

# 一种适用于无线视频传输 I 帧的稳健容错算法

陈 玉 魏振宇 张旭东 王德生

(清华大学电子工程系多媒体信号处理实验室, 北京 100084)

**摘 要** 在没有服务质量保证的无线传输环境中,按照传统视频编码标准压缩的码流很容易遭到破坏,这在 I 帧中尤为突出。因此需要对传统视频压缩标准加以改进以提高在无线传输环境中的自身容错性能。针对这一问题提出了一种用于提高视频流 I 帧容错能力的算法。该算法首先对视频流中不同部分对发生在自身的码位错误所引起误差传播的敏感度进行分析,然后以此分析结果和 I 帧重建中码流信息不同重要性作为决定 I 帧码流中重要信息的原则,最终通过对这些 I 帧中的重要信息加以保护、提取和集中,以减少发生帧内误差传播范围。通过 H. 263 + baseline 测试码流在加性高斯白噪声无线信道仿真实验的结果可以证明,该算法在增加少量冗余信息和计算复杂度的情况下,相比参考算法在主观和客观质量上都有较大幅度的提高。

**关键词** 容错编码 视频编码 误差传播

中图法分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2006)04-0474-06

## A Modified Robust Error Resilience Algorithm for Intra Coded Frame in Wireless Communication

CHEN Yu, WEI Zhen-yu, ZHANG Xu-dong, WANG De-sheng

(Multimedia Processing Laboratory, Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** In wireless environment without assurance of quality of service, the video stream compressed by conventional video compress standards is vulnerable, especially in intra coded frame. So it is necessary to make modification on structure of conventional video stream in order to enhance its error resilience performance in wireless environment. In this paper, one method is proposed to improve robustness of intra coded frame in wireless transmission, it firstly analyze the sensitivity to error propagation of different segment in video stream when there are channel bit errors. And then with this analysis results and respective role of different segments of video stream on reconstruction of intra coded frame, important information for intra coded frame is determined. Finally, the proposed method exploits protection, extraction and aggregation of determined important information in intra coded frame to mitigate the extent of error propagation inside frame reference on traditional data partition error resilience algorithms. Experimental results with H. 263 + baseline tested stream through additive Gauss white noise wireless channel show that the proposed method outperforms reference method in subjective and objective quality obviously with little increasing of coding overhead and computation.

**Keywords** error resilience coding, video coding, error propagation

## 1 引 言

近些年来,随着第三代无线通信技术和视频信号处理的发展,在无线信道中提供视频流服务逐渐成为人们所关注的对象。以 MPEG1/2/4 和 H. 261/3/4 为代表的传统视频压缩标准虽然可以在高压缩效率下

取得令人满意的视频质量,但是它们在无线传输环境中的容错能力是非常有限的。因为在这些标准中采用了(varied length coding, VLC)变长编码技术,所以在经过这些标准压缩后的码流中即使只有一位码位出错,都可能导致后续码流的解码失去同步,这样就会严重影响解码视频的画质。因此近些年提出了多种算法以提高视频压缩码流在无线传输环境中的鲁

收稿日期:2004-11-23;改回日期:2005-06-20

第一作者简介:陈玉(1976 ~ ),男。2002 年于西北工业大学获信号与信息处理专业硕士学位,现为清华大学电子工程系通信与信息系专业博士研究生。主要研究方向为无线视频传输、嵌入式视频压缩、视频分析等。E-mail:chenyu02@mails.tsinghua.edu.cn

棒性<sup>[1]</sup>。

在实际的无线视频传输系统中,由传输环境给视频流造成的错误可以分为两类:一类是基于包交换网络的因为网络拥塞而导致传送包的丢失错误,可以简单地通过对传送包包头的语义检测而发现这种类型的错误,而解决这种类型错误的算法主要是通过时域差错隐藏方法利用视频帧间数据的高度相关性对丢失数据做出估计<sup>[2,3]</sup>;另一类是由无线传输信道中的多径效应、屏蔽和噪声干扰等物理效应对视频码流造成的随机和突发错误,该类错误很难完全准确地检测到,利用视频码流中语义的特点可以比较粗糙地检测出一些这样的错误<sup>[4]</sup>。

