

视频压缩编码的差错复原技术

梁 凡 魏晓晖 肖自美 刘红梅

(中山大学电子与通信工程系, 广州 510275)

摘 要 在无线移动信道和因特网等环境下的压缩视频传输业务, 信道传输差错不但严重影响业务质量, 甚至会导致整个视频通信完全失效, 因此差错复原技术就成为易发生差错信道下视频编码的重要组成部分. 在 H. 263⁺, H. 263⁺⁺ 和 MPEG-4 等视频编码标准中均采用了若干差错复原技术或工具. 该文对目前各种新的视频编码标准中所应用的一些差错复原技术, 如同步、数据分割、可逆变长编码、参考图象选择、差错掩盖等的内容、原理进行了详细的叙述. 并利用第三代移动通信系统的信道模型进行了差错复原技术的实验. 结果表明, 在应用了差错复原技术后, 重建图象的主客观质量均得到了明显的改善.

关键词 视频编码 差错复原 数据分割 可逆变长编码 差错掩盖

中图法分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)05-0374-06

Error Resilience in Video Coding

LIANG Fan, WEI Xiao-hui, XIAO Zi-mei, LIU Hong-mei

(School of Information Science and Technology, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract The problem of error resilience in compressed video communication is becoming increasingly important because of the growing interest in video delivery over error-prone channels such as mobile networks and the Internet. One inherent problem of such error-prone channels is channel errors. Current video compression standards achieve efficient compression by using predictive coding and variable length entropy coding. Variable length coding schemes are highly vulnerable to channel errors. Predictive coding make matters much worse since the errors quickly propagate across the entire video sequence. So the effect of these errors not only can cause great degradation of the quality of service, even can lead to the failure of the whole video communication system. Some error resilience technologies have already been included in several video coding international standards such as H. 263⁺, H. 263⁺⁺ and MPEG-4. This article gives a detail description of the content and principle of error resilience technologies, such as resynchronization, data partitioning, reversible variable length coding, reference picture selection mode and error concealment, etc, which are used in diversified new video coding international standards. This article also gives some simulation results of error resilience technologies based on IMT-2000 channel models. The result shows error resilience technologies can remarkably improve the subjective and objective quality of the reconstructed image.

Keywords Video coding, Error resilience, Data partitioning, Reversible variable length coding, Error concealment

0 引言

第三代移动通信系统 IMT-2000(International Mobile Telecommunications in the year 2000)将在

2000 年左右投入商业运行^[1]. 它能够向用户提供无线高速接入以及移动多媒体业务. 众所周知, 陆地移动无线信道的传播环境是十分恶劣的, 如由多径传播引起的多径衰落、电波传输扩散损耗和阴影效应引起的阴影衰落等, 均会对信号传输质量产生严重影响.

对于压缩视频, 信道传输差错(channel error)的影响是非常严重的. 虽然现有的视频编码标准均采用能提高编码效率的变长编码(VLC). 但也使得编码后的视频数据对抗差错的能力十分脆弱. 由于信道传输差错使得解码器失去了与编码器的同步, 而无法正确地对变长编码进行解码. 而且现有视频编码标准所采用的基于运动补偿的预测编码技术, 又使出现的差错迅速扩散, 进而导致重建图象质量严重受损, 甚至无法重建图象.

基于因特网的实时视频传输业务正在迅猛发展. 但由于分组交换网络所固有的特点, 网络拥塞时有发生, 而且网络带宽经常变动, 还造成分组丢失. 在网络传输的过程中, 分组数据时常出现分组比特差错, 这种错误如果出现在分组头部, 还会使分组地址错误, 从而使分组无法到达正确的地址; 当这种比特差错出现在分组数据域时, 就会对重建图象质量造成严重影响. 而对于压缩视频, 分组丢失则对重建图象质量的影响远大于比特差错所造成的影响.

对于压缩视频传输业务, 信道传输差错不但严重影响业务质量(QoS), 甚至会导致整个视频通信完全失效. 因此必须采用适当的技术措施来减小或消除信道传输差错, 例如易发生差错信道(无线移动通信道、IP网络等)下视频编码中的差错复原(error resilience)技术就是这种技术措施.

