

文章编号 1004-924X(2014)06-1686-10

新一代视频编码帧内预测模式选择的优化

祝世平*, 李丽芸

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院 测控与信息技术系, 北京 100191)

摘要:提出了一种基于图像相关性和最优模式概率统计的帧内预测优化算法,用于降低视频编码的复杂度。首先,介绍了新一代视频编码标准(HEVC)帧内预测算法中的 Angular 预测模式、Planar 预测模式、LM 预测模式,以及帧内率失真代价最优化(RDO)计算方法。采用绝对误差和(SAD)作为代价函数处理残差,初步筛选得到最佳候选预测模式,然后利用简化率失真代价模型与最有可能预测模式(MPM)判断得到 RDO 候选预测模式,利用 RDO 得到最佳预测模式。最后在 HEVC 测试模型 HM4.0 的平台上对改进算法进行验证,并采用不同分辨率的视频序列进行了仿真实验。实验结果表明:在峰值信噪比(PSNR)影响可以忽略的情况下(平均降低 0.06 dB),提出的帧内预测优化算法比 HM4.0 中方法的压缩时间平均减少了 30.18%,码率平均增加了 1.97%。与文献[20]提出的帧内预测编码方法相比,其复杂度平均减少了 11.45%,码率平均减少了 0.46%,PSNR 平均增加了 0.01 dB,压缩性能均有所提高。

关键词:视频压缩;帧内预测;视频编码标准;预测模式;率失真代价最优化

中图分类号:TN919.81 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20142206.1686

Optimization of intra-prediction mode decision in new generation video coding

ZHU Shi-ping*, LI Li-yun

(Department of Measurement Control and Information Technology, School of Instrumentation
Science and Optoelectronics Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

* Corresponding author, E-mail: spzhu@163.com

Abstract: An efficient intra prediction method was proposed to decrease the complexity of the video coding of new generation system. Some technologies used in the new generation standard of video coding (High Efficiency Video Coding, HEVC) were introduced, such as angular prediction modes, planar prediction mode, LM prediction mode and the Rate Distortion Optimization(RDO) method for selection of an optimum mode. Firstly, the Sum of Absolute Difference (SAD) was taken as a cost function to process residual errors to obtain optimal RDO initial candidate modes. Then, a simplified rate-distortion cost mode and a Most possible Prediction Mode(MPM) were used to obtain the RDO candidate mode, and the RDO was used to achieve the optimal mode with the least bit rate. Finally, the improved method was verified on the HM 4.0 platform of the HEVC measuring model. Extensive simulation results demonstrate that the proposed method is quite efficient for intra mode prediction speed-

收稿日期:2013-06-23;修订日期:2013-08-05.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61375025, No. 61075011, No. 60675018),教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

up. Compared with the method in HM 4.0, the proposed algorithm reduces the encoding time by 30.18% while the Peak Signal-to Noise Ratio(PSNR) remains almost the same (average reduce 0.06 dB). The bitrate is only reduced by 1.97% on average. Compared with the method in reference [20], the complexity and the bitrate are reduced by 11.45% and 0.46% respectively, and the PSNR increases by 0.01 dB.

Key words: video compression; intra prediction; High Efficiency Video Coding(HEVC); prediction mode; Rate Distortion Optimization(RDO)

1 引言

High Efficiency Video Coding(HEVC)是ISO/IEC MPEG和ITU-T VCEG正在规划的新一代视频编码标准。HEVC在继承现有视频编码标准H.264/AVC部分技术的基础上,对相关技术进行了改进,使得同样效果的压缩效率提高了一倍,即通过适当地提高编码复杂度,实现在保证视频图像质量不变的前提下,使视频码流减少50%^[1]。

HEVC仍然采用基于块的编码框架,同时采用了新的图像表示方法,即采用更大的划分块来对图像进行编码,从而获得更好的编码性能^[2]。文中采用了最大编码单元(LCU)、编码单元(CU)、预测单元(PU)、变换单元(TU)作为基本处理单元。编码单元(CU)为编码的基本单元,预测单元(PU)是预测的基本单元,变换单元(TU)是进行变换量化的基本单元。HEVC具有灵活的块结构划分方式,其划分深度最高可达4,即 CU_0 大小为 64×64 (深度设为0)、 CU_1 大小为 32×32 (深度为1)、 CU_2 大小为 16×16 (深度为2)、 CU_3 大小为 8×8 (深度为3),这4种大小不同的编码块都参与最优块的选择计算^[3]。这种块划分结构可以使每一个块进行编码预测和变换等操作时均能达到最优化,同时还增加了帧内预测模式以提高视频压缩质量。

然而,这些改进在提高编码效率的同时不可避免地增加了编码复杂度,因此,在不断完善标准的同时,很多人也开始研究算法的优化。由于帧内预测模式的运算量巨大,因此降低编码复杂度成为提高编码效率的研究重点之一。优化H.264中帧内模式选择算法的复杂度已经取得了较

