

增强无线视频图像传输差错恢复能力的方法研究

王 田^{1),2)} 杨士中¹⁾

¹⁾(重庆大学通信工程学院,重庆 400044) ²⁾(重庆工商大学计算机科学与信息工程学院,重庆 400067)

摘 要 对无线网络环境下视频图像的鲁棒性传输问题进行了研究,提出了一种增强视频图像传输差错恢复能力的新方法。在编码器端采用基于DCT(discrete cosine transform)矩阵系数的快速分类算法提取图像区域分类特征与再同步信息等构成指示信息,并用考虑量化误差后改进的DCT系数强制奇偶修改方法将其嵌入到图像码流中,用于解码器端视频图像序列的差错检测、再同步和差错恢复,以此增强基于H.263+的视频图像传输的鲁棒性。实验结果表明,此方法可以有效地改善标准编解码器的传输质量,不额外增加信源传输码字,计算成本较小。

关键词 差错恢复 视频图像传输 特征提取 数据隐藏 H.263+

中图法分类号:TP391.41 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-8961(2004)10-1204-06

An Enhanced Error Concealment Approach for Video Transmission over Wireless Channel

WANG Tian^{1),2)}, YANG Shi-zhong¹⁾

¹⁾(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)

²⁾(College of Computer Science and Information Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067)

Abstract This paper gives a thorough study on video robust transmission over the noisy channel in wireless network. A novel method to enhance the ability for error resilient video transmission is proposed. In order to obtain better reconstruction quality and enhanced error concealment performance at the decoder with a H.263+ baseline function, the block classification and edge orientation information, bit-length value of macro block and other information about current block are organized together in binary form by the encoder as an indicator used for achieving detection, resynchronization and reconstruction of the errors and lost data in received video sequence. A fast classification algorithm based on calculated DCT domain matrix coefficients is employed in the proposed approach to extract numerical classification information and edge orientation value of image blocks. And all these information is imperceptibly embedded into image frame bit-stream by even-odd signaling forcibly of the DCT coefficients which has improved reduction of the visual loss and influence of image caused by modified DCT coefficients with a view of counting coefficient integral difference. Experiments and simulations on typical video sequences show that the proposed approach has a significant improvement in transmission performance against conventional techniques used in standard baseline H.263+ encoder and decoder without changing the transmitted bit-stream syntax and increasing computation cost and complexity.

Keywords error concealment, video transmission, feature extraction, data hiding, H.263+

1 引 言

由于信道干扰、噪声和衰落等因素的影响,通过无线信道传输视频图像将不可避免地出现差错和误码,导致视觉质量下降^[1]。目前,主要采用3类差错

控制技术^[2]改善图像传输质量:通过编码器与解码器之间的控制信息交互重发差错数据,如自动重发(ARQ);编码器端在编码过程中附加冗余控制码或采用特殊编码方式以保证码流的正确传输或帮助纠错,如前向误码纠错(FEC)、混合纠错(HEC)以及Turbo码等;在解码器端利用插值、估计等重构算法

基金项目:重庆市应用基础研究项目(03-8084)

收稿日期:2003-09-12;改回日期:2004-05-27

恢复丢失的数据或覆盖差错数据,如数据恢复(data Recovery)技术和差错掩盖(error concealment)技术等。

H. 263+^[3,4]针对低比特率视频图像通信应用,综合采用了多种技术,其中帧内差错恢复主要是利用帧内编码的亮度和色差平滑特性或边缘方向进行插值而对丢失块进行重构。已有的各种插值或恢复算法具有不同的特点和适用范围,对于图像中平滑区域、边缘区域、纹理区域有各不相同的恢复效果。图像重构时,平滑区域中丢失或差错的亮度和色差信息可以采用双线性插值近似恢复;边缘区域中的亮度和色差信息则可以用边缘方向上的信息近似描述,研究表明沿着边缘插补效果比双线性插值效果更好^[2]。若能根据图像区域特征选择相应的算法,将可以得到最佳的图像恢复质量。直接在解码器端提取图像区域分类特征时,受到传输过程中的误差及其扩散效应的影响使得结果的可信度较差。为此,在无线多媒体通信研究中采用了一种新的增强视频图像传输鲁棒性的方法:在编码器端基于原视频图像序列快速提取图像区域分类特征、编码长度、DCT(discrete cosine transform)系数校验和等信息构成指示信息,并将其嵌入到待传输的码流中,用于解码器端视频图像序列的差错检测、再同步和差错恢复,以此增强基于H. 263+基线编解码器进行视频图像传输的鲁棒性。在实现时,充分利用编解码过程中已计算得到DCT系数进行后续算法处理,这样可以在有效改善传输质量前提下,减小额外增加的计算成本,节省编码器端的传输码字以降低信源传输比特率,有利于频率资源有限的无线多媒体通信的应用。

