

DOI: 10.7652/xjtuxb201308018

高效率视频编码快速模式判决算法

李维, 张和仙, 杨付正

(西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室, 710071, 西安)

摘要: 为了降低高效率视频编码(HEVC)的编码复杂度,提出一种新的快速模式判决算法。考虑到视频帧的纹理特性和编码中所采用的量化参数影响最优编码单元(CU)模式的选择,首先提取前一帧的平均分割层数和其最大编码单元(LCU)的最小分割层数来预测当前帧对应位置处 LCU 的最小分割层数,以跳过部分大块 CU 的模式判决;然后计算当前 CU 的运动矢量差值和预测残差系数来决定 CU 的最大分割层数,以避免小块 CU 的模式判决。实验结果表明,与原始的 HEVC 编码方法相比,高效率视频编码快速模式判决算法可平均降低 51% 的编码复杂度,而编码比特率平均只上升了 0.69%。

关键词: 高效率视频编码;快速模式判决;编码单元;量化参数

中图分类号: TN914.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2013)08-0104-06

A Fast Mode Decision Algorithm for High Efficiency Video Coding

LI Wei, ZHANG Hexian, YANG Fuzheng

(State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A fast mode decision algorithm is proposed to reduce the complexity in high efficiency video coding (HEVC) encoder. The potential effects of frame texture and its related quantization parameter on the final decision of optimal coding unit (CU) modes is considered, and the average depth of the previous frame and the minimum depth of its related large coding unit (LCU) are extracted to estimate the minimum depth of collocated LCU in the current frame to skip partial larger CUs in mode decision process. Then the maximum depth for current CU is determined by calculating the parameters of motion vector difference and predicting residues so that the unnecessary mode decision of smaller CUs can be avoided. Experimental results and comparisons with the conventional HEVC show that the proposed algorithm for HEVC achieves an average bit-rate increment of 0.69% whereas the coding complexity has a significant reduction of about 51%.

Keywords: high efficiency video coding; fast mode decision; coding unit; quantization parameter

视频通信获得了日益广泛的应用,然而其庞大的信息量不利于信道传输和介质存储,因此视频压缩技术必不可少。以 H.264/AVC 为代表的压缩标准,具有高的压缩效率和网络适应能力,获得了广泛的应用^[1-2]。随着高清移动视频、超高清数字电视广

播和其他多媒体业务的兴起,视频数据量爆炸性增加,使得视频压缩技术面临新的挑战。如何在有限的带宽内,满足人们对这些超高清视频业务需求变得尤为重要。

2010 年,视频编码联合协同小组(joint collabora-

收稿日期: 2012-12-30。 作者简介: 李维(1985—),女,博士生;杨付正(通信作者),男,教授。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60902081,60902052,61072102);高等学校学科创新引智计划资助项目(B08038)。

网络出版时间: 2013-05-20 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20130520.1010.001.html>

rative team on video coding, JCTVC) 开始制定下一代视频编码标准——高效率视频编码 (high efficiency video coding, HEVC)^[3], 主要针对 240×320 、 416×240 、 830×480 、 1920×1080 、 3840×2160 、 7680×4320 像素的视频格式压缩。

HEVC 利用先进的编码工具, 为不同内容的视频自适应地选择最优的编码模式, 以达到高效的视频压缩, 但其编码复杂度也相应很高^[4]。虽然 HEVC 标准使用了早期编码单元设置 (early coding unit setting, ECU) 以及快速合并模式判决 (fast decision for merge, FDM) 等方法^[5-6] 来减少编码模式的候选集, 但运算量仍然很大。本文在主频为 2.67 GHz, 内存为 2 GB, 操作系统为 windowsXP 的一台 PC 机进行测试, 结果表明: 与高档次 (high profile, HP) 配置下的 H. 264/AVC 标准相比, 中档次 (main profile low-delay, MPLD) 配置下的 HEVC 标准可平均减少 35% 的编码比特率, 但复杂度却是 H. 264/AVC 标准的 1.3 倍; HEVC 编码 1 帧 720P 的图像平均耗时 22 s, 编码 1 帧 1080P 的图像平均耗时 110 s。因此, 有必要研究 HEVC 的快速编码算法。