多的研究成果,其主要方法可分为3类:通过一定的规则来减少预测模式的个数;不减少预测模式的数量,而是对算法本身进行优化;优化软硬件算法的结构。文献[4]采用变换域信息得到图像纹理方向,通过纹理方向减少预测模式数量,以实现快速帧内预测编码。文献[5]采用变换后的残差和与梯度和来减少候选预测模式数量,从而有效降低了帧内预测编码时间。而国内外对于HEVC帧内预测优化算法的研究成果还比较少。文献[6]中的优化方法是在不减少预测模式数量的前提下,根据不同编码单元的编码复杂度得到编码单元的快速划分算法来降低预测编码复杂度。文献[7]中应用了哈达玛变换后的率失真代价进行比较,经过粗略选择,得到一定数目残差代价小的预测模式,再对这些模式进行率失真优化,得到了较好的效果,但其预测时间较长,需要进一步进行优化。

本文主要利用H.264中的第一种优化算法思想对角度预测模式进行优化。在文献[6]方法的基础上,充分利用相邻预测单元间预测信息的相关性,进一步优化设计了帧内预测模式选择算法。在简化率失真代价模型之前采用绝对误差和SAD减少帧内预测模式的数量,并且将邻近预测单元的最佳预测模式(Most Possible Prediction Mode,MPM)列入当前预测单元最佳预测模式的候选模式中,最终得到更加准确的预测模式。

2 HEVC的帧内预测

帧内预测是利用像素点在空间上的相关性,通过对当前预测单元周围像素的线性插值来预测当前编码单元^[7]。由于每帧图像都由大量的像素点组成,而像素点之间的距离与像素之间的相关

性成正比,即两像素点间的距离越小,则它们的相关性越大,相邻像素点发生突变的概率越小。然后根据距离的远近获得不同权重,预测得到当前预测单元的像素值。在编码后传输的过程中,只传送实际像素值与预测像素值之间的差值,达到视频数据压缩的目的^[8]。

2.1 帧内预测编码

随着视频分辨率的提高,对压缩效率的要求也越来越高,而通过增加帧内预测的方向,可以更好地适应高清视频图像的压缩需求^[9,10]。与原来亮度帧内预测的 8 个方向的预测模式相比,HEVC 增加了内部预测方向的数量,使得每个 PU 预测模式最多达到 33 种,另外再加上 DC 预测和 Planar 预测,共有 35 种^[11]。PU 的候选预测模式取决于预测单元的大小,如表 1 所示。HEVC 采用不同大小的 PU,按照所有预测方式进行率失真优化。一个最大编码单元的最终率失真代价的计算次数为 7 327 次,编码器运算非常复杂。

表 1 64×64 预测单元包含的子单元个数及对应的预测模式

Tab. 1 Number of sub-PU's in 64×64 prediction units and corresponding prediction modes

子单元个数	PU 大小	帧内预测方向数
256	4×4	17
64	8×8	35
16	16×16	35
4	32×32	35
1	64×64	35

色度像素只有 DC、LM、DM、水平和垂直编码预测 5 种模式^[12-13]。DM 是指色度预测模式直接使用其所对应的亮度像素的预测模式,当 DM 是水平、垂直和 DC 3 种预测模式中的一种时,将不考虑 DM 预测模式;LM 是指用色度编码单元所对应的已编码亮度单元的像素值对当前色度编码单元的像素值直接进行线性预测^[14]。

2.1.1 Angular 预测模式

Angular 预测^[15]的 33 种预测模式的方向如图 1 所示。由图 1 可知,当预测方向靠近垂直方向时,预测方向由当前的编码单元的最后一行像

素和邻近当前编码单元的上一行像素之间的位移矢量得到;当预测方向靠近水平方向时,预测方向由当前的编码单元的最后一列像素和与当前编码单元相邻的左列像素之间的位移矢量得到。每个像素的参考像素都有 2 个参考像素列:水平预测像素列和垂直预测像素列。垂直预测像素列为与需要预测的 PU 的上一行像素,水平预测像素列为与需要预测的 PU 的左列像素。当一个具体的预测方向确定后,水平预测像素列和垂直预测像素列会根据预测方向的偏角,确定主要参考列和辅助参考列^[14]。

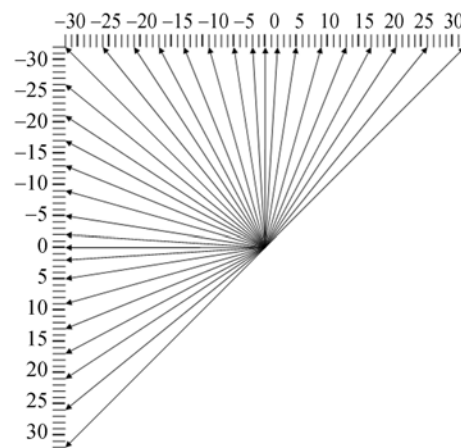


图 1 33 种帧内预测方向

Fig. 1 33 type of intra-prediction directions

2.1.2 Planar 预测模式

Planar 预测模式^[16],即平面预测模式,适用于对图像中平滑区域的预测。与 DC 预测模式不同的是,平面预测模式先采用左边的像素在水平方向进行位置比例插值,再采用上边的像素在垂直方向进行位置比例插值,最后将二者的平均值作为预测像素的像素值。而 DC 预测模式是将上边和左边像素的平均值代替整个 PU 的预测像素值。平面预测模式的插值公式如下:

$$P(x, y) = ((W - x) \cdot P(0, y) + x \cdot P(0, W) + (W - y) \cdot P(x, 0) + y \cdot P(W, 0) + W) / 2W, \quad (1)$$

