

基于感兴趣区域的率失真优化帧内刷新算法研究

阮若林^{1,2} 胡瑞敏² 李忠明¹

(咸宁学院电子与信息工程学院 咸宁 437100)¹

(武汉大学国家多媒体软件工程技术研究中心 武汉 430072)²

摘要 由于视频图像中不同区域的重要性存在着很大差异,人眼对其主观质量的要求也不一样,因此对感兴趣区域的前景图像和非感兴趣区域的背景图像的主观质量要求也可以不一样,尽管目前对感兴趣区域的研究已有不少,但是将全局率失真优化、码率控制、帧内宏块刷新和感兴趣区域结合的相关研究并不多见。基于此提出了基于人眼感兴趣区域的率失真优化帧内宏块刷新算法,该算法采用端到端的全局率失真理论,对感兴趣区域和非感兴趣区域进行分析处理,使感兴趣区域的宏块能得到更及时的帧内刷新,由于受到码率的限制,必须对感兴趣区域和非感兴趣区域重新进行码率分配。最后,在 JVT 的 JM12.2 平台上实现该算法。大量实验结果表明,与传统的基于率失真优化的帧内刷新算法相比,基于感兴趣区域的率失真优化帧内刷新算法在感兴趣区域能够取得更好的主观质量。

关键词 感兴趣区域,率失真优化,帧内刷新,码率控制,H.264/AVC

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Research on RD Optimized Intra Refreshment Algorithm for Region of Interest

RUAN Ruo-lin^{1,2} HU Rui-min² LI Zhong-ming¹

(School of Electronic and Information Engineering, Xianning College, Xianning 437100, China)¹

(National Engineering Research Center for Multimedia Software, Wuhan University, Wuhan 430072, China)²

Abstract The importance of video sequence varies with the regions, and human visual sensitivity too varies with the importance of region of video sequence, so the subjective quality requirement of region of interesting is not the same as non-region of interesting. Although there are very many researches on region of interesting, it is few research which joints the overall RD optimal theory, the rate control, intra macroblock refreshment and the region of interesting. So the paper proposed the RD optimized intra refreshment algorithm based on region of interesting, and it was used the overall end to end distortion theory to analyse the region of interesting and non-region of interesting, and gave more intra refreshment chances to the macroblock in region of interesting, as the bit rate was constrained, so the bit rate of the region of and non-region of interesting must be reallocated. At last, the algorithm was implemented in reference software JM12.2 of JVT. The simulation results showed that, comparing with the traditional RD optimized intra refreshment algorithm, the proposed intra refreshment algorithm based on region of interesting could obtain a better subjective quality of the reconstructed video in the region of interesting at the decoder.

Keywords Region of interest, RD optimal, Intra refreshment, Rate control, H.264/AVC

1 引言

随着 Internet 和无线通信网络的迅速发展以及人们对视频通信需求的日益增长,面向无线信道的视频通信已经成为近年来研究的热点。目前最新的视频编码标准 H.264/AVC 是采用基于运动估计和补偿的时域预测技术来提高编码效率,在信道发生错误的情况下容易产生误码扩散现象,导致重建视频的质量严重下降。因此,如何提高编码视频的抗误码能力就成为了目前视频通信领域需要解决的关键技术之一。帧内宏块刷新是一种能提高视频流畅性的有效技术,但是

过多的帧内宏块会使码率急剧增加而影响编码效率。因此,在比特率受限的信道中,如何确定帧内宏块的数量和位置以及如何为其分配码率就成为帧内宏块刷新要研究的关键^[1,2]。

近年来,国内外学者在这方面进行了深入的研究,提出了很多优秀的帧内宏块刷新算法,如根据信道的状态随机地进行帧内宏块刷新,着重对运动较为剧烈的区域进行帧内宏块刷新,通过计算每个宏块的误码敏感度来决定需要进行帧内刷新的宏块。更为直接和有效的方法则是将帧内宏块刷新算法与率失真理论相结合,从而实现了编码效率和鲁棒性的折