Cassa 等人提出为不同的编码单元 (coding unit, CU) 中的预测模式设置门限^[7], 如果当前模式的率失真代价小于阈值, 则提前终止 CU 分割。Jongho 等人通过比较 skip 模式下的率失真代价和阈值, 来确定是否提前终止 CU 分割^[8], 以上 2 种方法均未考虑视频内容的差异, 采用硬判决的方式来确定最优的 CU 模式, 对编码效率的影响较大, 且编码复杂度较高。因此, 本文提出一种新快速模式判决算法, 跳过或提前终止部分不必要的 CU 模式, 以缩短编码时间。实验结果表明, 本文算法可平均降低 51% 的编码复杂度, 而编码比特率平均只上升了 0.69%。

1 HEVC 编码模式判决及复杂度分析

由于高分辨率视频业务的自身特性, 基于传统宏块编码方式的视频压缩标准均具有一定的局限性。为更灵活有效地表示其视频内容, HEVC 采用了自适应的四叉树结构分割技术和各种先进的编码工具。这种特性有助于编码器根据视频内容特性、视频应用和终端的特性来自适应地选择编码模式, 以达到最优性能。

CU 被定义为以 2 的幂次方为高的正方形^[9], 其大小由 8×8 、 16×16 、 32×32 、 64×64 像素共 4 种

模式。对应的编码层数 (C_d) 分别是 0、1、2、3。帧内/帧间预测、变换量化和熵编码等操作都在 CU 中完成。在编码中, 每个最大编码单元 (LCU) 按照四叉树结构被划分为较小的 CU, 直到达到最大层数。图 1 给出了视频帧格式为 128×128 像素、LCU 为 64×64 像素时的 CU 划分方式。

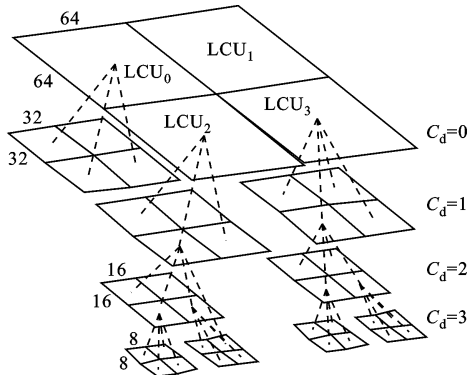


图 1 LCU 中 CU 的划分方式

确定一个 LCU 的最优的四叉树结构, 需遍历共 85 种 CU 模式, 即 1 个 64×64 像素的 CU 模式, 4 个 32×32 像素的 CU 模式, 16 个 16×16 像素的 CU 模式, 64 个 8×8 像素的 CU 模式。每一种 CU 模式 ($2N \times 2N$, $N=4, 8, 16, 32$) 又需遍历各种预测模式和变换模式, 包括帧内的 35 种预测模式, 帧间的 skip 模式、 $2N \times 2N$ 、 $2N \times N$ 、 $N \times 2N$ 、 $N \times N$ 、非对称分割 (asymmetric partition, AMP) 模式, 以及 4×4 、 8×8 像素等不同大小的变换单元模式。根据每一种模式下得到的编码码率 R_{mode} 和失真度 D_{mode} 计算率失真代价^[10-11]