式中: $P(x, y)$ 是 PU 中的像素; $P(0, y)$ 是 PU 的左近邻列与 $P(x, y)$ 所在行的交叉像素; $P(x, 0)$ 是 PU 的上近邻列与 $P(x, y)$ 所在列的交叉像素; $P(0, W)$ 为图 2 中“V”表示的像素; $P(W, 0)$ 为图中“H”表示的像素; W 为当前 PU 的宽度。

从式(1)可以得到,PU 块的预测像素经过平

面预测模式预测后,将从左到右,从上到下呈渐变趋势发展^[14]。

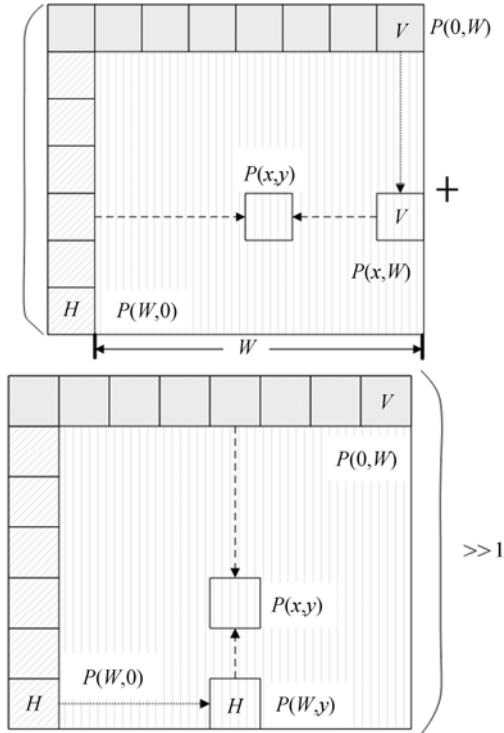


图 2 Planar 预测过程

Fig. 2 Illustration of Planar prediction

2.1.3 LM 预测模式

LM 预测模式^[17]利用重构得到的亮度编码单元的亮度像素对相应色度编码单元的色度像素进行预测,如公式(2)所示:

$$Pred_C(x, y) = a \cdot Rec_L(x, y) + b, \quad (2)$$

式中: $Pred_C(x, y)$ 为需编码色度编码单元预测像素的值; $Rec_L(x, y)$ 为色度预测单元对应的亮度预测单元中重构得到的亮度像素; a 和 b 为上述线性方程的系数。在对 4 : 2 : 0 格式的 YUV 视频中的各个分量进行采样时,亮度分量取样是色度分量取样的二倍,同时色度分量跟亮度分量在垂直方向上有半个像素的相位差^[14]。决定预测前需要在垂直方向上对亮度像素分量进行亚采样,同时需要在水平方向进行二次抽样,以与色度分量的大小和相位进行匹配,如公式(3)所示:

$$Rec'_L(x, y) = (Rec_L(2x, 2y) + Rec_L(2x, 2y + 1)) \gg 1, \quad (3)$$

式中: $Rec'_L(x, y)$ 为对亮度预测单元重构得到的亮度像素进行采样。

LM 预测模式中,采用最小二乘法拟合下采样后亮度像素分量与色度像素分量二者周围重构像素之间的线性关系,得到具体线性计算系数 a 和 b 的公式如下:

$$a = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{N \cdot \sum_{i=0}^N Rec_C(i) \cdot Rec'_L(i) - \sum_{i=0}^N Rec_C(i) \cdot \sum_{i=0}^N Rec'_L(i)}{N \cdot \sum_{i=0}^N (Rec'_L(i))^2 - \left(\sum_{i=0}^N Rec'_L(i)\right)^2}; \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum_{i=0}^N Rec_C(i) - a \cdot \sum_{i=0}^N Rec'_L(i)}{N}, \quad (5)$$

式中: $Rec_C(i)$ 和 $Rec'_L(i)$ 分别为预测单元中预测像素周围的重构色度像素与重构下采样的亮度像素, N 为预测像素周围像素的总数。图 3 以 $M \times M$ 的色度像素预测单元为例,计算过程中只有图中预测单元的上边行或左边行中的灰色像素参与,即灰色圆圈标记的像素参与计算。当且仅当相邻块的左边像素有效时,用于推断参数的像素总数为 M ,当仅有顶部像素有效时,像素总数为 M 。