到稿日期:2008-11-20 返修日期:2009-02-25 本文受国家自然科学基金项目(60772106),湖北省教育厅优秀中青年人才计划项目(20082803)资助。

阮若林(1974-),男,博士研究生,副教授,主要研究方向为视频编解码技术及多媒体通信,E-mail:rlruan@163.com;胡瑞敏(1964-),男,教授,博士生导师,CCF 会员,主要研究方向为多媒体数字安防监控与城市应急;李忠明(1964-),博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为图像处理。

中。迄今为止,基于率失真优化进行帧内宏块刷新已经取得了相当多的研究成果。率失真优化的帧内宏块算法尽管能获得比基于启发性策略帧内宏块刷新算法更好的率失真性能,但是仍有不足之处。目前基于率失真优化的帧内宏块刷新算法均采用均方差 MSE 来计算端到端的全局失真。然而, MSE 失真对图像中的所有像素点均同等对待,并不能准确反映图像的主观质量。例如,人眼可以容忍背景等非感兴趣区域有较大的 MSE 失真,但是,同样的 MSE 失真发生在前景感兴趣区域就会引起主观质量的急剧下降。因此,在码率受限的情况下,应用传统的率失真优化帧内刷新算法并不能保证能在解码端得到主观质量较好的重建视频图像^[3-5]。

对于解码端的重建视频信号而言,人眼是最终的信号接受者,因此,相应的率失真优化帧内刷新算法也应考虑到人眼的感兴趣区域,只有这样才能在解码端获得具有较好主观质量的重建视频图像。本文提出了基于人眼感兴趣区域的率失真优化帧内宏块刷新算法,该算法采用端到端的全局率失真理论,并对感兴趣区域和非感兴趣区域进行不同处理,使感兴趣区域的宏块能得到更及时的帧内刷新。由于受到码率的限制,必须对感兴趣区域和非感兴趣区域采用不同的码率分配方案。尽管目前对感兴趣区域的研究已有不少,但是将端到端的全局率失真优化理论、码率控制、帧内宏块刷新和感兴趣区域结合的相关研究并不多见。大量实验结果表明,本文提出的基于感兴趣区域的率失真优化帧内宏块刷新算法能够获得具有更好主观质量的重建视频图像^[6-8]。

2 端到端全局失真估计分析计算^[9,10]

假设 $F(n, i)$ 是当前帧 n 上像素点 i 的原始值, $\bar{F}(n, i)$ 和 $\hat{F}(n, i)$ 分别表示相应像素点 i 在编码器和解码器中的重建值。对帧间编码宏块而言, $e(n, i)$ 是原始像素点 i 的运动预测残差, $\bar{e}(n, i)$ 和 $\hat{e}(n, i)$ 分别是编码器和解码器重建的运动预测残差。假设宏块编码失真和信道失真统计独立,用均方差 MSE 作为失真衡量标准,则宏块端到端全局失真的期望函数为

$$\begin{aligned} D(n, i) &= E\{[F(n, i) - \hat{F}(n, i)]^2\} \\ &= E\{[F(n, i) - \bar{F}(n, i)]^2\} + E\{[\bar{F}(n, i) - \hat{F}(n, i)]^2\} \\ &= D_s(n, i) + D_c(n, i) \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $D_s(n, i)$, $D_c(n, i)$ 分别表示信源编码失真和信道失真, 信源编码失真是由编码器量化引起的失真, 信道失真由误码扩散失真和差错掩盖失真两部分构成。误码扩散失真是指信道失真通过运动补偿路径扩散到当前帧的失真, 差错掩盖失真是指解码端掩盖当前帧传输出错所导致的失真。信源失真 $D_s(n, i)$ 可以在编码过程中得到, 信道失真 $D_c(n, i)$ 可以通过下面的信道失真模型计算得到。信道失真可以分成两个部分, 一部分是宏块被解码器正确接收时的误码扩散失真 $D_{ep}(n, i)$, 一部分是发生传输错误时在解码端采用误码掩盖时的掩盖失真 $D_{ec}(n, i)$, 即

$$D_c(n, i) = D_{ep}(n, i) + D_{ec}(n, i) \quad (2)$$

假定在实时视频传输系统中, 数据包丢失率 p 在编码器端是已知的, 在基于 RTP/UDP/IP 的传输环境和打包策略下, IP 包中每个像素的丢失率和数据包的丢失率相等。则端