为了能够提高视频码流对无线信道中随机和突发错误的容错能力,文献[5]提出了基于模式的错误探测算法,该算法主要利用相应宏块的编码模式来发现码流错误,可以比较准确地判断出在两个同步标记之间是否发生错误。但是该算法仍然是基于原始码流标准结构,无法缩小视频流中容易发生误差传播的范围。

在无线视频传输中,为了抑制无线信道错误而造成的帧间误差传播,每隔一段时隙都要插入一帧 I 帧是必要的。一般来说,在相同量化值下 I 帧的码流长度要远大于 P 帧的长度,因此在相同的无线信道误码率(bit error rate, BER)下,在 I 帧内发生错误的概率就要比 P 帧大得多,因此 I 帧相对 P 帧来说在无线环境下更加脆弱,并且一旦 I 帧遭到破坏,在下一 I 帧之前的所有 P 帧均会有较大的质量下降。因此能够保证视频流 I 帧信息在无线信道上比较稳健的传输是无线视频传输的一个关键问题。

为了解决这一问题,提出了一种提高视频流 I 帧信息在无线传输中容错能力的算法。该算法通过对原始视频流的结构改变和对重要部分加入少量冗余信息的保护,尽可能地在比较恶劣的无线传输环境中保护视频流中对解码重要的信息,通过在加性高斯白噪声无线信道的 H. 263 + baseline 视频流仿真实验结果可以证明,该算法在较大 BER 下,仍然可以比较好地恢复出原有 I 帧视频信息,相比对比算法<sup>[4,5]</sup>在主观和客观质量上都有明显的提高。

## 2 I 帧视频流中的误差传播

在 I 帧视频流中的每位信息对误差传播的敏感度和造成的影响是不一致的,这是因为它们在视频

流中所代表的语义是不相同的。因此就有必要对传统视频编码标准压缩后的 I 帧码流加以改动,以得到码流中各个部分的可能造成误差传播的影响和对误差传播的敏感度。以 H. 263 + baseline I 帧为例<sup>[6]</sup>,该帧由帧头信息和其后的纹理信息组成,因为帧头信息具有固定的长度,因此即使发生码位错误也不会导致后续码位解码失去同步,由图 1 中白色背景部分表示。而纹理信息是由每个宏块中的 CBP(coded block pattern)信息、DC(直流)和 AC(交流)参数信息构成,由 VLC 编码而成,如图 1 所示的灰色背景部分。每个宏块的 CBP 信息代表了该宏块中每个亮度块和色度块的编码模式信息。

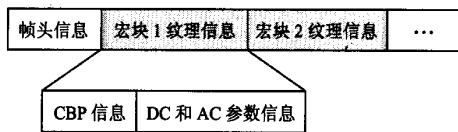


图 1 H. 263 + baseline I 帧码流结构

Fig. 1 H. 263 + baseline video stream structure of I-frame

在图 2 中,以 I 帧码流中 CBP 码位为 6 位(100100)的宏块为例,DC1, DC2, DC3 和 DC4 是该宏块 4 个亮度块的 DC 参数信息,DC5 和 DC6 是该宏块两个色度块的 DC 信息。通过对 CBP 码位 VLC 解码,可知该宏块中第 3 个亮度块有 AC 系数 AC3。

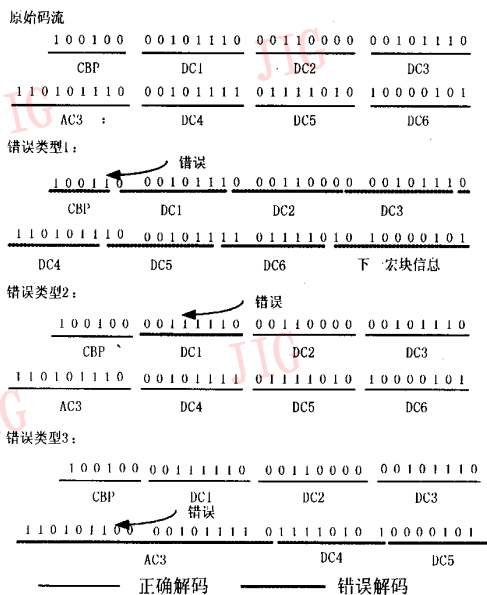


图 2 随机错误在 I 帧码流不同部分所造成的误差传播效果对比

Fig. 2 Error propagation effect comparison in different segment of I-frame video stream resulted by random bit error

