

一种宏块分裂的多描述视频编码方法

郁梅^{1),2),3)} 肖方明^{1),2)} 蒋刚毅^{1),2),3)} 李福翠¹⁾

¹⁾(宁波大学电路与系统研究所,宁波 315211) ²⁾(中国科学院计算技术研究所,北京 100080)

³⁾(北京大学视听信息处理图像实验室,北京 100871)

摘要 多描述编码是近年来提出的用于不可靠网络的视频编码方法。本文在块基编码的基础上,提出了一种基于宏块分裂的多描述编码方法、相应的冗余度控制策略以及误匹配控制方法。该宏块分裂视频多描述编码简单易行,且与视频编码标准相兼容。实验结果表明,与优化分裂 DCT 系数多描述编码方法和多描述变换编码(multiple description transform coding, MDTC)相比,该宏块分裂多描述视频编码方法能获得较好的稳健编码性能。

关键词 多描述编码 宏块分裂 鲁棒视频传输 误匹配控制

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)04-0469-05

Multiple Description Video Coding with Macroblock Splitting

YU Mei^{1),2),3)}, XIAO Fang-ming^{1),2)}, JIANG Gang-yi^{1),2),3)}, Li Fu-Cui¹⁾

¹⁾(Institute of Circuits and Systems, Ningbo University, Ningbo 315211)

²⁾(Institute of Computer Technology, China Academy Science, Beijing 100080)

³⁾(National Laboratory on Machine Perception, Peking University, Beijing 100871)

Abstract In recent years, multiple description coding (MDC) had been proposed to address robust video transmission problem over error-prone networks. In this paper, a macroblock splitting based multiple description scheme is proposed, and the corresponding redundancy control and mismatch control methods are also given. The proposed scheme is easy to be realized and compatible with the video coding standard. Experimental results show that the proposed scheme of multiple description video coding outperforms the optimal DCT coefficient splitting scheme and the MDTC scheme.

Keywords multiple description coding, macroblock splitting, robust video transmission, mismatching control

1 引言

图像与视频多描述编码是近年来兴起的一种新的面向不可靠信道传输的编码方法^[1,2],通过冗余信息使解码器具有一定的错误恢复能力。它假定在发送端和接收端之间有多条相互独立的信道,且同时发生错误、数据包丢失的概率很小。原信号被分解成多个相关描述,任何一个描述都能由边沿解码器解码得到质量可接受的图像视频信号,而多个描

述结合则可由中央通道合成更高质量的视频信号。根据多描述的形成方式,多描述编码方法大致可包含基于量化的方案^[3]、基于变换的方案^[2]、基于时域采样的方案^[4]、基于空域或变换域的方案^[5]等。

多描述变换编码(MDTC)是一种与视频标准兼容的多描述方法,MDTC是将DCT系数做变换形成多个描述,并在各描述间引入相关性,进而控制冗余度^[2]。分裂DCT系数的多描述方法的基本思想是将帧内编码的码流和运动矢量等比较重要的信息复制到各个描述中去,将DCT系数按照一定的规则交

基金项目:浙江省自然科学基金项目(RC01057、Y105577);宁波市重点博士基金项目(2003A61001、2004A610001、2004A630002);浙江省科技攻关项目(2004C31105)

收稿日期:2004-10-13; **改回日期**:2005-06-15

第一作者简介:郁梅(1968~),女,教授,硕士生导师。2000年于韩国Ajou大学获工学博士学位。主要研究方向为多媒体信号处理、压缩与通信等。E-mail:yumei@nbu.edu.cn

替传输到各个描述中。为了提高分裂 DCT 系数多描述编码的性能,人们提出了冗余率失真(RRD)优化分裂方法^[6]和 Lagrange 优化及动态规划的分裂方法^[7]。优化分裂 DCT 系数的多描述方法没有很好地考虑到块基编码的模式,其系数分裂的方式影响熵编码的性能。在低冗余度情况下,MDTC 的 RRD 性能优于分裂 DCT 系数的多描述方法,但 MDTC 的计算复杂度高。优化分裂 DCT 系数的多描述方法容易实现,算法复杂度低,在高冗余度下,其 RRD 性能优于 MDTC。本文提出一种基于宏块分裂的视频多描述方法与相应的误匹配控制策略。实验结果表明,新方法能获得更好的编码性能。

