

# 3G 对话式视频业务中 H. 264/AVC 的容错策略

柳林 张引 张三元 叶修梓

(浙江大学计算机科学与技术学院/CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘要** 3G 通信技术的出现使对话式无线视频业务成为可能,而且最新的 3GPP/3GPP2 标准要求 3G 终端支持 H. 264/AVC 视频编解码技术,但由于无线网络传输的误率高,因此必须为 3G 对话式视频业务提供相关的容错技术,同时由于硬件的限制,3G 终端只支持部分 H. 264/AVC 的容错工具。针对上述问题,根据 3GPP/3GPP2 标准,在对 H. 264/AVC 中的各种容错工具在基于分组交换的 3G 对话式视频业务中的适用性进行分析的基础上,给出了一些实用性的容错方案。这些容错方案的性能经过一般测试条件测试,实验结果表明,能够得到比较满意的纠错效果。同时通过对各种实验数据的分析可见,在这种低带宽、高误码率的环境中,若编码时采用复杂度低的 FMO 方式,再辅以合适的帧内编码块刷新模式,则可以充分利用帧内宏块的空间相关性,以便在有限的带宽内能得到更好的纠错能力。

**关键词** 容错技术 H. 264/AVC 3G 对话式视频业务

中图法分类号: TN919.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2006)09-1223-07

## H. 264/AVC Error Resilience Strategies for 3G Conversational Video Services

LIU Lin, ZHANG Yin, ZHANG San-yuan, YE Xiu-zi

(College of Computer Science/State Key Lab of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract** The third generation mobile system (3G) makes mobile conversational video transmission in wireless environment possible and H. 264/AVC is optionally supported by the latest 3GPP/3GPP2 standards. Error resilience protection for 3G video stream is necessary due to high packet loss rate in wireless environment. Moreover, 3G mobile terminals support only part of error resilience tools of H. 264/AVC because of the hardware restrictions. This paper presents various error resilience tools and their usability in 3G environment, at the same time, some simple error resilience schemes for packet-switched 3G conversational services are proposed. Performances of these strategies are tested using off-line common test conditions. Experimental show that these strategies can obtain reasonably satisfactory error correction ability. Experiments data also show that, encoder with low complexity FMO method and appropriate intra block refreshing can get better error correction ability, because this method can make full use of spatial correlation between frames and reduce the requirement of bit rate.

**Keywords** error resilience, H. 264/AVC, 3G, conversational video service

### 1 引言

多媒体业务是 3G 的基本业务之一,然而视频业务,尤其是对话式视频业务对 3G 网络还是一种挑战,

这是由于无线网络是一种易错(error-prone)网络,容易受到多径干扰、阴影衰落等多种条件的影响,致使视频传输流中的 RTP 包会大量丢失,因此对于 3G 无线网络中的多媒体业务,容错技术是不可缺少的。对于 3G 中的视频点播业务(streaming video service)来

基金项目: 国家自然科学基金项目(60273060 60473106 60333010)

收稿日期: 2005-04-10 改回日期: 2005-10-08

第一作者简介: 柳林(1975~)男,2006年3月获浙江大学计算机科学与技术专业博士学位。主要研究方向为视频编码、图像处理。

E-mail: liulin@zju.edu.cn. 通讯作者: 张引, E-mail: yinzhang@cs.zju.edu.cn

说基于反馈信息和 RTP 包重传( feedback channel and retransmission)的机制就基本能解决问题,但是对于 3G 网络中的对话式视频业务,由于其要有实时性,因此需要更复杂的容错技术。

### 1.1 3G 中的视频业务

3G 中提供的视频业务有主要以下 3 种:

(1) 多媒体短信业务( multimedia messaging service, MMS)<sup>[1]</sup>, 由于其是非实时的视频业务, 因此也可被以前的 2.5G 的网络(如 GPRS)支持;

(2) 点播式视频业务<sup>[2,3]</sup>, 该业务的视频文件是预先压缩和存储在服务器上的, 其实时性要求不高;

(3) 对话式视频服务, 如视频会议和视频电话, 其实时性要求高。其中视频电话可以是基于电路交换<sup>[4]</sup>的, 而视频会议则一般是基于分组交换<sup>[5]</sup>的。