在图 2 中,给出了在有一位随机错误时,在 I 帧视频流中不同部分引起误差传播效果对比。在错误类型 1 中, CBP 码位中的第 5 位出现错误,由 0 变成 1。虽然仅仅只有一位错误,但是对 CBP 码位进行 VLC 解码后所造成的错误,不仅使得解码器认为该宏块的 CBP 码位只有 5 位,导致了后续码流信息的错位,而且会因为解出的 CBP 信息表示该宏块中没有 AC 系数,使得解码器将本来应该是第 3 个亮度块 AC 系数的码位认为是第 4 个宏块的 DC 系数,打乱了码流中的语义结构,这样就使得解码失去同步。在错误类型 2 中,第 1 个亮度块的 DC 系数的第 4 位发生错误,该 DC 系数发生错误,因为在 H. 263 + baseline I 帧视频流中 DC 系数都是采用 8 位 (fixed length coding, FLC) 定长编码,所以虽然在 DC1 发生错误,但是其不会对后续码位产生误差传播,其后面的 DC 和 AC 系数如图中所示均可以正确地解码。在错误类型 3 中,一位随机错误发生在第 3 个亮度块的 AC 系数中,因为在最后一个 AC 系数中发生错误,丢失了码流中 AC 系数结束的标记,因此解码器就将剩余码位认为是后续 AC 系数,因此就出现了错误类型 1 中的误差传播效果。从以上所举例子可以看出, CBP 码位虽短,但是对一个宏块在整体上能否正确解码有着关键作用,其自身出现的错误对整个宏块的解码有很强的误差传播效应。在 AC 系数中出现的错误对宏块的局部解码有很大的影响,往往会导致其后续码流失去同步,和 CBP 码位一样都会产生很明显的误差传播。而在 DC 系数中出现的错误,只是对本系数造成影响,对其后续码位则没有误差传播的影响。这 3 部分发生错误而对后续码流造成误差传播的影响为

$$\text{CBP 码位} > \text{AC 系数} > \text{DC 系数} \quad (1)$$

从以上分析可以得到,在原始 H. 263 + baseline 中,一帧 I 帧可能会发生错误传播的范围  $l_{ep\_original}$  为

$$l_{ep\_original} = l_{frame} - l_{header} \quad (2)$$

其中,  $l_{frame}$  和  $l_{header}$  分别是该帧 I 帧的长度和该帧帧头的长度。

### 3 重要信息提取和集中

在无线视频传输系统中,为了能尽可能地减少信道错误对视频码流的影响,一般都会采用信道编码对视频流作保护,但是仍然会有一些信道残余误差留在视频流中<sup>[7]</sup>。即使是一位码位错误,也有可

能对后续视频流产生灾难性的破坏,因此码流中的重要部分需要加以保护。在解码器端重建一帧 I 帧时,帧中的头信息,每个宏块中的 CBP 和 DC 参数信息对于解码来说是至关重要的。对于帧头信息,因为是定长编码就不会导致误差传播。如果 CBP 和 DC 参数信息能基本保存下来,那么就可以大致地恢复出原始 I 帧的纹理内容,这样就不会给人眼视觉系统以强烈的误差效果。因此可以利用数据分块技术<sup>[8]</sup>来提高视频码流的鲁棒性,该方法通过将 P 帧中的运动矢量和 DCT (discrete cosine transform) 系数在码流中分别集中放置来提高码流自身的容错能力,但是并没有对 DCT 系数做进一步区分和保护。因为在 I 帧中没有运动矢量且 DCT 系数是码流的主要组成部分,所以对此算法必须加以改进以适应于无线 I 帧传输。参照文献[8]提出适用于 I 帧的重要信息提取和集中技术,对 DC 参数和 CBP 信息进行保护。