现有或正在制订中的视频压缩编码标准如H. 263⁺、H. 263⁺⁺和MPEG-4等, 为了提高差错复原能力, 以满足易发生差错环境下视频传输业务的要求, 均采用了若干差错复原技术或工具, 并成为标准的重要内容. 在MPEG-4中定义了多种差错复原的工具^[2-4], 主要有重同步(resynchronization)、数据分割(data partitioning)、可逆变长编码(reversible VLC, RVLC)等. 在H. 263⁺中用于差错复原的编码选择项有前向纠错编码(forward error-correction, FEC)模式、条带(slice)模式、独立分段解码(independent segment decoding)和参考图象选择(reference picture selection)等^[5-7]. H. 263⁺⁺则在H. 263⁺的基础上又增加了数据分割的条带模式, 并对参考图象选择进行了修改^[8,9].

1 差错复原的主要技术

对于易发生差错信道下的视频传输业务来说, 其差错恢复能力不仅仅依赖于作为信源编码的视频

编解码器本身, 而且还依赖于整个系统. 对于数字移动通信系统, 各种调制技术和信道编码在对抗信道的恶劣环境, 提高传输的可靠性等方面起着重要作用. 在我国的IMT-2000方案TD-SCDMA中, 就采用了R-S码(Reed-Solomon code)和Turbo码等进行前向纠错编码(FEC). FEC一方面可以提高传输的可靠性; 另一方面在接收端检测到差错时, 还可以将差错的情况提供给视频解码器, 以便视频解码器进行差错检测和定位. 对于差错检测和定位, 视频解码器除利用FEC外, 还可采用基于语法和语义的技术来进行. 对于压缩视频码流, FEC虽然提供了一定的保护, 但仍有赖于视频编解码器进一步提供差错复原能力. 以下是视频编码标准中所采用的主要差错复原技术:

- ① 差错检测和定位
- ② 重同步
- ③ 数据恢复
- ④ 差错掩盖

由于数字压缩视频的特性, 解码器通过语法和语义等在视频码流中检测出的差错位置往往并不是差错发生的准确位置. 因为, 解码器在检测出差错后便与编码器失去了同步. 因此, 在这种情况下解码器就需要采取一些重同步策略, 以重新获得与编码器的同步. 常用的重同步策略是在码流中定期插入唯一的同步码字, 以便检测出差错后, 解码器可以通过在码流中搜索同步码字, 以重新获得同步.

解码器在重新获得同步后, 差错发生的位置被限制在相邻的两个同步点之间. 但由于解码器无法准确地指出差错发生的位置, 因而两个同步点间的数据不得被丢弃. 可是对于压缩视频来说, 大量数据的丢失将对重建图象质量造成严重影响, 甚至使整幅图象的解码无法完成, 同时由于视频压缩编码中采用的是预测编码技术, 还将使这一影响迅速扩散, 因此有必要采用数据恢复技术来恢复发生差错的数据.

尽管采用了差错检测和定位、重同步及数据恢复等技术, 但最终仍有部分发生差错的数据被丢弃. 此时, 解码器可采用差错掩盖技术来进一步减少差错对重建图象质量的影响.

1.1 重同步

前面已经提到, 由于解码器检测出差错的位置往往并不是差错发生的准确位置, 因此解码器在检测出差错后, 需要采取重同步策略来重新获得与编

码器的同步. 现在采取的重同步策略之一就是 H. 261、H. 263 等的编码器将每一帧图象分为若干块组(GOB), 解码器可以利用 GOB 的起始码作为重同步码. 但在这种策略中, 重同步码之间的间隔是不相等的, 因而对于图象中剧烈运动的部分, 码字的间隔往往较大, 一旦发生错误, 解码器需要较长时间才能恢复同步, 而且受差错影响的码字数量也较多, 这些都不利于解码器进行进一步的差错复原工作.

在 MPEG-4 中定义了一种新的基于视频包(video packet)的重同步策略^[2~4], 采用这一策略可以使 MPEG-4 码流中重同步码字的间隔基本上相等. 该种重同步策略就是编码器将每帧图象分割为若干视频包, 视频包由完整的宏块组成, 其长度由预先设定的阈值决定. 如 MPEG-4 编码器就是通过在每个视频包头处插入唯一的重同步码字来实现重同步.

1.2 数据分割^[2,3,8]

一般视频压缩编码中, 各个宏块的运动矢量和变换系数的编码是排列在一起的, 在发生差错的情况下, 解码器可通过差错检测、重同步等将差错定位在两个同步点之间. 但由于无法确定差错是发生在运动矢量部分, 还是变换系数部分, 因此解码器只能将全部数据丢弃. 为了重建相应的宏块, 解码器需要利用相邻宏块的数据, 通过内插等方式来完成, 十分不便. 为了避免丢弃全部数据, 采用了一种数据分割技术.

