

基于块编码视频的无参考质量评估

杨付正 常义林 万 帅

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室 西安 710071)

摘 要 该文提出了一种适用于基于块编码视频的无参考质量评估方法。首先结合人类视觉的亮度掩盖和对比度掩盖特性提出了一个符合主观视觉感知的方块效应测度,然后根据滤波对方块效应的影响,给出了一种适合于使用不同压缩和处理算法的基于块编码重构视频的质量评估方法。实验表明该质量评估测度与主观质量评估有较好的一致性。

关键词 视频质量评估, 方块效应, 视觉系统

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)04-0728-04

A No-reference Quality Assessment Method for Block-Coding Video

Yang Fu-zheng Chang Yi-lin Wan Shuai

(National Key Lab. on ISN, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract A new no-reference quality assessment method for block-coding video is presented in this paper. Firstly, a new blocking artifact metric is presented based on Human Visual System(HVS) taking into account of the luminance masking and activity masking characteristics. Then, with consideration of the effect of filtering, a method is proposed for assessing the quality of the reconstructed videos compressed with different block-coding algorithms. Experimental results show that the proposed no-reference quality assessment method has good consistency with subjective quality assessment methods.

Key words Video quality assessment, Blocking artifacts, Human visual system

1 引言

随着无线和IP视频业务的广泛应用,对视频质量进行实时正确的评估显得日益重要。在研究视频编码器的性能时,可以全部或部分使用原始序列作参考对恢复视频质量做客观评估,如计算恢复视频的峰值信噪比(PSNR)等。然而在实际的实时多媒体通信中,如VOD(Video On Demand)和视频会议等,接收端往往无法获得所需的参考视频序列,因此需要针对实时多媒体通信研究新的、不需要任何参考信息的客观实时视频质量评估方法^[1]。另一方面,由于视频最终的宿主是人的视觉系统,所研究的视频质量评估方法应当符合人的视觉特性。而许多客观的评估方法如PSNR均是独立于图像内容的,其度量结果往往与主观视觉感受不一致。本文的研究目的在于设计一种结合HVS(Human Visual System)的无参考(No Reference)视频质量评估测度与方法VQM(Video Quality Metric),VQEG(Video Quality Experts Group)也正在致力于无参考视频质量评估方法制定标准。

目前广泛应用的视频压缩标准,如JPEG, MPEG-1,

MPEG-2, H.263 和H.264等,都采用了基于块的离散余弦变换(B-DCT)算法。采用该算法压缩后的视频会产生多种失真^[2],其中最容易出现的是方块效应(Blocking Artifacts)。由于方块效应产生明显的垂直和水平块边缘,极易刺激人们的视觉,使得视频的主观质量受到了很大影响。特别是在低速率视频通信中,方块效应尤为严重,因此可以将方块效应的严重程度用来评估B-DCT视频的质量。

目前国际上已经有几种方块效应的测量方法^[3-5]。文献[3,4]给出的方块效应模型均需要原始参考图像,而且文献[4]中的视觉模型较为复杂,难以实现实时评估。文献[5]中的模型没有考虑视觉的适应能力,使用的亮度掩盖函数只考虑了区域亮度值,没有考虑图像整体的亮度信息。此外,不同的视频压缩算法引起的方块效应严重程度不同,主要原因是不同的视频压缩算法中不同的滤波环节对方块效应产生了不同影响,因此对于不同编码算法的重构视频,使用以上这些方法测得的方块效应的严重程度不能直接用于反映视频的质量。

本文提出了一种结合HVS的无参考方块效应的测度,并基于此测度提出一种利用方块效应进行视频质量评估的方法,该方法适用于对不同B-DCT编码方法产生视频流的质量评估。实验结果证明使用该算法测得的客观评分与主观

2004-09-29收到,2005-03-15改回

国家自然科学基金(60172030)和华为科技基金(YJCB2003017MU)资助课题

评价有较好的一致性。

2 方块效应的测量

在 B-DCT 编码中, 各个块的变换量化编码过程是独立的, 相当于对各个块使用了不同参数的滤波器分别滤波, 因此各块引入的量化误差大小及其分布特性相互独立, 从而会导致相邻块边界的不连续, 这种不连续将产生方块效应。尤其是在低码率压缩视频中, 方块效应对视频的主观质量影响十分严重。

由于图像失真的可见性即视觉失真与图像的具体内容有关, 因而方块效应的测量模型应充分考虑人的视觉特性。而人类的视觉感知系统非常复杂, 至今未被真正的了解和掌握, 本文计算方块效应时, 主要考虑视觉的亮度掩盖和空间复杂度掩盖效应^[3-6], 该掩盖模型结合人眼对亮度和空间复杂度的自适应能力, 对文献[3]中模型进行了改进, 并且考虑了相似特性激励相互作用时掩盖特性尤为明显的特性, 定义了新的空间复杂度。下面结合HVS提出了一种符合主观视觉的方块效应测度。

