

基于 JPEG2000 的失真模型

黄新林, 王 钢, 刘春刚

(哈尔滨工业大学 通信技术研究所, 哈尔滨 150001)

摘要:研究了 JPEG2000 的压缩码流特性,给出了图像失真模型。通过将 JPEG2000 压缩码流的误码率映射到位通道编码码流的误码率,并结合位通道编码码流受误码影响不同,将图像失真与位通道编码码流的误码率建立了数学表达式。实验结果表明:该算法得出的失真值与实际基本一致,仅仅相差一个常数,这对发送端估计解码端图像失真很有参考意义。

关键词:信息处理技术;JPEG2000;误码率;失真模型

中图分类号: TN919.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2010)03-0852-04

Distortion model based on JPEG2000

HUANG Xin-lin, WANG Gang, LIU Chun-gang

(Communication Research Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The characteristics of JPEG2000 compression stream are studied and an image distortion model is proposed. By transferring the error rate of JPEG2000 compression stream to the error rate of bit channel coding data, and analyzing the different impact of channel error on JPEG2000 compression stream, the relationship between the image distortion and the error rate of bit channel coding is established. Simulation results show that the distortion value calculated by our proposed algorithm matches well with the actual value, which could be a good reference for estimating image distortion on the receiver.

Key words: information processing technology; JPEG2000; error rate; distortion model

数字图像压缩的目的是在给定比特率下,使图像失真达到最小。JPEG2000 图像压缩码流具有嵌入式传输特性^[1],该特性使得压缩码流对于传输信道中的误码极为敏感,传输过程中的任一比特错误都可能位于其后的码流无法正确解码,从而降低接收端重建图像的质量。文献[2-6]根据图像压缩码流重要性不同,提出了不等差错保护技术,为了使接收端重建图像失真最优,该技术作为联合信源信道编码的一个重要方面在国内

外得到了广泛的研究。

图像失真主要与信源统计特性、信源压缩码率、信道编码码率以及信道条件有关,主要是量化产生的失真和信道误码产生的失真。构建通信系统的失真模型主要有内插值方法和参数估计法。内插值方法利用大量实验数据计算插值获得当前通信系统的失真模型,计算复杂度偏高,不适合实时传输系统要求^[7]。参数估计法将影响失真大小的因素作为模型参数,分析其各自对于失真的贡

收稿日期: 2008-05-29.

基金项目: 装备预先研究项目(51306020201).

作者简介: 黄新林(1985-),男,博士研究生.研究方向:联合信源信道编码,OFDM 技术,认知无线网络路由协议设计. E-mail: xlhitrc@163.com

通信作者: 王钢(1962-),男,教授,博士生导师.研究方向:联合信源信道编码,无线通信技术,综合业务数字网. E-mail: Gwang51@hit.edu.cn

献,得出通信系统的失真模型。经典的研究成果是 Modestino 提出的二维差分脉冲编码调制(DPCM)编码图像的联合信源信道传输系统和块余弦变换编码图像的联合信源信道编码传输系统^[8-9],该系统利用编码图像的概率空间、量化步长、信道错误率等参数来估计失真的大小。Ruf 等人对不同的信源编码,讨论了量化噪声与信道噪声如何影响总体失真,并针对加性高斯白噪声信道,给出了总体失真作为量化比特数和信道编码函数的数学表达式^[10]。另外,Sabir 提出了一种基于训练方法的失真模型^[11]。该模型估计渐进图像传输中因为量化和信道噪声产生的平均图像失真,先任意选取一组图像用于训练失真模型中的参数,然后用已定参数去估计测试图像的平均失真,该方法适合于视频图像的失真模型。

本文主要根据参数估计法,分析 JPEG2000 图像失真与各影响因素的关系,给出失真表达式。

1 JPEG2000 压缩码流特性

1.1 JPEG2000 码流结构

JPEG2000 是新一代静止图像压缩标准,它采用了 Taubman 提出的 EBCOT(Embedded block coding with optimized truncation)算法。EBCOT 算法由 Tier1 和 Tier2 两部分组成。Tier1 模块完成基于上下文的自适应算术编码,Tier2 完成对码流的截断和打包。在 Tier1 中,编码块上的每一个位平面都进行三种通道编码。

(1)重要性传播过程

只包括那些本身“不重要”而有“重要”相邻系数的系数位,所有不满足此条件的系数都不会在这个编码过程中被编码。若满足重要性传播过程编码的系数的当前位平面数值是 0,则该系数保持“不重要”状态;若数值是 1,则该系数变成“重要”的系数,并进行相应的符号位编码过程。