所谓数据分割就是指对运动矢量和变换系数的编码数据重新排列, 并使两者分隔开来, 其间用某个特定的码字来标识. 这样使解码器在检测差错时就可以判断出差错是发生在运动矢量部分, 还是变换系数部分, 从而只需丢弃相应部分的数据.

在 MPEG-4 的数据分割模式中, 视频包中的数据被标识符分隔为运动部分和纹理部分. 其语法如图 1 所示.

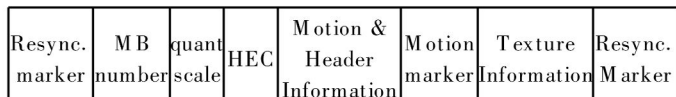


图 1 MPEG-4 数据分割语法

视频码流中的某些头信息(如图象格式、时间标签)对解码和重建图象的播放等起着决定性作用. 因此必须妥加保护, 而图 1 中 HEC(header extension code)域就是为了保护这些关键信息而设的. HEC 域长为 1bit, 如果该位被置位, 则视频包中就包含有视频帧的头信息.

在 H. 263⁺⁺ 中, 新定义了数据分割条带模式. 在该模式下, 图象首先被分割为视频图象分段(video picture segment). 且该分段中的宏块数据被重新排列, 分为宏块头信息、运动矢量和 DCT 系数三个部分, 并且三个部分之间由标识符分隔. H. 263⁺⁺ 数据分割条带模式的语法参见图 2.

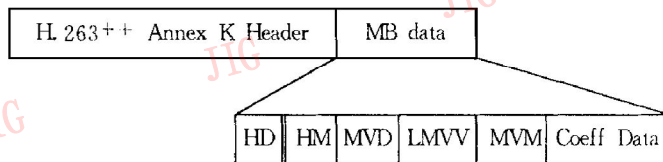


图 2 H. 263⁺⁺ 数据分割语法

在 MPEG-4 的数据分割模式中, 仅在纹理部分采用 RVLC; 而 H. 263⁺⁺ 则将 RVLC 应用在头信息和运动矢量的编码中. 从这一点来看, H. 263⁺⁺ 的数据分割模式有着更强的差错复原能力.

1.3 可逆变长编码

众所周知, RVLC 是目前常用的数据恢复技术, 而且编码器除了可以利用 RVLC 进行数据恢复外, 还可以对差错发生的位置进行更精确的定位.

传统的 RVLC 是通过在变长码字的前后加上固定的前缀和后缀而构成的(如表 1 所示).

表 1 VLC 和 RVLC

VLC	RVLC
	0
1	111
01	1011
001	10011
0001	100011

由于传统的 RVLC 在编码效率方面损失较大, 因此人们又提出了一种新型 RVLC, 它不但具有传统 RVLC 可正向和反向解码的特点, 而且在编码效率方面和 VLC 十分接近^[10].

这种新型 RVLC 是通过正向和反向的 VLC 码流进行异或操作来构成的. 下面通过一个例子对这种新型 RVLC 进行说明: 即一个 5 个符号的集合 {a, b, c, d, e}, 其各个符号出现的概率为 {1/2, 1/8, 1/8, 1/8, 1/8}. 那么对该集合进行编码的 VLC 码表为 {0, 100, 101, 110, 111}, 其传输的符号流为 "abcaad", 而编码器生成的 VLC 码流为 0/100/101/0/0/011. 为了得到可双向解码的码流, 编码器首先将每个码字翻转, 组成反向码流; 随后编码器在正向码流之后及反向码流之前插入 L 个 0(L 必须

括时域外插、运动补偿、掩盖运动矢量等;而空间域差错掩盖技术则是利用同一图象帧中的相邻宏块对丢失宏块进行恢复的技术.这种方法也可在掩盖运动矢量不存在时,用于对帧内编码的宏块进行差错掩盖.通常,空间域的差错掩盖对丢失宏块中包含的诸如DC系数以及最小的AC系数的恢复最有效,但采用这种方法对丢失的高频系数进行恢复则效果欠佳,特别是对于运动剧烈的图象.此外,空间域的差错掩盖方法还可以同前述的可分级编码技术相结合,以达到更好的差错掩盖效果.