2.1 基本方块效应

设一帧图像, 由 K 个 $N \times N$ 大小的编码块组成, 通常的图像和视频压缩标准中 N 取 8(H.264 例外)。 $f_{i,j}(n,m)$ 表示块 $B_{i,j}$ ($i, j \geq 1$, i 表示行, j 表示列) 中第 (n,m) 像素的亮度信号值, $0 \leq n, m \leq N-1$ 。

在不考虑亮度掩盖和空间复杂度掩盖效应影响时, 相邻块之间亮度的不连续性称为基本方块效应, 基本方块效应由相邻块边界像素差值的均值表示。块 $B_{i,j}$ 与其相邻块 $B_{i,j-1}$ 边界处的基本方块效应 $d_{i,j,0}$ 为

$$d_{i,j,0} = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} f_{i,j}(n,0) - \sum_{n=0}^{N-1} f_{i,j-1}(n,N-1) \right| \quad (1)$$

2.2 具有亮度掩盖的方块效应

人眼对激励的反应更多地依赖于相对光强即亮度的相对变化(对比度), 而不是绝对的亮度信息。韦伯对比度^[6]反映了亮度为 L 的均匀背景上简单的亮度变化 ΔL , 它比较适合块边界不连续的情况。韦伯对比度定义为

$$C_w = \Delta L / L \quad (2)$$

在人眼可感知的光强范围内, 对比敏感度几乎维持为常数, 这种视觉特性也称为亮度掩盖效应。讨论方块效应时, 同样需要考虑亮度掩盖效应, 即方块效应的可见性与背景亮度成反比, 我们定义方块效应的亮度掩盖模型函数为

$$d_{i,j,1} = \frac{d_{i,j,0}}{1 + \left(\frac{2 \cdot |b(B_{i,j-1}, B_{i,j}) - b_0(f)|}{b_0(f)} \right)^{\eta_1}} \quad (3)$$

其中 $b(B_{i,j-1}, B_{i,j})$ 为 $d_{i,j,0}$ 的背景亮度,

$$b(B_{i,j-1}, B_{i,j}) = b_{i,j} + b_{i,j-1} / 2 \quad (4)$$

式中 $b_{i,j}$, $b_{i,j-1}$ 分别为块 $B_{i,j}$ 和 $B_{i,j-1}$ 的平均亮度,

$$b_{i,j} = \frac{1}{N^2} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} f_{i,j}(n,m) \quad (5)$$

根据视觉系统对背景亮度的适应能力, $b_0(f)$ 取值为该帧图像的平均亮度。

由式(3)可见, 边界的区域背景亮度越偏离图像平均亮度, 亮度掩盖效应越明显, 即方块效应的可见性越差。

2.3 具有空间复杂度掩盖的方块效应

方块效应的可见性不仅受背景平均亮度的影响, 而且也与其背景的空间复杂度有关, 这种视觉特性称为空间复杂度掩盖。如对于图像内容较平滑的区域, 视觉上越容易发现方块效应。

考虑到空间复杂度掩盖效应, 方块效应进一步定义为

$$d_{i,j,2} = \frac{d_{i,j,1}}{a_0 + \left(\frac{m(B_{i,j-1}, B_{i,j})}{m_0(f)} \right)^{\eta_2}} \quad (6)$$

其中 $m_0(f)$ 为平均空间复杂度, $m(B_{i,j-1}, B_{i,j})$ 表示块 $B_{i,j}$, $B_{i,j-1}$ 区域的联合空间复杂度:

$$m(B_{i,j-1}, B_{i,j}) = \frac{1}{2} (m_{i,j} + m_{i,j-1}) \quad (7)$$

$m_{i,j}$, $m_{i,j-1}$ 分别为块 $B_{i,j}$, $B_{i,j-1}$ 的空间复杂度。当具有相似的特性激励相互作用时, 掩盖特性尤为明显, 所以对于垂直的块边界, 定义空间复杂度 $m_{i,j}$ 为

$$m_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \left(\sum_{n=0}^{N-1} f_{i,j}(n,m) - N \cdot b_{i,j} \right)^2} \quad (8)$$

同理可以得到块 $B_{i,j}$ 与相邻块 $B_{i-1,j}$ 间水平块边界处的方块效应。

3 利用方块效应评估视频质量

实验中发现, 使用同一压缩算法的重构视频序列, 其方块效应的严重程度可以反映图像的质量; 而不同的压缩算法, 其重构图像的失真特性是不同的, 主要是因为编码器内的循环滤波以及重构图像的后滤波虽然可以降低方块效应, 但同时也使自然景物的边缘变得模糊, 同样降低了视频的主观质量。因此对于采用不同压缩和处理算法的重构视频, 其方块效应对其质量的影响程度是不同的, 不能简单地根据方块效应的严重程度评估视频质量。所以在本文提出的视频质量评估中, 要对待质量评价的视频进行滤波, 并测量滤波前后视频的方块效应, 综合起来评价视频的质量。