到端的全局失真可以表示为

$$D(n, i) = (1-p)(D_s(n, i) + D_{ep}(n, i)) + pD_{ec}(n, i) \quad (3)$$

由于信道失真和宏块的编码模式密切相关, 帧内编码宏块和帧间编码宏块的信道失真计算模型不同。为了简化分析, 设定宏块在传输过程中错误概率等于丢包率 p , 当宏块发生错误时, 解码端直接用前一帧对应位置的宏块进行误码掩盖。

对于帧内编码宏块, 被解码器正确接收的宏块不存在信道误码扩散失真, 即 $D_{ep}(n, i) = 0$, 传输发生错误的宏块用参考帧对应位置宏块掩盖 $\hat{F}(n, i) = \hat{F}(n-1, i)$ 后, 误码掩盖失真为

$$\begin{aligned} D_{ec}(n, i) &= pE\{[\bar{F}(n, i) - \hat{F}(n, i)]^2\} = pE\{[\bar{F}(n, i) - \hat{F}(n-1, i)]^2\} \\ &= pE\{[\bar{F}(n, i) - \bar{F}(n-1, i) + \bar{F}(n-1, i) - \hat{F}(n-1, i)]^2\} \\ &= pE\{[\bar{F}(n, i) - \bar{F}(n-1, i)]^2\} + pE\{[\bar{F}(n-1, i) - \hat{F}(n-1, i)]^2\} \\ &= pE\{[\bar{F}(n, i) - \bar{F}(n-1, i)]^2\} + pD_c(n-1, i) \end{aligned} \quad (4)$$

所以, 对于帧内编码模式 (Intra 模式) 的信道失真 $D_{c-i}(n)$ 为

$$\begin{aligned} D_{c-i}(n, i) &= D_{ep}(n, i) + D_{ec}(n, i) \\ &= pE\{[\bar{F}(n, i) - \bar{F}(n-1, i)]^2\} + pD_c(n-1, i) \end{aligned} \quad (5)$$

对于帧间编码宏块, 误码掩盖失真和帧内宏块编码是一样的, 如果宏块的预测残差和运动矢量被解码器正确接收, 则在解码端的重建值为 (假定只参考一帧)

$$\hat{F}(n, i) = \hat{F}(n-1, j) + \hat{e}(n, i) = \hat{F}(n-1, j) + \bar{e}(n, i) \quad (6)$$

其中, $\hat{F}(n-1, j)$ 是 $\hat{F}(n, i)$ 在 $n-1$ 时的运动预测值。则此时的误码扩散失真 $D_{ep}(n, i)$ 为

$$\begin{aligned} D_{ep}(n, i) &= (1-p)E\{[\bar{F}(n, i) - \hat{F}(n, i)]^2\} \\ &= (1-p)E\{[\bar{F}(n, i) - \bar{e}(n, i) - \hat{F}(n-1, j)]^2\} \\ &= (1-p)E\{[\bar{F}(n-1, j) - \hat{F}(n-1, j)]^2\} \\ &= (1-p)D_c(n-1, j) \end{aligned} \quad (7)$$

所以, 对于帧间编码模式 (Inter 模式) 的信道失真 $D_{c-p}(n, i)$ 为

$$\begin{aligned} D_{c-p}(n, i) &= D_{ep}(n, i) + D_{ec}(n, i) \\ &= (1-p)D_c(n-1, j) + pE\{[\bar{F}(n, i) - \bar{F}(n-1, i)]^2\} + pD_c(n-1, i) \end{aligned} \quad (8)$$

