

视频通信抗误码方法研究的新进展

宋 彬, 常义林

(西安电子科技大学通信工程学院, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文比较全面地总结了视频通信中抗误码方法的研究及其新进展. 首先, 详细评述了结合信源特点的前向差错控制、码流变换、解码端的误码掩盖和防误码扩散等视频抗误码新方法; 然后, 介绍视频编码标准 H. 263+ / H. 263+ + 和 MPEG-4 中提出的抗误码算法; 接下来, 讨论多种视频抗误码系统的设计方案; 最后, 对视频抗误码今后研究的重点和方向提出了展望.

关键词: 视频通信; 差错控制; 误码掩盖; 防误码扩散; H. 263+ / H. 263+ +

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2002)10-1514-05

Research Advance on Error-Resilience Techniques for Video Communication

SONG Bin, CHANG Yi-lin

(School of Telecommunication Engineering, XiDian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: This paper reviews the error resilience techniques that have been developed for video communication in recent years. These methods are described in four categories: forward error control combined with the characteristics of video signals, bit streams transcodec, error concealment and error propagation prevention. Then, the error-resilience methods in H. 263+ / H. 263+ + and MPEG-4 standards are introduced. Furthermore, several robust video communication systems are presented. Finally, we give a prospective development of error resilience techniques for video communication.

Key words: video communication; error control; error concealment; error propagation prevention; H. 263+ / H. 263+ +

1 引言

随着第三代移动通信系统的出现和 IP(Internet Protocol)网络的迅速发展, 视频通信正逐步成为通信的主要业务之一. 多媒体通信, 如会议电视、可视电话、图像和视频检索等, 其中主要的也是图像和视频媒体. 然而, 实际的无线和 IP 信道会导致误码产生, 例如: 无线信道中的多径衰落产生误码, IP 信道上的阻塞丢包等. 由于信道带宽的限制, 视频通信的数据往往是压缩编码以后的数据, 而压缩以后的数据对误码非常敏感, 造成误码环境下恢复图像质量严重下降.

因此, 在误码环境(有时甚至是高误码环境)下, 要保证解码端恢复视频的质量, 就要综合采用多种视频抗误码方法. 视频通信的抗误码研究也成为目前视频通信需要解决的关键技术. Yao Wang 等^[1,2]总结了上个世纪八十、九十年代视频通信中的多种抗误码方法. 但是, 近年来, 由于信道误码特性、系统配置和用户需求的变化, 文[1]、[2]给出的视频抗误码方法不足以保证恢复视频的质量.

本文在 Yao Wang 等研究的基础上, 首先, 详细论述了人们近几年提出的视频抗误码新方法, 包括结合信源特点的前向差错控制技术、码流变换、解码端的误码掩盖和防误码扩散

等; 然后, 介绍视频编码标准 H. 263+^[3]/H. 263+ +^[4]和 MPEG-4^[5]中研究的抗误码算法; 接下来, 讨论人们设计的多种视频通信抗误码系统; 最后, 展望今后工作的重点和方向.

2 视频抗误码方法研究的新进展

传输信道产生的误码可分类为^[1,6]: 不可靠的有线/无线信道将在传输比特流中引入随机误码; 由于网络阻塞, 有线 IP 网络中的“尽力”(best effort)传输将引入包丢失; 在无线信道或移动无线网中, 多径传播会导致突发误码. 针对这三类误码, 要采用不同的抗误码策略. 视频抗误码可以在视频编码、传输、解码恢复的不同环节采用相应的抗误码技术, 以及多个环节综合的抗误码技术.

2.1 误码检测

解码端在使用视频抗误码方法前, 要先将码流中的误码准确检测出来. 误码检测的方法可分为两类:

一类是通过媒体复合、信道编/解码进行误码检测. 该方法是在媒体复合包加入头信息检测误码, 例如, 音/视频复用标准 H. 223^[7]在包头中加入序列号来检测丢包; 或者使用前向纠错(FEC)检测误码, 例如, H. 263+ 的附录 H 中使用

收稿日期: 2001-11-20; 修回日期: 2002-02-28

基金项目: 国家 863 项目(No. 863-317-04-15-99); 国家自然科学基金(No. 60172030); 华为科技基金; 综合业务网理论与关键技术国家重点实验室资助课题