$$J_{mode} = D_{mode} + \lambda_{mode} R_{mode} \tag{1}$$

式中: λ_{mode} 为拉格朗日因子。最终选择率失真代价最小的编码模式作为 LCU 的最优编码模式。图 2 给出了一视频帧的最优 CU 模式示意图。



图 2 最优 CU 模式示意图

视频序列涉及大量的视频帧, 每一个视频帧被分割成为数不少的 LCU 单元, 每一个 LCU 又需遍

历所有的 CU 模式。整个模式判决过程不仅占用大量的内存空间,而且非常耗时,不利于视频内容的存储和传输,特别是对时延要求特别苛刻的实时、交互式业务。因此,在保证视频质量的前提下,为 HEVC 编码建立一种快速的模式判决算法是非常必要的。考虑到 CU 有 8×8 、 16×16 、 32×32 和 64×64 像素共 4 种模式,本文首先测试其各个 CU 模式所耗时间占整个模式判决时间的比例,为快速模式判决算法的研究做准备。具体为:使用 HEVC 参考软件 HM8,在 MPLD 编码配置下,统计不同序列下 C_d 所耗的编码时间在整个模式判决中的分布情况,如图 3 所示。由图 3 可以看出,随着 C_d 的增大,需编码的 CU 个数随之增多,相应的编码时间也就越大。当 C_d 为 3 时,即 CU 模式取 8×8 ,其耗时占整个 CU 模式判决的 1/3 以上。

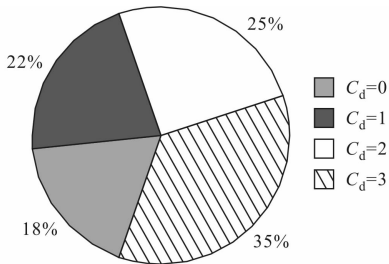


图 3 不同 C_d 所耗编码时间占整个模式判决时间的比例

2 快速模式判决算法

通常情况下,视频内容对 CU 模式的选择影响很大。当视频纹理分布比较平坦时,编码器在很大程度上会选用大块的 CU 模式;相反,当视频纹理分布趋于复杂,小块的 CU 模式适于作为最优的编码模式,如图 4 所示。此外,CU 模式的选择也与量化参数 Q_p 密切相关。在 Q_p 较小时,视频帧中的整体 C_d 取值偏大;在 Q_p 较大时,其 C_d 取值整体偏小。



图 4 PartyScene 视频帧中不同纹理特性的最优 CU 模式

表 1 给出了不同序列和 Q_p 下,最优编码层数 (C_d^*) 占整个可选编码层数 (C_{dall}) 的比例 η 。由表 1 可见,对于纹理较为复杂的 Bsquare (Bq) 序列,当

Q_p 较小时,HEVC 选用的 C_d^* 为 2、3 的情况居多,而 64×64 像素的 CU 模式没有作为最优的模式被编码器使用。这种情况下如果编码器跳过 64×64 像素的 CU 模式,直接进行 32×32 像素的 CU 模式,则会降低近 18% 的编码复杂度,如图 3 所示。Vidyo1 (Vi) 序列的纹理趋于平坦, Q_p 较大时, HEVC 几乎不选用 C_d^* 为 3 的模式。从图 3 可知,编码层数为 3 时所耗时间最多,但对最终的模式判决结果贡献较少。如果编码器提前终止该模式的运算,将会大幅度降低编码复杂度。基于上述分析,本文提出一种快速模式判决算法。该算法针对这 2 种特性,分别建立相应的解决方案来降低 HEVC 的编码复杂度。

表 1 不同序列和量化参数下 C_d^* 占 C_{dall} 的比例

Q_p	序列	$\eta/\%$			
		$C_d^*=0$	$C_d^*=1$	$C_d^*=2$	$C_d^*=3$
22	Bq	0.00	17.17	35.18	47.61
	Vi	40.91	29.21	21.53	8.32
27	Bq	2.32	30.55	37.98	29.14
	Vi	57.58	24.89	13.59	3.93
32	Bq	12.91	44.18	30.44	12.44
	Vi	66.31	20.87	10.33	2.41
37	Bq	26.48	44.03	23.72	5.75
	Vi	73.70	16.35	8.40	1.53

2.1 LCU 初始分割层数预测算法

对于纹理复杂的视频序列,当 Q_p 较小时,较小的 CU 很可能会被选为最优的 CU 模式。如果编码器在模式选择中跳过大块的 CU 模式,即预测出合适的 C_d 初始值,将对编码复杂度的降低有较大帮助。通常视频序列之间存在很强的相关性,这种特性也被使用到 HEVC 的编码工具中,例如先进的运动矢量预测 (advanced motion vector prediction, AMVP)。因此,当前帧的 LCU 分割方式与前一帧对应的 LCU 分割方式也存在相关性,即对于前一帧的 LCU 未使用的 C_d ,当前帧对应位置上的 LCU 以很大比例也不会使用该 C_d 。为了验证这一现象,本文统计了不同序列下前一帧对应的 LCU 的最小 C_d (C_{d1}) 小于或等于当前帧 LCU 的最小 C_d (C_{d2}) 的概率 φ ,如表 2 所示。从表 2 可以看出,当前帧 LCU 的最小 C_d 有很大可能大于或等于前一帧对应 LCU 的最小 C_d 。因此,本文提出根据前一帧中 LCU 的最小 C_d 来预测当前帧对应位置上的 LCU 初始 C_d ,