从式(8)可以看出, 即使解码器正确接收了帧间编码宏块, 参考帧的信道失真仍然会通过运动补偿扩散到当前宏块。

3 基于感兴趣区域的全局率失真优化算法

在通信带宽受限的无线网络上传输视频数据要获得很高的图像质量目前是不现实的, 因此可以充分利用人眼视觉固有特性, 以及视觉过程中的一些心理和生理特征, 将视频图像按人眼关注度的不同分成不同的区域, 对人们关注的感兴趣区 (Region of Interesting, ROI) 给予重点保护, 给予更多的帧内刷新的机会, 防止错误的传播, 因此感兴趣区域就会有更多

的 Intra 宏块,就必须分配更多码字来保证感兴趣区域的图像质量,而对不太关注的背景等非感兴趣区域可以进行较少的帧内刷新,分配较少码字,在总码率基本不变的基础上,提高重建视频图像的主观效果。这种基于感兴趣区域的 Intra 刷新及码率控制方法能充分利用传输带宽,传递人眼最关注的视频内容,克服带宽过窄对主观视觉质量的影响,非常适用于当前移动通信,但需要事先对图像内容进行正确划分或提取受关注对象(特别针对杂乱的真实自然场景),在实时通信中这个步骤又不能占据太多的计算量,因此寻找一种简单又有效的感兴趣区域划分方法也是研究的关键。本文假定感兴趣区域已知,重点研究感兴趣区域的 Intra 刷新及其码率分配算法。因此确定图像的感兴趣区域和非感兴趣区域之后,怎样合理地进行不同区域的 Intra 刷新和相应的码率控制,确保重建视频图像的主观质量是关键^[11]。

假设宏块的所有编码模式的集合为 O ,对于第 n 帧图像中的第 m 个宏块,它的最佳编码模式 o^* 就是使得如下 Lagrangian 代价函数取最小值的编码模式。

$$J(n, m, o) = D(n, m, o) + \lambda R(n, m, o) \quad (9)$$

其中, $D(n, m, o)$ 和 $R(n, m, o)$ 分别为当前宏块在特定编码模式 $o(o \in O)$ 下所对应的失真和相应的码率, λ 是 Lagrange 乘子。因此无错情况下的 Lagrange 乘子可以用 $\lambda = -\frac{dD}{dR}$ 表示。

如果式(9)中的失真 $D(n, m, o)$ 不仅仅包括由量化引起的信源编码失真,而且包含了由传输错误引起的信道失真,那么式(9)就不仅仅是通常意义上的率失真优化模式判别而是基于率失真优化的帧内宏块刷新,它将在编码效率和鲁棒性之间取得一个较好的折中。将端到端的全局失真代入式(9)可得误码环境下的 Lagrange 代价函数

$$J(n, m, o) = (1-p)(D_s(n, i) + D_{ep}(n, i)) + pD_e(n, i) + \lambda_0 R(n, m, o) \quad (10)$$

函数两边对 R 求导得

$$0 = (1-p)\frac{dD_s(n, i)}{dR} + \lambda_0 = (1-p)(-\lambda) + \lambda_0 \quad (11)$$

得

$$\lambda_0 = (1-p)\lambda \quad (12)$$

所以

$$J(n, m, o) = (1-p)(D_s(n, i) + D_{ep}(n, i)) + pD_e(n, i) + (1-p)\lambda R(n, m, o) \quad (13)$$

很明显宏块的编码模式跟错误掩盖失真 $D_e(n, i)$ 是无关的,所以掩盖失真 $D_e(n, i)$ 和系数 $(1-p)$ 可以从式(13)中移除得到式(14)。

$$J(n, m, o) = D_s(n, m, o) + D_{ep}(n, m, o) + \lambda R(n, m, o) \quad (14)$$

式(14)得到的是所有宏块的 Lagrange 代价函数,并没有区别人眼感兴趣的区域和非感兴趣的区域,对码率受限的实时传输来说是不合适的,为了保证主观图像质量,可以对不同的区域实施不同的帧内刷新的方案,引入一个区域权重因子 (F_{RW} : Factor of Region Weight) 来区分人眼关注度高的区域和关注度低的区域,人眼关注度高的区域对主观质量贡献较大,可以给予较多的保护措施增加帧内宏块的刷新率,也就是应该加大它的失真来增加其帧内宏块刷新的机会,防止错误的扩散,对人眼关注度低的区域则反之。所以宏块的代价函数就修改为

$$J(n, m, o) = F_{RW}(D_s(n, m, o) + D_{ep}(n, m, o)) + \lambda R(n, m, o) \quad (15)$$