BCH(511, 493, 2)对码流进行检错/纠错。

另一类是通过视频信源解码进行误码检测。该类方法利用了视频信号的特征,进行时域误码检测,以 H. 263+ 为例,计算相邻两个块组邻近行数据的差值是否超过门限值来检测误码^[8];同样,也可在变换域进行误码检测^[9]。首先使用同步码确定出错范围,再计算出错范围内每个块中相邻两行系数的均方差,最后认为均方差最大的块出错。另外,可对视频码流进行语法检查,仍以 H. 263+ 为例,当出现非法 VLC(可变速长编码)码字,位移矢量超出了图像范围或恢复的 DCT(离散余弦变换)系数超出范围等,都认为是由于误码引起的错误。

一般来说,通过媒体复合、信道编/解码进行误码检测是较为可靠的方法,但会增加信道额外负担。在视频解码端的时域/空域误码检测的依据是假设视频信号是平稳的,它虽然不会增加信道的额外开销,但常常检测出虚假错误。而同步码的使用和码流的语法检查则是以上两种方法的折衷。显然,在实际视频通信系统中,这些技术应结合在一起进行误码检测。

2.2 结合信源特点的前向差错控制技术

在视频通信中,引起解码端恢复图像失真的原因有两个:信源编码引入的量化噪声和传输误码引入的失真,为了降低这两种噪声的影响,都需要增加比特开销,增加量化级数和增强前向纠错能力。因此,在给定信道带宽和信道误码特性的情况下,为了最小化误码和量化引起的图像总的失真,应结合信源的特点进行前向差错控制。这里重点讨论的是根据信源特点将信源/信道编码结合在一起的前向差错控制技术,它与一般的 FEC 有所不同。

2.2.1 结合传输优先级的分层编码 FEC 最常用、有效的控制技术是具有传输优先级的分层编码。例如 H. 263+ 的附录 O 中,使用时间可分级、信噪比(SNR)可分级和空间可分级技术将码流分为基本层和一个或多个增强层。基本层包含视频源的基本信息,它在高优先级(可靠)信道上传输,解码端重构后得到质量可以接受的视频信号。而增强层包含的视频信息在较低优先级信道上传输,解码端重构后与基本层的重构信息一起得到高质量的视频信号。分层编码将会增加信道负担,但有较好的抗误码性能。

2.2.2 联合信源/信道编码 将信源/信道编码联合在一起抗误码是非常有效的 FEC 控制技术,同时,这也是一个重要的研究方向。目前,视频通信的联合信源/信道编码研究还处于初期阶段:信源、信道独立编码,联合优化重要参数。

Stuhlmüller 等^[10]用两状态马尔可夫模型描述误码,对视频编解码和差错控制信道的三个重要参数:信源编码的失真、信道编码后的码率和帧内块的刷新率联合优化,力图最小化恢复图像的失真。另外,在低延时信道中,使用 RS 码和简单的交织技术来减小突发误码的影响。其中,在无记忆信道中,FEC 技术比帧内块刷新重要,而在有记忆信道中,帧内块刷新技术更为有效。当然,以上技术和真正做到信源/信道联合编码还有一个很大的距离。

2.2.3 自适应改变调制方式 可以采用自适应改变调制方式与信道编码相结合来提高系统的抗误码性能。在低移动速度和交换延时不重要的情况下,Cherima 等^[11]给出突发自适应

应调制方式:当信道质量良好时,采用高阶调制模式,否则,采用较为强健的低阶调制。另外,在信道编码中使用了 Turbo 码^[12],它与传统的 BCH 码比较,可以减少视频的丢包率、提高有效吞吐量和改善视频质量,但也引入了较大的延时。

2.2.4 多描述编码 在低比特率视频通信中,使用多描述编码(MDC)来增强码流的抗误码能力。Wee Sun Lee 等^[13]假设两个独立的信道 A、B 可用,视频编码器自适应地选择解码端误码掩盖困难的宏块,使用 MDC 后发送到信道 A 和信道 B,而将其它无需保护的宏块正常编码后发送到信道 A。其中,MDC 是将帧间编码宏块的运动矢量和帧内编码宏块的 DCT 直流系数在两个信道中分别同时发送,而其余的 DCT 系数分为两部分在两个信道中分别发送。此算法适合在有突发误码的信道上使用。

