

一种面向 Internet 信道的 H. 26L 率失真抗误码编码判决策略

马仲华, 余松煜, 王兴东

(上海交通大学图象通信与信息处理研究所, 上海 200030)

摘要: 从最新的 H. 26L 视频压缩标准出发, 提出了一个面向典型 Internet 误码信道的率失真宏块编码判决策略, 通过在宏块编码判决层上引入优化的亮度率失真策略, 从而在综合考虑视频编码质量和信道误码扩散导致的解码失真的条件下, 使视频流具有更强的自适应误码抵抗能力. 实际 Internet 误码信道下的测试结果充分证明了本率失真判决策略的抗误码优势.

关键词: H. 26L 视频压缩标准; Internet 误码信道; 率失真编码判决策略

中图分类号: TN919. 81 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 02-0297-04

An Error Resilient H. 26L Mode Decision Scheme for Internet Channel

MA Zhong-hua, YU Song-yu, WANG Xing-dong

(Institute of Image Communications & Information Processing Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Based on the new-coming H. 26L video compression standard, an RD optimal Macro-Block mode decision scheme for Internet error channel streaming is introduced. The scheme employs the luminance Rate Distortion (RD) optimal mode decision scheme so as to take the effects of video encoding distortion and the channel error propagation to get higher error robustness for error transmission. Experimental results under real Internet channel condition fully prove its superior adaptive error resilient capability.

Key words: H. 26L video compression standard; Internet error channel; Rate Distortion (RD) optimal mode decision scheme

1 引言

为适应不断发展的视频流多媒体通讯需要, ITU 于 1999 年开始展开了对下一代低码率视频压缩标准 H. 26L^[1] 的重点研究. H. 26L 采用了基于多参考帧 / 多编码分块匹配和动估计与编码模式判决率失真算法、1/4—1/8 像素精度的运动匹配、基于相邻分块像素的多种空间域预测估计编码策略等许多先进压缩编码技术, 同时也能提供灵活的适用不同网络传输条件的网络适配接口. 然而在非常关注的视频流抗误码传输领域, H. 26L 目前推荐的技术还局限于宏块的帧内编码刷新策略^[2] 上, 这种简单策略由于忽视了具体信道的误码特点和图像序列的误码敏感度, 在实际误码信道条件下抗误码效果不尽如人意.

作为一种有效提高视频流抗误码能力的技术手段, 率失真抗误码策略在 H. 263 视频压缩标准上曾得到过深入的研究^[3]. 这些策略通过在视频流的宏块编码选择层上使用综合编码失真和信道失真的编码模式率失真判决算法, 为 H. 263 低码率视频编码流提供了更强的抗误码能力. 然而几乎所有这些率失真策略对 H. 263 视频流的误码扩散失真都只是简单地基于宏块或以像素为单位对帧间误码扩散进行大概统计; 同时由于 H. 26L 压缩流在帧内预测和帧间运动估计编码上采用了比较复杂的多参考帧 / 多分块匹配算法, 所以如果简单将基于 H. 263 单参考帧运动估计模式下的率失真抗误码策略

在直接应用到全新的 H. 26L 编码流上, 很多新问题将不可避免^[4].

本文从 Internet 信道的信道误码分布统计和扩散特点出发, 提出了一个适用于 H. 26L 多分块匹配 / 多参考帧运动估计模式的抗误码率失真编码判决策略, 同时针对 H. 26L 的 1/4 像素运动匹配精度, 对信道误码扩散失真采用了合适的亚像素内插算法, 有效提高了率失真算法的统计精度. 实际 Internet 信道误码下的仿真结果证明, 本 H. 26L 率失真误码判决算法比传统的宏块刷新策略具有更强的误码鲁棒性和网络适应能力.