2 基于宏块分裂的多描述视频编码的原理

假设在普通的单描述编码情况下,视频流的码率为 R_0 ,失真为 D_0 。又假设进行多描述编码时,在达到相同失真 D_0 的情况下,所有描述的码率之和为 R 。所谓冗余就是 R 与 R_0 之差,而冗余度为

$$\rho = (R - R_0) / R_0$$

多描述编码的目标是使给定冗余度下的平均边沿失真最小。

MDTC 和优化分裂 DCT 系数多描述编码是针对 DCT 系数的两种不同的多描述编码方法。MDTC 编码器在进行多描述编码时,先将 DCT 系数组对,然后在这些系数对中引入对相关变换(PCT)。MDTC 假定视频序列中的 DCT 系数服从高斯分布,所有宏块的 DCT 系数的组对方式和相关量的大小,都是相同的。但实际上,经过运动估计与补偿的视频图像的 DCT 系数分布通常与高斯模型不能很好地吻合,从而导致 MDTC 编码效率和 RRD 性能的下降。

优化分裂 DCT 系数多描述方法是对 DCT 系数进行复制或交替处理,它对每个块的 DCT 系数设定一个阈值;当非零 DCT 系数的绝对值超过阈值时,则该系数复制到描述中,否则,交替进入描述中去;阈值依据代价函数 $D_1 + \lambda\rho$ 选取。其中, D_1 指边沿失真, ρ 是冗余度, λ 是拉格朗日因子。

无论是 MDTC 还是优化分裂 DCT 系数都打乱了块内部 DCT 系数的排列,影响 DCT 系数“之”字型扫描的效果,导致熵编码性能降低。为了更好地利用块基编码的性能和运动矢量在多描述编码中的作用,提出一种基于宏块分裂的多描述视频编码方

法,其编码结构如图 1 所示。

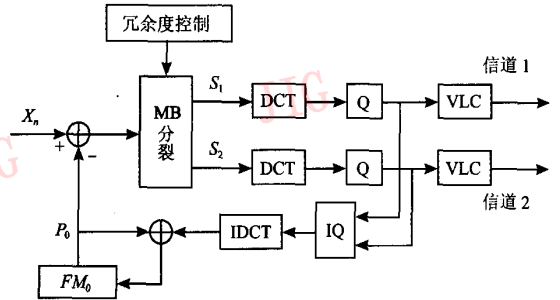


图 1 宏块分裂多描述结构

Fig. 1 Framework of macroblock splitting MDC

已知视频信源的当前帧 X_n 和前一帧中央重建图像 P_0 ,以 P_0 为参考帧,以运动估计和补偿方式对 X_n 的进行预测编码。预测编码的残差经过宏块分裂模块和相应的冗余度控制模块形成两个描述 S_1 和 S_2 。 S_1 与 S_2 再经过 DCT 变换、量化和熵编码后产生两个多描述码流,分别经信道 1 和信道 2 传输。

在本文的宏块分裂(MB 分裂)模块中,对每一帧图像中宏块采用如图 2 所示的编号方式。宏块分裂方法就是将奇偶宏块分裂到不同的描述中去。对于帧内编码模式,将奇数宏块的 DCT 系数传送到描述 1,偶数宏块的 DCT 系数传送到描述 2。对于帧间编码模式,将 DCT 系数交替传送到两个描述中去,将运动矢量复制到两个描述中去。未传送的宏块,在帧内编码模式下,利用相邻宏块之间的空间相关性,采用插值方法重建;在帧间模式下,利用前后帧之间的时间相关性,使用运动矢量,用前一帧中央通道重建图像的对应块代替。