(2)幅度精炼过程

包括所有已经变成“重要”的位平面系数(在当前位平面的重要性传播过程中刚刚变成“重要”的系数不包括在内)进行幅度精炼编码。

(3)清除过程

包括最高非 0 位平面和除重要性传播过程和幅度精炼过程编码外的当前位平面剩余系数。这些系数包括“不重要”的系数和周围没有“重要”的相邻系数的码块系数。

通道可以看成是具有一定特性的比特集合,

同一集合中的比特按次序编码形成一个编码通道。三通道编码形成上下文数据和比特数据流,并一同送入 MQ 算术编码器进行信源编码。Tier2 模块利用率失真优化算法和质量层技术来完成对 Tier1 过程产生的压缩码流的优化截断,最终生成具有渐进特性的嵌入式码流。

Tier2 算法得到各个编码块的压缩码流截断点后,就要进行码流的分层装配。最终的压缩数据由各个编码块的码流 C_i 组成,称为“封包流”,也称为包(如图 1 所示)。一个包可以分成包头和包体两部分。包头中的信息是对包体中数据的说明,如包的长度、码块包含的信息、各个码块贡献给这个包的通道数和字节数等。包体实际上就是包头中指出的相应码块的编码通道信息的集合。

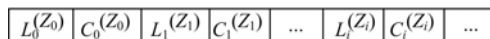


图 1 JPEG2000 的封包流形式

Fig.1 The packet formation of JPEG2000

1.2 JPEG2000 码流受信道误码的影响

JPEG2000 码流受信道误码影响的系统模型如图 2 所示。随机矩阵发生器产生随机的图像矩阵,每个灰度值介于 0 到 255 之间,数据通过 DC 层进、小波变换、位平面编码(产生数据 D 和上下文 CX)、MQ 算术编码、Tier2 编码产生压缩码流输出至信道。接收端通过 Tier2 解码将压缩数据包解出数据 CD' ,然后将数据 CD' 和上下文 CX 一同输入到 MQ 算术解码器得到数据 D' 。

在本文提出的系统失真模型(如图 2 所示)中,对每一个固定的信道误码率 p_c ,随机矩阵发生器产生 100 幅 512×512 的灰度值矩阵,通过系统模型进行压缩编码并在信道中传输,在接收端进行 Tier2 解码、MQ 算术解码,得到数据 D' 。通过比较 D 和 D' 得到 D 的误码率,从而得出信道误码率与数据 D 误码率的关系曲线,见图 3。

该关系反映出信道误码造成单个编码块内部

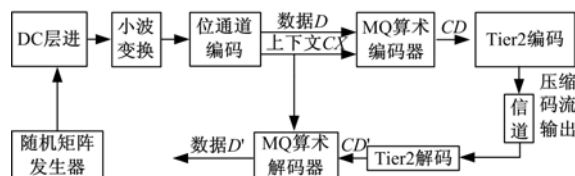


图 2 JPEG2000 码流受信道误码影响分析的系统模型

Fig.2 System model for analyzing the impact of channel error on JPEG2000 bit stream

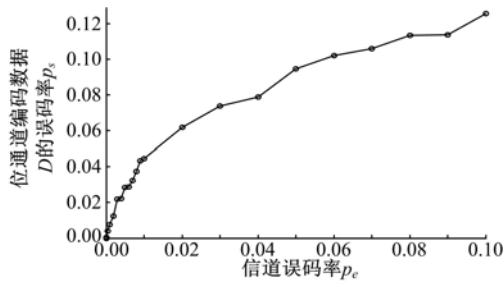


图 3 JPEG2000 码流受信道误码率的影响

Fig. 3 The impact of channel error on JPEG2000 bit stream

数据 D 的误码扩散程度。由于 MQ 算术编、解码器本身不具有纠错功能,传输过程中的任一比特错误都可能导致其所在的编码块内位于其后的码流无法正确解码。信道误码率 p_e 与数据 D 的误码率 p_s 的关系不受具体图像的影响,这种关系只决定于 MQ 算术编、解码器和 Tier2 编、解码器的算法,所以该关系是固定不变的。

2 JPEG2000 码流的失真模型

有损图像压缩传输系统的失真包括两部分:一部分是由量化噪声引起的信源失真,简称量化失真;另一部分是由信道噪声引起的失真,简称信道失真。前者与信源特性和量化参数有关,后者与信道编码和信道误码率有关。总的失真可表示为 $D(q, \Delta_s, r, \tau, p_e)$, 其中 q 为信源统计特性, Δ_s 为量化步长, r 为信道编码效率, τ 为信道编码的纠错能力, p_e 为信道误码率。因为总失真为每个编码块引起的失真之和,且每个编码块引起的误码不会影响到其他的编码块,所以只需研究单个编码块的失真模型。