以此跳过模式判决过程中无贡献的 CU 模式。

表 2 不同序列和量化参数下 C_{d1} 小于或等于 C_{d2} 的层数占整个可选层数的比例

Q_p	序列	$\varphi/\%$
22	Bq	89.48
	Vi	86.67
27	Bq	84.13
	Vi	89.79
32	Bq	81.94
	Vi	91.35
37	Bq	82.73
	Vi	93.80

然而,上述方法没有考虑视频帧所采用的 Q_p 对分割层数的影响。一般地,在固定 Q_p 编码方案中,为保证总码率的恒定,视频帧所使用的 Q_p 会在固定 Q_p 的基础上增加一定的偏移量(O_f)。为了保证视频质量不会产生太大的波动, O_f 的取值较小。例如在 MPLD 配置下,帧间编码的视频帧的 O_f 可选取的值为 1、2、3。如果固定 Q_p 取值为 22,则帧间编码的帧可采用的 Q_p 有 23、24、25。这种情况下,如果前一帧的 Q_p 小于当前帧的 Q_p ,则前一帧的最优 CU 模式很可能选用小块 CU,而后一帧的最优 CU 模式很可能选用大块 CU,此时使用前一帧 LCU 的分割层数来预测当前帧 LCU 的分割层数,仍会造成在模式选择中对部分不必要的 CU 模式做判决。因此提出使用平均分割层数(A_{Fd})来衡量视频帧的整体分割层数,根据前一帧的 A_{Fd} 来确定是否对预测的 C_d 进行修改。

为了便于计算,定义 A_{Fd} 的获取方法为:首先将一个 LCU 分割为 256 个 4×4 像素子块,得到每个子块所处的分割层数 S ,然后根据式(2)计算出 LCU 的平均分割层数(A_{Ld}),继而按照式(3)计算出当前帧的平均分割层数 A_{Fd} 。

$$A_{Ld} = \sum_{i=1}^{256} S_i / 256$$

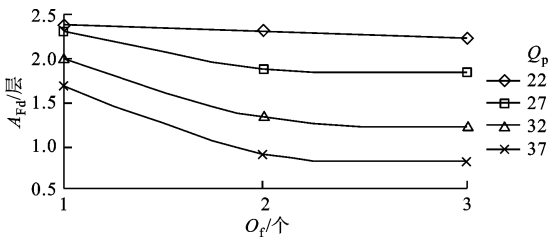
(2)

$$A_{Fd} = \sum_{i=1}^{N_L} A_{Ld,i} / N_L$$

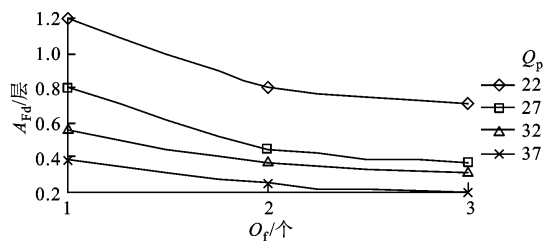
(3)

式中: N_L 表示视频帧内所含 LCU 的个数。视频帧的分割层数与其所采用的 Q_p 密切相关:当视频帧采用较大 Q_p 时,大块 CU 很可能被选为最优模式,平均分割层数较小;当视频帧采用较小 Q_p 时,小块 CU 很可能被选为最优模式,平均分割层数较大。图 5 给出了不同 Q_p 下 O_f 与 A_{Fd} 的关系。由图 5 可