### 1.2 视频业务对 3G 终端的要求

支持电路交换的 3G 终端称为 3G-324M 终端, 它是基于 ITU-T H.324 协议<sup>[6]</sup>和其附录 C(也称作 H.324M)的, 但是按照文献[7]的要求对 H.324 协议做了一些修改, 以适应 3G 业务的需要。对于 3G-324M 终端来说, 由于支持 H.264/AVC 视频编码标准不是强制性要求, 因此如果支持, 则支持 H.264/AVC 的 baseline profile level 1.0。3GPP 中, 要求 3G-324M 终端在 32kbps 的窄带宽和易错网络环境下都能很好地工作。

支持分组交换的 3G 终端称为 3G PS( packet switch)终端<sup>[5]</sup>。3GPP 要求 3G PS 终端支持 H.264/AVC 视频编码标准, 虽然其支持的级别是 baseline profile level 1.0b, 但不用检查输出文件中的时间一致性(见文献[8]中的附录 C)。同时 3GPP 还特别要求为满足实时性和双向通信的需要, 3G PS 终端不一定都支持 H.264/AVC<sup>[9]</sup>中的冗余 slice 结构, 所以为简便起见, 冗余 slice 结构在 3G 视频终端编码的时候也是不推荐的。

一般来说, 基于电路交换的 3G-324M 终端能够与以前的无线通信系统, 如 GSM( global system for mobile communication), GPRS 等兼容。虽然基于分组交换的 3G PS 终端是纯粹为 3G 系统服务的, 但是为了后向兼容, 3G PS 终端必须能够与 3G-324M 终端通信, 在一般情况下, 这种从电路交换到分组交换的转换是在一种称为 3G-324M-IM 的网关上进行的。

由于本文只考虑基于分组交换的对话式视频业务, 因此相应只考虑 3G PS 终端。

### 1.3 3G 环境下视频数据的传输

在移动通信环境中, 3G 系统的理论带宽可以达到 384kbps, 而在固定通信环境中, 3G 系统的理论带宽可以达到 2Mbps。但是实际通信中的用户带宽远小于理论带宽, 在一般测试条件中<sup>[10]</sup>对于 3G 系统的用户, 带宽一般设定为 64kbps(提供视频点播业务)和 128kbps(提供对话式视频业务)。

3G 网络中视频数据的传输流程在文献[11]中有详细论述。3G 网络中, 由于编码器出来的视频数据被 NAL 层封装成 RTP 包形式, 并在层层打包后被无线网络传输到解码器端, 所以在 3G 实时视频数据传输中, RTP 包是基本的传输单位。

无线网络的误码率远比有线网络高, 在最坏的情况下, 3G 网络传输中有 1% 的 RTP 包会丢失。无线网络中产生数据传输错误有以下两个原因: 一是位倒置; 二是 RTP 包被网关或者路由器丢弃。通常后者的数据是没办法恢复的, 前者的数据, 在有线网络中虽能通过前置错误保护( forward error correction, FEC)等手段恢复, 但在无线网络环境中, 由于考虑到其对终端的要求太高, 因此一般也不试图去恢复这些数据, 而是直接丢弃 RTP 包<sup>[11]</sup>。

文献[11]中也指出, 随着 RTP 包长度增大, 数据在网络中的丢失可能性越大。这就要求在实际应用中, RTP 包的最大尺寸( maximum transmission unit, MTU)必须有所限制, 一般在 3G 网络中这个值取 160Bytes<sup>[12]</sup>。

### 1.4 以前的工作

文献[11][12]是两篇介绍 H.264/AVC 在无线网络中应用的重要文献。其中, 文献[11]详细介绍了在无线网络中 H.264/AVC 的应用, 并且分析了各种 H.264/AVC 容错工具在无线网络中的应用; 文献[12]分析了 H.264/AVC 在基于 IP 的网络(无线网络和有线网络)中的应用, 同时对于各种网络中的协议和 H.264/AVC 的容错技术进行了分析。

对于 H.264/AVC 的容错方法, 除了上述两篇文献之外, 在许多文献中也有所论述, 例如文献[13]提出了一种基于反馈通道和多参考帧的错误恢复机制, 其已应用于有线网络中的对话式视频传输中, 并取得了良好的效果; 文献[14]研究了用非标准化的方法来改进 H.264/AVC 中的错误隐藏技术; 文献[15]对各种错误隐藏技术做了性能分析和评价。

