

Joint Source-Channel Coding Based on the Estimated Performance of Wireless Channel

ZHANG Xinchun, LIU Shouyin

College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan, China

Abstract: This paper proposed a new rate-distortion optimization model scheme of wireless video transform, which based on joint source-channel coding and the estimation of the wireless channel's transmission characteristics and performance. With comparing the experiment results, which based on H.264 JM90 Model added dynamic lose packets, the proposed scheme's output video would be more suited to transfer on wireless channel by better video quality. This scheme can apply for the wireless video with heavily lose packets.

Keywords: joint source-channel coding; wireless video transmission; wireless channel characteristics estimation; rate-distortion optimization model

一种基于信源信道联合优化的无线视频传输方案

张新晨, 刘守印

华中师范大学物理学院, 武汉, 中国, 430079

摘 要: 介绍了一种基于信源信道联合编码原理, 利用无线信道状态和视频编码代价建立了率失真优化的无线视频传输方案, 希望能提高无线视频抗丢包能力; 在 H.264 编码平台上通过动态模拟数据包丢失进行仿真, 结果表明该方案能达到在无线信道上更佳的视频编码传输质量, 可以应用于丢包较严重的无线信道视频传输。

关键词: 信源信道联合编码; 无线视频传输; 无线信道估计; 率失真优化

1 引言

随着多媒体通信和移动通信技术的飞速发展和商业运营的巨大成功, 无线移动多媒体通信已成为一种不可逆转的发展趋势。由于视频通信对传输带宽、延时和误码等有敏感而严格的要求与无线信道的恶劣传输环境之间的矛盾十分突出, 且无线视频应用是未来无线通信平台上新的突破性增长点, 使得无线视频传输成为当前人们的研究热点。目前研究表明^[1-4], 传统的将数据压缩和数据通信分开考虑的探索之路, 无法达到在无线环境下高效可靠的传输视频数据的目的, 信源信道联合编码技术能更有效可靠地传输信息, 可以精确的表示视频数据经压缩编码和信道传输后的端到端视频重建质量, 在传输带宽、压缩误差和信道误码等条件下找到最优编码和传输方法, 使最终解码用户得到最佳视频质量^[1-5]。

本文首先介绍了利用信源信道联合编码思想在无线视频编码和传输中的误码失真分析, 然后在基于参数的率失真优化模型之上提出了针对 H.264 视频编码模式和带宽分配的优化策略, 为了获得当前无线信道传输状态和性能, 本文还利用了 3G 系统中的实测参

数建立一个简单实用的误码和丢包预估模型, 描述无线信道性能状态, 供应用层率失真优化视频编码器使用, 仿真结果表明能有效提高无线视频传输质量。

2 信源信道联合编码率失真视频编码优化模型

2.1 无线信道误码失真分析

为了得到面向无线视频编码的信源信道联合优化率失真策略, 首先必须正确地分析视频数据在无线信道中传输因误码引起的失真, 对信道误码失真和扩散的合理统计有利于抗误码率失真策略的实现。

无线视频通信的失真定义为一种端到端的失真, 解码端最终重建图像与编码前采集的原始图像的差的期望值, 记为 $E\{D\}$, 这与很多因素有关, 如: 编码器的量化误差、网络传输差错、解码差错隐藏影响等。由于视频编码是基于宏块进行处理的, 每帧图像的失真为所有宏块失真之和, 宏块失真则为宏块内所有像素失真之和。像素之间的失真可用像素亮度值之差的期望值来表示, 如公式(1)。

$$D_n^i = E\{(X_n^i - \hat{X}_n^i)^2\}$$

$$\approx E\{(X_n^i - \tilde{X}_n^i)^2\} + E\{(\tilde{X}_n^i - \hat{X}_n^i)^2\} \quad (1)$$

式(1)中 X_n^i 为原始视频第 n 帧的第 i 个像素值, $\hat{X}_n^i$ 为解码重建视频第 n 帧的第 i 个像素值, $\tilde{X}_n^i$ 为编码端重建(未传输)视频第 n 帧的第 i 个像素值, $E\{(\tilde{X}_n^i - \hat{X}_n^i)^2\}$ 即为信道误码失真, 由在无线信道上传输引起的数据丢失和错误造成, 约等于符号成立的条件为信源编码失真和信道误码失真相互独立。