2 面向 Internet 信道传输的 H. 26L 率失真抗误码策略实现

2.1 Internet 丢包误码信道下的 H. 26L 视频流传输设置

为了得到面向 H. 26L 视频流的信源信道联合优化率失真策略, 首先必须设定 H. 26L Internet 视频流传输模式下的信源编解码和信道误码传输环境:

(1) H. 26L 视频编码器只使用帧内 / 帧间编码预测模式; 帧内预测启用 4 × 4 和 16 × 16 模式; 最佳预测模式使用低复杂度的 SAD 值比较^[5] 得到; 帧间运动预测使用 4 × 4、4 × 8、8 × 16、和 16 × 16 等匹配分块, 帧内最大运动匹配范围 ±12 个像素点; 参考帧搜索范围设为前 5 帧; 最终的编码信息采用 UVLC

收稿日期: 2002-03-20; 修回日期: 2002-08-23

基金项目: 上海市科委发展基金 (No. 985115008)

UVLC 通用码表输出比特流。

(2) 考虑到 QCIF 格式 H. 26L 视频流在 64Kbps 信道下 P 帧单帧码率通常只有 4 ~ 10K 比特, 远低于 1400 字节的 MTU 上限^[6], 所以 Internet 信道上对 H. 26L 视频流采用简单的数据打包策略; 即将每个 H. 26L 编码帧直接作为一个有效 RTP 传输包。

(3) Internet 信道采用面向尽力传输 (Best Effort) 的信道标准, 信道中的丢包误码采用 Bernoulli 统计模型^[7], 信道中的各数据包丢包事件间相互独立, 信道误码对应于特定的丢包率 P_e , 丢包率一般在 0% ~ 20%; 不出现突发丢包的误码现象。

(4) 在简单帧打包的策略下, H. 26L 视频解码器采用简单的误码掩盖策略, 如果解码器发现当前解码帧所属的数据包丢失, 则直接采用上一个解码帧的对应数据进行误码掩盖。

2.2 面向 Internet 信道的 H. 26L 视频流信道误码失真分析

实现抗误码率失真策略的关键是对信道误码失真和扩散的合理统计。现设 X_n^i 为编码帧 n 上像素点 i 的原始亮度值, \tilde{X}_n^i 为在 H. 26L 编码端重建的亮度值; X_n^i 为此像素在经信道误码后的解码重建值。若用 d_n^i 来表述此像素点的亮度误码失真, 则:

$$d_n^i = X_n^i - \tilde{X}_n^i \quad (1)$$

考虑到 Internet 信道误码的随机分布特点, 显然误码重建值 X_n^i 也为一个基于 \tilde{X}_n^i 的随机变量, 它的特性受视频编码采用的具体编码方式、信道传输下 H. 26L 流的打包策略、Internet 信道误码分布、以及信道解码端误码掩盖策略等各方面复杂影响, 所以必须分别考虑可能的编码方式 (帧内 / 帧间) 下的信道误码失真统计。

2.2.1 H. 26L 帧内编码模式下的当前像素点信道误码失真统计 假设当前像素点采用帧内编码模式, 则在 Bernoulli 信道丢包误码模型下其信道误码情况如下: 在 $(1 - P_e)$ 概率下当前数据包能被正确接收, 此时解码端像素重建无误码失真; 在 P_e 概率下当前数据包被丢弃而采用误码掩盖, 此时信道误码失真为 $\tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i$ 。综上可得帧内编码模式下当前像素点的信道误码亮度失真期望为:

$$d_n^i = (1 - P_e) \cdot 0 + P_e \cdot [\tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i]^2 = P_e \cdot \tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i \quad (2)$$

考虑 H. 26L 视频流编码失真和 Internet 信道误码失真的独立性, 即:

$$\begin{aligned} \tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i &= (\tilde{X}_n^i - \tilde{X}_{n-1}^i) + d_{n-1}^i \\ &= \tilde{X}_n^i - \tilde{X}_{n-1}^i + d_{n-1}^i \end{aligned} \quad (3)$$

故式 (2) 可简化为:

$$d_n^i = P_e \cdot [\tilde{X}_n^i - \tilde{X}_{n-1}^i + d_{n-1}^i]^2 \quad (4)$$

2.2.2 H. 26L 帧内编码模式下的当前像素点信道误码失真统计 在 H. 26L 的多参考帧间预测模式下, 设当前像素点的最佳运动匹配参考点为 \tilde{X}_{n-1}^i , 这里 $(n-1)$ 表示前第 1 个参考编码帧, 考虑到 H. 26L 的运动估计精度, 所以此参考点可能在 1/4 像素位置上; 同时设当前像素点运动估计后的残值为 \tilde{e}_n^i , 则解码端像素重建值如下:

$$X_n^i = \begin{cases} X_{n-1}^i + \tilde{e}_n^i, & \text{正确接收, 发生概率: } (1 - P_e) \\ X_{n-1}^i, & \text{误码掩盖, 发生概率: } P_e \end{cases}$$