2 实验结果

我们采用 ITU-T 则是提供的信道模型来模拟

IMT-2000(UMTS 方案)无线移动信道,进行了差错复原技术的实验.其视频序列为由 H.263 编码器获得的 H.263 码流;然后将其打包为 H.324/M 分组,并将 H.324/M 分组在模拟信道上传输;接收端则将分组解包,还原为接收端 H.263 码流;最后将接收到的 H.263 码流送至 H.263 解码器进行解码,并将结果输出.

图4给出了Foreman序列的实验结果.图4(a)为无差错情况下的重建图象;图4(b)和图4(c)为有差错情况下的重建图象;图4(d)为采用可逆变长编码进行逆向解码得到的重建图象;图4(e)为采用了差错掩盖的重建图象;图4(f)为进行逆向解码并采用差错掩盖的重建图象.图4(e)到图4(f)使用了 H.263⁺ 的数据分割条带模式.

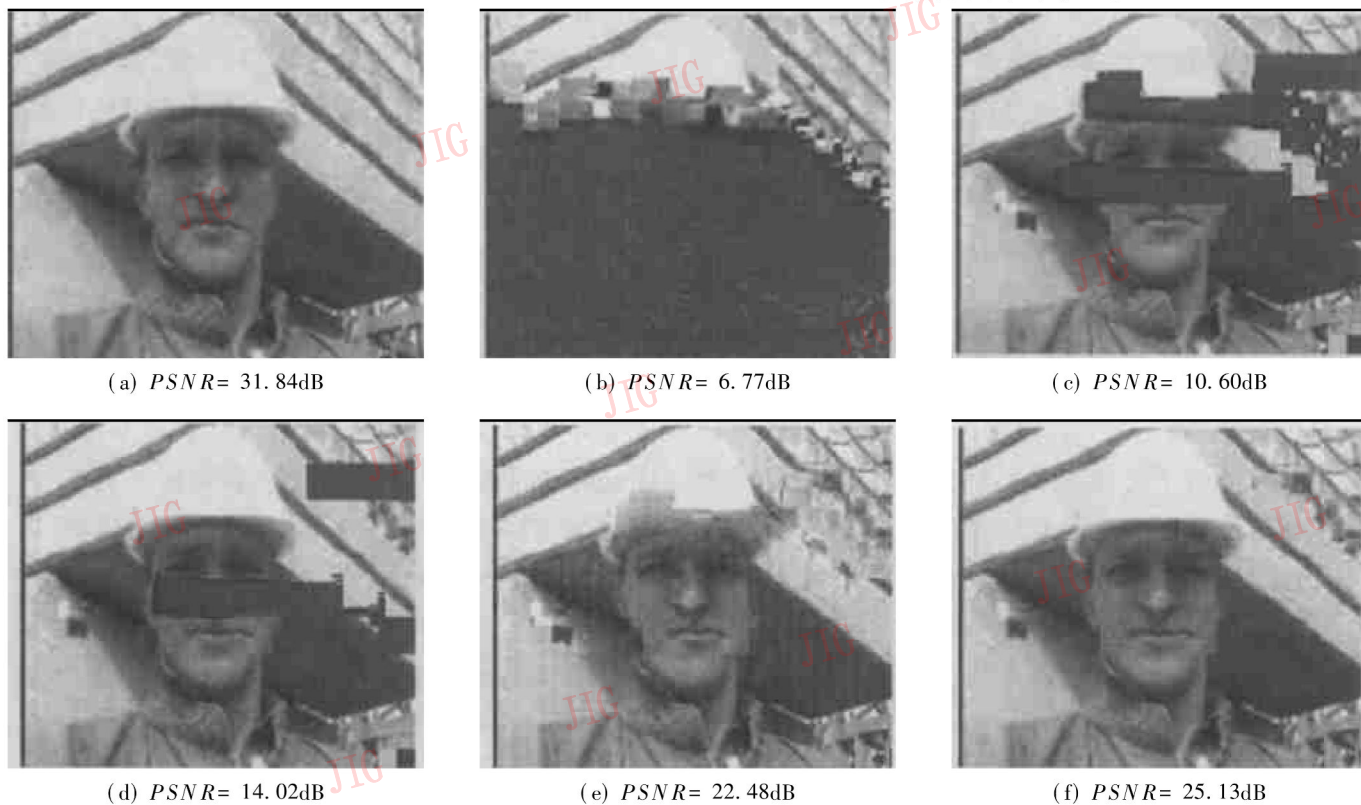


图4 Foreman 序列实验结果

实验结果表明,在无线移动信道的恶劣环境下,信道传输差错致使视频传输业务的 QoS 受到严重影响.在应用了某一种差错复原技术,如 RVLC,由于差错掩盖后,其重建图象质量已获得了不同程度的改善.而采用多种差错复原技术结合,其重建图象的主客观质量更得到了显著的提高.

