

文章编号 1004-924X(2015)增-0577-06

基于尺度相似性的高效率视频编码 快速帧间深度判决

吴宪云*, 高媛媛, 李云松, 雷 杰, 刘 凯

(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, 陕西 西安 710071)

摘要: 为了提高高效率视频编码(HEVC)的编码效率,对帧间预测算法进行了优化,提出一种基于视频序列尺度相似性的快速深度判决算法。视频序列相邻图像之间时域相差很短,因而帧间图像有很强的尺度相似性。本文分析了相邻帧同位编码单元(CU)划分深度的相似性。在当前 CU 进行深度划分时,利用其参考帧的同位 CU 深度信息快速判断当前 CU 深度,跳过或者提前终止一些不必要的深度划分,从而减少 CU 划分次数,降低编码复杂度,然后采用 SKIP 模式完成快速判决。实验结果表明,与原始的 HEVC 算法相比,本文所提算法编码比特率平均降幅为 0.58%,峰值信噪比的平均降幅约为 0.09 dB,算法运行时间平均节省了约 52%。

关键词: 高效视频编码;帧间预测;深度判决;编码单元;尺度相似性

中图分类号: TN914.42 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152313.0577

Determination of fast inter depth for HEVC based on dimensional similarity

WU Xian-yun*, GAO Yuan-yuan, LI Yun-song, LEI Jie, LIU Kai

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

* Corresponding author, E-mail: xywu@mail.xidian.edu.cn

Abstract: A fast depth decision algorithm for High Efficiency Video coding(HEVC) based on dimensional similarity in video sequences is proposed to improve its coding efficiency. As the difference between adjacent frames is in temporal, it implies strong dimensional similarity in inter-frame prediction. This paper analyzes the similar probability in Coding Unit(CU) depth between adjacent frames to pre-determine the depth of current CU. When the current CU does the depth splitting, its reference frame's CU depth information can be used to estimate the current CU depth. Then, it will jump over or stop some unnecessary deep splitting and to decrease the number of CU splittings and the coding computational complexity. The SKIP fast mode is also adopted to perform the fast determination. Experimental result shows that proposed algorithm reduces coding complexity by 52% as compared with original HEVC algorithm. Meanwhile, the average Peak Signal to Noise Ratio(PSNR) only decreases

收稿日期:2015-05-13;修订日期:2015-06-08.

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(2013M540735);国家自然科学基金资助项目(No. 61301291, No. 61301287, No. 61222101)、111 计划资助项目(B08038);陕西省科技创新团队资助项目;中央高校基本科研业务费专项基金资助项目

0.09 dB and the average coding rate is decreased by approximately 0.58%.

Key words: High Efficiency Video Coding (HEVC); inter prediction; depth decision; Coding Unit (CU); dimensional similarity

1 引言

数字视频应用产业链的快速发展使得面向视频的应用逐渐向高清晰度、高压缩率、高帧率信息方向发展,而视频的高分辨意味着更大的数据量,因此,如何在有限的带宽和存储空间内满足人们对超高清视频的需求成为日益重要的问题。同时,远程监控、视频流媒体等领域对视频压缩的要求越来越高^[1-3]。2010年4月,JCT-VC发布了新一代高效率视频编码(High Efficiency Video Coding, HEVC)^[4]标准。该标准针对不同内容属性的视频可以自适应选择最优的编码模式,从而获得高效的视频压缩效果。与前一代视频压缩标准 H. 264/AVC High profile 相比,其压缩比可以提高 50%,但编码复杂率也相应提高^[5]。所以如何在保证图像质量和压缩效率的前提下,有效地提升编码速率是实现视频实时压缩最关键的问题。

HEVC 采用基于块的编码框架,即采用更大的划分块对图像进行编码,以获得更好的编码性能^[6]。文献[7]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[8]提出自适应深度遍历方法,该方法通过当前编码块单元(Coding Unit, CU)的空域相关性来预测当前最大编码单元(Largest Coding Unit, LCU)的 CU 深度,但提高效率效果有限。