大量实验结果表明宏块的区域权重因子 F_{RW} 一般取值在 $[0.5, 2.0]$ 之间时,能够明显改善感兴趣区域的重建视频图像的主观质量。

4 感兴趣区域的码率分配方案

由于感兴趣区域有机会获得较多的帧内宏块刷新,过多的帧内宏块刷新必然增加了码率的开销,使整个编码码率受限。要保证解码的主观质量,就必须对整个码率分配方案进行必要的调整。由于整个感兴趣区域的编码是基于宏块的,码率分配就是要在保持总码率基本不变的前提下,重新分配人眼感兴趣的区域和非感兴趣区域的码率,而不再采用原有所有宏块采用的相同的码率分配方案。本文的感兴趣区域码率分配方案主要还是沿用 H. 264/AVC 所采用的文献描述的算法 JVT-G012r1^[12], GOP 层和 Picture 层的分配方案基本不变,重点改进基本单元层(宏块层)的码率控制,不同区域的宏块采用不同的码率分配方案。

JM12.2 推荐的 MAD 线性预测模型要求对预测参数 a 和 b 实时刷新,预测模型的精确性由一定数目的输入参考点来保证,一般是由坐标平面上的至少 10 个点拟合出一条直线,一次拟合完成后,还要去除其中与直线误差过大的点,进行第二次直线拟合,这样的处理过程运算开销较大。通过大量实验统计分析发现实际 MAD 值在时空上存在着一定的联系,可以利用宏块的时空相关性设计出相应的 MAD 加权模型来代替 MAD 线性预测模型以减少预测系数的更新开销。

当前宏块的 MAD 值可以通过前一同类型编码帧对应位置的宏块的实际 MAD 值以及对应宏块前后两个宏块的实际 MAD 值进行加权处理获得^[13],具体表示如下:

如果当前宏块是当前帧的第一个宏块,那么

$$MAD(n, m) = MAD(n-1, m) \quad (16)$$

如果当前宏块是当前帧的最后一个宏块,那么

$$MAD(n, m) = (2 \times MAD(n-1, m) + MAD(n, m-1)) / 3 \quad (17)$$

其余的

$$MAD(n, m) = (MAD(n-1, m) + 4 \times MAD(n, m-1) + MAD(n-1, m-1)) / 6 \quad (18)$$

其中, $MAD(n, m)$ 表示第 n 帧第 m 个宏块的 MAD 值。

此加权模型简单,减少了动态更新,降低算法运算复杂度,预测效果好,在实时性要求较高的环境下可以有效地替代线性预测 MAD 模型。

根据宏块是否处在人眼感兴趣的区域,必须对量化参数做出相应的调整,由于 JVT-G012r1 的码率控制策略本身在 Picture 层 Buffer 控制中预留了一定的空间,因此在宏块层的比特分配中可以适当地调整各宏块比特数,所以第 n 帧第 m 个宏块的比特数 $T(n, m)$ 根据下式计算

$$T(n, m) = F_{RW} \cdot \frac{MAD(n, m)}{\sum_{m=1}^M MAD(n, m)} \cdot T(n) \quad (19)$$

其中, $T(n)$ 是分配给第 n 帧所有宏块的目标比特数, $\sum_{m=1}^M MAD(n, m)$ 是第 n 帧中所有宏块的 MAD 值之和, F_{RW} 是宏块所在