由此接收端当前像素点的误码失真函数期望可表示为:

$$\begin{aligned} d_n^i &= (1 - P_e) \cdot \tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i + \tilde{e}_n^i + P_e \cdot \tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i \\ &= (1 - P_e) \cdot \tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i + \tilde{e}_n^i + P_e \cdot \tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i \end{aligned} \quad (5)$$

同样考虑到 H. 26L 编码失真和 Internet 信道误码失真的独立性, 最终得到帧间编码方式下的当前像素点信道误码亮度失真期望为:

$$\begin{aligned} d_n^i &= (1 - P_e) \cdot d_{n-1}^i + P_e \cdot [\tilde{X}_n^i - X_{n-1}^i + d_{n-1}^i]^2 \\ &= [(1 - P_e) \cdot d_{n-1}^i + P_e \cdot d_{n-1}^i] + P_e \cdot \tilde{X}_n^i - \tilde{X}_{n-1}^i \end{aligned} \quad (6)$$

从上式可见: 帧间编码像素点的亮度误码失真函数主要由前面帧的误码失真扩散传递导致; 同时在较高误码概率下, 当前帧误码掩盖导致的失真贡献也很大。由此可见 H. 26L 视频流的帧间编码在抵抗信道误码扩散时的弱点。

2.3 面向 H. 26L 的率失真抗误码宏块编码模式判决

在筛选出了可能的 H. 26L 宏块帧内编码和帧间编码模式下的最优预测模式后, 现使用基于编码失真、信道误码失真和编码率总体优化的 Lagrangian 率失真函数来实现宏块帧内和帧间编码模式上的率失真抗误码判决。筛选得到的宏块帧内编码最优预测模式和帧间编码模式最优预测模式分别代入式 (7), 得到各自的率失真抗误码 Lagrangian 函数值; Lagrangian 率失真函数值较小的那个编码模式 (帧内 / 帧间) 将作为最终的宏块编码模式正式编码输出。

$$J_{MB} = \sum_{i \in MB} X_n^i - \tilde{X}_n^i + \sum_{i \in MB} d_n^i + \text{MODE} \cdot R_{MB}(\text{MODE}) \quad (7)$$

式 (7) 中 MB 代表需要判决的当前编码宏块; MODE 代表当前宏块可能采用编码方式 (帧内 / 帧间)。 $R_{MB}(\text{MODE})$ 代表当前宏块在 MODE 方式下所需要花费的总编码比特数目, 包括当前编码宏块的头信息部分、运动矢量部分 (MVD)、宏块编码模式信息部分 (CBP) 和当前宏块的亮度 DCT 系数集。

为了得到较好的全局优化效果, Lagrangian 加权因子的选取很关键。尽管本率失真算法只考虑当前宏块的亮度失真函数和亮度部分编码系数码率; 没有象 TML8.0 的全率失真算法^[8]那样对当前宏块的所有亮度 / 色度失真以及所有的亮色信息编码率作 Lagrangian 最优化, 但实际上亮度失真在所有失真中占的比例与亮度编码信息在所有编码信息中占的比例是相当的, 故本算法采用和 TML8.0 中一样的 Lagrangian 系数值。即:

$$\text{MODE} = 5 \frac{q+5}{34-q} e^{0.1q} \quad (8)$$

3 测试效果对比

Internet 信道采用 ITU 推荐的典型 Internet 信道测试环境^[9], 信道误码使用 ITU 推荐的平均丢包率为 3%、5%、10% 和 20% 的 Error Pattern 文件^[10]来模拟实现。测试序列使用

Foreman, 176 × 144 (QCIF) 格式, 视频帧率为 7.5fps; Internet 信道码率设为 64kbps, 视频流采用使用 RTP/UDP/IP 传输方案和一帧一包的打包策略, 解码端启用相关误码掩盖策略。