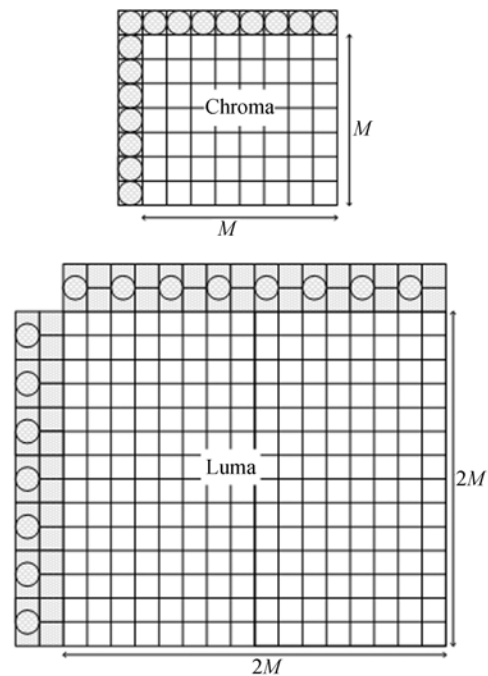


图 3 重构的亮度像素对色度像素进行的预测

Fig. 3 Chroma pixel prediction based on reconstructed luma pixels

2.2 帧内率失真代价计算

最优模式选择问题的数学建模可以描述为在码率一定的前提下选择预测模式,以得到最优的图像质量;或在保证一定图像质量的条件下,选取预测模式使得到的码率最小^[18]。最优模式选择问题是码率、图像失真度和最佳预测模式选择之间的优化组合问题。在 H. 26X 系列中采用拉格朗日率失真优化(Rate-Distortion Optimization, RDO)策略对最优化的编码模式进行选择,并通过对所有可能编码模式的比较,选择率失真代价最小的模式作为最佳帧内预测模式^[19]。H. 264/AVC 利用率失真优化技术选择最优预测模式的问题可以表示为:

$$J(o, r, \text{MODE} | \text{QP}, \lambda_n) = \text{SSD}(o, r, \text{MODE} | \text{QP}) + \lambda_n R(o, r, \text{MODE} | \text{QP}), \quad (6)$$

式中:QP 是量化单元的量化参数; λ_n 是拉格朗日乘数,与 QP 有关;SSD(\cdot)是原始亮度编码单元 o 与重建编码单元 r 之间的差值平方和; $R(\cdot)$ 是利用模式 MODE 进行编码的比特数:

$$\text{SSD} = \sum_{x,y} | \text{Orig}_L(x, y) - \text{Rec}_L(x, y) |^2, \quad (7)$$

式中: $\text{Orig}_L(x, y)$ 是原始亮度编码单元的像素值; $\text{Rec}_L(x, y)$ 是重建亮度编码单元的像素值。

3 帧内预测选择模式优化

HEVC 提高编码效率是以过高的编码复杂度为代价的,引入的编码模式过多是导致复杂度大量增加的一个重要因素。在现有的快速模式决策算法中,主要是通过哈达玛变换后的残差进行粗略的失真代价筛选,再使用率失真代价计算得到最优预测模式。本文主要利用最优模式的概率统计以及图像的相关性进行帧内预测,对原仿真法进行优化改进。

3.1 帧内预测模式的粗选择

3.1.1 代价函数

本算法首先根据预测残差的绝对值和(Sum of Absolute Difference, SAD)对预测模式进行初步的判断。原始图像编码单元与预测编码单元之间对应像素的差值计算如下:

$$\text{Diff}(x, y) = \text{Orig}(x, y) - \text{Pred}(x, y)$$

$$\text{SAD} = \sum_{x,y} | \text{Diff}(x, y) |, \quad (8)$$

式中: $\text{Orig}(x, y)$ 和 $\text{Pred}(x, y)$ 分别为编码单元原始像素值和预测像素值; $\text{Diff}(x, y)$ 为原始像素值与预测像素值的残差。

同时,采用简化的率失真代价函数作为一个变换域特征进行模式选择。通过对预测残差进行哈达玛变换后,得到残差的绝对值总和,即哈达玛变换绝对值和(Sum of Absolute Hadamard Transformed Difference, SATD)的计算公式如下:

$$\text{SATD} = (\sum_{x,y} | \text{DiffHAD}(x, y) |) / 2, \quad (9)$$

式中: $\text{DiffHAD}(x, y)$ 为编码单元原始像素值与预测像素值的残差经过哈达玛变换后的值。

与 SAD 相比,SATD 与失真的大小的联系更紧密,即与 RDO 性能更具相关性。同时,哈达玛变换的算法可以采用加法和移位运算实现,以降低计算复杂度。SATD 的代价函数如下:

$$J_{\text{SATD}} = \text{SATD} + \lambda_{\text{mode}} \cdot B_{\text{mode}}, \quad (10)$$

式中: B_{mode} 是所记录的帧内模式在码流传输中需要的比特数; λ_{mode} 是拉格朗日因子,由量化参数 QP 决定,计算公式如式(11)所示:

$$\lambda_{\text{mode}} = 0.57 \times 2^{((\text{QP}-12)/3.0)}. \quad (11)$$

经过上述准则筛选得到的候选预测模式最终成为预测单元最优模式的概率是不均等的,在上述准则中排在前面的预测模式成为最优预测模式的概率远远大于排在后面的预测模式,同时,不同预测单元的预测模式的个数并不相同。因此经过筛选后,前 2 个预测模式是最优预测模式的概率也会不同。由于本算法是采用阈值的方式得到候选预测模式的,故相同大小的 PU 候选预测模式个数也不相同。当预测模式的简化率失真代价满足以下条件时,此预测模式被认为是 RDO 候选预测模式:

$$J_{\text{SATD}}^i < T \times \min(J_{\text{SATD}}^j), \quad (12)$$

式中: J_{SATD}^i 是当前预测模式的简化率失真代价; $\min(J_{\text{SATD}}^j)$ 是当前预测单元所有预测模式的简化率失真代价的最小值; T 是阈值。通过实验验证可知,当 $T=1.2$ 时,最终预测单元的预测结果最好。

