

基于有效期望质量度量的图像混合丢包保护方法

杨亚东^{1,2}, 吴成柯¹, 肖 嵩¹, 杜建超¹

(1. 西安电子科技大学 综合业务网理论与关键技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071;
2. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要: 针对现有基于交织器结构的不等丢包保护方案通常以端到端期望质量度量系统性能, 而没有考虑最小质量要求的问题, 提出了以有效期望质量度量系统性能的新判据. 有效期望质量定义为扣除传输失败情况后接收端得到的期望质量. 基于此新判据, 提出了一种双向局部搜索的信源/信道码率分配算法. 采用双状态马尔可夫网络模型, 通过对 SPIHT 和 JPEG2000 编码器产生的码流数据进行仿真实验, 结果表明, 新算法与基于端到端期望质量度量的原算法相比能显著提高有效期望质量, 降低传输失败事件发生的概率, 同时计算复杂度也明显减小.

关键词: 图像传输; 联合信源/信道编码; 不等保护; QoS; JPEG2000

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2006)05-0696-04

Hybrid loss protection method based on the measurement of the effective expected quality for image transmission

YANG Ya-dong^{1,2}, WU Cheng-ke¹, XIAO Song¹, DU Jian-chao¹

(1. State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China;
2. The Telecommunication Engineering Inst., AFEU., Xi'an 710077, China)

Abstract: The performance of the existing unequal loss protection system based on the interleaver structure is usually measured by the expected quality without considering the minimum quality requirement. In this paper, a new objective function named the effective expected quality is proposed, which is defined as the received expected quality excluding the contribution from failure transmission, i. e., the quality of the decoded image is below the minimum quality requirement. With this objective function, a new algorithm combining equal and unequal protection strategies based on bidirectional local search is presented to allocate the transmission bit budget between the source and the channel coders to maximize the effective expected quality. Experiments are carried out with the source coders of SPIHT and JPEG2000 and the network model of two-state Markov. Results show that the new algorithm can provide significantly higher effective expected quality and lower probability of failure transmission with lower computational complexity compared to the previous algorithm.

Key Words: image transmission; joint source/channel coding; unequal loss protection; quality of service (QoS); JPEG2000

在 Internet 等“尽力而为”的网络环境中, 由于拥塞等原因导致的包丢失现象不可避免. SPIHT, JPEG2000 等图像编码器产生的内嵌式码流对包丢失现象很敏感, 当网络传输中发生包丢失现象时, 解码端只能利用位于第一个丢包发生位置之前的码流数据进行解码, 而位于其后面的码流数据即使正确收到也无法用于解码. 由于基于丢包重传 (ARQ) 的差错控制方案要引入延迟, 而延迟对于实时应用一般是不能容忍的, 因此基于前向纠错 (FEC) 的方案受到许多学者的重视和研究^[1~7]. Mohr 等^[1] 提出了包丢失不等保护 (ULP) 方案, 它将码流分成 L 码段 (可能是不等长度), 每码段加上相应的 RS 码冗余符号组成包数为 N 、每包包含 L 符号的 $L \times N$ 交织器矩

收稿日期: 2005-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60532060, 60372043); 国家部委重点实验室基金资助 (51434050105DZ0101)

作者简介: 杨亚东 (1963-), 男, 西安电子科技大学博士研究生.

阵,根据码段重要性由高到低变化的特点,采用保护能力由强到弱、码率不同而码长固定的系统 (N, k) RS 码进行保护.在此 ULP 方案中,关键问题是如何快速有效地进行信源/信道码率分配,以使系统性能最佳.文献[2~5]讨论了同一问题,提出了各自的快速码率分配算法,其中文[5]中的局部搜索算法在多数情况下运算速度最快.这些 ULP 算法都是以端到端期望质量最大(或期望失真最小)作为系统性能的度量标准,而没有考虑用户对解码图像的最小质量要求.实际上,从服务质量(QoS)的观点看,当接收端得到的恢复图像质量小于某一质量阈值时,由于图像内容无法辨认而没有任何实际用途,当这种情况发生时对用户来说就视为传输失败.在图像通信中,用户通常希望传输失败事件发生的概率要小,同时传输成功时的期望质量要高,而传输失败时的期望质量高低对用户没有实际意义.基于期望质量性能度量的上述 ULP 算法没有区分传输失败与传输成功两种情况,单纯以总期望质量最大作为优化的目标,而总期望质量中包括了来自传输失败情况下所收到的无用图像的贡献.因此,期望质量性能度量不能准确描述用户的需求.