以上这些文献虽从各个方面研究了 H.264/AVC 在无线或有线网络中的应用, 但没有考虑到具

体的应用标准。如果具体考虑到 3G 网络中对 Codec 和 3G 终端的具体要求,则情况并不尽相同,例如文献 [11] 中提出的多种容错方案在 3G 网络中并不适用。本文根据 3GPP/3GPP2 标准,对 H.264/AVC 的具体要求和在 3G 环境中的容错技术和容错方案进行了分析,而且将着重点放在对 3G 标准的分析和各种容错工具的选择上,同时也给出了详细的实验方案和实验结果。

## 2 H.264/AVC 的容错工具

H.264/AVC 视频编码标准本身提供了许多容错工具,但是它们并不都适用于 3G 网络中的对话式视频业务。在这一节中将讨论各种 H.264/AVC 中的容错工具和它们在 3G 网络视频业务中的适用性。

### 2.1 Slice 结构

为了满足 MTU 大小的要求,在 3G 网络视频传输中对视频进行分片压缩显得尤其重要。经过分片压缩后的视频中每个 RTP 包中包含一个片,一般每个 slice 中包含一个或者几个宏块,并以 RTP 包的大小满足 MTU 的要求为准。

### 2.2 FMO

H.264/AVC 提供了多种分片模式,以满足不同的需要,这就是 FMO(flexible macroblock ordering)技术。常用的 FMO 方式有隔行模式(interleaving mode)、分散模式(dispersive mode)等,实验证明,FMO 技术能显著提高视频流的纠错能力。

### 2.3 错误隐藏技术

由于错误隐藏(error concealment)技术能够利用接收到的数据来恢复丢失的数据,因此一般都应用在解码器端。在无线网络环境中,解码器的这种能力尤其重要,因为无线网络环境中误码率高,很多 RTP 包在传输中被网关或者路由器丢弃,而这些丢失的数据又必须在解码器端根据空间和时间上的相关性来恢复。

错误隐藏技术的实现方法也很多,在 JVT 参考软件中,就使用了一种空间相关性的方法,即使用被丢失宏块周围的 4 个宏块来恢复被丢失的数据,其选用的标准是使恢复后边缘数据的 SAD(sum of absolute difference)差最小。这种方法的效果虽不是最好,但是计算简单有效。

### 2.4 帧内编码块刷新

由于帧内编码不依赖时间上相邻帧的数据,所以帧内编码块能有效地阻止由于包丢失甚至帧丢失

而引起的错误传播。对于对话式业务来说,由于实时性要求高,而且 I 帧刷新的频率较低,因此可以用帧内编码块来部分代替 I 帧的作用。

H.264/AVC 提供了两种帧内编码块刷新(intra block refreshing)模式;其中,一种是随机模式,即用户可以选择帧内编码块的数目,而由编码器随机决定哪些哪些位置上的宏块实行帧内编码;另一种是行刷新模式,即编码器在图像中依次选择一行进行帧内编码,但图像分辨率大小不同,每次需要帧内编码块的数目也不同,例如在 QCIF 格式图像中,每次需要选择一行,即 11 个宏块进行帧内编码,而在 CIF 格式图像中,这个数字变成 22。

### 2.5 反馈机制

反馈机制(feed channel)主要有两个作用,其一能够指导编码器进行长时 buffer 参考帧的选择<sup>[16]</sup>,而且只有被正确接受的帧才能被选为做参考帧;其二是能够指导 RTP 包的重传。文献 [11] 中分析了 H.264/AVC 的 3 种反馈机制,并且指出在端到端延时较小的情况下,反馈机制能有效地提高系统的性能。但是在对话式视频业务中,如果采用反馈机制,则必然会给终端设备的存储能力和计算能力带来额外负担,因此这里不考虑反馈机制。

### 2.6 非对称保护和前置保护

由于 H.264/AVC 的 Baseline Profile 不支持数据分块(data partition),所以非对称保护(unequal error protection,UEP)在 3G 网络环境中也不能使用。