3.1.2 率失真代价算法

拉格朗日率失真优化(Rate-Distortion Opti-

mization, RDO)是在图像失真与减少编码码率两方面进行了权衡,使得在保证得到高质量视频的同时码率最小,从而有效地提高了编码的性能。本算法采用率失真代价算法遍历 RDO 以获选预测模式,采用公式 (6) 计算模式的率失真代价,获取最优预测模式。图 4 为率失真代价算法流程图。

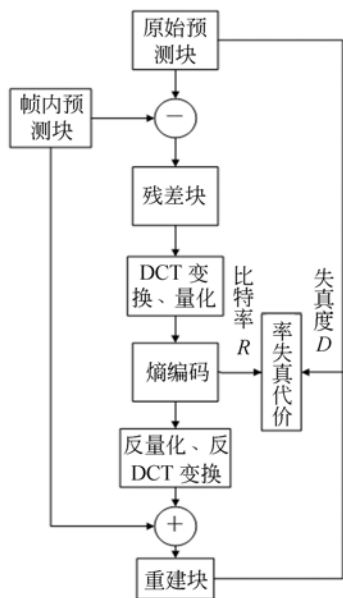


图 4 率失真代价的计算

Fig. 4 Computation of rate-distortion cost

3.2 最有可能模式选择

图像在空间上的连续性决定了相邻 2 个预测单元之间存在某种相关性,即预测单元的最优预测模式与其邻近预测单元的最优预测模式很有可能相同。然而目前的帧内预测模式决策过程中并没有充分利用相邻预测单元间的相关性。而 MPM 是指当前预测单元周围已编码的左边预测单元和上边预测单元的最佳预测模式。因此,MPM 在模式选择中非常重要。

表 2 是对 MPM 在所有最优预测模式中所占的比例进行统计分析的结果。如表 2 所示,在不同分辨率视频序列中,MPM 在所有最优预测模式中均占有的比例均很高。因此,可以断定 MPM 成为最优预测模式的概率较高。因此,本算法中先判断经过前期筛选之后候选模式中是否包含 MPM,假设在 RDO 候选预测模式中包含 MPM,则将包含在 RDO 候选预测模式中的 MPM 作为新的 RDO 候选预测模式进行 RDO 计算,通过比较得到最佳预测模式;否则,对粗选后

的候选预测模式直接进行最后的率失真代价计算,以获取最优预测模式。

表 2 MPM 在所有最佳预测模式中所占的百分比

Tab. 2 Percentage of MPM in all the best prediction modes

视频序列及分辨率	MPM 所占的比例/(%)
BasketballPass (416×240)	67.8
BQMall (832×480)	65.0
Vidyo1 (1 280×720)	73.5
BasketballDrive (1 920×1 080)	76.1
Traffic (2 560×1 600)	69.4

本文提出的帧内预测模式选择优化算法实现过程如下:

步骤一:分别计算当前 64×64 编码单元的 35 种预测模式的预测残差的绝对值和 SAD,并根据大小进行排序,选出较小的候选预测模式;

步骤二:采用简化的率失真代价,即哈达玛变换的绝对值和 SATD 的代价函数计算出经过步骤一得到的候选预测模式,并根据其大小得到 RDO 候选预测模式;

步骤三:检测可能预测模式 MPM 是否包含在 RDO 候选预测模式中,如果是,则将包含在 RDO 候选预测模式中的 MPM 作为 RDO 候选预测模式;否则,RDO 候选预测模式仍为步骤二得到的候选预测模式;

步骤四:计算 RDO 候选预测模式中所有预测模式的率失真代价 RDO,将 RDO 值最小的预测模式选为最优预测模式;当 RDO 候选预测模式中只有一个候选模式时,直接将该候选模式作为预测单元的最优预测模式,并得到最佳预测模式的率失真代价 $CostRd_1$;

步骤五:编码单元经过划分后,得到 4 个的亚编码单元,对亚编码单元重复步骤一到步骤四,选择出最优的预测模式进行编码,从而得到划分后的 4 个亚编码单元的率失真代价 RDO 之和 $CostRd_2$;

步骤六:比较编码单元和亚编码单元的率失

真代价 RDO, 即比较 CostRd_1 和 CostRd_2 的值, 当 $\text{RdCost}_1 > \text{RdCost}_2$, 转到步骤七; 否则, 采用当前编码单元进行预测编码, 转到步骤八;

步骤七: 将亚编码单元进一步分成 4 个更小的编码单元, 重复步骤五和步骤六, 直至编码单元大小为 4×4 时, 转到步骤八;