在图 3 中,以 QCIF (quarter common intermediate format) I 帧为例,通过提取和集中 DC 参数和 CBP 等重要信息而改变原始的码流结构。对于 DC 参数,将各个宏块中 6 个 DC 参数提出后全部集中在帧头信息之后。这样做的好处就是即使有 DC 系数发生错误,也不会对后续 DC 系数造成误差传播。对于 CBP 码位信息,由原始结构中的 VLC 编码变为 6 位 FLC 编码分别插入每个宏块的 6 个 DC 系数之后。因此改进后的码流结构就分为两部分:一是由图 3 中白色背景表示的帧头信息和每个宏块的 DC 系数和 CBP 定长编码部分;二是图 3 中灰色背景的各宏块的 AC 系数 VLC 编码部分。在改进结构中,一帧 I 帧可能会发生错误传播的范围  $l_{ep\_change}$  为

$$l_{ep\_change} = l_{frame} - l_{header} - l_{CBP} - l_{DC} \quad (3)$$

其中,  $l_{CBP}$  和  $l_{DC}$  分别是改进结构 I 帧中所有的 CBP

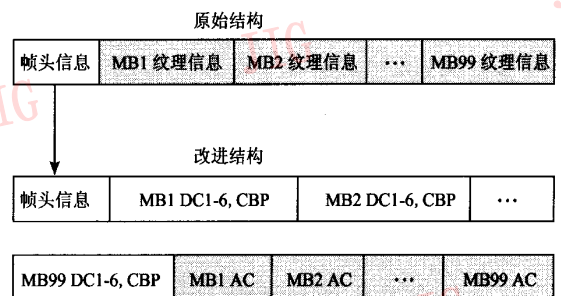


图 3 利用重要信息提取和集中方法来改进码流结构

Fig. 3 Modifying video stream structure with essential information extraction and aggregation method

码位和 DC 系数长度。

从式(2)和式(3)可以看出,提出的改进结构可以明显地缩短可能会发生误差传播的范围,同时降低了帧内发生误差传播概率的上限,在一定程度上抑制了信道残留误差对视频流的影响。码流结构经过图 3 这样的调整,在 VLC 编码部分出现错误时,虽然后续的 AC 系数丢失,但是相应的 DC 系数和 CBP 信息可以保存下来,可以在发生错误的区域基本恢复出原有内容。

### 4 实验结果和仿真

为了评估本文提出的容错算法性能,综合使用文献[4]、[5]中的容错算法作为对比算法。用 foreman, Carphone 和 miss america 3 个 QCIF(quarter common intermediate format)标准测试序列做算法效果比较。实验以 H. 263 + baseline 为信源编解码器,以高斯加性白噪声信道为仿真信道,以(reed-

solomon, RS)码作为信道编解码器,组成无线视频传输仿真系统。从这 3 个标准序列的第 10 到第 100 帧选出 10 帧 I 帧组成 I 帧测试序列,其间隔和 QP(量化步长)均为 10。

图 4、图 5 和图 6 分别给出了 miss america, Carphone 和 foreman 序列的客观效果对比。图中的每一点结果是当前 I 帧经过无线高斯加性白噪声信道上的 100 次传输解码后结果的平均值。

从图 4、图 5 和图 6 可以看出,本文提出的算法相对对比算法有很明显的提高,即使是在 BER 较大的情况下,也能比较好地恢复出原始 I 帧信息。由图 4 可以看出,本文的算法对比算法平均提高了大约 5dB 和 8dB;由图 5 可以看出,本文的算法对比算法平均提高了大约 6dB 和 8dB;由图 6 可以看出,本文的算法对比方法平均提高了大约 7dB 和 9dB。

图 7 是在 BER = 0.08% 时,foreman 序列的第 20 帧图像经过对比算法和本文算法处理后的主观

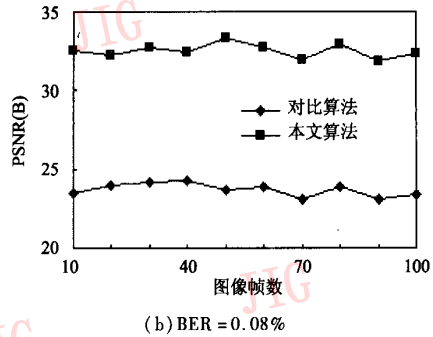
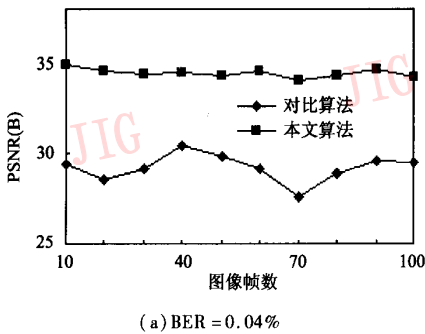