在 3G 网络中,一般对于实时性要求不高的数据传输,若采用 Turbo 码进行前置错误保护,即能达到很好的纠错效果。而对于实时性要求的数据传输,若采用卷积码进行保护,则只能进行简单的纠错。由于前置保护属于 3G 系统层次的服务,因此普通业务一般不进行单独设置。

除了上述的容错工具以外,还有一些容错工具是 H.264/AVC 自身就带有的,不需要用户明确的选择,这些容错工具有:参数集合(parameter set)、码率-失真度优化(R-Optimization)等,在这里没有一一列出。

## 3 3G 对话式视频业务中 H.264/AVC 容错方案

对话式视频业务对无线网络甚至是 3G 网络都是一个挑战,因为无线网络必须克服各种干扰,并需在有限的信道带宽内实时传送和接收视频流,又因

为工作的双方必须对视频流进行实时编码和解码，所以对移动终端的要求也很高。由于移动终端的计算能力和存储能力都受到硬件条件的限制(如第 2 节所述)，因此在有线网络中普遍采用的 H. 264/AVC 的容错技术，在 3G 网络是不适用的。图 1 中列出了本文视频传输系统所采用的流程图，在这里，只有适合 3G 终端的容错技术才列出。

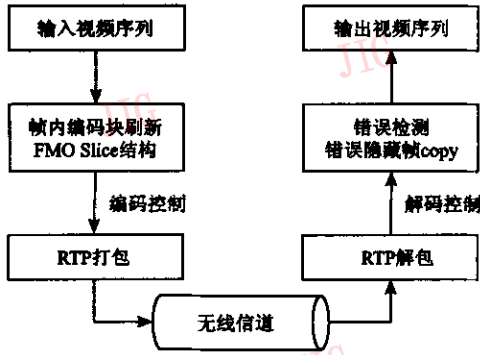


图 1 本文系统流程图

Fig. 1 The flowchart of our system

考虑在 3G 视频对话式视频传输中所采用的容错方案，其方法是选用合适的容错工具，一般第 2 节

列出的容错工具中，错误隐藏技术、码率控制等容错工具都必不可少，其可以选择的容错工具主要有分片结构、FMO 方式、帧内编码块刷新模式等。考虑到上述容错工具的组合，本文提出了 6 种适合于 3G 视频对话式视频业务的容错方案，即

- (1) 隔行 FMO 模式 + 随机帧内编码模式(代号为 I&R)，
- (2) 分散 FMO 模式 + 随机帧内编码模式(代号为 D&R)，
- (3) 不采用 FMO 模式 + 随机帧内编码模式(代号为 NoFMO&R)，
- (4) 隔行 FMO 模式 + 行刷新帧内编码模式(代号为 I&E)，
- (5) 分散 FMO 模式 + 行刷新帧内编码模式(代号为 D&E)，
- (6) 不采用 FMO 模式 + 行刷新帧内编码模式(代号为 NoFMO&E)。

为了比较这些容错方案的性能，本文还给出了一个用来做比较的容错方案，即只采用分片结构和错误隐藏两种容错工具的方案。更详细的容错方案参数见表 1。

表 1 详细的容错方案

Tab. 1 Error resilience schemes in detail

方案代号	Slice 模式 (Byte)	错误隐藏 (是/否)	隔行 FMO (是/否)	分散 FMO (是/否)	随机帧内块刷新 (宏块个数)	行帧内块刷新 (是/否)
Comp.	160	是	否	否	0	否
NoFMO&R	160	是	否	否	11	否
NoFMO&E	160	是	否	否	0	是
I&R	160	是	是	否	11	否
I&E	160	是	是	否	0	是
D&R	160	是	否	是	11	否
D&E	160	是	否	是	0	是

### 4 实验结果

无线网络环境的一般测试条件见表 2，表 1 中列出了第 3 节中提出的容错方案的细节，其中第 1 项为没有采用任何容错工具的方案，是用来作为比较的。

编码和解码软件采用 JVT 的 H. 264/AVC 参考软件 JM9.2，但是修补了在 JM9.2 编码器中的由于图像头信息丢失而引起的解码器 bug。实验时，测