步骤八: 当前编码单元预测编码结束。

由于预测残差的绝对值和 SAD 与哈达玛变换绝对值和 SATD 的代价函数的计算量远远小于率失真代价的计算量, 因此, 采用这 2 种方法减少预测模式, 仅对可能性最大的预测模式采用率失真代价, 得到最佳预测模式, 从而大大降低了帧内预测的预测时间。同时, 由于预测残差的绝对值和 SAD 与哈达玛变换绝对值和 SATD 的代价函数均与码流和失真的大小紧密联系, 因此可以保证编码性能不会有明显降低。

4 实验结果

本文在 HM4.0 代码基础上进行算法验证。实验中采用的计算机 CPU 为 Inter Core(TM)2 CPU, 主频为 1.98 GHz, 内存为 2G, 实验平台为 Visual Studio 2008。实验环境如表 3 所示。

表 3 编码性能比较的实验环境参数

Tab. 3 Environment parameters for encoder performance comparison

Class B (1 920×1 080)	Kimono, ParkScene, Cactus, BQTerrace
Class C (832×480)	BasketballDrill, BQMall, PartyScene, RaceHorses
Class D (416×240)	BasketballPass, BQSquare, BlowingBubbles
Class E (1 280×720)	vidyo3, vidyo4
Software	HM4.0
Quantization	22, 27, 32, 37
Configuration	low-delay scenario
Total Frames to be Coded	100
GOP Structure	III...
Entropy Coding	CABAC
Searching Method	EPZS
SearchRange	64

由于文章所提方法主要用于改善新一代视频编码系统复杂度过高的问题, 因此将所提优化方案与 HM4.0 代码中的标准实现算法的计算复杂度进行了定量分析, 如表 4 所示。实验中采用的帧内预测编码所需要的时钟周期数用于表示帧内预测编码的复杂度。对 Class B, Class C, Class D, Class E 4 种类型的视频进行实验, 每种视频 QP=32。由表 4 可见, 优化后帧内预测算法的复杂度比优化前算法的复杂度最高降低了 71.49% 算法复杂度平均降低了 49.82%。优化后的算法大大提高了帧内预测的编码效率。

表 4 帧内预测优化前后复杂度比较

Tab. 4 Complexity comparison of intra-prediction before and after optimizations

	HM4.0 帧内 预测部分时 钟周期数	优化后帧内 预测部分时 钟周期数	时钟周期减少 (%)
Kimono	2.38×10^{12}	1.10×10^{12}	53.91
ParkScene	2.89×10^{12}	9.79×10^{11}	66.11
Cactus	2.598×10^{12}	9.10×10^{11}	64.97
BQTerrace	1.06×10^{12}	6.58×10^{11}	38.01
BasketballDrill	1.11×10^{12}	6.61×10^{11}	40.41
BQMall	6.57×10^{11}	3.27×10^{11}	50.28
PartyScene	5.49×10^{11}	2.70×10^{11}	50.78
RaceHorses	2.60×10^{11}	7.41×10^{10}	71.49
BasketballPass	1.58×10^{11}	9.47×10^{10}	39.95
BQSquare	1.42×10^{11}	8.27×10^{10}	41.82
BlowingBubbles	1.08×10^{12}	6.53×10^{11}	39.42
vidyo3	1.09×10^{12}	6.93×10^{11}	36.56
Vidyo4	2.38×10^{12}	1.10×10^{12}	53.91
Average			49.82

表 5 给出了本文算法与 HM4.0 标准测试模型中帧内预测编码算法的编码性能比较结果。由于改进算法是基于最优模式的概率统计以及图像的相关性原则对帧内预测模式选择进行优化的, 即在减少预测模式的基础上提高预测速度, 这必然会使编码性能有所降低。表 5 为每一类视频采用不同 QP 平均值的实验结果。由表 5 可知, 本算法比 HM4.0 标准测试模型中的帧内预测编码算法的时间平均减少了 30.18%, 码率只平均增加了 1.97%, 而 PSNR 基本不变。因此, 可以得出如下结论: 本文优化算法相对于 HM4.0 标准测试模型中的帧内预测编码算法虽然在码率上有

一定的增加,但是复杂度大幅降低,在一定程度上解决了实时性不高的问题。

表 6 给出了本文算法与文献[20]中的帧内预测编码算法在编码复杂度、视频编码码流以及视频重建后图像质量 3 个方面的编码性能的比较结果。表中结果为 QP 取不同值时的平均值。由表 6 可知,本算法比文献[20]中的帧内预测编码算法的复杂度平均减少了 11.45%,码率平均减少了 0.46%,PSNR 平均增加 0.01 dB。可以看出本文方法相对于文献[20]中的方法压缩性能均有所提高。

表 5 本文算法与 HM 4.0 采用的算法的编码性能比较

Tab. 5 Encoder performance comparison between the proposed algorithm and HM 4.0

Class	Δ PSNR/dB	Δ Rate/(%)	Δ Time/(%)
ClassB Average	-0.03	2.11	-30.67
ClassC Average	-0.08	1.77	-28.89
ClassD Average	-0.07	1.88	-31.93
ClassE Average	-0.05	2.15	-29.25
Average	-0.06	1.97	-30.18