信道误码在帧内编码和帧间编码不同模式下对图像质量的影响是有差别的。假设当前像素点采用帧内编码模式, 在 $(1-P_e)$ 概率下当前数据包被正确传输, 此时没有信道误码失真; 在 P_e 概率下当前数据包丢失而采用差错掩盖, 此时引起信道误码失真。因此, 在对帧内编码模式下的信道误码失真表达为公式(2)。

$$d_n^i = (1-P_e) \times 0 + P_e \times E\{(\tilde{X}_n^i - \hat{X}_{n-1}^i)^2\} \\ = P_e \times \{E(\tilde{X}_n^i - \tilde{X}_{n-1}^i)^2 + d_{n-1}^i\} \quad (2)$$

假设当前像素点采用帧间编码模式, 且运动补偿参考像素点(最佳运动匹配点, 属于参考帧)为 $\tilde{X}_{n-1}^i$, 此点可能出现 z 在 $1/4$ 像素位置上。经过无线信道传输后, 解码端重建像素值如下:

$$\hat{X}_n^i = \begin{cases} \hat{X}_{n-1}^j + c_n^j, \\ \hat{X}_{n-1}^i, \end{cases} \quad (3)$$

解码重建像素的误码失真为:

$$d_n^i = (1-P_e) \times d_{n-1}^j + P_e \times d_{n-1}^i \\ + P_e \times E\{(\tilde{X}_n^i - \tilde{X}_{n-1}^i)^2\} \quad (4)$$

从式(4)可见: 帧间编码失真主要有前一帧的误码失真扩散传递导致, 在较高误码概率下差错掩盖导致的失真也很大。

2.2 率失真抗误码视频优化方案的提出

使用基于编码失真、信道误码失真和编码码率总体优化的率失真函数实现宏块帧内和帧间编码模式上的抗误码判决, 得到最优的预测编码模式。编码器将编码过程中筛选后得到的最优帧内编码模式和帧间编码最优预测模式分别带入公式(5), 计算出各自的率失真误码 Lagrange 函数值, 最终采用率失真函数代价较小的编码模式输出。

$$J_{MB} = \sum_{i \in MB} E\{(X_n^i - \tilde{X}_n^i)^2\} \\ + \sum_{i \in MB} d_n^i + \lambda_{Mode} R_{MB}(Mode) \quad (5)$$

式中 MB 代表当前编码宏块, Mode 表示宏块可能采用的编码模式(帧内/帧间), $R_{MB}(Mode)$ 代表当前宏块在 Mode 方式下多需要花费的总编码比特数目, 包括当前宏块编码的头信息、运动矢量(MVD)、编码模式和残差系数值。

编码器输出视频码率必须小于传输带宽, 否则会发生拥塞或缓冲区溢出现象, 而视频数据在无线信道传输前还要进行信道编码等处理, 因此整个无线视频通信系统为保证视频数据有效的传输到接收端, 需要合理的分配编码数据带宽和传输保护带宽。当无线信道误码率 BER 已知, 为保证数据传输正确的概率大于某种视频应用所需的概率, 对 R 比特的数据至少需要 R' 保护比特用于纠错编码, R 与 R' 的比值为编码效率, 这个所选信道编码有关。在 CDMA2000 系统中这些参数都可以根据工作模式查表得到, 视频输出数据码率必将受到限制, H.264 视频编码模型中用量化参数 QP 作为输出码率控制参数, 公式(5)中的和 $R_{MB}(Mode)$

$$\sum_{i \in MB} E\{(X_n^i - \tilde{X}_n^i)^2\}$$

都会随着 QP 变化而变化, 码率控制算法请见文献^[6]。为取得较好的全局优化效果, Lagrange 加权因子的选取很关键, 公式中的 λ 可采用 $0.85 \times 2^{QP/3}$ 计算, 也可以通过 Wiegand^[7]提出的方法来更新每一帧的 λ 值, 如公式(6)。

$$\lambda_{n+1} = \lambda_n \times (1 + \alpha \times (\sum_{i=1}^n R_i - n \times R_{target})) \quad (6)$$

式中: α 为 $1/(5R_{target})$ 。

3 无线信道状态和性能估计

链路自适应通过动态调节某些关键的传输参数去适应基站和移动台之间变化的环境和干扰状况从而提高系统传输性能, 无线通信系统跟踪无线数据信道的时变特性选择调制电平 and 编码速率组合模式, 在信道状况很差时系统仍具有稳健性。在 CDMA2000 系统中, 前向链路采用公共导频信道对导频信号进行检测, 获得信号强度信息用于越区切换和功率控制, 实时估计无线信道性能也同样可建立在物理层实时物理参数之上。