2 图像区域快速分类方法

H. 263+基线编解码器基于块进行处理。因此,编码器端提取视频图像区域特征主要是对图像块进行特征分类:平滑块和边缘块。目前,有多种图像区域分类方法,如:基于梯度计算值的分类方法、基于小波变换谱特征的分类方法、基于分形测度值的分类方法、基于多项式近似误差的分类方法等^[5~8],都具有良好的区分特性,但在算法复杂性和计算量上都需要较大的成本。为了适于硬件实时处理,必须减少算法的复杂性和计算量。

图像DCT域能量具有明显的方向性,DCT系数矩阵的量值分布与其像素矩阵的量值分布有着密

切的映射关系^[9~12],利用这一特性可以形成基于DCT系数的图像块快速分类方法。从DCT系数矩阵的第一行和第一列中量值的分布关系直接区分出平滑块、边缘块(H. 263+基线编解码器中,宏块为8×8像素的图像块,在这一尺度下纹理块可以用边缘块近似处理,以便简化差错恢复处理过程中的算法)。

对于 $M \times M$ 大小的视频图像块,相应的DCT系数如下:

$$F(u, v) = \frac{2}{M} c(u)c(v) \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left[x(i, j) \times \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{2M} \right] \quad (1)$$

式中, i, j 是图像块像素空间域坐标, u, v 是图像块DCT变换域坐标,

$$c(u), c(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & u, v = 0 \\ 1 & u, v = 1, 2, \dots, M-1 \end{cases} \quad (2)$$

基于DCT系数矩阵的量值分布的快速分类算法具体如下:

(1) 计算DCT系数矩阵的第1行中的元素 $C(0, 1)$ 和第1列中的元素 $C(1, 0)$ 作为分类指示量,

$$S_v = C(1, 0) = \frac{\sqrt{2}}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} x(i, j) \cos \frac{\pi}{2M} (2i+1) \quad (3)$$

$$S_h = C(0, 1) = \frac{\sqrt{2}}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} x(i, j) \cos \frac{\pi}{2M} (2j+1) \quad (4)$$

(2) 计算图像块分类控制因子 $\lambda (\lambda > 0)$,

$$\lambda = \frac{C(0, 0)}{M^2} = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} x(i, j) \quad (5)$$

(3) 按照下面规则对图像块进行分类。

```

if  $|S_v| \cdot |S_h| \leq \lambda^2$ 
then 图像块是平滑块
else if  $|S_v| > \lambda$  and  $|S_h| \leq \lambda$ 
then 图像块是边缘块,块内有垂直边缘
else if  $|S_v| \leq \lambda$  and  $|S_h| > \lambda$ 
then 图像块是边缘块,块内有水平边缘
else if  $S_v \cdot S_h > \lambda^2$  and  $|S_v| > S_h$ 
then 图像块是边缘块,边缘呈  $0^\circ \sim 45^\circ$ 
else if  $S_v \cdot S_h > \lambda^2$  and  $|S_h| > S_v$ 
then 图像块是边缘块,边缘呈  $45^\circ \sim 90^\circ$ 
else if  $S_v \cdot S_h \leq \lambda^2$  and  $|S_h| > S_v$ 
then 图像块是边缘块,边缘呈  $90^\circ \sim 135^\circ$ 

```

else 图像块是边缘块,边缘呈 $135^\circ \sim 180^\circ$
end if

上述算法中,仅用到编码过程中已经计算得到的部分 DCT 系数进行运算处理。基于 DSP(digital signal processing)实现的编解码器中,采用快速算法的 DCT 是一个基本运算模块,充分利用图像编码处理过程的部分 DCT 系数实现块分类,具有处理速度快和计算成本低的优点。

3 指示信息的提取和传输

3.1 指示信息的提取

为了成功地在解码器端实现差错恢复,首先必须进行差错检测,对差错(被噪声干扰或信道衰落影响的破坏块)进行精确定位;检测到差错后,建立再同步以防止误码扩散到其他正常块中;最后,对破坏块进行重构实现差错恢复。在本文所用的方法中,着重利用编码器端形成的“指示信息”解决上述过程中涉及的 3 个问题:差错检测、再同步、差错块重构。

