

基于主观质量控制的数字视频综合抗误码技术

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: 本文系统地提出了一套视频通信中的综合抗误码技术. 本文针对窄带噪声信道,在 H. 263 + 编码的基础上,首先提出了视频主观质量控制策略;并在编码端根据视频信息的重要程度相应采用了非等重保护的前向纠错(FEC)算法,当恢复视频仍有误码时,则在解码端根据不同的帧编码类型使用相应的时/空误码掩盖方法提高恢复视频质量. 计算机仿真结果表明,采用以视频主观质量控制策略为核心的综合抗误码技术,在高误码环境下,恢复视频信噪比可提高 10 - 20dB,主观视频质量可提高 1 - 2 个等级. 该综合抗误码方案已在实际中得到应用.

关键词: 视频通信; 主观质量控制策略; 非等重 FEC; 时/空误码掩盖

中图分类号: TN919. 8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 07-0919-04

Subjective Quality Controlling Based Integrated Error Resilience Technology for Video Communication

SONG Bin, CHANG Yi-lin

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

Abstract: An integrated error resilience technology for video communication is proposed in this paper. At beginning, a control strategy of subjective video quality is presented. Then, an unequal forward error-correction (FEC) based on H. 263 + video coder is suggested to protect the different video information. However, if there are still error bits in the reconstructed images, temporal/ spatial error concealment is used in the video decode according to the various coding types. Simulation results show that the subjective and objective video quality is obviously improved using proposed integrated error resilience technology with control of subjective quality. These technologies have been used in practice.

Key words: video communication; control strategy of subjective video quality; unequal FEC; temporal/ spatial error concealment

1 引言

无线和互联网协议(IP)分组视频通信势在必行.然而,实际的无线和IP信道不可避免地存在噪声和分组丢弃.由于编码以后的视频码流对误码较为敏感,误码会导致恢复图像质量的急剧下降,所以抗误码成为无线和分组视频通信的关键技术问题之一.

窄带高噪声环境是视频通信的难点.其困难在于窄带信道要求视频信源编码效率高,大幅度去除信源的冗余.H. 263 +^[1]就是目前效率较高的视频编码器.同样也是由于这些编码方法,大大削弱了码流的抗误码能力,信道误码会引起整帧图像、甚至后续图像的不可恢复,最终导致视频通信的中断.第二个难点是视频通信和一般数据通信不同,它必须要有实时性和连续性,即不宜采用自动请求重发(ARQ)的抗误码方法.

本文则是针对以上问题,在第二部分提出了一种新的在

误码环境下保证恢复视频主观质量的控制策略,该控制策略是其抗误码能自适应跟踪噪声信道.以该控制策略为核心,在第三部分和第四部分分别讨论了与其相应的非等重FEC算法和在解码端使用的时/空误码掩盖算法.最后给出了综合抗误码方法的计算机实验结果和结论.

2 主观质量控制策略

在高误码率信道下,本文根据已有的研究工作^[2]进一步提出了一种视频通信的主观质量控制策略,即在给定的信道速率和误码率环境下,按照一定的准则尽可能地提高恢复图像主观质量.在视频通信中,虽然影响恢复图像主观质量的因素很多,但其中的两个主要因素是方块效应和恢复图像的帧频.

由于采用了H. 263 +的块编码方法,那么令人讨厌的方块效应势必影响视频主观质量.这种对人主观视觉有着严重影响的方块效应又可分为两类:

第一类 粗量化产生的方块效应.在 H. 263 + 中对离散余弦变换 (DCT) 输出矩阵的每一个系数使用量化因子 QP 得到量化值. 由于人的视觉对恢复图像中低频信号的误差比对高频信号的误差敏感, 所以使用合适的 QP 保留图像中的低频分量、去掉一些高频分量, 对主观质量影响不大, 有利于提高编码效率. 但是如果进一步增大 QP 而粗量化, 图像的细节部分就会丢失越来越多, 引起块边缘产生明显的方块效应, 影响视频主观质量. 这类粗量化产生的方块效应不同于视频信息出错, 因此在一定程度上人的主观视觉可以忍受.

第二类 误码产生的方块效应.由第三部分的分析可知, 信道误码, 特别是各种头信息和位移估值出错, 破坏了视频内容, 这些破坏的视频内容常常是一些无法忍受的贴片式方块, 大大影响视频主观质量. 为了保证视频的主观质量, 就必须采用纠错方法去掉这类方块效应.