CDMA2000 1X 中前向链路的发射采用 QPSK 调制, 并利用复用 PN 码进行调制, 采用不同的 Walsh 正交码区分不同用户信道, 如不考虑信道编码在数字通信原理的参考书中都提到了通过计算比特误码的公式。在单径 Rayleigh、多径 Rayleigh、Rice 信道中,

比特误码率均有不同表达公式, 详见相关文献^[8]和书籍^[9]。

在实际无线网络规划、无线网络优化、无线网络评估等工程项目中, 都采用 E_b/N_0 曲线和查表方式通过链路仿真工具得到与 BER(或 FER)值, 在不同信道编码和调制方式、工作模式下, 曲线均不相同。 E_b/N_0 与 BER 关系通过理论推导仿真与实际值还有差别, 因此我们必须通过一定的方法修正。在对无线信道物理量测量之后, 计算误码率和误帧率时, 采用查表确定一个基准, 然后可以根据实际统计值修正公式中的调节参数, 这样可以有效降低估计值与实际值之间的误差, 具体采用公式(7), 通过不断调整系数 K_1 、 K_2 , 调整关系直线斜率和截距能改善估算的准确性能。其中, A 和 B 将根据具体业务信道的工作状态查预先计算好的图表得出。

$$P_b(e) = K_1 \times A \times e^{-\frac{E_b}{N_0}} + K_2 \times B \quad (7)$$

用一个简单的 Gilbert 信道描述一个包级的信道传输, 它能捕获突发的包丢失。模型使用了两个状态, 一个为良好状态 S_0 , 另一个为不利状态 S_1 。当一个数据包处于信道良好状态下能够正确的传输和接收, 当信道处于不利状态下则传输过程发生错误, 不能正确的接收到数据包。 P_{00} 、 P_{01} 、 P_{10} 、 P_{11} 是状态转移概率。两状态间的转移发生在每个数据包传输的间隔。数据包传输错误发生的概率随着信道状态转移概率而变化。状态转移概率能够根据无线信道的链路层性能特征计算出, 例如平均突发包丢失率长度、包丢失率等。两状态的 Markov 模型的信道状态转移概率矩阵如下式:

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-P_{01} & P_{01} \\ P_{10} & 1-P_{10} \end{bmatrix} \quad (8)$$

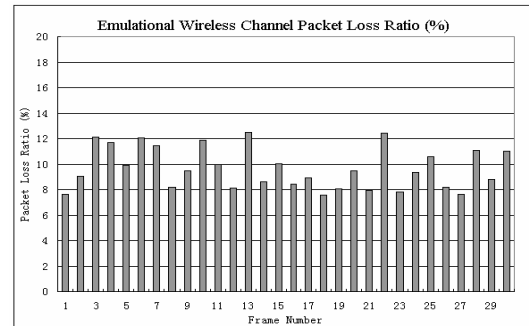
信道状态转移概率矩阵中的状态转移概率 P_{01} 和 P_{10} 可以从文献[10]的 Gilbert Markov Channel 假设模型中得出计算公式。在某特定包长度下将比特错误模式转换成包丢失模式, 文献[11]中给出了一种基于包级的可行的突发统计方法。 P_{01} 可以 P_{10} 和丢包率 PER(Packet Error Rate)推导得出。

在使用率失真优化编码模型时, 本方案采用丢包率来描述无线信道好坏, 实验仿真过程中在不同时刻认为设置了不同的丢包率, 并假设都能够正确的估计。

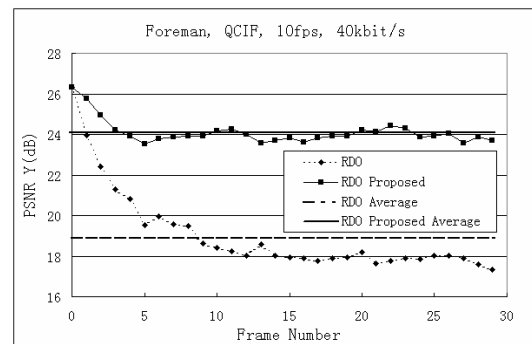
4 仿真测试

测试中视频编码器采用 H.264 JM90 平台(设置:

①帧内预测: 亮度采用 5 种预测模式, 为 DC 预测、水平、垂直、右下对角和左下方向的空间预测, 色度



(a). The simulation of wireless channel packet loss rate
(a). 仿真无线信道丢包率变化



(b). The performance of two RD-optimization algorithms
(b). 两种率失真优化方法的抗误码性能比较

Figure 1. The experiment results over packet loss wireless channel

图 1. 无线信道下抗误码率失真优化性能实验结果

采用 4 种预测模式; ②帧间预测: 采用多种块模式组合的运动补偿, 块模式大小为 16×16 、 16×8 、 8×16 、 8×8 ; 运动向量的精度为 $1/4$ 像素; 参考帧为 1~2 帧; 预测时块匹配标准采用 SAD 公式计算; ③整数变换: 采用 4×4 大小的整数变换, 变换系数为 1、2 基; ④熵编码使用 CAVLC 编码; ⑤使用环滤波。使用 QCIF、10 f/s 的 Foreman 视频序列, 编码帧数为 30 帧, 顺序为 IPPPP, 采用码率控制策略变化量化参数, 对无线信道丢包率和两种率失真优化方法的抗误码性能比较分别进行了仿真研究, 如图 1 所示。

图 1(a)表明了无线信道带宽和丢包率的变化, 平均数据传输速率为 40 kb/s, 丢包率平均为 10%, 无线信道性能波动。图 2(b)表明了原 H.264 率失真优化和本文改进后考虑了信道误码的率失真优化两种方法的抗误码性能, 及其解码重建后的客观质量见。

5 结论

本文提出了一种新的无线视频编码传输方案, 基于参数的信源-信道联合编码建立的率失真模型进行编码优化, 同时论述了无线信道链路层性能进行估计的可能, 并无线信道传输数据的丢包率作为应用层视

频编码的优化输入参数, 仿真结果表明本方案的编码传输输出视频流更适合在无线信道上传输, 有助于无线信道丢包严重的环境下的视频传输各类应用。

References (参考文献)

- [1] Gao XJ, Zhuo L and Shen LS, H.264 rate-distortion model based joint source channel coding scheme over wireless channels [J] (in chinese), Journal on Communications, 2008, 29(9):24-31.
高雪娟, 卓力, 沈兰荪. 基于 H.264 率失真模型的无线信源信道联合编码方案[J], 通信学报 2008,29(9):24-31.
- [2] Ma ZH, Yu SY, Wang XD, An Error Resilient H.264 Mode Decision Scheme for Internet Channel [J] (in chinese), ACTA Electronic Sinica, 2003, 31(2):297-300.
马仲华, 余松煜, 王兴东. 一种面向 Internet 信道的 H.264 率失真抗误码编码判决策略[J], 电子学报, 2003,31(2):297-300
- [3] Yang H, Yu SY, Yang SA. A global rate-distortion optimized approach for H.264 low bit rate robust video over the Internet [J]. high technology letters, 2005 11(2):1-5.
- [4] Chou PA, Miao Z. Rate-Distortion Optimized Streaming of Packetized Media [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2006.8(2):74-93.
- [5] Zhuo L, Shen LS, Development Status of Wireless Video Coding Technique [J] (in chinese), Measurement & Control Technology, 2003, 22(5):1-4.
- 卓力, 沈兰荪. 无线视频编码技术的发展[J]. 测控技术, 2003,22(5):1-4.
- [6] Yang J, Fang XZ, Rate-distortion Optimized Motion Estimation Algorithm for Video Transmission over Internet [J] (in chinese), Computer Engineering, 2008, 34(8): 246-248.
杨静, 方向忠. 视频 Internet 传输的率失真优化运动估计算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(8): 246-248.
- [7] Wiegand T, Lighstone M, Mikherjee D. Rate-Distortion Optimized Mode Selection for Very Low Bit Rate Video Coding and the Emerging H.263 Standard [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996 (2): 182-190.
- [8] Zhang H, Dong YL, A Novel Simulation Model for The Generation of Rayleigh Waveforms in Wireless Channels [J] (in chinese), Journal of Electronics & Information Technology, 2008, 30 (12): 2959-2962.
张晖, 董育宁. 无线信道中一种新的瑞利波形仿真模型[J]. 电子与信息学报, 2008, 30 (12): 2959-2962.
- [9] Yang DC, Shen LS, CDMA2000 1X Mobile Communication System [M] (in chinese), Machine Industry Press, Beijing 2003:6.
杨大成. CDMA2000 1X 移动通信系统[M]. 北京机械工业出版社, 北京, 2003:6.
- [10] Gilbert E N. Capacity of a burst-noise channel [J] Bell System technology, 1960, 39: 1253-1265.
- [11] Lee ACM, Mvlane PJ. Fast Fading Mobile Satellite Communication Channels[J], IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1990, 39(1): 37-40.