3.1 理想信道下本率失真误码策略的编码效率测试

理想信道条件下本率失真判决策略 (RDerr Mode) 与 TML8.0 的全率失真编码策略^[8] (Rdall Mode) 和 ITU 推荐的基于 SAD Hadamard 变换值的标准策略^[5] (SADtml Mode) 的压缩效果如图 1(a) 所示。四个测试点分别代表量化系数为 16、18、20、22 下的相应视频流平均码率和信噪比。由图 1(a) 不难发现: 在 40 - 90kbps 码率范围内, 采用了宏块率失真策略的 RDall Mode 和 RDerr Mode 亮度信噪比明显高于相应码率下的 SADtml Mode 标准策略, 而相同码率下 RDall Mode 和 RDerr Mode 间的亮度信噪比最大差值不超过 0.2dB。由此可见: 虽然本误码率失真策略 RDerr Mode 虽然只利用了亮度信息, 但由于使用了合理的 Lagrangian 函数, 其相关性能和 RDall Mode 全率失真策略相差无几。

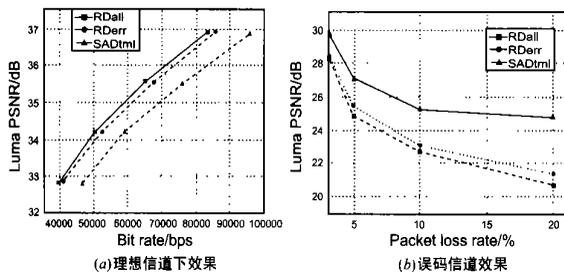


图 1 相关算法的压缩和抗误码效果对比

3.2 典型 Internet 误码信道下本率失真误码策略的抗误码测试

比较典型 Internet 信道测试环境下各误码算法下的 H.26L 视频流在 ITU 典型误码环境下的平均解码亮度信噪比, 测试序列总长度为 4000 帧, 得到结果如图 1(b)。不难发现当信道丢包率从 0% 上升到 5% 时, 未采用任何抗误码策略的 Rdal l Mode H.26L 视频流在解码端的平均亮度信噪比下降幅度达 10.05dB; 而基于误码丢包率倒数的 GOB 宏块刷新算法 (IRgob Mode) 由于没有从分考虑特定图像序列的细节特性和运动特征, 对 H.26L 视频流的平均亮度信噪比增益仅为 0.3 ~ 0.6dB 左右; 与此形成将较强对比的是: 基于亮度误码率失真的宏块编码判决算法 (RDerr Mode) 的 H.26L 视频流利用帧内宏块的抗误码优化分布, 在 Internet 信道下抗误码能力有明显提高: 在 5%、10%、20% 误码率测试环境下, 解码平均信噪比较 IRgob Mode 有 2.5 ~ 3.5dB 左右的提高。

表 1 为 64kbps 信道下的各误码算法的实际码率和抗误码增益对比。不难发现使用 RDerr Mode 误码率失真算法的 H.26L 视频流在总体码率略高于帧内顺序刷新算法 IRgob Mode 的前提下, 在各个典型误码环境下提供了比采用 IRgob Mode 算法视频流更强的误码抵抗能力。

3.3 本率失真误码策略中的信道误码失真函数插算法选择

虽然本文对 H.26L 帧内/帧间预测方式以及相应信道误码扩散传递做了一定的假设和简化, 但精确统计 H.26L 亚象

表 1 典型 Internet 误码信道下相关抗误码算法效能对比

抗误码算法	信道误码率 (%)	3	5	10	20 -
COB 顺序刷新算法	视频码率 (bps)	63093	64339	60562	63988
	量化系数	19	19	20	21
IRgob Mode	信噪比增益 (dB)	0.142	0.57	0.396	0.7
误码率失真判决算法	视频码率 (bps)	62339	58290	58632	59448
	量化系数	20	21	22	/23
RDerr Mode	信噪比增益 (dB)	1.436	2.176	2.555	4.10