针对帧内编码的差错恢复,编码时主要提取 3 种指示信息:块插值指示信息、宏块再同步及其置信度检测信息、“过恢复”检测信息。

(1) 块插值指示信息

由图像块分类信息(B_{11})和边缘方向信息(B_{12})组成,共 4 bit。用于解码器端差错恢复时选择不同的插值算法及快速实现插值。编码时,采用前面提到的快速分类算法,把视频图像块分为平滑块、边缘块两类,用 1bit 予以标识。边缘块的方向特征用 6 个基本区间值进行量化,得到 3bit 的边缘方向量化信息。

(2) 宏块再同步及其置信度检测信息

在编码器端提取宏块编码长度值(B_{21})用于再同步以防止差错扩散到未被破坏的下一块,用 12 bit(考虑 H. 263+ 中不同应用的比特率差异)表示。在解码器端用这一指示信息检测差错时,可能会遇到信任冲突问题:接收块的编码长度与对应的指示信息之间有矛盾,不能确定是块被破坏还是指示信息在传输中出现误码。为此,用 1bit 作为指示信息的置信度检测信息(B_{22})对宏块编码长度值进行奇偶校验以鉴别其可靠性,从而解决接收数据之间的信任冲突。若用更好的纠错方法(如: CRC, cyclic redundancy check)代替奇偶校验可以提高纠错性能,但要增加指示信息的数据量。

(3) 过恢复检测信息

若接收到的块中仅仅出现导致视觉质量略微降低的很小误码,这类差错可能没有被 H. 263+ 基线解码器检测到,但可能被采用本文方法增强后的解码器检测到,此时,若放弃块中所有其他可利用的信息而激活差错恢复机制完全重构块,得到的视觉质量往往比标准解码后得到的视觉质量更差,这种情况称为“过恢复”。要避免“过恢复”的情形,检测到差错后在恢复之前应对块的视觉破坏程度进行估计。接收到的块在视觉上有显著差错时,其 DCT 系数的最高几位将发生变化,可以通过对 DCT 系数和的校验来估计块的视觉破坏程度。为了最大程度地减少检测信息的数量,在编码时仅对块的 DCT 系数最高 2 位有效位分别求模 2 加法构成 2bit(B_{31} 和 B_{32})的检测信息,用于解码器端检测块的视觉破坏程度,判断是否有可能出现“过恢复”。

编码器端产生的指示信息由 4bit 的块插值指示信息、13bit 的宏块再同步及其置信度检测信息、2 bit 的过恢复检测信息构成,其数据结构如图 1 所示。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
B_{11}		B_{12}		B_{21}												B_{22}		B_{31}	B_{32}
块插值指示 (4bit)				宏块内再同步及其置信度检测 (13bit)													过恢复 检测 (2bit)		

图 1 指示信息的数据结构

3.2 指示信息的传输

对于频率资源极其有限的无线视频图像通信应用,节省传输数据量具有十分重要的意义。若把指示信息嵌入到待传输的数据中一起发送可以不增加编码器端的编码开销。在视频图像中嵌入数据的方法有很多种^[13,14],为了减小编解码器额外的处理负荷,这里采用基于图像块 DCT 系数强制性修改的方法嵌入指示信息,即:在选定块的非零 DCT 系数中用强制性置为奇数或偶数的方法嵌入数据。

在此类方法中,如果被嵌入的数据是“0”,则选定块的非零 DCT 系数将强制性地置为偶数;如果被嵌入的数据是“1”,则选定块的非零 DCT 系数将强制性地置为奇数。但直接对量化后的 DCT 系数进行强制性修改,视觉质量必然受到一定程度的影响。为此,把数据嵌入过程与 DCT 系数量化过程中的取整处理同步进行,利用取整过程中的舍入误差减少这种额外的影响。