区域的区域权重因子。

5 仿真实验结果与分析

为了验证本文提出基于感兴趣区域的率失真优化帧内宏块刷新算法的有效性,在 H. 264/AVC 参考模型 JM 12.2 中实现了该算法。实验使用的是典型的标准 QCIF 视频序列: Foreman, Carphone, Akiyo, 这些视频序列具有不同的纹理以及运动特征。编码器的主要参数为: 编码模式为 IPPP, 编码帧率为 15frame/s, 视频序列的编码帧数均为 100 帧, 不使用多参考帧运动预测, 每个视频数据包的大小限定为 100 个字节。另外, 解码器端的误码掩盖只采用简单的时域掩盖方法, 即当前帧某一个宏块在传输中出错时, 解码器用前一帧相同位置上的宏块进行误码掩盖。实验采用了 ITU 推荐的 3G 无线视频通用测试环境^[14], 使用误码模式文件来模拟实际信道的比特误码, 其中 Foreman 和 Carphone 序列使用比特率为 128kbit/s, 误比特率为 5.0×10^{-4} 、移动速度为 3km/h 的误码模式文件, 而 Akiyo 序列则使用比特率为 64kbit/s, 误比特率为 5.1×10^{-4} 、移动速度为 3km/h 的误码模式文件。针对每个误码模式文件进行 10 次实验, 每次实验采用不同的误码起始位置, 取 10 次实验的平均值作为最终的实验结果。对传统率失真刷新算法和本文算法的抗误码能力进行了比较。因为全局的峰值信噪比 PSNR 不能很好地反映人眼的视觉特性, 本文采用了感兴趣区域峰值信噪比 ROI-PSNR 来评价重建视频图像的质量。在本文中感兴趣区域均指上述序列的头部区域。在本文的实验中, 传统率失真刷新算法和本文算法中的丢包率都设定为 1%, 码率控制打开并设定序列的比特率, 传统算法中 RDO=3, 本文算法中 RDO=1。

表 1 给出了 Foreman, Carphone 和 Akiyo 3 个视频序列的整体 PSNR 和感兴趣区域的 ROI-PSNR 性能比较。从表中可以看出, 本文算法对上述序列都取得了优于传统算法的 PSNR 和 ROI-PSNR 值, 特别是对背景相对固定的 Foreman 和 Akiyo 序列, 本文算法效果比较明显。这是因为对 ROI 和非 ROI 区域采用了不同的权重因子来调整宏块的端到端失真和目标码率, 适当地增加了 ROI 区域的帧内刷新频率和分配的码率, 并减少非 ROI 区域的帧内刷新频率和分配的码率。而 Carphone 序列由于背景的运动而导致 ROI 区域帧内刷新频率和分配码率的调整作用不明显, 只能取得较小的增益。

表 1 ROI-PSNR 比较

Sequence	PSNR(dB)			ROI-PSNR(dB)		
	Trad	Prop	Gain	Trad	Prop	Gain
Foreman	29.49	30.31	0.82	33.64	34.43	0.79
Carphone	31.59	32.61	1.02	32.48	32.65	0.17
Akiyo	34.26	35.13	0.87	34.62	35.53	0.91

图 1、图 2、图 3 分别给出了采用传统算法和本文算法时, Foreman, Carphone 和 Akiyo 3 个视频序列重构图像感兴趣区域的 ROI-PSNR 值。从图中可以看出, 本文算法能取得好于传统算法的重构视频质量。

图 4、图 5、图 6 分别比较了 Foreman, Carphone 和 Akiyo 3 个视频序列重构图像的主观质量。从图中可以看出, 本文算法获得了较好的重构主观质量, 特别是感兴趣区域的主观质量明显优于传统算法^[15,16]。