2.2.5 主观质量控制策略 我们在研究工作中提出了一种视频通信的主观质量控制策略^[8,14],即在给定的信道速率和误码率环境下按照一定的准则联合信源/信道编码,尽可能地提高恢复图像主观质量。该控制策略给出了影响恢复图像主观质量的两个主要因素:粗量化或误码产生的方块效应和恢复图像的帧频。在高误码率环境下,根据一定准则权衡调整 FEC 的纠错能力和量化因子,有效地提高和保证了恢复视频的质量。

2.3 码流变换

为了提高已编码视频码流在传输时的抗误码性能,可以结合信道的误码特性进行码流变换。Reyes 等^[15]设计的码流变换系统用于提高无线信道上视频码流的抗误码能力,图 1 给出相应的系统框架。如图 1 所示,当视频码流到达不同信道容量和误码率的网络接入点时,码流变换器首先将视频码流解码还原为原始视频数据,然后,根据图像的内容和信道状态,插入额外的同步头(空域抗误码算法)或大量刷新帧内编码块(时域抗误码算法),接下来,可进一步使用系数的粗量化或丢弃系数来降低码率,最后,进行 VLC 编码,使码流变换器输出码流的码率满足新接入网络的要求。其中,要根据误码模型及相应的抗误码算法、率失真理论和比特率的分配准则,在信源编码码率和时/空抗误码算法之间优化比特率的分配。由上述分析可知,当信道状态发生变化时,在视频传输中加入码流变换器可以得到理想的抗误码性能。

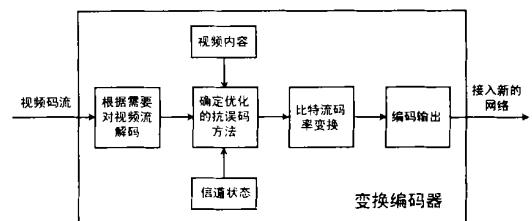


图 1 码流变换的系统框架

2.4 解码端的误码掩盖

误码掩盖技术不需要使用任何附加信息,只是利用视频信号中的冗余信息和人类视觉系统特性来掩盖出错的图像数据。误码掩盖可分为时域误码掩盖和空域误码掩盖两类。

其中,时域误码掩盖算法有:如果运动矢量(MV)正确,出

错块用相应的运动预测块替代;如果 MV 出错,先用相邻块或前帧对应位置的 MV 估值出错块的 MV,然后使用运动补偿掩盖出错块的数据.由于在误码环境下, MV 会经常出错,因此使用后一种方法进行误码掩盖较好.这种方法的问题是:如果前一帧或相邻块是帧内编码而无 MV,以及出错块处在不同运动方向的两物体边缘,误码掩盖效果就会很差.

空域误码掩盖算法有:使用拉格朗日或梯度准则,最小化相邻像素间的方差;用四周临近块的像素插值;使用相关的边缘信息;在凸集上的投影算法(POCS).这些算法掩盖效果较好,但运算复杂,不利于实时的视频应用.

因此,近年来,人们又研究算法较为简单、掩盖效果好的误码掩盖方法.例如,基于马尔可夫随机域(MRF)等统计模型来估值丢失的数据进行误码掩盖.

2.4.1 基于 MRF 的像素点估值 可以使用自适应的 MRF 作为图像的先验模型来估值出错的数据,得到较好的恢复图像质量. Shirani 等^[6]根据出错数据的最大后验估计(MAP),先使用前一帧图像数据得到出错宏块的初始化估值,然后,用出错宏块周围的信息来修正初始化估值,完成误码掩盖.另外,采用了缩小运动估值搜索范围和调整 MRF 加权值等方法来简化整个算法,使得解码端能够实时处理.

2.4.2 基于 MRF 估值 MV 和像素点 Salama 和 Shroff^[7]基于 MRF 模型估值出错宏块的像素点和运动矢量,完成空域和时域的误码掩盖.其中,空域误码掩盖是根据简化的 MAP 估值公式去计算每个出错像素点,并单独对出错宏块的边缘像素估值.时域误码掩盖是将整个运动区域作为一个 MRF,并用二叉树将与出错宏块相邻的 MV 分类,然后计算出出错宏块 MV 的 MAP.由于使用时/空数据进行误码掩盖,因此可以得到更好的误码掩盖效果.