表 6 本文算法与文献[20]采用算法的编码性能比较

Tab. 6 Encoder performance comparison between the proposed algorithm and reference [20]

Class	Δ PSNR/(dB)	Δ Rate/(%)	Δ Time/(%)
ClassB Average	0.01	-0.24	-10.36
ClassC Average	0.02	-0.58	-8.59
ClassD Average	0.01	-0.38	-12.49
ClassE Average	0.02	-0.35	-6.25
Average	0.01	-0.46	-11.45

为了更直观地描述编码性能的变化,图 5~

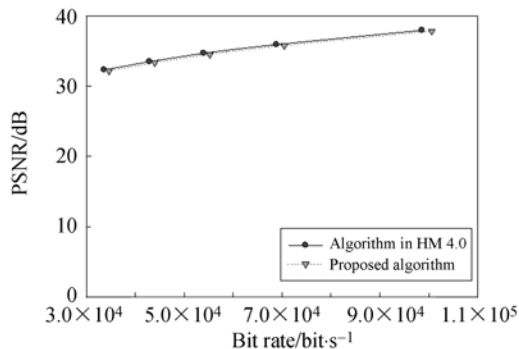


图 5 BQTerrace 率失真曲线

Fig. 5 Rate-distortion curves of BQTerrace

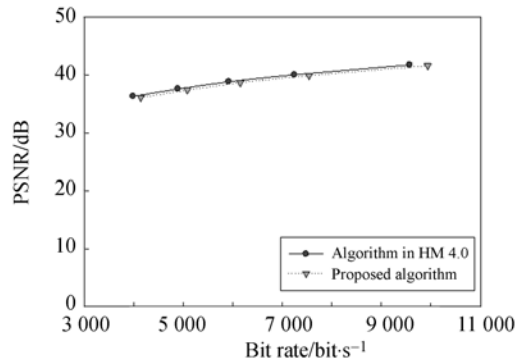


图 6 FourPeople 率失真曲线

Fig. 6 Rate-distortion curves of FourPeople

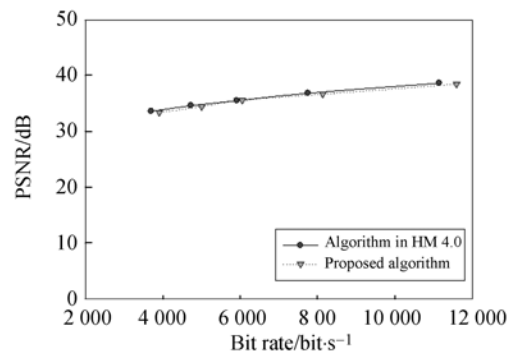


图 7 BasketballDrill 率失真曲线

Fig. 7 Rate-distortion curves of BasketballDrill

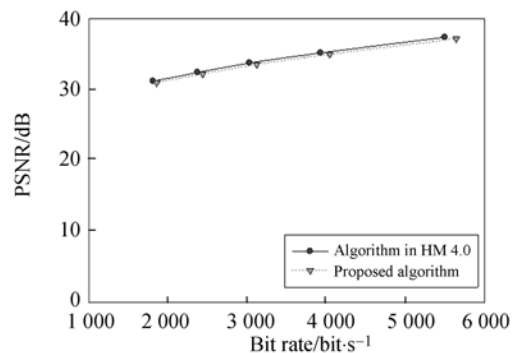


图 8 BlowingBubbles 率失真曲线

Fig. 8 Rate-distortion curves of BlowingBubbles

图 8 分别给出了不同分辨率的视频序列的 RD 曲线图。从图中可以看出,本文算法得到的 RD 曲线与 HM 4.0 中方法得到的 RD 曲线几乎重叠,比特率与图像客观质量 PSNR 相差较小,这表明本文算法的编码性能几乎没有降低。

图 9 给出了视频序列 BQTerrace 的第 4 帧

原始图、HM4.0 方法解码后的图以及本文方法解码后的图。由图 9 可以看出,与 HM4.0 算法相比,本文算法解码图像的主观质量几乎无差别,并且与原始图像主观质量相差不大。这是因为本文算法优先去除了预测最不准的预测模式,故减少了候选预测模式,从而既保证了预测的准确性,也降低了预测的复杂度。



(a) 原始图像
(a) Original image



(b) HM4.0 标准中算法的解码图像
(b) Decoding image of HM4.0 standard



(c) 本文算法的解码图像

(c) Decoding image of the proposed algorithm

图 9 BQTerrace 视频序列解码图像的第 4 帧

Fig. 9 The 4th decoding image of BQTerrace

5 结 论

为了提高编码效率,HEVC 引入了很多先进的编码技术,但同时也极大地增加了编码复杂度,其中编码模式的大量增加是导致编码复杂度增加的一个重要因素。本文在深入研究 HEVC 中帧内预测编码结构的基础上,充分利用最优模式的概率统计以及图像的相关性,提出了帧内预测最优模式选择的优化算法,在编码性能没有明显降低的条件下,大大缩短了编码时间。