以看出,随着 O_f 的增加,即视频帧采用的 Q_p 变大, A_{Fd} 的取值逐渐减小。根据前一帧 Q_p 与当前帧 Q_p 的大小关系,使用前一帧的 A_{Fd} 来调整当前帧 LCU 初始 C_d 。因此,本文提出:如果前一帧的 Q_p 小于当前帧的 Q_p ,且前一帧 LCU 的最小 C_d 大于该帧的 A_{Fd} ,则当前帧对应位置上 LCU 的初始 C_d 被预测为前一帧 LCU 的最小 C_d 减 1。



(a) Bsquare



(b) Vidyo1

图 5 固定量化参数下 O_f 与 A_{Fd} 的关系

令 F_n 表示当前帧, F_{n-1} 表示前一帧,具体提出的 LCU 初始 C_d 预测算法如下:

- (1) F_n 是 I 帧或是第一个 P 帧,则初始 C_d 赋值为 0;
- (2)如果 F_n 不满足步骤 1 条件,则执行步骤 3~5;
- (3)利用式(2)、式(3)计算 F_{n-1} 的 A_{Fd} 值;
- (4)获取 F_{n-1} 对应位置上 LCU 的最小 C_d 值 $C_{d,min}$;

(5)如果 $Q_{p,n-1} < Q_{p,n}$,且 $C_{d,min} > A_{Fd}$,则当前帧的 LCU 初始 C_d 值为 $(C_{d,min} - 1)$;否则,值为 $C_{d,min}$ 。

按照上述算法最终预测出 LCU 的初始 C_d ,且该值应仍应在 0~3 范围内。

2.2 提前终止 CU 模式算法

对于纹理平坦的序列,HEVC 更适于选用大块 CU 作为最优的 CU 模式。在这种情况下,如果编码器能够在模式判决中提前终止不必要的 CU 模式,将会大幅度减少编码时间。因此,本文提出一种提前终止不必要 CU 模式的算法。

目前,HEVC 中已使用了基于 skip 模式的提前终止算法^[3],即在模式判决过程中,如果 skip 模式

为当前 CU 的最优编码模式,则停止对当前 CU 的进一步四叉树分割。skip 模式的判定需满足以下几点:①当前的预测单元模式为 $2N \times 2N$, $N=4, 8, 16, 32$;②运动参数集直接可以通过 Merge 技术获取;③亮度和色度残差经量化后的所有系数为 0。

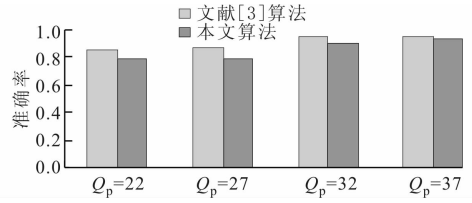
如果当前 CU 的最优编码模式是 skip 模式,则当前编码分割层数是最优的编码层数的可能性很大。此时若提前终止对 CU 的进一步分割,不仅可以减少 CU 模式判决过程所耗时间,且对编码效率影响不大。

本文提出一种新的提前终止 CU 模式算法:在模式判决过程中,如果当前 CU 的最优编码模式中运动矢量差值为 0,且亮度和色度残差经量化后的所有系数为 0,就终止对当前 CU 的进一步分割。表 3 分别给出了文献[3]算法和本文算法中提前终止的 C_d 占整个可取 C_d 的比例 α 。由表 3 可见,与文献[3]算法相比,本文算法能够提前终止更多的 CU 模式,同时本文分别测试了文献[3]算法和本文算法的 C_d 是最优 C_d 的准确率,如图 6 所示。由图 6 可以看出,在 Q_p 较大时,与文献[3]算法相比,本文算法的准确率略有下降,但下降程度很小,这是由于本文算法提前终止了更多的 CU 模式,从而增大了 C_d 不是最优 C_d 的概率;在 Q_p 较小时,无论是文献[3]算法还是本文算法,准确率都略低,这是因为在这种情况下,视频帧更适于选用小块 CU 模式,使用提前终止 CU 模式算法的次数较少,所以对编码效率的影响也不大。此外,还可以观察到纹理平坦的视频序列更易于选用提前终止 CU 模式算法。