2.5 防误码扩散技术

在误码环境下,如果视频码流在传送时出现了误码,但解码端并不知道解码端检测到无法纠正的误码,它还会继续使用这些宏块做运动估值,而解码端也使用这些发生误码的宏块做运动补偿,这就引起误码扩散.误码扩散不仅使出错帧的恢复图像质量下降,而且可能会给后续帧造成不可恢复的损失.即使解码端使用了误码掩盖技术,也不能避免恢复图像质量的下降.另外,由于视频通信的实时性要求强,通常不采用 ARQ(自动请求重发)方式重传发生错误的数^[18],而使用交互式防误码扩散的方法来保证恢复图像的质量.

2.5.1 帧内编码受误码影响的宏块 利用运动矢量的前向依赖关系进行准确误码跟踪,并对受误码影响的宏块采用帧内编码,可以有效地防止误码扩散. Steinbach 等^[9]首先说明由于运动补偿所引起的帧间依赖性;然后,根据 MV 前向依赖性和权重因子的相关性计算误码的“能量”,对“能量”最大的宏块使用帧内编码,从而防止误码扩散.这种算法可以迅速提高图像质量,在视频通信中没有引入额外时延,且与标准兼容,但它的运算量大、内存需求高.

Paο Chi Chang 等^[20]基于像素的后向运动依赖性提出准确的误码跟踪(PET),并给出相应的快速算法. PET 算法根据像素点后向运动依赖的递归公式和从反馈信道得到的出错宏

块信息,计算当前编码宏块中的像素点受误码影响的程度.接下来,同样对受影响的宏块采用帧内编码,防止进一步的误码扩散.相应的快速算法是:在计算后向运动依赖关系时,仅对宏块四个角上的像素点是否在出错区域内计算其受误码影响的程度,可以使用线性运动预测模式来简化运动矢量的存储.此算法能够快速防止误码扩散并与标准兼容,且运算量和内存需求较少,适合实时视频应用.

2.5.2 标识受误码影响的宏块 在一些宽带网中,编码端处理下一个 I(帧内)帧或 P(预测)帧之前有足够的时间得到反馈信息.基于此分析, Jong tzy Wang 和 Paο chi Chang^[21]提出在发送端收到接收端反馈的出错信息后,将同一块组中出错宏块以后的像素全部用一个特定的值(如“00”)来标识,这样,接下来 P 帧或 B(双向预测)帧的运动估值就不会参考已标识区域,避免了接收端的误码扩散.使用这种方法在基本没有增加运算复杂度和信道负担的情况下,将误码的影响仅仅限制在出错帧中.

2.5.3 自适应帧内块刷新策略 这种方法不需要反馈信道,而是基于编码端的“误码灵敏性尺度”(ESM)来衡量每一个编码宏块对信道误码的易损性,然后进行自适应的帧内块刷新^[22].编码端初始化 ESM 的思想是:距离同步标志越远的宏块,对误码的敏感性越高;编码宏块的比特数越多,越容易受到误码破坏.在编码过程中,通过计算每个宏块 ESM 的积累来更新这个尺度,然后根据 ESM 选择宏块进行帧内编码.这种算法减小了解码端纠正大量错误的时间,而且尺度矩阵对信道误码率的变化不敏感,特别适用于反馈信道延时大或广播环境的无线视频通信系统.

2.5.4 连续更新的防误码扩散技术 连续更新的防误码扩散技术(RESCU)^[23]是将显示时间过后收到的视频数据保存下来,用于防止后继帧的误码扩散. RESCU 引入周期性时间依赖距离(PTDD),指出在一个 PTDD 内丢包可以恢复,且误码在非周期帧中不传播.由于 H. 263+ 给出了参考帧可选模式,因此 RESCU 与标准兼容.另外,还可以将 RESCU 和 FEC 结合在一起使用.这种算法也不需要反馈信道,在组播、无线或卫星通信中非常实用.

2.5.5 交互式防误码扩散技术 在研究视频时域误码扩散机理的基础上,提出了一种新颖的交互式视频防误码扩散技术.根据通信过程,首先,解码端将检测出的误码位置信息通过 H. 263+ 中的 PEI 域(包括图像扩展信息(PEI)和补充增强信息(PSUPP))发往编码端,并对误码宏块进行误码掩盖;当误码后的最邻近帧到来时,准确快速计算出最邻近帧的误码扩散位置,对其进行误码掩盖;根据约定,编码端和解码端同时对最邻近帧受误码扩散区域做误码屏蔽,从而有效地防止了后继帧误码扩散.在误码环境下,这种算法能够有效地抑制误码扩散,保证恢复视频的质量,且与 H. 263+ 标准兼容,可应用于实际视频通信系统中.