实验结果证明:本文所提出的优化算法与 HM4.0 相比,在 PSNR 变化不大的情况下(平均降低 0.17 dB),压缩时间平均降低了 30.18%,很大程度上降低了编码复杂度。

参考文献:

- [1] VIITANEN M, VANNE J, HAMALAINEN T D, *et al.*. Complexity analysis of next-generation HEVC decoder[C]. 2012 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Seoul, Korea, 2012, 882-885.
- [2] SULLIVAN G J, OHM J R. Recent developments in standardization of high efficiency video coding (HEVC)[C]. International Society for Optics and Photonics, San Diego, CA, United States, 2010, 7798:77980V-1-77980V-7.
- [3] HKUST. Results for experiments on Max CU size [C]. JCT-VC Document JCTVC-C259, Guangzhou, 2010.
- [4] 苏睿, 刘贵忠, 张彤宇, 等. 利用变换域信息快速实现 H.264 帧内预测编码的新算法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(1): 161-165.
- [5] SU R, LIU G ZH, ZHANG T Y, *et al.*. Fast mode decision algorithm for intraprediction in H.264/AVC with integer transform [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2007, 29(1): 161-165. (in Chinese)
- [6] KIM C, SHIH H, KUO C J. Multistage mode decision for intraprediction in H.264 codec[C]. Visual Communications and Image Processing, 2004, 5308: 355-363.
- [7] ZHAO L, ZHANG L, MA S W, *et al.*. Fast mode decision algorithm for intra prediction in HEVC [C]. IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP), Tainan, Taiwan, 2011, 1-4.
- [8] G. V W, S. V L, J. D C, *et al.*. Improved intra

- mode signaling for HEVC[C]. 2011 *IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Barcelona, Spain*, 2011, 1-6.
- [8] ZHANG T R, LI SH, TIAN G F, *et al.*. High throughput VLSI architecture of a fast mode decision algorithm for H. 264/AVC intra prediction[C]. *International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS), Fujian*, 2008, 1245-1249.
- [9] TIAN G F, GOTO S. Content adaptive prediction unit size decision algorithm for HEVC intra coding [C]. 2012 *Picture Coding Symposium, Krakow*, 2012, 405-408.
- [10] 蔡晓霞, 崔岩松, 邓中亮, 等. 下一代视频编码标准关键技术[J]. *电视技术*, 2012, 36(2):80-84.
CAI X X, CUI Y S, DENG ZH L, *et al.*. Model of next-generation video standard and relative key technologies [J]. *Video Engineering*, 2012, 36(2): 80-84.
- [11] LAINEMA J, BOSSEN F, HANET W J, *et al.*. Intra coding of the HEVC standard [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(12): 1792-1801.
- [12] XIAO H, YE F, CHEN M, *et al.*. A mode dependent chroma intra smoothing algorithm for emerging HEVC standard[C]. 2012 *3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC), Beijing*, 2012, 448-452.
- [13] UGUR K, ANDERSSON K, FULDSETH A, *et al.*. High performance, low complexity video coding and the emerging HEVC standard[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(12):1688-1697.
- [14] 赵亮. HEVC 帧内模式决策及其核心技术的研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2011.
ZHAO L. *Research on fast intra mode decision and core techniques in HEVC*[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [15] LAINEMA J, UGUR K. Angular intra prediction in High Efficiency Video Coding (HEVC) [C]. *IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP), Hangzhou, China*, 2011, 1-5.
- [16] LAINEMA J, UGUR K. Intra picture coding with planar representations[C]. *Picture Coding Symposium (PCS), Nagoya*, 2010:198-201.
- [17] 金惠美. 浅谈下一代编码压缩技术——HEVC [J]. *数字通信世界*, 2011, (11):62-64.
JIN H X. Introduction to the next generation of compression coding technology——HEVC [J]. *Digitcw*, 2011(11): 62-64.
- [18] 黄朝明. 下一代视频压缩标准 HEVC 的模式选择快速算法研究[D]. 成都:西南交通大学, 2012.
HUANG ZH M. *Study on the fast mode selection algorithm for the next generation video coding standard HEVC*[D]. Chengdu: SouthWest Jiao-Tong University, 2012.
- [19] CHANG L C, KUO C H, LIU B D. A two-stage rate control mechanism for RDO-based H. 264/AVC encoders [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2011, 21(5):660-673.
- [20] CHOI K, JANG E S. Fast coding unit decision method based on coding tree pruning for High Efficiency Video Coding [J]. *Optical Engineering*, 2012, 51(3), 030502-1-030502-3.

作者简介:



祝世平(1970—),男,河北深泽人,副教授,1991年、1994年于西安理工大学分别获得学士、硕士学位,1997年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事图像处理和视频压缩、计算机视觉、机器视觉在精密测量中的应用等方面的研究工作。E-mail: spzhu@163.com



李丽芸(1987—),女,硕士,河北石家庄人,2011年于东北石油大学获得学士学位,2013年于北京航空航天大学获得硕士学位,主要从事图像处理,视频压缩编解码方面的研究工作。E-mail: lly811122@126.com