影响视频主观质量的第二个主要因素是恢复图像的帧频, 恢复图像帧频越高, 其时间连续感觉就越强, 视频主观质量越好.

但是, 如果一味强调提高恢复图像的帧频, 那么在一定的信道速率下势必会降低视频的空间图像质量, 引入讨厌的方块效应. 也就是说, 在误码环境下, 如果信道速率给定, 那么影响视频主观质量的其中两个主要因素之间存在相互制约的关系. 本文在去方块效应和提高帧频之间权衡比较, 提出了视频主观质量控制策略.

我们知道, 人眼具有连续感觉的最小帧频是:

$$FR_{th} = 16 \text{ 帧/秒} \quad (1)$$

当恢复图像的帧频大于 FR_{th} 时, 人的主观视觉对帧频的变化不是很敏感; 反之, 较为敏感, 即恢复图像出现闪烁现象. 因此整个控制策略, 如图 1 所示.

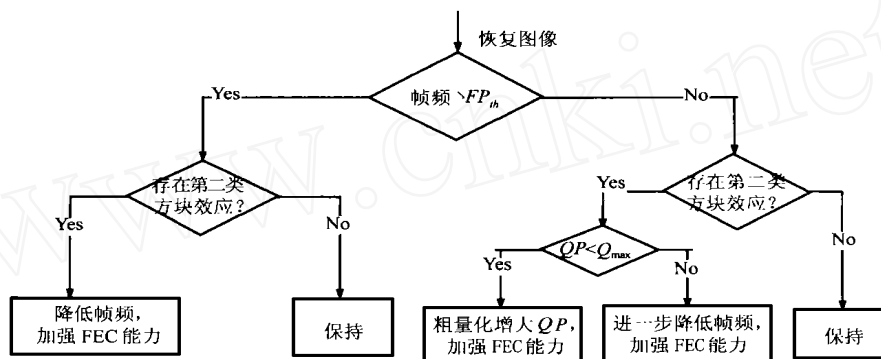


图 1 误码环境下视频主观质量控制策略流程图

当帧频大于 FR_{th} 时, 如果使用了 FEC, 但仍有误码引起的第二类方块效应, 若这时帧频大于 FR_{th} , 人眼对帧频的变化不是十分敏感, 就可以降低帧频, 节省信源编码开销的比特数, 将这些节省下来的比特用于加强 FEC 的纠错能力, 从而保证误码环境下视频通信的主观质量.

当帧频小于 FR_{th} 时, 这时, 人眼对帧频的变化较为敏感. 因此, 当发生第二类方块效应时, 可以保持帧频不变, 增大 QP 进行粗量化, 节省信源编码的比特数. 这些节省出来的码字可用于加强 FEC, 提高码流的抗误码能力, 去掉第二类方块效应.

但是过分增大 QP 会使得第一类方块效应如同第二类方块效应, 同样严重影响视频主观质量. 因此, 粗量化的 QP 有个允许上限 Q_{max} , Q_{max} 的取值可由具体的视频图像源和不同的应用决定. 显然, 低码率图像的 Q_{max} 大于高码率图像的 Q_{max} .

当 QP 趋于 Q_{max} 时, 如果视频码流中仍有未能纠错的码字, 这就需要继续加强 FEC 的纠错能力, 把所有第二类方块效应去掉. 这时采用的策略是保持 QP 不变, 进一步降低帧频, 加强 FEC 能力, 直到去掉第二类方块效应为止.

3 非等重 FEC 算法

视频主观质量控制算法是在非等重的 FEC 基础上进行的.

H. 263 + 建议采用 BCH(511, 493, 2) 做前向纠错^[3]. 计算表明, 当信道均匀分布的误码率为 10^{-3} 时, 每 511 个比特中出现两个以上比特错误的概率可高达 9×10^{-2} . 在这种情况下, BCH(511, 493, 2) 不能完全纠正错误, 可见它不能用于在高误码率的无线信道和存在突发误码的 IP 上纠错. 另外非等重 FEC 编码, 重点是保护帧头等信息, 因而它也是以帧为单位进行信道编码的. 在对每帧数据进行分组时, 如果每 493 信息比特为一组, 那么当最后一组的比特数只有几个比特的时候, 就要填充大量的 0, 特别是对于预测 (P) 帧和双向预测 (B) 帧, 使得信源编码效率显著下降. 因此, 本文建议在高误码环境下采用码长较短的几种 BCH 码以及卷积码.