试视频系列采用 IPPP...IPPP...格式编码(每隔 150 帧出现一个 I 帧)，这里只测试一个图像组(GOP)内的情况，即编码图像数目为 150 帧，编码器输出的是 RTP 包文件，并由离线环境的一般测试软件<sup>[10]</sup>来模拟包损失，而损失后的文件则由解码器来解码。在解码器中，如果某一帧不能恢复，则采用直接拷贝前一帧的方法，以保证视频序列的完整。测试结果用亮度信息的峰值信噪比(peak signal noise ratio, PSNR)来评价。

表 2 无线网络环境一般测试条件<sup>[10]</sup>

Tab.2 Common test conditions in wireless environment<sup>[10]</sup>

编号	码率 (kbps)	视频长度 (s)	错误率 (%)	应用环境
1	64	60	0.93	Streaming
2	64	60	0.29	Streaming
3	64	180	0.051	Conversational
4	64	180	0.017	Conversational
5	128	180	0.05	Conversational
6	128	180	0.02	Conversational

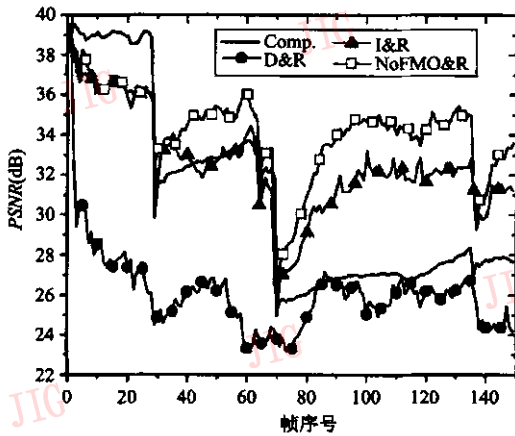
其他重要的编码/解码参数有:编码器中, ProfileIDC = 66, LevelIDC = 10, constrained\_set1\_flag = 1, NumberReferenceFrames = 3, 码率控制在 128kbps, 不采用 Loop Filter, symbol mode = UVLC, OutFileMode = RTP;

对于解码器来说, 程序中的 MAX\_NUM\_SLICES 必须给定一个比较大的数值(例如 200), 因为在 I 帧中会有比较多的 slice 数目。

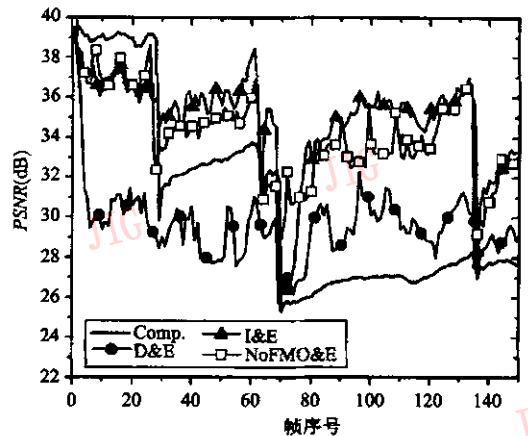
输入视频是 QCIF 格式的序列, 为了比较容错技术的性能, 可在随机宏块编码时, 采用与行刷新编码时一样的帧内宏块数目, 即每帧图像中的帧内编码宏块数目都是 11。

表 1 中列出了 7 种详细的容错方案。表 2 中列出的是文献[10]中所建议的无线网络环境中的一般测试条件, 而图 2、图 3 则分别给出了 Foreman、Carphone 标准测试序列在 7 种不同的容错方案下(对应表 1)解码后视频的峰值信噪比的走势图, 图中采用表 2 中编号为 5 的一般测试条件, 即在编码时, 控制码率为 128kbps, 误码率为  $5.0 \times 10^{-4}$ 。

从图 2 和图 3 也可以看出, 如果编码时候不采



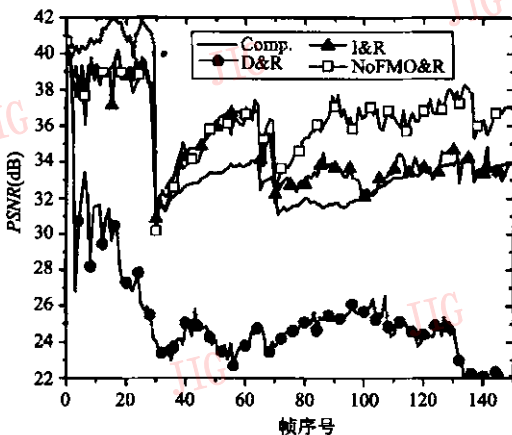
(a) Comp.、D\_R、I\_R、NoFMO\_R 容错方案解码后视频的峰值信噪比