3 视频标准中抗误码算法研究

H. 263+^[3]是低比特率视频编码标准,目前在多媒体通信的各个领域已得到广泛应用. MPEG-4^[5]是一个应用范围很广

的多媒体标准. 这两个标准对视频通信的抗误码问题给予了高度的重视, 视频通信的抗误码方法成为这两个标准的重要组成部分. 下面讨论这两种标准中的视频抗误码算法.

3.1 H.263+ / H.263++ 的抗误码可选模式

在 H.263+ 标准中给出的抗误码可选模式有: 前向纠错模式(FEC), 使用 BCH(511, 493, 2) 码, 这一机制为 ISDN 信道设计; 分片结构模式(SS), 可减少编码后数据的相关性, 用于防误码扩散; 独立段解码模式(ISD), 也用于减少编码后数据的相关性; 参考帧可选模式(RPS), 可分为利用反馈信息的参考帧可选和不使用反馈信道的视频冗余编码(VRC)两种模式.

在误码环境下, 要使用 H.263+ 中给出的抗误码算法, 就必须将网络状态、协议标准、信道容量和误码率结合在一起选择抗误码模式^[24]. 近来, H.263++^[4] 又给出三种抗误码可选模式: 增强参考帧可选模式(ERPS), 视频数据可分割模式(DPS)和可附加增强信息模式. 它们特别适用于无线和 IP 网络上的视频抗误码.

3.2 MPEG-4 的抗误码工具

为保证恢复视频的质量, MPEG-4 给出多种抗误码工具: 包的重同步, 每隔固定的比特数周期性地插入重同步标识, 并在视频编码时消除两个不同视频包之间所有数据的依赖性; 数据分割(DP), 视频数据被运动边界标记(MBM)分为运动部分和纹理部分, 可以更严格的检查位移估值数据的合法性, 主要用于误码检测; 头信息扩展编码(HEC), 在视频码流中保护重要的头信息等, 视频头信息可以在特定的视频包中重复发送; 可逆的变长编码(RVLC), 解码检测到误码后, 可以从下一个重同步标识开始, 反向解码直到误码处. 另外, 根据传输信道的质量、系统需要提供的图像质量, 以及在图像压缩效率和抗误码性能间的权衡, MPEG-4 中的抗误码工具可以做自适应的选择^[6].

4 视频通信抗误码系统研究

随着无线和 IP 网络的迅速发展, 人们对具有抗误码能力的视频通信系统产生了越来越浓厚的兴趣. 下面给出三个视频抗误码系统的设计方案, 这也是今后研究的一个重要方向.

Jianhua Lu 等^[25]设计了一套无线视频传输的抗误码系统, 如图 2 所示. 该系统根据 H.263+ 码流的语法特点, 给出衰落信道上视频传输的策略: 将联合信源/信道编码(CSCC)和分集接收紧密结合在一起. 其中, 利用有限状态的马尔可夫模型(FSMM)来描述相关衰落信道, 并基于此模型给出 FEC 的性能估计. 另外, 采用强健的解码策略和时/空误码掩盖算法, 完成整个视频抗误码系统的设计.

Cherriman 和 Hanzo 等人在无线和 IP 网络上, 设计了具有综合抗误码能力、可重新配置编码参数的可视电话系统^[26]. 所给系统的算法及特性如下: (1) 传输包的确认反馈, 用于防止误码扩散; (2) 传输包的结构分为数据段和控制信息段, 且每个传输包都包含一个重同步标识; (3) 使用不同的 FEC 码来减小信道误码率; (4) 在信道状态可变的情况下, 根据解码端的反馈信息, 使用编码参数的记录列表重新配置编码参数,

用于改变传输包的大小, 进而在相同波特率下使用更强健的调制方式传输^[27]; (5) 解码时丢掉有传输误码的数据包; (6) 传输比特流与 H.263+ 标准一致.

实验表明^[26], 此抗误码系统能够在平均丢包率 5% (甚至高达 10%) 的信道环境下, 有效地保证恢复视频的质量.