单个编码块的压缩数据流顺序如图 4 所示。其中 C_0^3 为最高位平面通过清除过程后编码形成的码流, L_0^3 为其数据长度; C_1^3 为次高位平面通过重要性传播过程后编码形成的码流, L_1^3 为其数据长度; C_1^2 为次高位平面通过幅度精炼过程后编码形成的码流, L_1^2 为其数据长度; C_1^1 为次高位平面通过清除过程后编码形成的码流, L_1^1 为其数据长度。

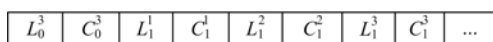


图 4 单个编码块的压缩码流形式

Fig. 4 Compressed stream of single block

在解码端,由于幅度精炼过程的解码过程不会影响系数的重要性状态,所以幅度精炼过程的解码中的误码不会影响到其他的系数,而重要性

传播过程的解码和清除通道过程的解码中的误码会使得位于其后的码流无法正确解码。假设单个编码块 ($M \times M$) 的包头信息能正确接收,信道误码率为 p_e (数据 D 的误码率为 p_s),包的通道数为 N 。若第一个误码发生在重要性传播过程的解码和清除通道过程的解码,则位于误码比特后数据不能正常解码,而发生在幅度精炼过程的解码过程的误码只影响当前系数。根据这一原理,信道发生误码时图像总失真的期望可表示为

$$\begin{aligned}
 D(r, \tau, p_e) = & \sum_{m=1}^{L_0^3} p_s (1 - p_s)^{m-1} [(M \times M - \\
 & m + 1) \times \delta_0 + (m - 1) \times \delta_1 + D(q, \Delta_s)] + \\
 & \sum_{m=1}^{L_1^1} p_s (1 - p_s)^{L_0^3 + m - 1} [(M \times M - m + 1) \times \\
 & \delta_1 + (m - 1) \times \delta_2 + D(q, \Delta_s)] + \\
 & \sum_{m=1}^{L_1^2} C_{L_1^1}^m (1 - p_s)^{L_0^3 + L_1^1} p_s^m (1 - p_s)^{L_1^2 - m} [m \times \\
 & \delta_1 + D(q, \Delta_s)] + \sum_{m=1}^{L_1^3} C_{L_1^1}^m (1 - p_s)^{L_0^3 + L_1^1} p_s^m (1 - \\
 & p_s)^{L_1^3 - m} [(M \times M - m + 1) \times \\
 & \delta_1 + (m - 1) \times \delta_2 + D(q, \Delta_s)] \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中: δ_0 为小波系数的方差; δ_1 为小波系数去除最高位平面后的数据方差; δ_2 为去除最高位和次高位平面后的数据方差; δ_3, δ_4 分别为去除前 3 层和前 4 层平面后的数据方差。 $D(r, \tau, p_e)$ 为信道发生误码时的信道失真的期望,若数据没有误码,则失真为量化失真 $D(q, \Delta_s)$ (由量化和信源统计特性决定):

$$D(q, \Delta_s) = \sum_j [y(j) - \hat{y}(j)]^2 \quad (2)$$

式中: $y(j)$ 为发送端的小波系数值; $\hat{y}(j)$ 为接收端恢复的小波系数值。数据没有误码的概率为 $(1 - p_s)^L$, 其中 L 为码流总长度。则总失真可表示为

$$\begin{aligned}
 D(q, \Delta_s, r, \tau, p_e) = & \\
 & (1 - p_s)^L D(q, \Delta_s) + D(r, \tau, p_e) \quad (3)
 \end{aligned}$$

3 实验仿真

由本文提出的失真模型可知,在压缩比为 12 : 1 时,只有 LL1 子带小波系数 (32×32) 的最高的 3 个位平面进行了传输, $L_0^3 = 1488, L_1^1 = 648, L_1^2 = 564, L_1^3 = 153, L_2^1 = 194, L_2^2 = 905, L_2^3 = 0, L = 3952, \sigma_0 = 1658, \sigma_1 = 708, \sigma_2 = 94, \sigma_3 = 0,$