若被嵌入的数据比特是 $b(b=0$ 或 $1)$,则按照下面规则修改相应的选定块非零 DCT 系数:

$$C = \begin{cases} [C_{i,j}/K_{i,j}] - 1 & [C_{i,j}/K_{i,j}] \geq C_{i,j}/K_{i,j}, [C_{i,j}/K_{i,j}] \bmod 2 \neq b, C_{i,j} > 0 \\ [C_{i,j}/K_{i,j}] + 1 & [C_{i,j}/K_{i,j}] < C_{i,j}/K_{i,j}, [C_{i,j}/K_{i,j}] \bmod 2 \neq b, C_{i,j} > 0 \\ [C_{i,j}/K_{i,j}] + 1 & [C_{i,j}/K_{i,j}] \geq C_{i,j}/K_{i,j}, [C_{i,j}/K_{i,j}] \bmod 2 \neq b, C_{i,j} < 0 \\ [C_{i,j}/K_{i,j}] - 1 & [C_{i,j}/K_{i,j}] < C_{i,j}/K_{i,j}, [C_{i,j}/K_{i,j}] \bmod 2 \neq b, C_{i,j} < 0 \\ [C_{i,j}/K_{i,j}] & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $C_{i,j}$ 为 DCT 矩阵系数, $K_{i,j}$ 为对应的量化矩阵系数, $[\cdot]$ 表示取整运算。考虑取整过程中的舍入误差后, 嵌入指示信息对视频图像的视觉质量的额外影响相对较小。

为了避免误码块产生的扩散效应影响, 把指示信息嵌入到当前块上面条带内的块 DCT 系数中。对于位于第 1 条带内的块, 这些信息将隐藏在最后条带内的块中。

编码时, 指示信息嵌入过程按如下步骤进行: 产生指示信息, 并按前述数据格式进行编码; 选择嵌入对象块; 按照式 (6) 中的规则修改 DCT 系数; 重复上述步骤直至帧结束。

在解码时, 按照下面规则从当前块的上面条带内块的非零 DCT 系数中提取指示信息。

$$b = C \bmod 2 \quad (7)$$

4 差错检测和恢复

指示信息中的块插值指示信息、宏块再同步及其置信度检测信息一起用于误码检测。每个解码块重新计算块插值指示信息, 并与提取的 B_{11} 和 B_{12} 进行比较; 块解码后的码流长度与 B_{21} 进行比较, 若两

者之间有差异, 则用 B_{22} 确认 B_{21} 是否可靠, 以确定当前块是否出现差错。

块中检测到差错后, 利用块分类信息 B_{11} 确定当前块属于平滑块还是边缘块。若属于边缘块, 则按照方向信息的提示从相邻块中沿着边缘方向进行插值, 利用边缘方向区间的指示信息可以减少邻域搜索范围; 若属于平滑块, 则采用双线性插值方法。

为了在解码器端实现再同步, 需要利用提取的块编码长度值 B_{21} , 接收块的解码长度不允许超过 B_{21} 。再同步时, 解码得到的块码流长度小于或等于 B_{21} , 计算两者间的差异后将跳到下一个新的未被破坏块开始解码。这样一来, 即使没有头部信息, 系统仍然能够实现宏块内部同步, 避免差错在块间的扩散。

图像块重构前, 利用提取的 B_{31} 和 B_{32} 检测视觉破坏程度, 以确定是否有可能出现过恢复。若可能出现过恢复, 则放弃上述机制, 仅利用 H. 263+ 内置的标准差错恢复机制予以处理; 否则, 利用上述差错恢复机制予以增强处理。