在以上分析基础上, 本文提出了一种非等重的前向纠错方法, 如图 2 所示. 为了重点保护帧头信息, 图 2 中使用纠错能力强、冗余度大的 FEC1 码保护数据量小、但重要的图像头信息; 用纠错能力相对较弱、冗余度较小的 FEC2 码保护图像数据信息. 通过这种非等重保护算法, 保证了图像头信息在高误码环境下的正确恢复, 而对 FEC2 码未能纠正的错误图像信息采用误码掩盖技术进行掩盖; 由于非等重 FEC 算法没有过多的增加冗余度, 从而保证在带宽受限的信道上视频通信

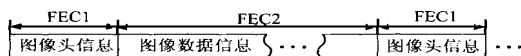


图 2 非等重算法

的实时性。

4 时/空误码掩盖算法

本文采用了非等重 FEC, 在高误码环境下, 图像头信息基本上可以完全恢复, 但图像数据信息仍可能出错, 因此要进一步采用误码掩盖技术来保证恢复图像的质量。误码掩盖技术可分为误码检测, 视频信息的重同步, 误码定位和数据掩盖四个过程。本文用两种方法来检测误码: 首先由于在传输层使用了 FEC, 信道解码时可检测出不能恢复的误码; 第二种方法是在信源解码时根据视频信号的语法来进一步检测误码, 例如出现的非法 VLC 码字, 位移矢量超出了图像范围或恢复的 DCT 系数超出范围等。如果检测到误码, 就要对解码器进行重同步。本文根据 H. 263+ 码流在每一个块组 (GOB) 头都加入了同步码的特点, 当一个 GOB 中出现误码, 就可以搜索下一个 GOB 的同步码来完成解码器的重同步。检测到误码后, 可通过计算正确的 GOB 和出错 GOB 的相邻两行数据的差值进行误码定位^[4]。由于邻近两个 GOB 的相邻两行数据有着极强的相关性, 因此在宏块内, 一旦有多个 (设为 N_{mb}) 相邻行数据差值大于某个特定的门限值 (设为 G_{mb}), 就认为当前的宏块有误差, 需要进行数据掩盖。

在误码定位后, 针对 H. 263+ 的不同帧编码类型结合使用时/空误码掩盖算法来进行数据掩盖^[5]。当误码发生在帧内 (I) 帧或 P 帧中帧内编码宏块时, 由于这些宏块没有位移估值, 则采用空间误码掩盖方法, 使用四个最邻近正确宏块的像素值来对受损宏块的每一个点做插值运算, 插值公式如下:

$$mb(i, j) = \frac{1}{d_L + d_R + d_T + d_B} \times [d_R mb_L(i, 2N) + d_L mb_R(i, 1) + d_B mb_T(2N, j) + d_T mb_B(1, j)]$$

(2)

式中: mb 是受损的宏块; mb_L 、 mb_R 、 mb_T 、 mb_B 分别是左、右、上、下四个最邻近正确的宏块; d_L 、 d_R 、 d_T 、 d_B 是与 mb 的像素点 (i, j) 在四个方向上的距离。

如果 P 帧或 B 帧中运动补偿的宏块受损, 可以使用位移矢量的估值进行时间误码掩盖。具体的做法是用前一帧对应块位移矢量和本帧左边及上边最邻近块位移矢量的加权平均来估值当前帧受损宏块的位移矢量, 得到位移矢量后, 通过运动补偿掩盖受损宏块的数据。位移矢量估值的公式如下:

$$\begin{cases} \tilde{x}_{mb, K, P, Q} = (1/2) (x_{mb, K-1, P, Q} + x_{mb, K, P-1, Q}) \\ \tilde{y}_{mb, K, P, Q} = (1/2) (y_{mb, K-1, P, Q} + y_{mb, K, P, Q-1}) \end{cases} \quad (3)$$

式中: K 为帧序号; P 、 Q 分别为宏块的行、列序号。对位于图像边缘的一些宏块以及最邻近宏块也受损的情况下, 上述工作要做一定修改。

本文对帧内编码的宏块使用空间误码掩盖, 对帧间编码宏块的位移矢量使用时间误码掩盖。这种算法在没有过多的增加信道负担和解码端运算复杂度的同时, 大大提高了恢复图像的主客观质量。

