

IP 网络信源信道联合编码策略

李 勃, 卓 力, 沈兰荪

(北京工业大学信号与信息处理研究室, 北京 100022)

摘 要: 面向 IP 网络, 讨论了一种信源编码的失真估计模型, 并用典型的视频编码器作了验证. 提出了一种基于包的信道编码方法, 并将该方法引入信道编码的失真估计中, 对一种信道编码的失真估计模型作了改进. 以前述内容为基础, 提出了两种信源信道联合编码策略, 实验结果表明, 这两种策略得到的最优结果在很大程度上提高了视频重建质量.

关键词: IP 网络; 失真估计; 信源信道联合编码

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 12A-2079-04

Joint Source Channel Coding Strategy for Video over IP Network

LI Bo, ZHUO Li, SHEN Lan-sun

(Beijing University of Technology Signal and Information Processing Lab, Beijing 100022, China)

Abstract: A model of source distortion for video transmission over IP network is discussed and verified by two typical video encoders. A packet-based channel coding method is proposed, which is applied to distortion estimation of channel coding. Based on the proposed method, two novel strategies oriented to joint source channel coding are presented. Test results show that optimal coding schemes depending on proposed strategies improve video reconstruction quality to high extent.

Key words: IP network; distortion estimation; joint source channel coding

1 引言

近年来, 面向 IP 网络的视频通信已成为学术界的研究热点^[1-3]. 网络、终端的异构性以及信道所导致的差错问题使得这一应用仍面临巨大挑战^[4]. 信源编码和信道误码所引发的失真导致了视频重建质量的恶化, 使用户的主观感受明显下降. 因此, 如何将有限的带宽合理地分配给信源码率和信道码率以获得最小的失真是一个值得深入研究的问题.

Shannon 信息论中关于独立编码的理论认为, 通信系统的信源和信道编码器可以独立设计, 而不会降低系统的整体性能. 信源编码是通过去除信号冗余来获得尽可能高的压缩效率; 信道编码是通过增加冗余信息来提高信号的抗误码能力. 因此, 传统观点认为信源编码和信道编码之间并不需要交互信息和联合优化. 然而, 独立编码理论的两个前提条件在实际应用中并不能很好的满足, 因此, 信源信道联合编码可以提高系统的整体性能. 目前该领域的研究取得了一些成果^[5-7], 其方法主要包括基于信源优化信道、基于信道优化信源及联合优化, 但多数工作是面向无线网络展开的, 而 IP 网络的差错特性与无线网络并不完全一致, 因此, 研究 IP 网络信源信道联合编码技术是很有意义的.

本文面向 IP 网络, 给出了一个信源编码失真估计模型,

同时考虑到接收端误码隐藏能力, 将信道编码理论引入信道的失真估计方法中, 最终提出了两个信源信道联合编码策略, 并用实验验证了其正确性和有效性.

2 联合编码的问题描述

2.1 系统框图

视频通信系统的一般框图如图 1 所示, 原始信号通过信源编码和信道编码后, 经调制发至通信信道, 接收端对收到的信号先解调, 然后分别经信道解码和信源解码恢复出原始信号. 码率分配模块是根据信道带宽和反馈参数等信息最优地分配信源码率和信道码率.

2.2 优化问题

首先, 本文定义联合编码总码率 R_{S+C} 和总失真 D_{S+C} ,

$$R_{S+C} = R_S / R_C, D_{S+C} = D_S + D_C \quad (1)$$

其中, R_S 和 R_C 分别表示信源和信道编码码率; D_S 和 D_C 分别表示信源和信道编码失真.