图 2 给出了帧内编码差错检测和差错恢复的基本过程。其中包括增强的差错检测步骤和 H. 263+ 内部的标准差错检测机制。

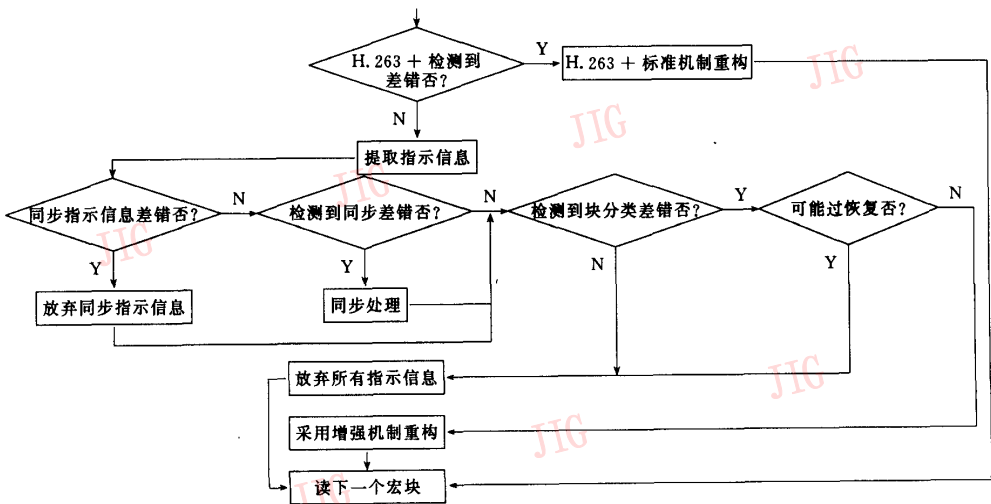


图 2 帧内编码的差错恢复

采用类似的处理方法,可以嵌入指示信息实现帧间差错恢复,主要是通过把数值化的运动矢量信息嵌入到另外一个帧中,在解码时用指示信息代替传统方法中对丢失的运动矢量的估计。

5 实验和结果分析

对无线视频图像传输的实验和仿真可以采用以下3种典型信道模型:二进制对称噪声信道(BSC)、加性白高斯噪声信道(AWGC)、C-E 突发噪声信道(CEBC)。在研究中,针对不同误码率用二进制对称噪声信道模型来模拟无线信道。

实验中,首先用 H. 263+基线编码器对 QCIF 格式的 foreman 视频图像序列进行压缩编码,并按照前述方法把指示信息嵌入到码流中,然后用模拟信道进行传输,在接收端用增强的 H. 263+解码器对接收到的码流进行解码,提取指示信息进行差错检测和图像

恢复。用峰值信噪比(PSNR)评价重构的视觉质量(PSNR 取平均值,即让码流随机地通过模拟信道 20 次,取被破坏帧和恢复帧的平均 PSNR 值)。

图 3 给出了实验中的部分样帧。其中,被破坏的帧是用 H. 263+基线编解码器内部的标准错误恢复机制处理后得到的,而重构帧是用本文方法增强处理后的得到的。表 1 给出了实验得到的不同比特率下的平均 PSNR 数据(部分),图 4 中给出了平均 PSNR 与帧的关系,其中 BER 为 10^{-5} ,比特率为 500kb/s。

表 1 不同比特率下 YUV 码流的平均 PSNR(dB)

	比特率(150kbit/s)			比特率(500kbit/s)		
	Y	U	V	Y	U	V
压缩图像	35.41	37.10	37.91	39.63	41.28	42.46
嵌入信息的压缩图像	35.04	36.86	37.55	39.16	40.92	42.03
被破坏图像	31.52	33.43	34.17	33.81	34.77	35.75
被恢复图像	33.91	34.77	35.39	37.92	38.65	39.16

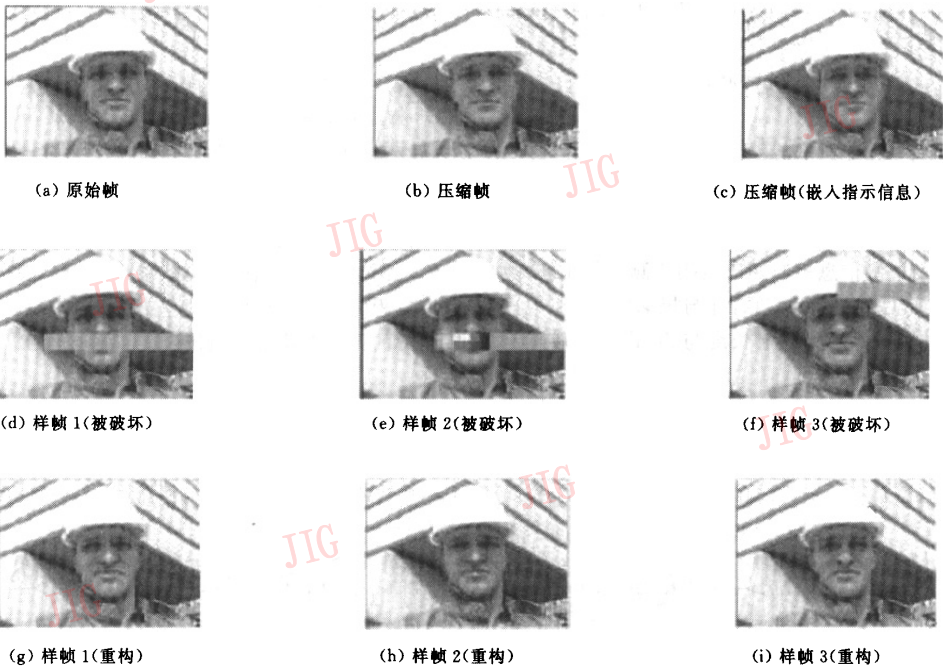


图 3 部分样帧的视觉效果

可以看出,采用本文提出的方法,即使在较高误码率下($BER=10^{-5}$)传输性能比正常方法(H. 263+中采用的标准差错恢复方法)提高了 4dB,可以显著地增强 H. 263+基线编解码器在无线网络环境下抗传输差错的鲁棒性。而且采用改进后的数据嵌入方法