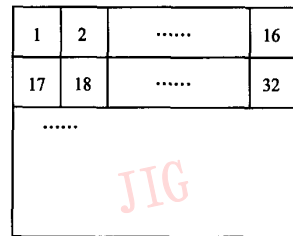


图 2 宏块编号示意图

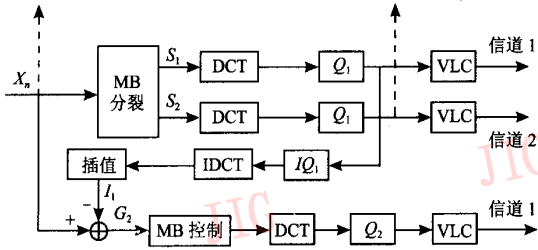
Fig. 2 Order of macroblock

当网络状况比较恶劣的时候,可以增加描述间的冗余度以增强稳健性。为了控制冗余度,在编码结构中增加了冗余控制模块。在冗余度控制模块中,计算每个宏块亮度残差的能量并设置一个能量阈值。当宏块亮度残差的能量超过能量阈值后,将宏块复制到两个描述中去。由此可见,能量阈值越

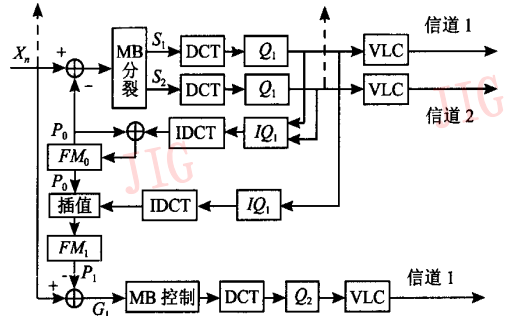
小,复制的宏块越多,编码的冗余度越高。能量阈值一般在1000到5000之间选取。

3 宏块分裂多描述视频编码的误匹配控制算法

图1中由于采用了中央预测环编码,当某个描



(a) I帧模式误匹配控制策略



(b) P帧模式误匹配控制策略

图3 宏块分裂多描述误匹配结构

Fig.3 Mismatch control structure of macroblock splitting MDC

在I帧编码模式下,采取如下方式获得描述 S_1 的边沿通道重建图像 I_1 :首先,获得 S_1 中正常编码宏块的重建宏块;其次,对于 S_1 中未编码的宏块,采取相邻宏块插值的办法,对这些宏块进行插值重建。以边沿通道重建图像 I_1 为参考,对 X_n 进行差值预测,即可获得描述 S_1 在I帧模式下误匹配的残留信号 G_1 。 G_1 需要经过一个宏块控制模块(MB控制),并在宏块控制模块中计算每个宏块残留信号的能量值。对每个宏块能量设置一个阈值,当这个宏块的残差能量超过阈值时,将它的误匹配信息通过信道1传输,否则,不传输该宏块的误匹配信息。 G_1 通过宏块控制以后,经过DCT变换和 Q_2 量化器量化后,由信道1传输。这里,量化器 Q_2 的量化步长 QP_2 要大于量化器 Q_1 的量化步长 QP_1 。描述间的冗余度也跟 QP_2 的选取有关, QP_2 越小,冗余度越高。一般来说, QP_2 不能与 QP_1 太接近,如果太接近,描述间的冗余度太大; QP_2 比 QP_1 不能大太多,否则将严重影响边沿重建的质量,达不到误匹配控制的目的。本文实验中,选取的 QP_2 等于 $QP_1 + 4$ 。

在P帧编码模式下,描述 S_1 的边沿通道重建图像 P_1 通过如下方式获得:首先,获得 S_1 中正常编码宏块的重建宏块;其次,对于 S_1 中未编码的宏块,依据运动矢量,采取前一帧中央通道 P_0 的相应宏块代

述丢失之后,可能出现在编码发送端与接收解码端的参考图像不一致,从而导致解码端中下一帧图像的重建质量下降,即所谓的误匹配问题。这种误差会一直累积下去,直到下一个I帧的出现。针对误匹配问题,本文对宏块分裂多描述方法提出了如图3所示的I帧和P帧编码模式不同的误匹配控制策略。