本文采用二维高斯滤波器对待评价重构图像 $f_n(x,y)$ 进行平滑滤波, 得到滤波后的图像 $f'_n(x,y)$ 。

$$f'_n(x,y) = f_n(x,y) * G(x,y) \quad (9)$$

其中 $G(x,y)$ 为二维高斯滤波器, “*” 表示卷积运算。

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

其中 σ^2 为高斯函数的方差,其大小决定滤波后图像的平滑程度。

使用同一压缩算法的一帧图像中,水平和垂直块边界处有大致相等的方块效应,为了降低运算复杂度,本文只测量垂直块边界处的方块效应。按上一节提出的方块效应的测量方法,计算滤波前后视频中所有垂直块边界处的方块效应 $d_{i,j,2}$, $d'_{i,j,2}$ 。然后分别对滤波前后图像中所有垂直块边界处的方块效应求平均,得到滤波前后图像的平均方块效应。设图像由 $S \times W$ 个编码块组成,则有

$$D_f = \frac{1}{W \times (S-1)} \sum_{j=2}^S \sum_{i=1}^W d_{i,j,2} \quad (11)$$

$$D'_f = \frac{1}{W \times (S-1)} \sum_{j=2}^S \sum_{i=1}^W d'_{i,j,2} \quad (12)$$

编解码器中如果使用了滤波处理,则重构视频的方块效应 D 和 D' 变化较小,而没有滤波处理的重构视频的方块效应 D 和 D' 有较大的差值。因此结合 D 和 D' 间的关系,定义整帧图像的质量为

$$Q = D' \cdot (\alpha - (D - D')/D') \quad (13)$$

其中 $(D - D')/D'$ 表示 D 和 D' 间的相对差值,其大小反映了滤波对方块效应的影响; α 为一通过实验得到的参数,其大小是由 $(D - D')/D'$ 对视频质量的影响程度决定。从式(13)可以看到,测得的 Q 值越大,表明图像的质量越好。

对视频序列中所有图像质量的测量值求平均,则得到整个视频序列的质量 BQ 。

4 实验及其结果分析

实验使用H.263+视频编码器,对“Claire”,“Foreman”和“Calendar”(CIF图像格式,300 帧)序列分别采用帧内模式编码,量化步长的选取范围为10~25(每个步长均作一次),在不使用任何附加选项时得到失真视频集 I_1 ,只使用循环滤波附加选项时得到失真视频集 I_2 。采用文献[5]中使用的POCS^[7]滤波器对 I_1 中的所有视频序列进行滤波,得到视频集 I_3 。为了进一步观察以上视频评估方法的有效性,我们把所有滤波和未滤波的视频组成新的失真视频集 $I_4 = I_1 \cup I_2 \cup I_3$,则 I_4 代表使用不同编码或处理方法的视频集合。然后分别采用主观质量评估方法,文献[5]提出的质量评估方法和本文提出的VQM对以上视频序列进行质量评估。实验中模型参数为:式(3)中 $r_1 = 2$;式(6)中 $r_2 = 1.4$ ^[3], $a_0 = 0.3$;式(10)中 $\sigma = 1$;式(13)中 $\alpha = 3$;主观质量评估方法采用Single Stimulus Method(SSM),其中质量评分测度采用5分制^[8]。

下面分别对视频序列集 I_1 , I_2 , I_3 和 I_4 中的所有视频的评分,按VQEG评价视频质量评估模型精度的方法^[9]来评价VQM的性能。首先,将主观平均评分 S_i 归一化到[0, 1]

范围,其中1代表最差的质量,0表示最好的质量,归一化后的主观平均评分 $\bar{S}_i$ 为

$$\bar{S}_i = (S_i - S_{\text{worst}}) / (S_{\text{best}} - S_{\text{worst}}) \quad (14)$$

其中的 S_{best} 表示测量出的最好质量, S_{worst} 表示最差质量。

然后,采用二次多项式把客观评分映射到[0, 1]域,使它们与主观数据匹配。

$$\overline{BQ}_i = a_1 \cdot BQ_i^2 + b_1 \cdot BQ_i + c_1 \quad (15)$$

$$\overline{MQ}_i = a_2 \cdot MQ_i^2 + b_2 \cdot MQ_i + c_2 \quad (16)$$

其中 BQ_i , MQ_i 分别表示使用本文提出的VQM和文献[5]提出的方块效应测度对各视频序列的评分, $\overline{BQ}_i$, $\overline{MQ}_i$ 则表示变换后的评分。式中 a_1 , b_1 , c_1 , a_2 , b_2 , c_2 为变换系数,它们使得到的变换后的客观评分与主观评分有最小的均方误差。