从数学的角度看, 信源信道联合编码本质上是一个有约束的最优化问题. 在给定信道带宽 R_{width} 的条件下, 如何最优地分配信源码率和信道码率使得总失真 D_{S+C} 最小, 描述如下,

优化目标: $\min D_{S+C} = f(\text{信源编码参数}, \text{信道编码参数},$

信道反馈参数)

$$\text{约束条件: } R_S + c \leq R_{\text{Width}} \quad (2)$$

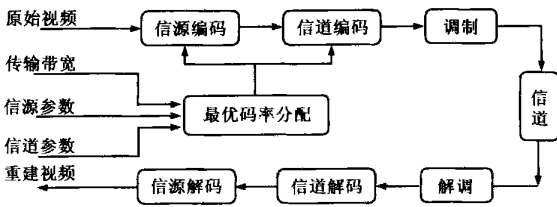


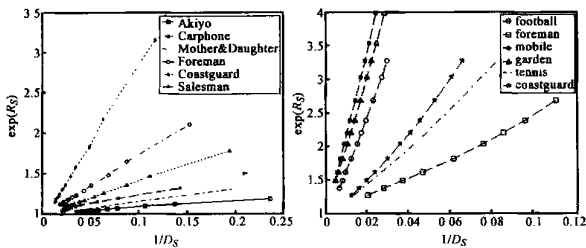
图1 视频通信系统框图

3 信源编码的率失真模型

信源编码的失真估计是信源信道联合编码关键一步,其目的在于根据码率分配算法得到的信源码率直接估计出该码率下的信源失真,从而找到输出码率与信源失真的对应关系。目前,信源率失真模型的研究取得很多成果^[8,9]。本文采用了 Zhihai He 提出的率失真(R-D)模型来估计信源失真,并对算法作了进一步简化:

$$\begin{aligned} \text{令 } RR_S &= \exp(R_S), & DD_S &= 1/D_S \\ \text{则, } RR_S &= \alpha \cdot DD_S + 1 \end{aligned} \quad (3)$$

其中,信源失真 D_S 采用通用的评价标准均方误差(MSE)来衡量。该模型表明,通过对平均码率和平均失真分别作指数和倒数运算后,两者存在近似线性关系,斜率即为参数 α 。该参数仅仅依赖于视频序列的本身特征,使得模型的形式简单,运算复杂度低。



(a) H.263 视频编码器 (b) MPEG2 视频编码器
图2 信源率失真模型验证结果

本文分别采用 H.263 和 MPEG2 视频编码器对该模型进行了验证。图2(a)是 H.263 对6个 QCIF 格式的标准序列的仿真结果;(b)是 MPEG2 对6个 SIF 格式 NTSC 制式的标准序列的仿真结果。从验证结果可知,该模型与实验数据有很好的拟合性。

4 信道编码的失真估计

IP 网络是尽力而为的分组交换网络,网络拥塞、缓冲区溢出和传输延时等因素所导致的数据包丢失势必会引起压缩数据的失真,从而影响视频重建质量。而重建质量的恶化程度又与诸多因素有关,因此,估计信道所引起的端到端的失真估计联合编码总失真的关键一步。

对丢失的数据进行误码恢复或掩盖可以提高视频重建质量,本文从误码恢复的角度出发,通过引入信道编码理论,对文献[10]提出的信道失真估计模型作了改进,得到一种在加

入信道保护条件下的信道失真估计方法。

4.1 信道失真模型

对于分组交换网络,一旦一个数据包丢失,那么其头信息、运动矢量等信息都随之丢失。因此采用时域替代的误码隐藏机制对丢失数据加以掩盖。该模型把 intra 宏块和 inter 宏块分开估计失真,分别用 D_C^{intra} 和 D_C^{inter} 表示。

第 n 帧中 intra 宏块的失真估计方法为:

$$D_C^{intra}(n) = a \cdot p \cdot Fd(n, n-1) + p \cdot D_C(n-1) \quad (4)$$

第 n 帧中 inter 宏块失真估计方法为:

$$D_C^{inter}(n) = a \cdot p \cdot Fd(n, n-1) + [(1-p)b + p] \cdot D_C(n-1) \quad (5)$$

其中, $Fd(n, n-1)$ 是原始视频相邻两帧的均方误差; $D_C(n-1)$ 是第 $n-1$ 帧的失真; 参数 p 是平均丢包率; 参数 a, b 是两个(0,1)之间的常数,更详细地阐述可参考文献[10]。

若第 n 帧中 intra 宏块的比率为 α , 则一帧图像的失真为:

$$D_C(n) = \alpha \cdot D_C^{intra}(n) + (1-\alpha) \cdot D_C^{inter}(n) \quad (6)$$