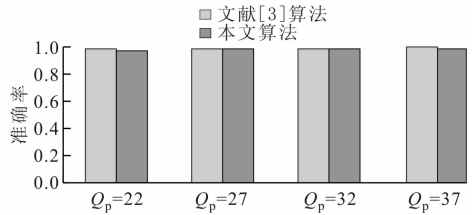
表 3 提前终止的 CU 模式占整个 CU 模式的比例

Q_p	序列	$\alpha/\%$	
		文献[3]算法	本文算法
22	Bq	20.15	30.56
	Vi	54.42	78.60
27	Bq	38.64	59.05
	Vi	74.67	88.94
32	Bq	55.73	71.40
	Vi	84.15	93.45
37	Bq	68.80	83.00
	Vi	90.40	96.06

综上,本文提出的 HEVC 快速模式判决算法由 LCU 初始分割层数预测算法和提前终止 CU 模式算法 2 部分构成,其流程图如图 7 所示。



(a) Bsquare



(b) Vidyol

图 6 2 种算法获得的 C_d 是最优 C_d 的准确率

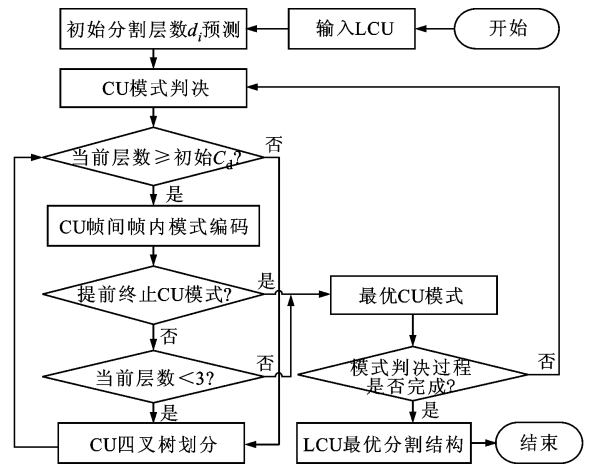


图 7 HEVC 快速模式判决算法流程图

3 性能评价

将本文算法加入到 HEVC 参考软件 HM8 中,从编码效率和编码复杂度两方面与原有的 HEVC 编码方法进行对比。测试序列选用 JCTVC 提供的标准序列,其涵盖了不同纹理、不同分辨率的视频,包括 Bsquare (Bq)、RaceHorses (Ra)、Vidyol (Vi)、BasketballDrive (Ba) 及 Traffic (Tr) 序列,其各自对应的分辨率分别为 416×240 、 832×480 、 1280×720 、 1920×1080 和 2560×1600 像素。实验在 MPLD 编码配置下进行^[12]。 Q_p 分别设置为 22、27、32、37。

本文使用比特率差 ΔR_{bit} 和峰值信噪比差 ΔP_{SNR} 作为编码效率的评价指标^[13]。编码复杂度使用编码时间差 ΔT 进行度量,定义为

$$\Delta T = \frac{T_{original} - T_{proposed}}{T_{original}} \times 100\% \quad (4)$$

式中: T_{original} 表示原始 HEVC 编码所耗时间; T_{proposed} 表示 HEVC 使用快速模式判决算法后编码所耗时间。表 4 给出了本文提出的 LCU 初始 C_d 预测算法(算法 1)、提前终止 CU 模式算法(算法 2)、以及综合以上 2 种算法的快速模式判决算法(算法 3)分别与原始 HEVC 编码算法进行比较的结果。从表 4 中可以看出,相比于原有 HEVC 算法,LCU 初始 C_d 预测算法、提前终止 CU 模式算法和快速模式判决算法的编码性能都略微有所下降,下降的原因是由于快速模式判决算法的使用,致使部分非最优模式被判为最优的编码模式。从实验数据来看,本文算法对视频质量的影响很小,且大幅度降低了编码复杂度,编码时间可以缩短至原来的 50%。提前终止 CU 模式算法要比 LCU 初始 C_d 预测算法带来的贡献大,平均节省了 37.40%的编码时间,而两者的视频质量几乎相当。