替。这样,由 P_0 和描述 S_1 可以获得当前帧 X_n 的边沿通道重建图像 P_1 ,并存于缓冲区 FM_1 中。以边沿通道重建图像 P_1 为参考,对 X_n 进行差值预测。因为 P_1 是 X_n 的边沿重建图像,不需再对 X_n 进行运动估计与补偿,只将对应宏块求差值,即可获得描述 S_1 误匹配的残留信号 G_1 。 G_1 同样要经过宏块控制模块(MB控制)、DCT变换、粗量化(量化步长为 QP_2),通过信道1传输。

描述 S_2 的误匹配控制与描述 S_1 类似。其特点是可以利用误匹配信息来改善边沿重建图像的质量。

4 实验结果

采用foreman序列、missa序列等比较了本文提出的宏块分裂的多描述视频编码方法(MBSplit1、MBSplit2)和优化分裂DCT系数^[6]、MDTC^[2,6]等多描述方法的RRD性能。MBSplit1为I帧模式误匹配控制策略的宏块分裂的多描述视频编码方法;MBSplit2为结合I帧模式与P帧模式误匹配控制策略的宏块分裂的多描述视频编码方法。当冗余度较低时,MBSplit1和MBSplit2都只用冗余信息来控制I帧的误匹配;当冗余度较高时,MBSplit1重传P帧中能量高的宏块,MBSplit2则采用P帧模式误匹配控制策略。

首先采用 QCIF 格式的 foreman 序列(帧率为 7.5fps)进行测试,对 foreman 序列图像采用标准 H.263 编码(即普通的单描述编码,非多描述编码方式),量化步长 QP 为 12(与文献[6]的测试条件一致),参考码率为 49.4kbps、信噪比(PSNR)为 31.38dB。对上述多描述编码方法进行测试,它们的 RRD 性能比较如图 4 所示。

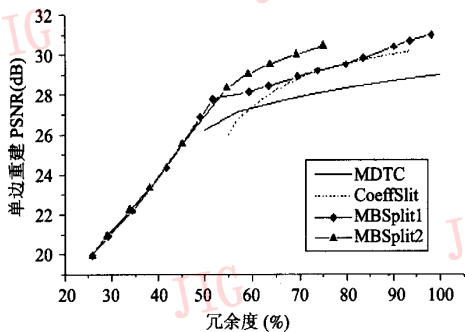


图 4 本文方法与 MDTC、优化分裂 DCT 系数的 RRD 性能比较,测试序列为 foreman

Fig. 4 RRD comparison between MDTC, optimal DCT splitting and schemes in this paper (foreman sequence)

图中, MBSplit1 与 MBSplit2 的量化步长分别为 $QP_1 = 12, QP_2 = 16$, CoeffSplit 指优化分裂 DCT 系数的多描述方法。图 4 结果表明本文的宏块分裂的多描述视频编码方法能有效利用块编码的性能,在同样的冗余度下,其单边重建图像的 PSNR 高于优化分裂 DCT 系数多描述编码方法和 MDTC 方法。采用误匹配控制的宏块分裂多描述方法在较大冗余度时,其单边重建图像的 PSNR 则有较大提高。这是利用误匹配信息改善边沿重建图像质量的结果。由于 QP_2 大于 QP_1 , MBSplit2 不能达到 MBSplit1 那么高的冗余度。图 5 为采用本文方法,当冗余度为 60% 时,由单个描述(另一描述完全丢失)重建的第 200 帧 foreman 序列图像以及收到两个描述的重建图像。

此外,还对 CIF 格式 missa 序列(帧率为 15fps、量化步长 QP 为 8)进行了测试。图 6 为采用本文方法($QP_1 = 8, QP_2 = 12$),当冗余度为 60% 时,由单个描述(另一描述完全丢失)重建的第 30 帧 missa 序列图像以及收到两个描述的重建图像。