分别计算 $\overline{BQ}$, $\overline{MQ}$ 与 $\bar{S}$ 的相关系数和均方误差(RMSE)

$$\rho = \text{Cov}(\bar{S}, \bar{O}) / (\sqrt{D(\bar{S})} \sqrt{D(\bar{O})}) \quad (17)$$

式中 $\bar{S}$ 表示主观评分, $\bar{O}$ 表示客观评分 $\overline{BQ}$ 或 $\overline{MQ}$, $\text{Cov}(\bar{S}, \bar{O})$ 为 $\bar{S}$, $\bar{O}$ 的协方差, $D(\bar{S})$, $D(\bar{O})$ 分别为 $\bar{S}$, $\bar{O}$ 的方差。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{O}_i - \bar{S}_i)^2} \quad (18)$$

表1给出了视频序列集 I_1 , I_2 , I_3 和 I_4 中所有视频客观评分和主观评分的相关系数和均方误差。可以看出,对于 I_1 , I_2 , I_3 , 即对于采用同一压缩或处理算法的视频,本文提出的方法和文献[5]提出的方法测得的客观质量与主观质量都有较好的一致性。而对于 I_4 , 即对于采用了不同处理算法的视频,文献[5]提出的方块效应测度不能很好地反映视频的质量,而本文提出的质量评估方法则能得到较好的性能。

表1 客观评分和主观评分的相关系数和均方误差

视频集	相关系数		均方误差	
	$\overline{BQ}$ 与 $\bar{S}$	$\overline{MQ}$ 与 $\bar{S}$	$\overline{BQ}$ 与 $\bar{S}$	$\overline{MQ}$ 与 $\bar{S}$
I_1	0.8569	0.8281	0.1053	0.1164
I_2	0.8016	0.7829	0.1257	0.1382
I_3	0.8210	0.8346	0.1197	0.1138
I_4	0.7815	0.6274	0.1561	0.3024

5 结束语

本文结合人的视觉特性,提出了一种符合主观视觉感知的方块效应测度,即使重构视频采用了不同的编码、处理方法,所提出的算法也能很好地反映它们对视频质量的影响。实验表明该方法能够较准确地反映出基于块编码的恢复视频的质量。该方法不需要原始参考图像,有着广泛的应用范

围, 它可以用于监控各种无线和IP视频系统和传输信道的性能, 从而通过反馈来调节编解码器或信道的参数, 保证视频的质量。

参考文献

- [1] 王新岱, 杨付正, 常义林. 基于数字水印的无参考视频质量评估方法. 西安电子科技大学学报, 2004, 31(2): 229 – 233.
 - [2] Wang Xin-dai, Yang Fu-zheng, Chang Yi-lin. A no-reference video quality assessment method based on digital watermark. *Journal of Xidian University*, 2004, 31(2): 229 – 233.
 - [3] Yuen M, Wu H R. A survey of hybrid MC/DPCM/DCT video coding distortion. *Signal Processing*, 1998, 70(3): 247 – 278.
 - [4] Karunasekera S A, Kingsbury N G. A distortion measure for blocking artifacts in images based on human visual sensitivity. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1995, 4(6): 713 – 724.
 - [5] Yu Zhenghua, Wu H R, Winkler Stefan, Chen Tao. Vision-model-based impairment metric to evaluate blocking artifacts in digital video. *Proc of the IEEE*, 2002, 90(1): 154 – 169.
 - [6] Wu H R, Yuen M. A generalized block-edge impairment metric for video coding. *IEEE Signal Processing Letters*, 1997, 4(11): 317 – 320.
 - [7] Winkler Stefan. Issues in vision modeling for perceptual video quality assessment. *Signal Processing*, 1999, 78(2): 231 – 252.
 - [8] Yuen M, Wu H R, Rao K R. Performance evaluation of POCS loop filtering in generic MC/DPCM/DCT video coding. in Proc. Int. Conf. Visual Communications and Image Processing, May 1995, SPIE, vol. 2501: 65 – 75.
 - [9] ITU-T Recommendation BT.500-10. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. 2000.
 - [10] VQEG Report. Draft final report from the video quality experts group on the validation of objective models of video quality assessment. August 2003.
- 杨付正: 男, 1977年生, 博士生, 从事视频压缩、图像处理、视频质量评估、抗误码和视频通信等领域的工作。
- 常义林: 男, 1944年生, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为多媒体通信和网络管理等。
- 万 帅: 女, 1979年生, 博士生, 研究方向为视频压缩、视频质量评估、抗误码和视频通信等。