5 实验结果

本文使用标准的图像序列“Claire”共 400 帧进行仿真实

验, 它是 QCIF (Quarter Common Intermediate Format) 格式, Y U V 是 4 1 1; 模拟的噪声环境为均匀分布的随机噪声; 使用峰值信噪比 (PSNR) 作为衡量恢复图像客观质量的测度。实验中设定信道速率为 20kb/s, 目标帧频为 16 帧/s。

5.1 图 2 中 FEC1 和 FEC2 的确定

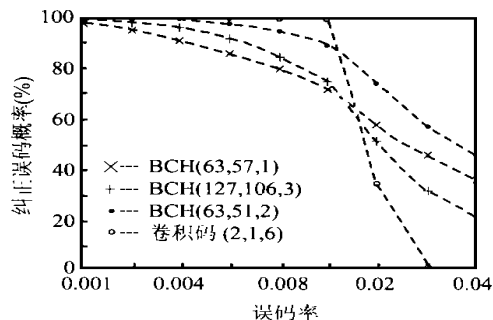


图 3 不同 FEC 码的纠错率

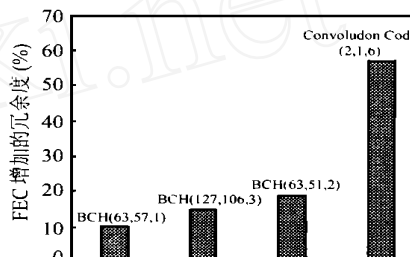


图 4 不同 FEC 码的冗余度

图 3、图 4 是不同 FEC 码的纠错能力及其冗余度的实验结果。可知卷积码 (2, 1, 6) 的冗余度最高、纠错能力最强, 在信道平均误码率为 10^{-2} 时可完全纠正。因此本文建议在使用如图 2 非等重 FEC 保护时, FEC1 为卷积码 (2, 1, 6); FEC2 采用 BCH(63, 51, 2) 码, 它的纠错能力较强, 在信道平均误码率为 10^{-3} 时, 可将误码完全纠正, 而且冗余度只有 19%。在采用非等重 FEC 后, 当信道平均误码率为 3×10^{-3} , QP 取值为 10 时, 恢复图像帧频大于 12 帧/s, 码流的冗余度为 27%, 恢复图像没有出现第二类方块效应。

5.2 确定误码定位参数

解码端在使用时/空误码掩盖技术时, N_{mb} 和 G_{mb} 的取值分别为 4 和 19, 结合非等重 FEC 方法, 去除第二类方块效应, 大大提高了恢复图像的主观质量。

5.3 确定 Q_{max}

由图 5、图 6 可以看出随着量化因子 QP 的增大, 节省的码字越来越多, 但恢复图像的质量却随之下降。实验中选择默认的 QP 为 10, 它对应恢复图像的平均 PSNR = 35.97dB; 当 QP 增加为 13, 它对应的 PSNR = 34.65dB, 相对于 QP 为 10 时可以节省 9.35% 的码字, 即有 9.35% 的码字可用于 FEC。对于 QCIF 格式, 通过实验取 Q_{max} 为 22, 它对应的 PSNR 为 32.01dB, 节省 46.2% 的码字, 这时恢复图像的质量已出现第一类方块效应, 达到主观视觉所能容忍的最大限度。