(a) MBSplit1 方法 (PSNR 为 28.19dB)

(b) MBSplit2 方法 (PSNR 为 29.16dB)

(c) 中央重建图像 (PSNR 为 32.60dB)

图 5 冗余度为 60% 时,单个描述重建的第 200 帧 foreman 图像以及收到两个描述的重建图像



(a) MBSplit1 方法 (PSNR 为 36.31dB)

(b) MBSplit2 方法 (PSNR 为 36.36dB)

(c) 中央重建图像 (PSNR 为 37.97dB)

图 6 冗余度为 60% 时,单个描述重建的第 30 帧 missa 序列图像以及收到两个描述的重建图像

Fig. 6 The 30th side reconstruction and center reconstruction frames of missa when redundancy is 60%

实验中还测试了本文方法在数据丢失情况下的性能(实验条件如上),如图7所示,结合I帧模式与P帧模式误匹配控制策略的宏块分裂的多描述视频编码方法对数据丢失具有更好的鲁棒性。图中的两种多描述编码方案的冗余度均为60%。

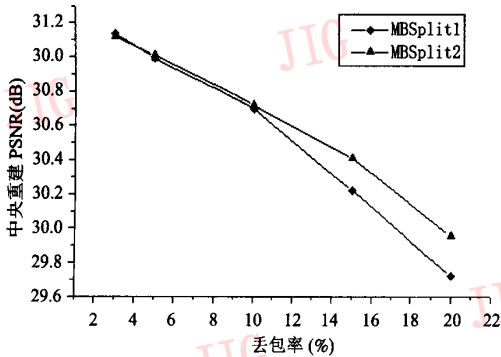


图7 两种方案的丢包表现比较,测试序列为 foreman
Fig. 7 Packet lost performance comparison of MBSplit1 and MBSplit2 (foreman sequence)

5 结论

本文提出了一种基于宏块分裂的多描述视频编码方法,给出了I帧模式与P帧模式两种误匹配控制策略。新方法利用块基编码方法的特性,从而能有效地提高编码的性能。实验结果表明,新方法的编码性能优于优化分裂DCT系数多描述编码方法和MDTC方法。

参考文献 (References)

- 1 Zhang Wei, Jiang Gang-yi, Wang Zeng-fu, *et al.* An overview on image multiple description coding [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(3): 257 ~ 264. [张炜,蒋刚毅,汪增福等. 图像信号的多描述编码方法综述[J]. *中国图象图形学报*, 2004, 9(3):257 ~ 264.]
- 2 Reibman Amy R, Jafarkhani Hamid, Wang Yao, *et al.* Multiple description video coding using motion compensated temporal prediction[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, 12(3):193 ~ 204.
- 3 Lee Y C, Altunbasak Y, Mersereau R M. A coordinated multiple description scalar quantizer and error concealment algorithm for error resilient video streaming over lossy channels[A]. In: *ICC2002-IEEE International Conference on Communications*[C], New York, USA, 2002:99 ~ 103.
- 4 Apostolopoulos J C. Reliable video communication over lossy packet networks using multiple state encoding and path diversity[A]. In: *Proceedings of VCIP-SPIE Visual Communications and Image Processing*[C], San Jose, USA, 2001:392 ~ 409.
- 5 Kim C S, Lee S U. Multiple description coding of motion fields for robust video transmission [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, 11(9): 999 ~ 1010.
- 6 Reibman A, Jafarkhani H, Wang Y, *et al.* Multiple description video using rate-distortion splitting[A]. In: *Proceedings of ICIP'01-IEEE International Conference on Image Processing* [C], Thessaloniki, Greece, 2001:978 ~ 981.
- 7 Kim Il Koo, Cho Nam Ik. Error resilient video coding using optimal multiple description of DCT coefficients [A]. In: *Proceedings of ICIP'03-IEEE International Conference on Image Processing* [C], Barcelona, Spain, 2003:663 ~ 666.