将上述两式带入整理有,

$$D_C(n) = \alpha_1 D_C(n-1) + \alpha_2 \cdot Fd(n, n-1) \quad (7)$$

其中, $\alpha_1 = (1-p)(1-\alpha)b + p$, $\alpha_2 = \alpha p$ (8)

分析该模型可知,第 n 帧的失真与前一帧(第 $n-1$ 帧)的失真直接相关。而采用预测编码得到的码流在丢包后得到的重建视频会发生误码扩散现象,即前一帧的差错会直接影响当前帧的重建质量,这一特性在该模型中得到了充分的体现。该模型的缺点在于没有引入信道编码理论,没有考虑信道编码对数据的保护能力,本文面向信源信道面向联合编码这一应用,通过引入信道编码对该模型作了改进。

4.2 基于包的信道编码及改进模型

IP 网络的差错主要体现为数据包的丢失,因此,基于比特错误的信道保护方法在这里并不适用,本文采用 RS 纠错码,给出了一种基于包的信道编码方法。对于 $RS(n, k)$ 码,信道编码的码率 R_C 定义为:

$$R_C = k/n \quad (9)$$

需要特别指出的是,提高信道的保护能力是通过降低 R_C 来实现的,而提高 R_C 实际上降低了信道编码的保护能力。

在 $RS(n, k)$ 码中, k 个有效信息包用 $n-k$ 个冗余包进行保护,产生 n 个数据包(如图3所示),其纠错能力为 $t = (n-k)/2$ 。如果加入错误产生的位置信息,则其纠错能力提高到 $(n-k)$ 。该方法的特点在于即使传输过程中有数据丢失,只要 n 个数据包中有 $m(m > k)$ 个数据包没有丢失,就能无失真地将误码恢复回来,利用 RS 码进行前向误码控制,可以有效地提高压缩码流本身的抗误码能力。显然,由于加入了信道编码,信道反馈的平均丢包率 p 与解码后得到的解码差错率 P_{dec} 并不完全一致,应将这一特性体现在信道编码的失真模型中,从而对 4.1 节的模型加以改进。

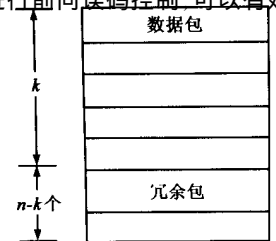


图3 基于包的 RS 编码原理

根据 RS(n, k) 码的特点, 当丢失数据包的数量 m 超过其纠错能力 n - k 时, RS 码无法正确恢复, 根据概率分布函数, 解码差错率 P_{dec} 与平均丢包率 p 存在下述关系:

$$P_{dec} = \sum_{m=n-k+1}^n C_n^{n-m} p^m (1-p)^{n-m} \quad (10)$$

因此, 加入信道保护后, 估计信道失真的直接影响因素不再是平均丢包率 p, 而是解码差错率 P_{dec}, 因此模型参数 1, 2 变为:

$$\begin{aligned} 1 &= (1 - P_{dec})(1 -)b + P_{dec} \\ 2 &= aP_{dec} \end{aligned} \quad (11)$$

而解码后的差错仍然会导致重建视频的误码扩散问题, 因此引入信道保护并不会对模型的基本形式产生影响。

5 联合编码策略

就联合编码策略而言, 其本质问题就是最优分配总码率 (实际上是确定信源码率和信道码率过程), 以获得最小的端到端失真. 本文以前面的工作为基础, 提出了两个信源信道联合编码策略。

5.1 第一种策略

该策略首先给据信道反馈的平均丢包率 p 以及解码差错率 P_{dec} 与平均丢包率 p 的关系, 确定最优的信道码率 R_c, 再根据传输带宽 R_{width} 确定信源码率 R_s, 具体流程如图 4 所示。