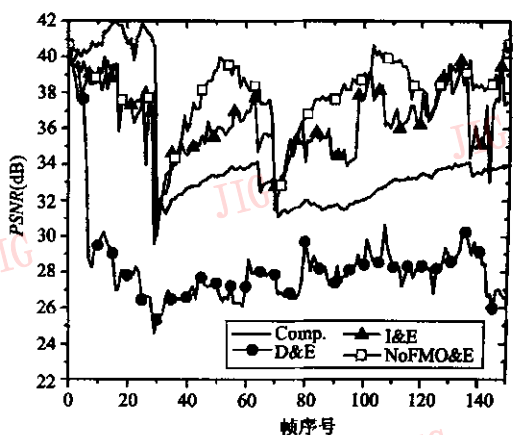
(b) Comp.、D\_E、I\_E、NoFMO\_E 容错方案解码后视频的峰值信噪比

图 2 Foreman 视频序列在不同容错方案下解码后视频的峰值信噪比走势

Fig.2 Decoding result for foreman sequences under different error resilience schemes



(a) Comp.、D\_R、I\_R、NoFMO\_R 容错方案解码后视频的峰值信噪比



(b) Comp.、D\_E、I\_E、NoFMO\_E 容错方案解码后视频的峰值信噪比

图 3 Carphone 视频序列在不同容错方案下解码结果后视频的峰值信噪比走势

Fig.3 Decoding result for carphone sequences under different error resilience schemes

用任何容错技术(对应两图中的 Comp. ),虽然可以节省大量码率,其对应的平均量化参数也最低,但是不能消除由于 RTP 包丢失而产生的错误传播,其结果就是峰值信噪比曲线越走越低,视频质量越来越差。图中还显示出,无论采用哪种容错方案,都能有效地消除错误传播,使峰值信噪比曲线保持在一定范围内波动,而不会一直走低。

从图 2、图 3 数据中可以看出,在编号为 5 的一般测试条件下,分散 FMO 模式容错方案取得最差的效果。在解码后视频的平均峰值信噪比方面,采用分散 FMO 模式容错方案的视频序列比同样条件下其他模式容错方案解码后视频的平均峰值信噪比要低 5 ~ 8dB,最小峰值信噪比要比同样条件下其他模式解码低 0.5 ~ 5dB。这种结果可以从平均量化参数中找到原因,由于采用分散 FMO 模式,其宏块空间相关性低,不利于帧内预测,因此在进行码率控制的情况下,直接导致其对应的平均量化参数要比同样条件下不采用分散 FMO 模式要高 0.4 ~ 0.5。由于其编码后视频中的细节部分被大量丢失,因此其平均峰值信噪比是最低的。

在 FMO 模式同样的测试条件下,采用行帧内编码模式相对于随机帧内编码模式能取得更好的纠错效果,不仅其解码后的视频的平均峰值信噪比要高 1 ~ 2dB,而且随机帧内编码模式还容易出现局部块效应。这是因为在行帧内编码模式下,帧内编码的宏块间相关性更好,有利于帧内预测的缘故。

在两种测试条件下,不采用 FMO 模式加行帧内编码模式(NoFMO&E)可取得最好的效果,即无论是平均峰值信噪比和最小峰值信噪比都比较好。由图 2、图 3 可见,与之容错性能相近的编码方案是隔行 FMO 模式加行帧内编码模式(I&E),在图 2 和图 3 中这两条峰值信噪比曲线非常接近。这也充分说明了,在这种高误码率和带宽有限的环境中,在编码时候不仅要考虑到容错方案的纠错能力,而且要充分考虑到码率的限制,即应当充分利用宏块间的空间相关性,而复杂的 FMO 模式反倒不利于视频质量的提高。

## 5 结 论

3G 通信技术的出现,使对话式无线视频业务成为可能,最新的 3GPP/3GPP2 标准还要求 3G 终端支持 H. 264/AVC 视频编解码技术。由于 3GPP 只支持 H. 264/AVC 的基本规范,因此使 3G 移动视频