$D(q, \Delta_s) = 87\ 907$ 。

在压缩比为18:1时,只有LL1子带小波系数(32×32)的最高的2个位平面进行了传输, $L_0^3 = 1488, L_1^1 = 648, L_1^2 = 564, L_1^3 = 153, L = 2853, \sigma_0 = 1313, \sigma_1 = 411, \sigma_2 = 0, D(q, \Delta_s) = 316\ 210$ 。将两组参数分别代入到式(3)中,得出接收端重建图像失真的理论值,并将两种压缩比情况下的图像实际失真值、理论计算值、实际值与理论值的差值绘成图5。从图5可知,接收端图像失真的实际值与理论值随位通道编码数据误码率变化趋势一致,且实际值与理论值的差值接近一固定常数。从图3可知,实际中的信道误码率可以转换成位通道编码数据误码率,其对应关系不因具体的图像而改变,本文通过将图像失真值与位通道编码数据误码率建立数学表达式,间接地反映出接收端图像失真与实际信道误码率的关系。

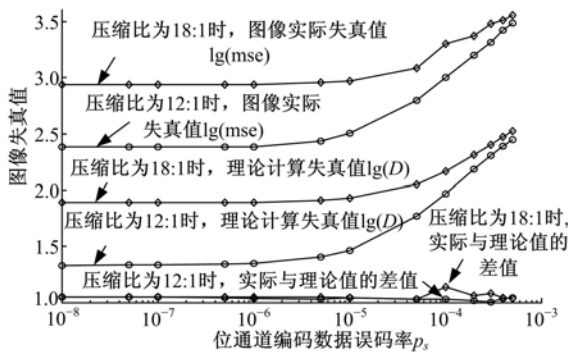


图5 仿真结果

Fig. 5 Simulation results

4 结束语

通过分析JPEG2000码流结构以及误码对码流的影响,提出了JPEG2000码流的失真模型,该模型将图像失真与位通道编码码流误码率建立了数学表达式。因为实际信道误码率与位通道编码数据误码率具有一一对应的关系,所以本文的失真模型可间接反映出接收端图像失真与实际信道误码率的关系。实验结果表明:由失真模型得出的理论计算值与实际仿真结果相一致,仅差一常数,这对于发送端估计接收端图像失真值具有实际指导意义,可为研究联合信源信道编码提供理论依据。

参考文献:

[1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1890. JPEG2000 part 1 final draft international standard[S]. 2000.

- [2] 马仲华,余松煜.一种基于数据分类和不对称保护的
视频流信源信道联合编码算法[J].上海交通大学学
报,2002,36(12):1727-1730.
Ma Zhong-hua, Yu Song-yu. A joint source and chan-
nel video coding algorithm based on data partitioning
and unequal error protection[J]. Journal of Shanghai
Jiaotong University, 2002, 36(12): 1727-1730.
- [3] Gao Lei. On the unequal error protection for progressive
image transmission[J]. IEEE Transactions on Image
Processing, 2007, 16(9): 2384-2388.
- [4] 孔繁镛,肖嵩,周有喜.基于场景模型的联合信源信道
编码的视频网络传输[J].西安电子科技大学学报,
2007,34(3):354-359.
Kong Fan-qiang, Xiao Song, Zhou You-xi. Video net-
work transmission of joint source-channel coded based
on scene modeling[J]. Journal of Xidian University,
2007, 34(3): 354-359.
- [5] Arachchi H Kodikara, Fernando W A C, Panchad-
charam S, et al. Unequal error protection technique for
ROI based H. 264 video coding[C]// IEEE CCECE,
2006: 2033-2036.
- [6] 张方,吴成柯,肖嵩,等.一种基于MPEG-4的感兴趣
区域视频编码新方法[J].电子学报,2005,33(4):634-
637.
Zhang Fang, Wu Cheng-ke, Xiao Song, et al. A new
regions of interest video coding method based on
MPEG-4[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(4):
634-637.
- [7] 刘军清.无线图像传输中的联合信源信道编码研究
[D].上海:上海交通大学,2006:41-42.
Liu Jun-qing. Study on joint source channel coding for
wireless image transmission[D]. Shanghai: Shanghai
Jiaotong University, 2006:41-42.
- [8] Modestino J W, Daut D G. Combined source-channel
coding of images[J]. IEEE Trans Commun, 1979,
COM-27(11): 1644-1659.
- [9] Modestino J W, Daut D G. Combined source-channel
coding of images using the block cosine transform[J].
IEEE Trans Commun, 1981, COM-29(9): 1261-
1274.
- [10] Ruf M J, Modestino J W. Operational rate-distortion
performance for joint source and channel coding of ima-
ges[J]. IEEE Trans on Image Process, 1999, 8(3):
305-320.
- [11] Sabir M F, Sheikh H R, Health R W, et al. A joint
source-channel distortion model for JPEG compressed
images[J]. IEEE Trans on Image Process, 2006, 15
(6): 3249-3252.