基于此,本文提出了一种基于尺度相似性的 HEVC 快速帧间深度判决算法。在 CU 进行深度划分时,借鉴其参考帧的同位 CU 的深度及其邻域,跳过或者提前终止 CU 深度划分,从而减少 CU 划分次数。采用 SKIP 快速算法,在保证一定图像质量和压缩性能的基础上^[9],显著地提高了编码速率。

2 CU 划分深度复杂度分析

HEVC 采用了基于四叉树的块划分结构,编

码单元支持从最小为 8×8 的块单元到最大为 64×64 的块单元,四叉树划分深度也增加到 4 层。为了选择最优的 LCU 划分方式,需要遍历所有划分深度,对于每种深度均需要进行预测、变换、量化和熵编码,来求得当前的率失真代价,依此判断是否继续划分^[10]。如图 1 所示,HEVC 根据当前层 CU 率失真代价与下一层 4 个子 CU 的率失真代价的总和来判断当前层 CU 是否划分。

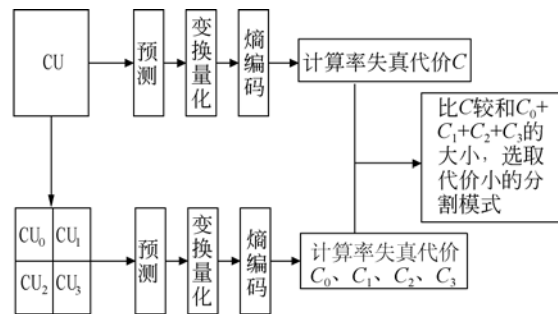


图 1 CU 划分流程图示意图

Fig. 1 Schematic of CU splitting

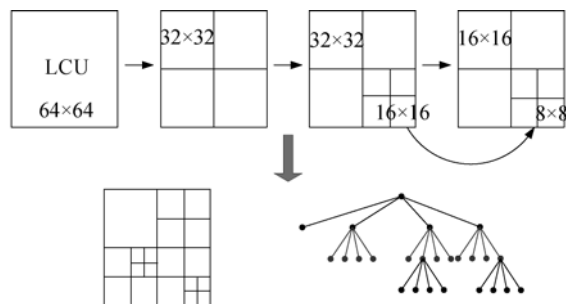


图 2 CU 最优划分结构示意图

Fig. 2 Quad-tree traversal of CU splitting

对于每个 CU 来说,四叉树遍历后得到最优的树形结构如图 2 所示。

HEVC 采用递归方式将 LCU 分割成 4 个大小相等的 CU,每个 CU 都需要进行预测、变换、量化和熵编码^[11-12],且每次遍历均需要计算最优预测模式,同时还要进行变换量化和熵编码,以确定 TU 划分方式,进而得到当前块的率失真代价,计算复杂度非常高。相比 H. 264, HEVC, CU 具有宏块更大、更灵活的块划分结构,这可以有效提高编码效率,却导致了计算量的急剧增长^[13-16],所

以很有必要对 CU 深度划分进行优化。

3 快速帧间深度判决算法的实现

3.1 视频序列尺度相似性分析

视频本质上是由一系列连续的图像序列组成的,相邻图像之间时域相差很短,往往表现出很强的相关性^[17-18]。相邻图像所拍摄景物的变化一般较小,表现出较强的尺度相关性,所以相邻帧的 CU 划分深度具有很大的相似性。根据这一特性找到当前 CU 的参考帧同位 CU 的划分深度,记为 d_{SCU} ,当前 CU 的深度记为 d_{CU} ,对 P 帧的每一个 CU 相对应的 d_{SCU} 与 d_{CU} 依次进行比对,定义变量 RATE 来讨论二者的关联性:

(1)若 RATE 表示当前 CU 与参考帧同位 CU 深度相同的概率,定义 RATE 为:

$$RATE = R_{SAME} / T, \quad (1)$$

其中定义变量 R_{SAME} 初始值为 0,如果 $d_{SCU} = d_{CU}$, R_{SAME} 加 1,反之不变。同时,记当前序列中 CU 总数为 T 。