业务中只能使用部分 H. 264/AVC 容错工具。本文在分析了 H. 264/AVC 的各种容错工具以及它们在 3G 对话式无线视频业务中的适用性的基础上,提出了一些容错方案。根据分析可以知道,很多在有线网络中广泛使用的容错工具,如反馈机制、数据分块、冗余 slice、非对称保护和前置保护等在 3G 对话式视频业务中的使用都受到限制,在这种环境下能有效使用的容错工具仅有分片结构、数据隐藏、FMO、帧内编码块刷新等。本文给出的 6 种容错方案的实验结果显示,这些容错技术能有效提高视频质量,基本能达到满意的效果。通过分析比较各种容错方案也可以看出,在 3G 对话式视频传输这种低带宽、高误码率的环境下,在编码时应采用复杂度低的 FMO 方式,以充分利用帧内宏块的空间相关性,辅以合适的帧内编码块刷新模式,就能在有限的带宽内得到更好的纠错能力。

本文着重强调的是容错工具的选用和这些容错工具的组合,实验结果是在基于两种常用的容错工具给出的。应当注意到的是,相同的容错工具,若施以不同的参数将会得到不同的纠错效果,因此如何对这些参数进行优化和选择也是将要研究的重点。

## 参考文献 (References)

- 1 3GPP. Multimedia messaging service(MMS). functional description, stage 2(V6.8.0) [S]. 3GPP TS 23.140, 2004.
- 2 3GPP. Transparent end-to-end packet switched streaming service (PSS). general description(V6.0.0) [S]. 3GPP TS 26.233, 2004.
- 3 3GPP. Transparent end-to-end packet-switched streaming service (PSS). protocols and codecs(V6.1.0) [S]. 3GPP TS 26.234, 2004.
- 4 3GPP. Codec for circuit switched multimedia telephony service. general description(V5.0.0) [S]. 3GPP TS 26.110, 2002.
- 5 3GPP. Packet switched conversational multimedia applications, default codecs(V6.2.0) [S]. 3GPP TR 26.235, 2004.
- 6 ITU-T (ITU-T Recommendation H.324). Terminal for low bitrate multimedia communication [S]. ITU-T Rec. H.324 | ISO/IEC, 2002.
- 7 3GPP. Codec for circuit switched multimedia telephony service, modifications to H.324(V6.0.0) [S]. 3GPP TS 26.111, 2004.
- 8 JVT (Joint Video Team) of ISO/IEC and ITU-T VCEG. Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification [S] (ITU-T Rec.). H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC, JVT-G050r1, 2003.
- 9 JVT (Joint Video Team) of ISO/IEC and ITU-T VCEG. Draft text of H.264/AVC fidelity range extensions amendment, JVT-L047 [S]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6, 2004.

- 10 Roth G , Sjöberg R. Common test conditions for RTP/IP over 3GPP/3GPP2[ S ] , ITU-T SG16 Doc. VCEG-M77 2001.
- 11 Stockhammer T , Hannuksela M M , Wiegand T. H.264/AVC in wireless environments[ J ]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology , 2003 , **13**( 7 ) : 657 ~ 673.
- 12 Wenger S. H.264/AVC over IP[ J ]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology , 2003 , **13**( 7 ) : 645 ~ 656.
- 13 Yu H B , Wang C , Yu S. A novel error recovery scheme for H.264 video and its application in conversational services[ J ]. IEEE Transactions on Consumer Electronics , 2004 , **50**( 1 ) : 329 ~ 334.
- 14 Su L , Zhang Y , Gao W , *et al.* Improved error concealment algorithms based on H.264/AVC non-normative decoder[ A ]. In : proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo( ICME '2004 ) [ C ] , Sorrento , Italy , 2004 , **3** : 1671 ~ 1674.
- 15 Chiaraluce F , Ciccarelli L , Gambi E , *et al.* Performance evaluation of error concealment techniques in H.264 video coding[ A ]. In : Picture Coding Symposium[ C ] , San Francisco , CA , USA , 2004 , **1** : 163 ~ 166.
- 16 Wiegand T , Farber N , Stuhlmüller K , *et al.* Error-resilient video transmission using long-term memory motion-compensated prediction [ J ]. IEEE Journal in Selected Areas in Communication , 2003 , **18**( 12 ) : 1050 ~ 1056.