图 4 在不同 BER 下 miss america I 帧序列的本文算法和对比算法的客观效果对比  
Fig. 4 Objective effect comparison between the proposed method and reference method in miss america sequence under different BER

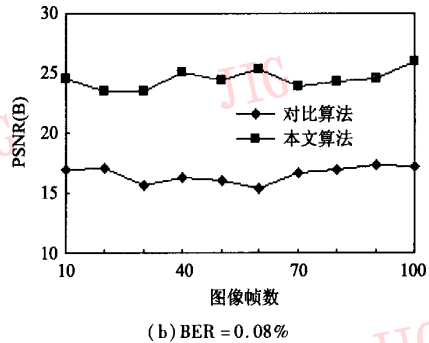
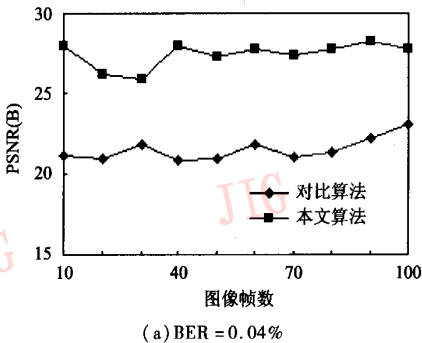


图 5 在不同 BER 下 Carphone I 帧序列的本文算法和对比算法的客观效果对比  
Fig. 5 Objective effect comparison between the proposed method and reference method in Carphone sequence under different BER

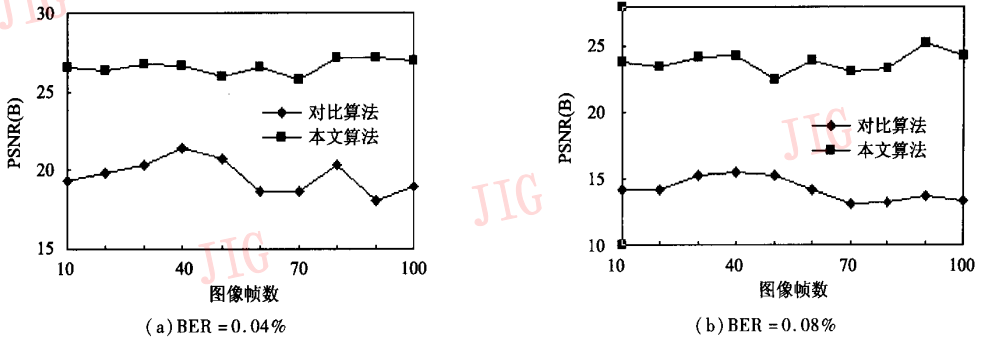


图 6 在不同 BER 下 foreman I 帧序列的本文算法和对比算法的客观效果对比  
 Fig. 6 Objective effect comparison between the proposed method and reference method in foreman sequence under different BER

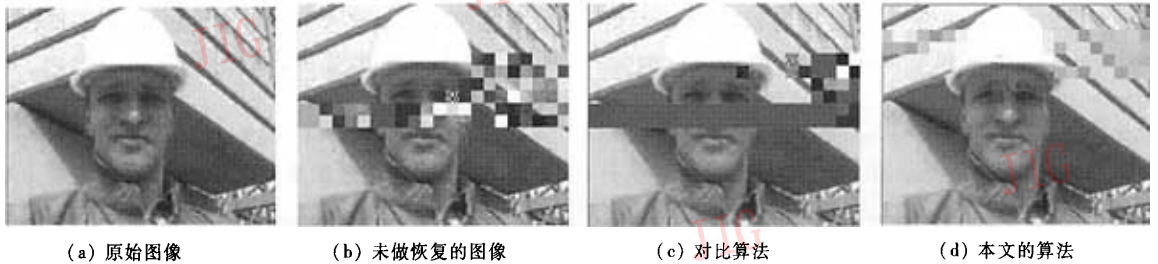


图 7 本文算法和对比算法的主观效果对比

Fig. 7 Subjective effect comparison between the proposed method and reference method