素位置上的 d_{n-1}^2 互相关特性仍然非常困难。为此本文测试了几种典型信道误码失真内插算法对 H.26L 率失真视频流的抗误码效果影响, 所有 H.26L 测试码流均采用同一量化系数量化生成 ($QP = 20$), 其中 Linear 代表线性内插法, 即当前位置的值为相邻上级位置值的平均 ($C = (A + B)/2$); Correlation 为邻域相关法, 即当前位置的值为相邻上级位置的互相关 ($C = (A + 2\sqrt{AB} + B)/4$); Integer 代表邻域取整法, 即当前亚像素位置上得值等于它最近的整像素位置上的值。由图 2 可见: 当信道丢包率

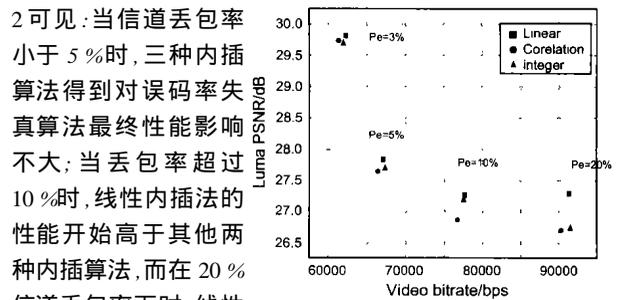


图 2 不同内插算法效果比较

小于 5% 时, 三种内插算法得到对误码率失真算法最终性能影响不大; 当丢包率超过 10% 时, 线性内插法的性能开始高于其他两种内插算法, 而在 20% 信道丢包率下时, 线性内插法的解码信噪比

4 结论

本文面向下一代 H.26L 视频流在 Internet 信道下的信道误码扩散特点, 提出了一个适用于多参考帧运动估计模式的抗误码率失真编码判决策略, 同时一个实用的误码失真函数亚像素内插算法, 一定程度上提高了抗误码率失真策略的精度。典型 Internet 误码信道下的测试证实: 本误码率失真策略具有比传统宏块抗误码策略更强的误码鲁棒性。

参考文献:

- [1] ITU-T VCEG-N08 H.26L test model document [A]. VCEG(SG16/Q6), Fourteenth Meeting[C]. Santa Barbara, CA, September 2001.
- [2] Stephan Wenger. A High Level Syntax for H.26L: First Results, Intl. Conference on Visual Communications and Image Processing 2000[C]. Perth, Australia, 20 - 23 June 2000. 191 - 198.
- [3] G Cote, F Kossentini, Optimal intra coding of blocks for robust video communication over the Internet, EURASIP Image Communication [A]. Special issue on Real-Time Video over the Internet [C]. 1999.
- [4] R Zhang, Shankar L Regunathan, et al. Optimal intra/inter mode switching for robust video communication over internet [A]. 33ed

- Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers [C]. Oct. 1999. 332 - 336.
- [5] H.26L Test Model 5.2 software packet [DB/ OL]. <http://pictel.com/Videosite/H.26L/>.
- [6] S H Casner, S Frederick, et al. RTP: A Transport Protocol for Real Time Applications[R]. RFC1889, January 1996.
- [7] F L Leanne, C Guillemo. Error resilient transmission over internet [A]. SPIE on VCIP '99[C]. San Jose, California: SPIE, 1999. 271 - 280.
- [8] Gisle Bjontegaard. H.26L test model long term number (TML-8) draft0 [A]. VCEG (SG16/ Q6), Fourteenth Meeting[C]. Santa Barbara, CA, September 2001.
- [9] ITU-T Q15-F61. Common conditions for H.323/ Internet case [A]. VCEG (SG16/ Q15), Ninth Meeting[C]. Santa Redbank, NJ, October 1999.
- [10] Document ITU-T Q15-F16, Error Patterns for Internet Experiments [C]. Red Bank, New Jersey, USA, 1999.

作者简介:



马仲华 男, 1973 年出生于浙江诸暨, 1995 年从上海交大毕业, 现为上海交大图像通信与信息处理研究所博士生, 主要研究方向: 视频信号处理、低码率图像通信 (H.26x/ MPEG-4) 与多媒体实现。

余松煜 男, 1941 年出生于上海, 1963 年从上海交通大学毕业, 现为上海交通大学教授, 博士生导师, 交大图像通信与信息处理研究所副所长, 数字电视和图像通讯专家。