方案在支持渐进传输的同时, 还可以保证在极低码率的情况下, 感兴趣区可以比非感兴趣区呈现更高的重建质量. 用户如果对整幅图像感兴趣, 则可以继续下载码流的其它部分, 否则可以停止对该图像数据的传输, 进而转向浏览其他的图像, 因此可以节约用户浏览图像的时间.

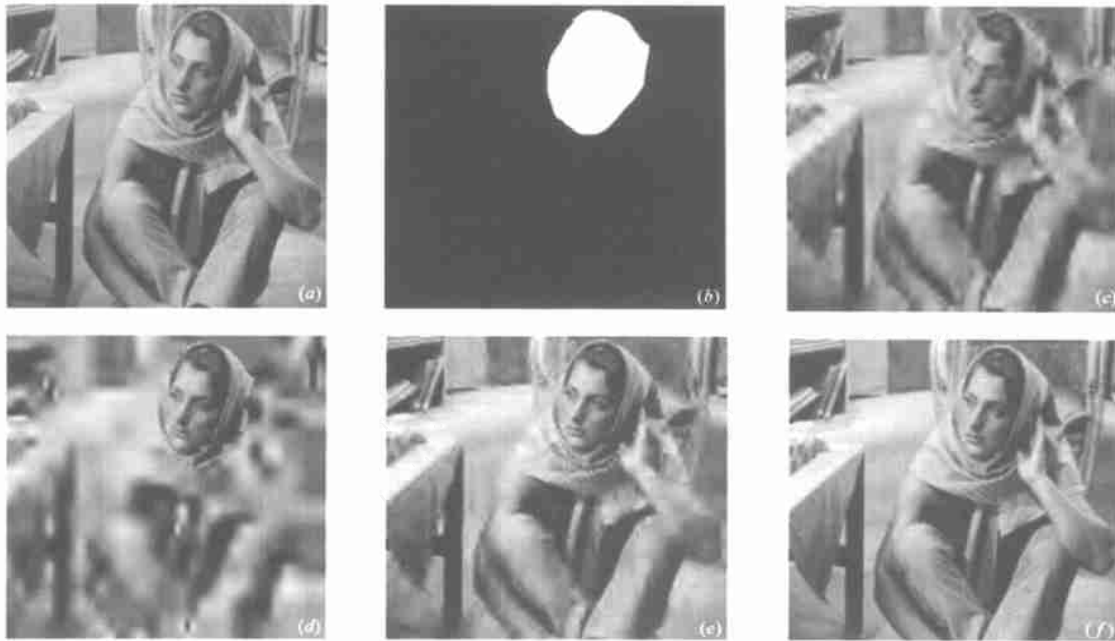


图 8 Barbara 图像编码与渐进传输的结果 (a) Barbara 原始图像;(b)感兴趣形状;(c)未采用感兴趣区优先编码策略(0.03bpp)时得到的解码图像;(d)采用方案 2 (0.03bpp)时得到的解码图像;(e)采用方案 2 (0.25bpp)时得到的解码图像;(f)采用方案 2 (1.0 bpp)时得到的解码图像;

参考文献:

- [1] 沈兰荪,卓力,等. 视频编码与低速率传输[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [2] Keun-hyeong Park, Hyun Wook Park. Region-of-interest coding based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Trans Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(2): 106 - 113.
- [3] Eui-Sung Kang, Ho-Joong Choi, Sung-Jea Ko. Progressive region of interest coding using an improved embedded zerotree wavelet coding [A]. TENCON '99 [C]. Cheju, Korea: Proceedings of the IEEE, 1999 (1): 609 - 612.
- [4] Charilaos Christopoulos, et al. Efficient methods for encoding regions of interest in the updating JPEG2000 still image coding standard [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2000, 7(9): 247 - 249.
- [5] 卓力,沈兰荪,等. 基于 DCT 变换的渐进式图像编码方法[J]. 电子学报, 2002, 30(12A): 2105 - 2107.
- [6] Shipeng Li, Weiping Li. Shape-adaptive discrete wavelet transforms for arbitrarily shaped visual object coding [J]. IEEE Trans Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(5): 725 - 743.
- [7] I Daubechies, W Sweldens. Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps[R]. USA: Bell Laboratories, 1996.
- [8] Amir Said, William A Pearlman. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Trans Circuits and Systems for Video Technology, 1996, (16): 243 - 250.
- [9] 卓力,沈兰荪,等. 一种嵌入式头肩图像编码方法[J]. 电子学报, 2003, 31(12): 1832 - 1834.

作者简介:



卓力女, 1971 年 10 月生于江苏徐州, 1992 年和 1998 年分别获得电子科技大学和东南大学学士和硕士学位, 现为北京工业大学讲师、博士生, 近年来发表论文多篇, 主要研究方向为视频编码、无线 IP 视频传输等。

沈兰荪男, 1938 年 6 月生于江苏苏州, 北京工业大学教授、博士生导师, 主要研究兴趣为图像与视频信号的压缩编码、处理与传输等, 著有“图像编码与异步传输”、“视频编码与低速率传输”等多部专著, 发表学术论文 200 余篇。