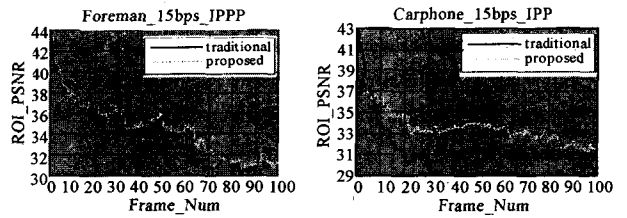


图 1 Foreman 序列 (128kbit/s, 15fps, IPPP) 重构视频的 ROI 区域峰值信噪比的比较

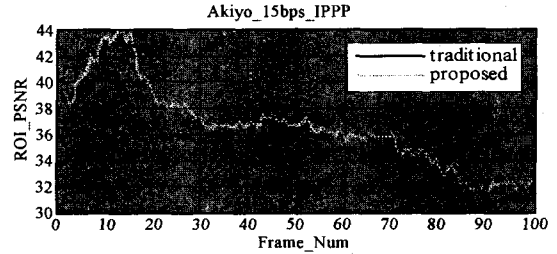


图 3 Akiyo 序列 (64kbit/s, 15fps, IPPP) 重构视频的 ROI 区域峰值信噪比的比较



图 4 Foreman 序列第 66 和 99 帧重构图像主观质量比较



图 5 Carphone 序列第 68 和 98 帧重构图像主观质量比较



图 6 Akiyo 序列第 68 和 75 帧重构图像主观质量比较

结束语 基于率失真优化的帧内宏块刷新是一种提高编码视频流鲁棒性的有效技术, 可以有效防止错误在时域上的传播, 但是传统的基于率失真优化的帧内刷新算法对整帧视频图像同样看待, 没有考虑到人眼对不同区域关注程度的差异性, 因此在码率受限的实时视频传输时并不能保证在解码器端取得具有较好主观质量的重建视频图像。本文通过对端到端的全局失真的分析, 提出一种符合人眼感兴趣区域的率失真优化帧内刷新算法, 引入人眼感兴趣区域的区域权重因子来调整不同区域宏块的端到端全局失真, 并结合感兴趣区域权重因子对不同区域的宏块的目标码率进行了重新分配, 使得具有较大视觉失真期望值的宏块能得到更及时的帧内刷新并分配较多的码率以保证主观质量。实验结果表明, 与传统的率失真优化帧内刷新算法相比, 本文提出的基于感兴趣区域的率失真优化帧内宏块刷新算法能保证在解码器端重建的视频图像具有更好的主观质量。

参考文献

[1] Guo Yi, Wang Yekui, Li Houqiang. Error Resilient Mode Decision in Scalable Video Coding[S]. JVT-R057r1. Bangkok, Thai-

land, Jan. 2006

- [2] Zhang Rui, Regunathan S L, Rose K. Video Coding with Optimal Inter/Intra Mode Switching for Packet loss Resilience[J]. *IEEE Journal on Selection Areas in Communications*, 2000, 18(6): 966-976
- [3] Zhang Yuan, Gao Wen, Lu Yan, et al. Joint Source - Channel Rate-Distortion Optimization for H. 264 Video Coding Over Error-Prone Networks[J]. *IEEE Trans. Multimedia*, 2007, 9(3): 445-454
- [4] Xu Jin, Wu Zhimei. Joint Adaptive Intra Refreshment and Unequally Error Protection Algorithms for Robust Transmission of H. 264/AVC Video[C]//Proc. IEEE ICME 2006. July 2006: 693-696
- [5] Chen Quqing, Chen Zhibo, Gu Xiaodong, et al. Attention-based adaptive intra refresh for error-prone video transmission[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2007, 45(1): 52-60
- [6] Liao Ning, Quan Ziyi, Men Aidong. Perceptually Optimized Error-Resilient H. 264 Video Streaming System over the Best-Effort Internet[C]//Proc. IEEE PDCAT '05. Dec. 2005: 1039-1043
- [7] Lu Y, Wang Z, Wang W, et al. Adaptive Intra Refresh for ROI Video Coding Based on Motion Extrapolated Error Estimation [J]. *Electronics Letters*, 2006, 42(19): 1088-1089
- [8] Tsai Yuh-chou, Tsai Chia-ming, Lin Chia-wen. H. 264 Error Resilience Coding Based on Multi-hypothesis Motion Compensation Prediction and Adaptive Intra-refresh[C]//Proc. IEEE IHH-MSP '06. Dec. 2006: 259-262
- [9] Xu Yanling, Qin Wenzhong. An Effective Global RD Formulation Based Mode Selection Algorithm for Wireless H. 264 Communications[C]//Proc. IEEE ICME 2007. July 2007: 368-371
- [10] Wei Xiaohui, Yang Hua, Boyce J M. Hybrid End-to-End Distortion Estimation and its Application in Error Resilient Video Coding[C]//Proc. IEEE ICASSP 2007. Apr. 2007: I-837-I-840
- [11] Masala E, Yang H, Rose K, et al. Rate-distortion optimized slicing, packetization and coding for error resilient video transmission[C]//Proc. IEEE DCC'04. Mar. 2004: 182-191
- [12] Li Z G, Pan F, Lim K P. Adaptive Basic Unit Layer Rate Control for JVT, ITU-T SG16 Q. 6 Doc[S]. JVT-G012r1. 7th meeting, Pattaya, Thailand, Mar. 2003
- [13] Ruan Ruolin, Hu Ruimin, Xiao Xuqing. A Rate Control Scheme Based on MAD Weighted Model for H. 264/AVC[C]//Proc. IEEE WiCom 2007. Shanghai, China, Sept. 2007: 2903-2906
- [14] Varsa V, Karczewicz M, Roth G, et al. Common Test Conditions for RTP/IP over 3GPP/3GPP2, ITU-T SG16 Q. 6 Doc[S]. VCEG-N80. Santa Barbara, CA, USA, Sept. 2001
- [15] 杨天武, 彭强, 诸昌铃. H. 264 视频鲁棒传输的最优宏块模式选择[J]. *电子科技大学学报*, 2006, 35(5): 755-758
- [16] 陈川, 余松煜. 联合编码模式选择的码率控制算法[J]. *电子学报*, 2004, 32(5): 763-768