我们在文[8, 14]研究的基础上, 设计了高误码环境下视频通信的实现方案^[28], 如图 3 所示. 其中信源编码采用效率高的编码算法 H.263+. 信道编码使用多种 FEC 码进行前向纠错, 以及混合使用 FEC 码对图像信息进行不等保护, 并且在视频主观质量控制策略下随着信道误码的变化改变 FEC 的纠错能力. 信道解码和信源解码的同时, 进行误码检测和误码定位, 如果没有误码, 继续显示重构图像; 如果发现误码, 使用时域/空域误码掩盖算法掩盖错误后再显示图像. 另外, 如果有误码存在, 编码端利用 PEI 域的解码反馈信息防止误码扩散并进行视频主观质量控制, 进一步保证恢复视频的质量. 由文[28]中的实验结果可知, 给出的视频抗误码系统在信道误码率大于 10^{-3} , 甚至到 10^{-2} 时, 恢复图像的主/客观质量可以接受.

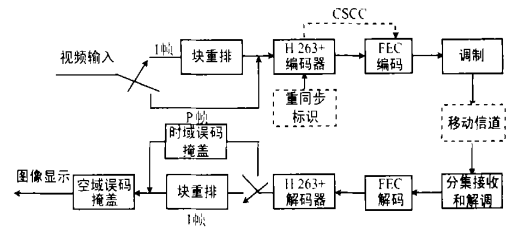


图 2 无线视频传输的系统框图

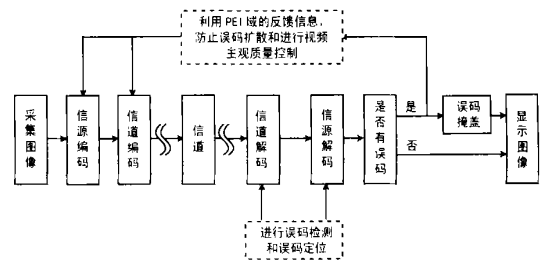


图 3 高误码率环境下视频通信的实现方案

5 总结与展望

本文系统地总结了近几年视频抗误码的新方法、多媒体通信标准中的抗误码算法和视频抗误码系统的设计. 然而, 视频抗误码还存在一些问题有待于进一步研究: (1) 找出一个视频主观质量测定函数, 与现有的客观质量测度 PSNR (峰值信噪比) 结合在一起, 对恢复图像质量做出正确的评估; (2) 在理论上建立更多的信道模型, 有利于信源/信道编码联合抗误码; (3) 在丢包网络中, 解决实时交互式视频通信的延时问题; (4) 在信道状态时变的情况下, 自适应调整视频通信系统的抗误码性能.

因此, 今后的研究重点应致力于系统级的设计和优化: 根据信道误码特性, 将信源/信道编码、传输协议、调制方式和误码掩盖结合在一起设计, 最小化视频压缩和视频传输所带来

的失真. 另外, 还要降低算法复杂度, 便于误码环境下的实时视频应用.

参考文献:

- [1] Yao Wang, Qir fan Zhu. Error control and concealment for video communication: A review [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5) : 974 - 997.
- [2] Yao Wang, Stephan Wenger, et al. Error resilience video coding techniques: Real time video communications over unreliable networks [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2000, 17(4) : 61 - 82.
- [3] ITU-T Recommendation H. 263 Version2. Video Coding for Low Bit Rate Communication [S].
- [4] ITU Telecom. Standardization Sector of ITU. Draft for "H. 263+ + " Annexes U, V, AND W to Recommendation H. 263 [S].
- [5] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. MPEG-4 Visual Final Draft International standard. WG11 N2502 [S].
- [6] Jole Moccagatta, Salma Soudagar, Jie Liang, Homer Chen. Error resilience coding in JPEG-2000 and MPEG-4 [J]. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 2000, 18(6) : 899 - 914.
- [7] ITU-T Recommendation H. 223. Multiplexing Protocol for Low Bitrate Multimedia Communication [S].
- [8] 宋彬, 常义林. 基于主观质量控制的数字视频综合抗误码技术 [J]. 电子学报, 2001, 29(7) : 952 - 956.
- [9] W-M Lam, A Reibman. An error concealment algorithm for images subject to channel errors [J]. IEEE Trans. Image Processing, 1995: 533 - 542.
- [10] Klaus Stuhlmüller, Niko Härber, Michael Link, Bernd Girod. Analysis of video transmission over lossy channels [J]. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 2000, 18(6) : 1012 - 1032.
- [11] Peter Cherriman, Choong Hin Wong, Lajos Hanzo. Turbo and BCH-coded wide band burst-by-burst adaptive H. 263 - assisted wireless video telephony [J]. IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Tech., 2000, 10(8) : 1355 - 1363.
- [12] Peter Cherriman, B L Yeap, Lajos Hanzo. Turbo equalised H. 263-based video telephony for GSM/GPRS [A]. In Proc. ICC2001 [C]. Helsinki, Finland: ICC, 2001.
- [13] Wee Sun Lee, et al. A robust codec for transmission of very low bit rate video over channels with bursty errors [J]. IEEE Trans On Circuits and Systems for Video Tech., 2000, 10(8) : 1403 - 1412.
- [14] Song Bin, Chang Yilin. Control strategy of subjective video quality over error-prone channels [A]. 2000 Inter. Conf. On Communication Technology Proceedings [C]. Beijing: ICCTP, 2000. 962 - 965.
- [15] Gustavo de los Reyes, Amy R. Reibman, et al. Error resilient transcoding for video over wireless channels [J]. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 2000, 18(6) : 1063 - 1074.
- [16] Shahram Shirani, et al. A concealment method for video communications in an error-prone environment [J]. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 2000, 18(6) : 1122 - 1128.
- [17] Paul Salama, Ness B Shroff, Edward J Delp. Error concealment in MPEG video streams Over ATM networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 2000, 18(6) : 1129 - 1144.
- [18] Hang Liu, Magda El Zarki. Performance of H. 263 video transmission over wireless channels using hybrid ARQ [J]. IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Tech., 1997, 15(9) : 1775 - 1786.
- [19] Eckehard Steinbach, Niko Härber, Bernd Girod. Standard compatible extension of H. 263 for robust video transmission in mobile environments [J]. IEEE Trans On Circuits and Systems for Video Tech., 1997, 7(6) : 872 - 881.
- [20] Paor Chi Chang, Tier-Hsu Lee. Precise and fast error tracking for error-resilient transmission of H. 263 video [J]. IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Tech., 2000, 10(4) : 600 - 607.
- [21] Jong-Tzy Wang, Paor Chi Chang. Error propagation prevention technique for real time video transmission over ATM networks [J]. IEEE Trans On Circuits and Systems for Video Tech., 1999, 9(3) : 513 - 523.
- [22] Judy Y Liao, John Villasenor. Adaptive intra block update for robust transmission of H. 263 [J]. IEEE Trans On Circuits and Systems for Video Tech., 2000, 10(1) : 30 - 35.
- [23] Injong Rhee, Srinath R Joshi. Error recovery for interactive video transmission over the internet [J]. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 2000, 18(6) : 1033 - 1049.
- [24] Stephan Wenger, Gerd Knorr, Jörg Ott, Faouzi Kossentini. Error resilience support in H. 263+ [J]. IEEE Trans On Circuits and Systems for Video Tech., 1998, 8(7) : 867 - 877.
- [25] Jianhua Lu, Khaled Ben Letaief, Ming L Liou. Robust video transmission over correlated mobile fading channels [J]. IEEE Trans On Circuits and Systems for Video Tech., 1999, 9(5) : 737 - 751.
- [26] L Hanzo, Peter J C J Streit. Wireless video communications [M]. New York: IEEE Press, 2001.
- [27] Peter Cherriman, Thomas Keller, Lajos Hanzo. Orthogonal frequency division multiplex transmission of H. 263 encoded video over highly frequency selective wireless networks [J]. IEEE Trans On Circuits and Systems for Video Tech., 1999, 9(5) : 701 - 712.
- [28] 宋彬, 常义林. 视频通信中的抗误码方法研究 [J]. 高技术通讯, 2002, 12(4) : 13 - 17.

作者简介:



宋彬男, 1973年11月出生于河南省郑州市, 1996、1999年分别获西安电子科技大学通信工程学院学士、硕士学位, 现为西安电子科技大学网络多媒体方向的博士研究生, 主要从事图像压缩和视频通信等领域的研究工作.



常义林男, 1944年12月出生于江苏省江都市, 西安电子科技大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为多媒体通信和网络管理等, 多次获得省部级科技进步奖励, 发表学术论文80多篇.