为克服期望质量性能度量的缺陷,笔者提出了有效期望质量的概念,并以有效期望质量最大化判据作为系统性能的度量.所谓有效期望质量指的是扣除传输失败情况后接收端得到的期望质量.基于新判据,同时提出了一种双向局部搜索的码率分配算法,并与现有 ULP 算法进行了性能比较.

1 新判据的引入与 HLP 策略

在实际的图像传输系统中,收端用户对恢复图像有最小质量要求.当恢复图像质量低于某一质量阈值时就视为传输失败,只有当恢复图像质量高于该阈值时,图像才是可用的,视为传输成功.引入两个随机变量 Q 和 S ,其中 Q 表示接收端恢复图像的质量; $S = 1$ 表示传输成功, $S = 0$ 表示传输失败.由概率理论可知,期望质量 $E[Q]$ 为

$$E[Q] = E[Q | S = 1]P(S = 1) + E[Q | S = 0]P(S = 0) = T_s + T_f, \quad (1)$$

上式中, $T_s = E[Q | S = 1]P(S = 1)$ 表示仅考虑传输成功情况时接收端得到的期望质量,称为有效期望质量;而 $T_f = E[Q | S = 0]P(S = 0)$ 表示仅考虑传输失败情况时接收端得到的期望质量,称为无效期望质量.对收端用户来说,只有传输成功时得到的图像才是有用图像,属有用信息,而传输失败时得到的图像是无用图像,属无用信息.用户希望传输成功的概率 $P(S = 1)$ 大(即传输失败的概率 $P(S = 0)$ 小)且传输成功时的条件期望质量 $E[Q | S = 1]$ 高,也就是希望有效期望质量 T_s 高,而 T_f 高对用户没有实际意义.由于 $E[Q]$ 最大并不能使 T_s 最大,因此作为图像传输系统的性能度量标准,采用 T_s 最大化判据比采用 $E[Q]$ 最大化判据更合理,更符合用户的需求.基于以上分析,本文中提出用有效期望质量代替期望质量作为系统性能的度量.

另外,在考虑最小质量要求的情况下,对相应最小质量要求的初始码流不再需要进行不等保护,因为当恢复图像质量小于给定质量阈值时都视为传输失败,对该初始码流数据进行不等保护没有实际价值,因此将它们作为一个整体看待,采取等保护,而对剩余码流数据采取不等保护,称这种结合了等保护和不等保护的方案为混合丢包保护(HLP)方案.

2 有效期望质量计算式的推导

假设采用 N 个包,每包 L 个符号传输内嵌图像码流,信源编码器的 PSNR-率曲线函数 ϕ 已知, $p_N(n)$ 表示 N 包中有 n 包丢失的概率,恢复图像最小质量要求为 PSNR_{\min} , V_{\min} 为满足 $\phi(r) \geq \text{PSNR}_{\min}$ 条件所需的最少初始信源符号数,即相应最小质量要求的初始码流.在 ULP/HLP 保护方案中,码流被分成 L 码段,每码段采用某种码率的系统 RS 码进行保护,构成 $L \times N$ 交织器矩阵,如图 1 所示.图中每行对应某种码率的 RS 码,每列对应一个数据包,阴影方框表示保护符号,空白方框表示信源符号.设 m_i 为第 i 码段的信源符号长度, $m_i \in \{1, \dots, N\}$,则第 i 码段对应的系统 RS 码为 (N, m_i) ,相应的 RS 码冗余符号数为 $f_i = N - m_i$.如果 N 包中有 f_i 包丢失,根据 RS 码的纠删特性,最多含有 m_i 信源符号的码段能被全部正确恢复^[4].由于内嵌式码流对第 i 码段的解码依赖于前面的所有 $(i-1)$ 码段,因此通过添加约束条件 $f_1 \geq f_2 \geq \dots \geq f_L$,若 f_i 包丢失,则所有前 i 行中的信源符号都能被正确恢复.用 L 维向量符号 (f_1, f_2, \dots, f_L) 表示某种码率分配方案.

文中采用 HLP 方案.假设对 V_{\min} 采用 $(N, N - f_d)$ 系统 RS 码进行等保护,为保证 V_{\min} 能够全部容纳在