5.4 主观质量控制方法实验

图 7(a) 是实验中主观质量控制策略的整个过程, 图 7

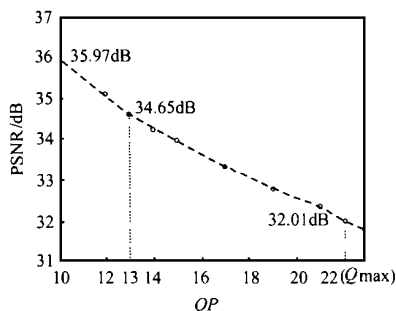


图5 粗量化对图像质量的影响

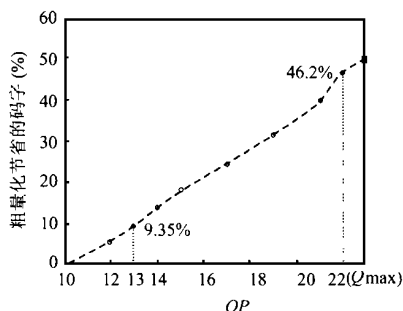


图6 粗量化节省的码字

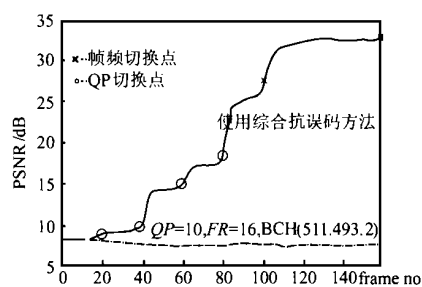
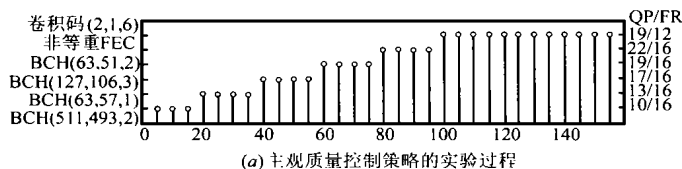
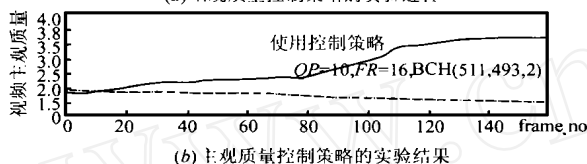


图8 使用综合抗误码方法的实验结果



(a) 主观质量控制策略的实验过程



(b) 主观质量控制策略的实验结果

图7 主观质量控制策略的实验曲线

解码端发生第二类方块效应的消息是通过外部方法(如 H. 245 标准)或 H. 263 + 的 PEI 域传送到编码端的,其机理将另作介绍,这里略去。

6 结束语

根据窄带高噪声环境,本文系统地提出了以提高视频主观质量控制策略为核心的综合抗误码方法。视频主观质量控制策略方法新颖、简单有效,它可以在信道误码未知的情况下,自适应跟踪信道噪声改变抗误码能力,从而避免了因不变的抗误码能力带来的问题,采用的抗误码能力过高增加了不必要的冗余度,或者是抗误码能力过低恢复视频质量难以接受。由于它简单易实现,这一思想已在实际中得到应用。计算机仿真结果表明使用本文研究的综合抗误码方法能有效地去除误码,显著地提高了恢复图像的主客观质量,恢复图像的信噪比提高了 10 - 20dB,恢复图像的主观质量提高了 1 - 2 个等级。

本文给出的视频系统适用于平稳随机噪声产生的误码,对于突发噪声产生误码的问题有待于进一步研究解决。

参考文献:

- [1] ITU Telecom. Standardization Sector of ITU. Video Coding for Low Bit Rate Communication [S]. Draft ITU - T Recommendation H. 263 Version2. 1997.
- [2] Song Bin, Chang Yi-lin. Control strategy of subjective video quality over error-prone channels [A]. 2000 Inter. Conf. On Communication Technology Proceedings [C]. Beijing, 2000:962 - 965.

(b)是经过主观质量控制后的实验结果,这时信道平均误码率为 5×10^{-3} 。当帧频小于 FR_{th} ,并且信道中有误码造成第二类方块效应时,应保持帧频(FR)不变,增大QP直到等于 Q_{max} ,省下的码字用来增加 FEC 纠错能力;如果这时还有未能纠正的误码,则降低帧频,将节约的码字用于增强 FEC 的纠错能力。图8是使用综合抗误码方法后恢复图像 PSNR 的实验结果。从图7、图8可以看出,使用本文提出的综合抗误码方法后,恢复图像的信噪比提高了 10 - 20dB,恢复图像的主观质量提高了 1 - 2 个等级。虽然帧频从 16 帧/s 下降到 12 帧/s,但恢复图像的主观质量和客观质量改善十分明显。

- [3] 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.
- [4] Yao Wang, Qinfan Zhu. Error control and concealment for video communication: A review [J]. Proceedings of The IEEE, 1998, 86(5): 974 - 997.
- [5] Jong-Tzy Wang, et al. Error-propagation prevention technique for realtime video transmission over ATM networks [J]. IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Tech., 1999, 9(3): 513 - 523.

作者简介:



宋彬 男, 1973 年 11 月出生于河南省郑州市。1996 年、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。先后获得省部级科技进步奖励五项, 发表学术论文 70 多篇。