嵌入指示信息后仅有 0.4dB 的损失,比文献[14]中所采用的方法提高了约 0.6dB。对于视频图像中纹理极为复杂的区域,沿着边缘方向插值或双线性插值进行重构,效果可能都不理想。寻求更加合适而且计算成本较低的算法,将是继续研究的问题之一。

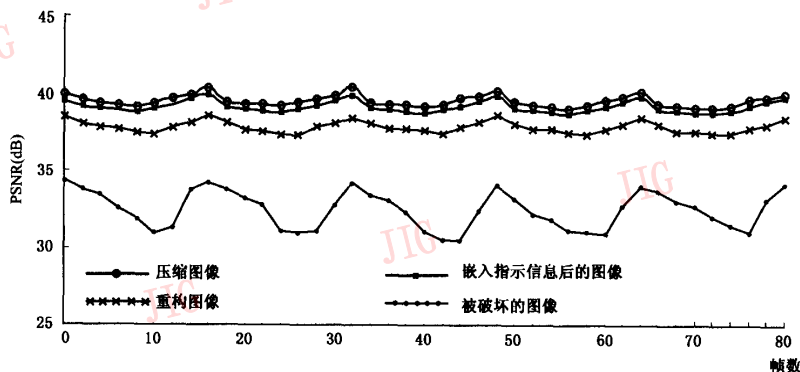


图 4 实验数据分析

参 考 文 献

- Ramstad, Tor A. Ramstad, Robust Image and Video Communication for Mobile Multimedia[A]. In: Signal Processing for Multimedia[C], I Ciocco, Tuscany, Italy, 1999:71~90.
- Wang Y, Zhu Q F. Error control and concealment for video communication; A review[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5):974~997.
- Farber N, Girod B. Extensions of ITU-T recommendation H. 324 for error resilient video transmission [J]. IEEE Communication Magazine, 1998, 36(6):120~128.
- ITU-T, Draft ITU-T Recommendation H. 263 Version 3[S], 2000-11.
- 樊国良,周利华. 基于 Hausdorff 测度的图像分类器设计[J]. 电子学报, 1997, 25(11):120~123.
- Caelli T, Reye D. On the classification of image region by color, texture and shape[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(3):461~470.
- Chou W S. Classify image pixels into shaped, smooth and texture points[J]. Pattern Recognition, 1999, 32(9): 1697~1706.
- Unser M. Texture classification and segmentation using wavelet frames [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(11):1549~1560.
- 谭雁英,董志信. 图像边缘信息的谱分析及其在变换编码中的应用[J]. 电子学报, 1995, 27(9):61~65.
- Tae K K, Joon K P. Fast image restoration for reducing block artifacts based on adaptive constrained optimization[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 1998, 9(3):234~242.
- 黄祥林,沈兰荪. 基于 DCT 压缩域的纹理图像分类[J]. 电子与信息学报, 2002, 24(2):216~221.
- 刘艳,李宏东. DCT 域图像处理和特征提取技术[J]. 中国图象图形学报(A 版), 2003, 8(2):121~128.
- Yin P, Yu H, Liu B. Error concealment using data hiding[A]. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2001) [C], Salt Lake City, UT, USA, 2001, 3:1453~1456.
- Piva A, Caldelli R, Cappellini V, et al. Data hiding for transmission error detection in H. 263 video [A]. In: 2002 Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications (IWDC 2002)[C], Capri, Italy, 2002:419~424.

王 田 1971 年生。副教授、高工。1997、2002 年在重庆大学分别获工学硕士和工学博士学位,现为重庆大学博士后研究人员。主要研究方向为图像通信、信号处理、嵌入式技术。
E-mail:ztewt@sohu.com



杨士中 1937 年生。教授、博士生导师,中国工程院院士。研究方向为通信与测控、遥感信息传输技术等。曾获国家科技进步奖和发明奖 5 项,省部级奖 7 项,发明专利 3 项,出版专著 2 部,发表论文及报告百余篇。