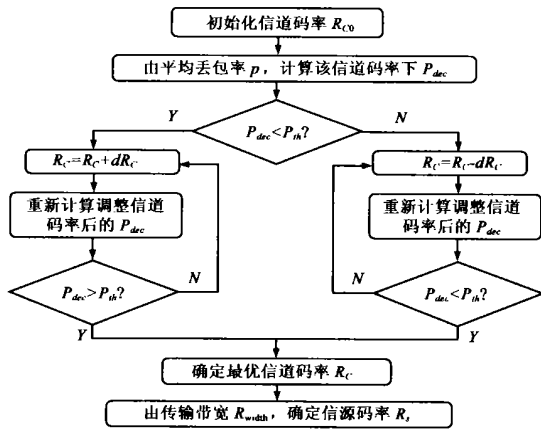


图 4 策略一的算法流程

5.2 第二种策略

该策略以第 3、4 部分的论述为基础, 分别估计信源编码和信道编码失真, 从而得到联合编码的总失真. 具体描述为:

- step 1: 初始化一种信源码率 R_s;
- step 2: 按照信源编码的失真估计模型, 根据信源码率 R_s, 估计信源编码失真 D_s;
- step 3: 由传输带宽 R_{width} 和信源码率 R_s, 确定信道码率 R_c;
- step 4: 根据信道编码的失真估计方法, 并结合信道码率 R_c 和平均丢包率 p 等信息, 估计信道编码失真 D_c;
- step 5: 由信源编码失真 D_s 和信道编码失真 D_c, 估计联合编码总失真 D_{s+c};

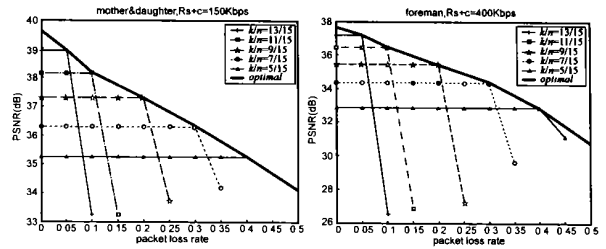
step 6: 改变信源码率 R_s, 重复上述五步, 直到最小化的总失真 min{D_{s+c}}, 此时的信源码率和信道码率即为最优值。

6 实验结果及分析

6.1 第一种策略实验结果

测试条件: 信道码率集 $R_c = \left\{ \frac{5}{15}, \frac{7}{15}, \frac{9}{15}, \frac{11}{15}, \frac{13}{15} \right\}$

测试序列: (1) Mother & Daughter, QCIF 格式, 传输带宽 R_{width} = 150 Kbps; (2) Foreman, QCIF 格式, 传输带宽 R_{width} = 400 Kbps;



(a) Mother & Daughter 序列 (b) Foreman 序列

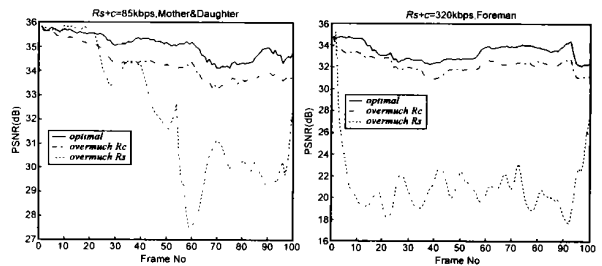
图 5 不同丢包率下最优编码的视频重建质量

图 5 给出了五种信道码率下, 视频重建质量的对比结果. 图中水平轴表示丢包率, 垂直轴表示视频重建质量, 五条细线分别表示五种信道码率下的视频重建质量, 粗实线表示采用第一种联合编码策略得到的最优的编码结果. 从图中可知, 在每一种丢包率下, 最优结果的重建质量都明显高于其他编码方案得到的重建质量。

6.2 第二种策略实验结果

测试条件: 信道码率集 $R_c = \left\{ \frac{5}{15}, \frac{7}{15}, \frac{9}{15}, \frac{11}{15}, \frac{13}{15} \right\}$

测试序列: (1) Mother & Daughter, QCIF 格式, 传输带宽 R_{width} = 85 Kbps; (2) Foreman, QCIF 格式, 传输带宽 R_{width} = 320 Kbps;



(a) Mother & Daughter 序列 (b) Foreman 序列

图 6 采用策略二的最优编码的视频重建质量

图 6 时采用第二种联合编码策略得到的视频重建质量的比较结果, 最上方的实线表示最优的视频重建结果, 其下方的两条虚线分别表示信源码率冗余和信道码率冗余所得到的重建质量. 从图中可知, 最优编码方案的重建质量明显高于信源或信道码率冗余得到的重建质量。