(上接第 273 页)

- [17] Chen C B, Zheng Y P, Sarem M, et al. A novel algorithm for multi-valued image representation[C]//Proceedings of 3rd International Conference on Natural Computation. Haikou, 2007, 3: 84-89
- [18] Nguyen T D, Nguyen V D, Hong T D B, et al. Fast segmentation based on a hybrid of clustering and morphological approaches [C]//Proceedings of 3rd International Conference on Communications and Electronics. Hoian, 2008: 170-175
- [19] Otsu N. A threshold selection method for grey-level histograms [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1979, 9(1): 62-66
- [20] Pun T. A new method for grey-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. *Signal Processing*, 1980, 2(3): 223-237
- [21] Hammouche K, Diaf M, Siarry P. A multilevel automatic thresholding method based on a genetic algorithm for a fast image segmentation [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, 109(2): 163-175
- [22] Zhao X, Lee M, Kim S. Improved image thresholding using ant colony optimization algorithm[C]//Proceedings of 7th International Conference on Advanced Language Processing and Web Information Technology. Liaoning, 2008: 210-215
- [23] Arifin A Z, Asano A. Image segmentation by histogram thresholding using hierarchical cluster analysis[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27(13): 1515-1521
- [24] Pavlidis T, Horowitz S L. Segmentation of plane curves[J]. *IEEE transactions on computers*, 1974, 23(8): 860-870
- [25] Nevatia R. Locating object boundaries in textured environments [J]. *IEEE Transactions on Computers*, 1976, 25(11): 1170-1175
- [26] Illingworth J, Kittler J. A survey of the Hough transform[J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1988, 44(1): 87-116
- [27] Adams R, Bischof L. Seeded region growing[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(6): 641-647
- [28] Wan S Y, Higgins W E. Symmetric region growing[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2003, 12(9): 1007-1015
- [29] Revol C, Jourlin M. A new minimum variance region growing algorithm for image segmentation[J]. *Pattern recognition letters*, 1997, 18(3): 249-258
- [30] Wu X. Adaptive split-and-merge segmentation based on piecewise least-square approximation[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, 15(8): 808-815
- [31] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital space; an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, 13(6): 583-598
- [32] Tremeau A, Colantoni P. Region adjacency graph applied to color image segmentation[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, 9(4): 735-744