(2)若 RATE 表示当前 CU 与参考帧同位 CU 深度相似的概率,定义 RATE 为:

$$RATE = R_{SIMILAR} / T, \quad (2)$$

公式(2)中 $R_{SIMILAR}$ 初始值为 0,若 $d_{SCU} - 1 \leq d_{CU} \leq d_{SCU} + 1$, $R_{SIMILAR}$ 加 1,反之不变。同时,记当前序列中 CU 总数为 T 。

为了证明这种选取策略的合理性,比较相邻帧 CU 划分深度的相似性,我们选取 BlowingBubbles(416×240)、BasketballDrill(832×480)、Vidyo1(1080×720)和 ParkScene(1920×1080)四组分辨率不同的序列进行测试。每组序列选取 100 帧图像,统计相邻帧 CU 划分尺度相同或相似的概率,即分别统计公式(1)以及公式(2)的情况下 RATE 的大小,得到的结果分别如表 1、表 2 所示。

表 1 相邻帧 CU 划分尺度相同概率

Tab.1 Probability of consecutive frames with same CU depth

序列/pixel	RATE/(%)
BlowingBubbles(416×240)	57.4
BasketballDrill(832×480)	69.3
Vidyo1(1280×720)	82.2
ParkScene(1920×1080)	54.9

表 2 相邻帧 CU 划分尺度相似概率

Tab.2 Probability of consecutive frames with similar CU depth

序列/pixel	RATE/(%)
BlowingBubbles(416×240)	90.2
BasketballDrill(832×480)	95
Vidyo1(1280×720)	97.5
ParkScene(1920×1080)	89.2

由表 1 结果可以看出 d_{CU} 与 d_{SCU} 相同的概率较高,但仍然会有很大的误判率。而在将当前 CU 深度扩充到参考帧同位 CU 深度加 1 减 1 范围内时,RATE 值会有大幅度的提升,误判率明显下降,这也证明了第二种 CU 深度选取方法的合理性。

SKIP 模式不需要编码量化后的残差,具有相当高的预测精度^[19-20],并且可以大大减少编码和划分复杂度。为了进一步提高本文算法效率,本文采用了 SKIP 模式快速判决。

3.2 快速帧间深度判决算法

由于视频序列的时域相关性和尺度相似性,当前 CU 与参考帧同位 CU 划分深度存在很强的相似性,故参考帧的同位 CU 深度及其邻域用来预测当前 CU 深度。基于此,本文提出了一种基于尺度相似性的快速帧间深度判决算法,在决定当前 CU 划分深度时,利用参考帧同位 CU 的深度信息做加一、减一操作,跳过或者提前终止一些不必要的 CU 深度划分,从而减少 CU 划分深度,同时采用 SKIP 模式进行快速判决。具体算法如下:

步骤 1:如果当前帧是 I 帧,正常编码,否则执行步骤 2;

步骤 2:当前 CU 深度小于前一帧相同位置处 CU 深度减 1,忽略当前编码,直接将其划分为 4 个子 CU 进行处理,否则进行步骤 3;

步骤 3:当前 CU 深度大于前一帧相同位置处 CU 深度,只完成当前深度的计算,不再划分,否则执行步骤 4;