图 7 给出了采用联合编码与未采用联合编码视频主观质量的对比结果。



图 7 重建视频的主观性能比较

6.3 两种策略的比较结果

实验还对本文提出的两种联合编码策略作了比较,对 Mother & Daughter 测试序列 (QCIF 格式), 传输带宽 $R_{\text{width}} = 150 \text{ Kbps}$, 采用信道码率集 $R_C = \left\{ \frac{5}{15}, \frac{7}{15}, \frac{9}{15}, \frac{11}{15}, \frac{13}{15} \right\}$, 分别在丢包率为 10% 和 20% 条件下做了对比验证。

表 1 两种联合编码策略的对比结果

丢包率	编码策略	信源码率 (Kbps)	信道码率
10%	第一种策略	100.81	9/15
10%	第二种策略	100.81	9/15
20%	第一种策略	74.56	11/15
20%	第二种策略	74.56	11/15

表 1 对比了两种联合编码策略, 从表中可知, 在相同条件下, 两种联合编码策略所得到的最优码率分配结果是一致的。

7 结论

本文面向 IP 网络, 根据编码参数、信道反馈及传输带宽等信息提出了两种信源和信道码率的分配策略, 该策略通过适当的选取信源码率和信道码率获得最小的端到端失真, 实验结果进一步验证了两种策略的可行性。

参考文献:

- [1] 沈兰荪, 等. 视频编码与低速率传输 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [2] 卓力, 沈兰荪, 等. 视频流关键技术研究进展 [J]. 电子学报, 2002, 30(8): 1213 - 1218.
- [3] Dapeng LI, et al. Streaming video over the internet: Approaches and directions [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems For Video Technology, 2001, 11(1): 1 - 20.

- [4] Yao WANG, Qin-fan ZHU. Error control and concealment for video communication: A review [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5): 974 - 997.
- [5] Appadwedula S, et al. Joint source-channel matching for a wireless communications link communications [A]. IEEE International Conference on 7-11 Jun 1998 [C]. USA: IEEE, 1998, 6(1): 482 - 486.
- [6] Qian L, et al. A general joint source-channel matching method for wireless video transmission [A]. Data Compression Conference, 1999 [C]. Utah, USA: Proceedings. DCC '99, 1999: 414 - 423.
- [7] Jianfei CAI, Chang-wen CHEN. Robust joint source-channel coding for image transmission over wireless channels [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 9(10): 962 - 966.
- [8] Zhi-hai HE, Mitra S K. A linear source model and a unified rate control algorithm for DCT video coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 11(12): 970 - 982.
- [9] Jordi Ribas-Corbera, et al. Rate control in DCT video Coding for low-delay communications [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems For Video Technology, 1999, 2(9): 172 - 185.
- [10] Zhi-hai HE, Chang-wen CHEN. End-to-end video quality analysis and modeling for video streaming over IP network [A]. Multimedia and Expo, 2002. ICME '02 [C]. Lausanne: IEEE, 2002.
- [11] Gallant M, Kossentini F. Rate-distortion optimal joint source/channel coding for robust and efficient low bit rate packet video communications [A]. Proceedings. 2000 International Conference on Image Processing [C]. Canada: ICIP, 2000.

作者简介:



李 勃 男, 1977 年生于北京, 现为北京工业大学硕士研究生, 主要研究方向为 IP/ 无线网络视频传输. Email: libo @emails. bjut. edu. cn.

卓 力 女, 1971 年生于江苏徐州, 1992 年和 1998 年分别获得电子科技大学和东南大学学士和硕士学位, 现为北京工业大学讲师、博士生, 近年来发表论文多篇, 主要研究方向为视频编码、无线 IP 视频传输等。

沈兰荪 男, 1938 年生于江苏苏州, 北京工业大学教授、博士生导师, 主要研究兴趣为图像与视频信号的压缩编码、处理与传输等, 著有“图像编码与异步传输”、“视频编码与低速率传输”等多部专著, 发表学术论文 200 余篇。