对于纹理平坦的视频序列 Vidyol,在模式判决

过程中更适于选用大块 CU 模式。因此,采用 LCU 初始 C_d 预测算法的编码时间是原始算法编码时间的 0.94 倍;采用提前终止 CU 模式算法的编码时间是原始算法编码时间的 0.36 倍。对于纹理较为复杂的视频序列 Bsquare,在模式判决过程中既可以跳过不必要的大块 CU 模式,又可以避免不必要的小块 CU 模式,采用 LCU 初始 C_d 预测算法和提前终止 CU 模式算法的编码时间分别是原始算法编码时间的 0.74 倍和 0.67 倍。可见本文提出的快速模式判决算法适合于各种纹理特性的视频序列,该算法能够在 CU 模式判决过程中有效地避免对部分不必要的大块 CU 和小块 CU 进行模式判决,在保证一定的编码效率前提下,编码复杂度有大幅度的降低。表 4 提供了文献[7-8]的性能测试结果。可以看出,本文提出的快速模式判决算法优于文献[7-8]算法。

表 4 本文提出的算法与文献算法的性能对比结果

序 列	$\Delta P_{\text{SNR}}/\text{dB}$					$\Delta R_{\text{bit}}/\%$					$\Delta T/\%$				
	本文 算法 1	本文 算法 2	本文 算法 3	文献 [7] 算法	文献 [8] 算法	本文 算法 1	本文 算法 2	本文 算法 3	文献 [7] 算法	文献 [8] 算法	本文 算法 1	本文 算法 2	本文 算法 3	文献 [7] 算法	文献 [8] 算法
Bq	-0.027	-0.028	-0.026	-0.074	-0.054	0.68	0.76	0.68	1.78	0.97	25.22	32.07	47.98	40.70	42.19
Ra	-0.011	-0.022	-0.027	-0.097	-0.089	0.26	0.53	0.64	2.35	2.21	23.31	15.38	39.97	38.15	37.62
Vi	-0.015	-0.001	-0.002	-0.083	-0.065	0.35	0.06	0.15	2.03	1.47	5.24	63.25	66.32	54.49	41.25
Ba	-0.017	-0.012	-0.021	-0.067	-0.059	0.81	0.55	0.97	1.62	1.25	6.03	28.98	49.11	44.74	40.29
Tr	-0.018	-0.013	-0.030	-0.062	-0.077	0.66	0.25	0.99	1.38	1.84	13.84	47.32	53.65	41.83	39.23
均值	-0.017	-0.015	-0.021	-0.076	-0.068	0.55	0.43	0.69	1.83	1.54	14.72	37.40	51.40	43.98	40.11

4 结 论

HEVC 中 CU 模式判决过程是造成编码复杂度高的主要原因。针对该问题,本文提出了一种快速模式判决算法,包含 LCU 初始分割层数预测算法和提前终止 CU 模式算法 2 部分。本文算法用于在 CU 模式判决过程中跳出或终止部分不必要的 CU 模式,在保证一定的编码效率下可大幅度地降低编码复杂度,且适合于不同纹理的视频序列。实验结果表明,本文提出的快速模式判决算法可平均降低 51%的编码复杂度,而编码比特率平均只上升了 0.69%。

参考文献:

[1] WIEGAND T, SULLIVAN G J, LUTHRA A. Overview of the H. 264/AVC video coding standard [J].

IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003,13(7):560-576.
[2] 苏洪磊,李兵兵,杨付正. H. 264/AVC 网络视频编码失真评估的比特流层模型 [J]. 西安交通大学学报, 2012,46(6):36-41.
SU Honglei, LI Bingbing, YANG Fuzheng. A bitstream-layer model for assessing coding distortion of H. 264/AVC networked video [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2012,46(06):36-41.
[3] Telecommunication Standardization Sector. ITU-T recommendation H. 265 high efficiency video coding [S]. Geneva, Switzerland: Telecommunication Standardization Sector, 2013.
[4] OHM J R, SULLIVAN G J, SCHWARI H, et al. Comparison of the coding efficiency of video coding standards: including high efficiency video coding (HEVC)

(下转第 140 页)