3 小结与讨论

第三代移动通信系统将把视频传输业务纳入到

无线移动环境.面对无线移动信道的恶劣环境,如不采用有效的技术对抗由于信道传输差错而导致的误码,不但视频传输业务的 QoS 将无法得到保证,甚至会导致整个视频通信完全失效.此外,基于因特网的实时视频传输业务也面对着由于分组交换网络固有的特点所导致的拥塞、分组丢失等严重问题.

以上种种问题使得差错复原技术成为易发生差错环境下视频压缩编码的重要研究内容.因此现有以及正在制订中的视频压缩编码标准,如 H.263⁺、H.263⁺⁺ 和 MPEG-4 等为了提高差错复原能力,以

适应易发生差错环境下视频传输业务的要求, 均采用若干差错复原技术或工具. 本文主要对差错复原技术的内容以及目前所采用的若干差错复原技术的工作原理进行阐述, 并对差错复原技术进行了初步实验. 结果表明, 采用某一种差错复原技术, 即使重建图象质量获得不同程度的改善, 而多种差错复原技术的结合应用, 则使重建图象质量获得显著改善.

参 考 文 献

- 1 Cao Shumin. Current development of IMT-2000 in China. IEEE Commun, 1998, 36(9): 157~ 159.
- 2 ISO/IEC. Information Technology-Coding of Audio-Visual Objects: Visual, CD 14496-2. 1998.
- 3 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. MPEG-4 video verification model version 13.3. MPEG99/4960. Melbourne: 1999.
- 4 Talluri R. Error-Resilient video coding in the ISO MPEG-4 standard. IEEE Commun, 1998, 36(6): 112~ 119.
- 5 ITU-T. Video coding for low bitrate communication. Draft Recommendation H.263 Version 2. 1998.
- 6 Cote G, Erol B, Gallant M *et al.* H.263⁺: Video coding at low bit rates. IEEE Trans Circuit Syst Video Technol, 1998, 8(7): 849~ 866.
- 7 Wenger S, Knorr G, Ott J *et al.* Error resilience support in H.263⁺. IEEE Trans Circuit Syst Video Technol, 1998, 8(7): 867~ 877.
- 8 Villasenor J D, Park D S. Proposed draft text for the H.263 Annex V data partitioned slice mode. ITU-T Q.15/16 document Q15-I-14. Red Bank: 1999.
- 9 Wiegand T, Faerber N, Girod B *et al.* Proposed draft for annex U on enhanced reference picture selection. ITU-T Q.15/16 document Q15-G-18. Monterey: 1999.
- 10 Faerber N, Wiegand T, Girod B. Error correcting RVLC. ITU-T Q.15/16 document Q15-E-32. Whistler, British Columbia: 1998.

- 11 Wang Yao, Zhu Qin-Fan. Error control and concealment for video communication: A Review. Proc IEEE, 1998, 86(5): 974~ 997.
- 12 Wada M. Selective recovery of video packet loss using error concealment. IEEE J Selected Areas Commnu, 1989, 7(5): 807~ 814.
- 13 Ducla-Soares L, Pereira F. Error resilience and concealment performance for MPEG-4 frame-based video coding. Signal Processing: Image Commun, 1999, 14: 447~ 472.



梁 凡 1993年毕业于北京信息工程学院电子技术与通信系. 1997年在中山大学电子系获硕士学位, 现为中山大学电子系博士研究生. 主要研究领域是图象压缩编码、无线移动网络可视多媒体通信系统等.



魏晓晖 1997年毕业于中山大学电子系, 现为中山大学电子系硕士研究生. 主要研究领域是图象压缩编码、无线移动网络可视多媒体通信系统等.



肖自美 1961年毕业于武汉大学无线电专业, 现任中山大学电子系教授, 中山大学信息与通信技术研究中心主任, 主要从事图象压缩编码与处理、语音压缩与处理、多媒体技术与通信系统、数字传输与调制技术等领域的研究和教学工作.

刘红梅 1992年毕业于清华大学计算机系, 1996年在清华大学计算机系获硕士学位. 现为中山大学电子系讲师. 主要研究领域是图象压缩编码、多媒体技术与通信系统等.