效果对比。在图 7(b) 中, 给出了 H. 263 + baseline 中对码位错误未做恢复的图像信息, 因为误码率比较高, 画面质量下降很大; 图 7(c) 中的对比算法因为使用了非均等保护措施, 可以抑制掉一些码位错误, 画质有所提高; 而在图 7(d) 中, 虽然在与图 7(b) 和图 7(c) 同样的位置发生码位错误, 但是因为本文的算法改变了码流结构, 因此错误对应码流中的语义并不相同。具体来说就是本文算法将在图 7(b) 中一些发生误差传播的 VLC 编码部分的位置对应到了图 7(d) 中的 FLC 编码部分, 减少了可能发生帧内码流误差传播的范围。当然在图 7(d) 画面中仍然有因为码位错误造成解码同步丢失的区域, 但是可以看出在这些区域虽然丢失了 AC 信息, 但是相应的 DC 信息基本保存下来, 可以大致恢复出原始图像, 与原始图像图 7(a) 相比, 基本恢复出了原始画质。进一步工作可以结合块边界平滑来遏制仅保留 DC 信息所带来的块效应, 以给人眼视觉系统带来更小的视觉误差。

表 1 和表 2 分别给出了本文方法和原始 H. 263 + baseline 对 3 个测试序列从 1 到 100 帧都进

表 1 改进结构和原始结构的编码复杂度对比

Tab. 1 Complexity comparison between modified structure and original structure

测试序列	原始结构编码时间(s)	改进结构编码时间(s)
miss america	1.80	1.81
Carphone	1.86	1.85
foreman	1.94	1.93

表 2 改进结构和原始结构的 I 帧编码长度对比

Tab. 2 Coding length comparison of I-frames between modified structure and original structure

测试序列	原始结构编码长度 (byte)	改进结构编码长度 (byte)
miss america	132 538	133 727
Carphone	257 269	258 476
foreman	297 188	298 401

行帧内编码的编码复杂度和编码长度对比。可以看出尽管本文方法较大幅度地改动了原始码流结构, 但并没有增加多少计算复杂度, 基本和原始

H.263 + baseline相同,并且如果利用成熟的帧内分片编码技术可以进一步增强改进结构下的实时性,以降低对编码器缓存的要求。另外对编码压缩效率也影响很小,其编码长度增加不超过 1%。

## 5 结 论

根据无线信道错误落在 I 帧视频码流中造成误差传播的特点,提出了一种基于重要信息提取和保护的容错算法,由于该算法改变了原始码流的结构,缩小了 I 帧内可能发生误差传播码流内容的范围,即使是在 AC 系数丢失的情况下,相应的 DC 系数仍然可以保存下来,通过实验证明,本文提出的算法在不同误码率下都可以获得比较好的主客观评价质量。

由于在无线信道上传输视频流是在不断发展和完善中,如何进一步的结合视频流压缩标准的特点来提高视频的自身的检错和容错性能,仍然值得进行更深入的研究。

### 参考文献 (References)

- 1 Wang Yao, Wenger Stephen, Wen Jian-tao, *et al.* Error resilient video coding techniques [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2000, 17(4):61 ~ 82.
- 2 Belfiore S, Grangetto M, Magli E, *et al.* An error concealment algorithm for streaming video [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing 2003 [C], Barcelona the Spain, 2003:649 ~ 652.
- 3 Peng Qiang, Yang Tian-wu, Zhu Chang-qian. Block-based temporal error concealment for video packet using motion vector extrapolation [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions 2002 [C]. Chengdu, China, 2002:10 ~ 14.
- 4 Talluri R. Error-resilient video coding in the ISO MPEG-4 standard [J]. IEEE Communication Magazine, 1998, 36(6):112 ~ 119.
- 5 Yan Bo, Ng Kam-wing. Mode based error resilient techniques for the robust communication of MPEG4 video [J]. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 2004, 14(6):874 ~ 879.
- 6 Zhang Xu-dong, LU Gou-dong, Feng Jian. Fundamental of Image Coding and Wavelet Compressing Principles, Algorithms and Standards [M]. Beijing: Tsinghua University Published, 2004. [张旭东, 卢国栋, 冯健编. 图像编码基础和小波压缩技术——原理、算法和标准 [M]. 北京:清华大学出版社, 2004.]
- 7 Stuhlmüller Klaus, Färber Niko, Link Michael, *et al.* Analysis of video transmission over Lossy channels [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 2000, 18(6):1012 ~ 1032.
- 8 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3908, MPEG-4 Video Verification Model (version 18.0) [S].