步骤 4:对当前 CU 进行正常编码并继续划分。

算法流程图如图 3 所示。

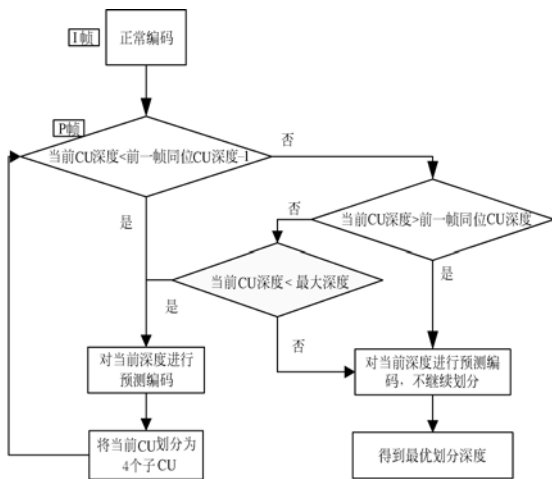


图 3 本文算法流程

Fig. 3 Flowchart of proposed algorithm

4 性能测试与结果分析

本文选取了不同分辨率的测试序列,分别对原始算法和本文提出的改进算法进行实验,以检验改进算法的有效性。将本文算法加入到 HM10.0^[21] 代码进行修改,并实现其功能,改进算法与原始算法采用相同的配置,CTU 的最大尺寸设置为 64×64,编码块的最大划分深度设置为 3。所有实验采用同一计算机测试平台,硬件配置为 Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU、2.93GHz 主频、2.00 GB 内存,编译及运行环境均为 VS2010。实验选取了 4 种不同纹理、运动特征和分辨率的测试序列,分别为 BlowingBubbles(分辨率为 416×240)、BasketballDrill(分辨率为 832×480)、Vidyo1(分辨率为 1280×720)和 ParkScen(分辨率为 1920×1080),分别采用不同的 QP(22、27、32、37)进行测试。

本文采用比特率差值百分比(ΔBit)和峰值信噪比差值(ΔPSNR)作为编码效率的评价标准。Δt 是时间差值的百分比,作为编码复杂度的度量值。

$$\Delta t = \frac{t_i - t_o}{t_o} \times 100\% \quad (3)$$

表 3 为本文算法的测试结果,由表中数据可以看出,采用快速帧间深度判决算法的码流比原版码流平均减少了 0.58%,平均节省时间为 52.49%,而 PSNR 值只降低了 0.09 dB。相比于 HEVC 现有快速算法,本文提出的算法在编码性

表 3 本文算法编码性能测试结果

Tab. 3 Comparison of proposed algorithm with HM encoder

QP	Sequence	ΔBit / (%)	Δ PSNR / dB	Δ t / (%)
22	Blowbubbles	0.18	-0.04	36.08
	BasketballDrill	0.37	-0.03	35.24
	Vidyo1	-1.60	-0.05	57.15
27	ParkScene	-0.47	-0.05	40.56
	Blowbubbles	-0.47	-0.09	39.50
	BasketballDrill	-0.28	-0.07	38.20
32	Vidyo1	-1.70	-0.08	70.57
	ParkScene	-0.48	-0.09	44.53
	Blowbubbles	-0.13	-0.13	40.96
37	BasketballDrill	-0.44	-0.10	48.33
	Vidyo1	-1.32	-0.09	76.20
	ParkScene	-0.40	-0.11	56.87
Average	Blowbubbles	-0.39	-0.13	50.00
	BasketballDrill	-0.75	-0.10	56.74
	Vidyo1	-0.67	0.08	81.57
Average		-0.58	-0.09	52.49

能损失较小情况下,大大提高了编码效率。结合视频序列分辨率信息,由表 3 可以看出,在相同情况下分辨率越高,编码复杂度降低的越多,性能越好。因此,本文算法对高清视频的编码性能损失较小,这种现象符合 HEVC 对高清视频编码的要求,充分体现了本文提出算法在 HEVC 中的意义。



(a)原始算法重建图像 (PSNR 31.32dB) (b)本文算法重建图像 (PSNR 31.23dB)
(a)Results of original method (b)Results of proposed method

图 4 BasketballDrill 第 17 帧重建图像结果对比

Fig. 4 Comparison of reconstruction results by proposed algorithm and HM encoder

图 4 为序列 BasketballDrill 的重建图像,其中,4(a)为 HM10.0 原始算法恢复出来的重建图像,4(b)为使用本文算法恢复出的重建图像。通过对比可以看出,本文提出并实现的快速帧间深度判决算法可以保证与原算法几乎一致的图像质量。

5 结 论

随着视频应用的快速发展,视频图像的分辨率越来越高,视频信息的数据量也随之剧增,这给存储和传输带来了巨大压力。基于视频序列的尺

度相似性,本文提出了一种快速帧间深度判决算法,利用参考帧的同位 CU 深度信息快速判断当前 CU 深度,跳过或者提前终止一些不必要的深度划分,从而减少 CU 划分次数,降低编码复杂度。实验结果表明,在保证一定的图像质量基础上,本文算法能够节省 52% 的编码时间。

参考文献:

- [1] 蒋刚毅,杨小祥,彭宗举,等. 高效视频编码的快速编码单元深度遍历选择和早期编码单元裁剪[J]. 光学精密工程,2014,22(5):1322-1330.
JIANG G Y, YANG X X, PENG Z J, *et al.* Fast CU depth range selection and early CU pruning for HEVC[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(5):1322-1330. (in Chinese)
- [2] 祝世平,张玲. 基于分形和 H. 264 的视频编码系统[J]. 光学精密工程,2013,21(3):774-781.
ZHU SH P, ZHANG L. Video coding system based on fractal and H. 264[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(3):774-781. (in Chinese)
- [3] 吴银花,金龙旭,张宁,等. 针对 H. 264 快速整像素运动估计算法[J]. 光学精密工程,2013,21(4):1017-1025.
WU Y H, JIN L X, ZHANG N, *et al.* Improvement of fast integer pixel motion estimation algorithm for H. 264[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(4):1017-1025. (in Chinese)
- [4] SULLIVAN G J, OHM J R, HAN W J, *et al.* Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(12):1649-1668.
- [5] WIEGAND T, SULLIVAN G J, LUTHRA A. Overview of the H. 264/AVC video coding standard[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2013, 13(7):560-576.
- [6] 祝世平,李丽芸. 新一代视频编码帧内预测模式的优化[J]. 光学精密工程,2014,22(6):1686-1695.
ZHU SH P, LI L Y. Optimization of Intra-prediction mode decision in new generation video coding[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(6):1686-1695. (in Chinese)
- [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)*, 2011, 1-4.
- [8] LI X, AN J C, GUO X, *et al.* Adaptive CU depth range[C]. 5th JCT-VC Meeting, JCTVC-E090, Geneva, 2011.
- [9] 王维,肖进胜,刘国雄,等. 基于 HEVC 的亚像素运动估计快速算法[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(12):2543-2548.
WANG W, XIAO J SH, LIU G X, *et al.* Fast sub-pixel motion estimation algorithm based on HEVC [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2014, 36(12):2543-2548. (in Chinese)
- [10] CORRÊA G, ASSUNCAO P, AGOSTINI L, *et al.* Complexity control of high efficiency video encoders for power-constrained devices [J]. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2011, 57(4):1866-1874.
- [11] 成益龙,滕国伟,石旭利,等. 一种快速 HEVC 帧内预测算法[J]. 电视技术, 2012, 36(21):4-7.
CHENG Y L, TENG G W, SHI X L, *et al.* Fast intra prediction algorithm for HEVC [J]. *Video Engineering*, 2012, 36(21):4-7. (in Chinese)
- [12] KIM I K, MIN J, LEE T, *et al.* Block partitioning structure in the HEVC standard [J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(12):1697-1706.
- [13] HOU X, XUE Y. Fast coding unit partitioning algorithm for HEVC [C]. 2014 *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2014:7-10.
- [14] YOO H M, SUH J W. Fast coding unit decision based on skipping of inter and intra prediction units [J]. *Electronics Letters*, 2014, 50(10):750-752.
- [15] SUN L, AU O C, ZHAO C, *et al.* Rate distortion modeling and adaptive rate control scheme for High Efficiency Video Coding (HEVC) [C]. 2014 *IEEE International Symposium on Circuits and*

- Systems (ISCAS), 2014; 1933-1936.
- [16] 张和仙. 下一代视频编码标准 HEVC 帧间预测优化时算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- ZHANG H X. *Research on Optimization of Inter Prediction in HEVC*[D]. Xi'an: Xidian University, 2013. (in Chinese)
- [17] OHM J, SULLIVAN G J, SCHWARZ H, *et al.* Comparison of the coding efficiency of video coding standards-including High Efficiency Video Coding (HEVC)[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(12): 1669-1684.
- [18] 蒋洁, 郭宝龙, 莫玮, 等. 利用平滑区域检测的 HEVC 帧内编码快速算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2013, 40(3): 194-200.
- JIANG J, GUO B L, MO W, *et al.* Fast intra coding algorithm using smooth region detection for HEVC [J]. *Journal of Xidian University*, 2013, 40(3): 194-200. (in Chinese)
- [19] ZHU C, LIN X, LAPPUI C, *et al.* Enhanced hexagonal search for fast block motion estimation[J]. *IEEE Trans. On Circuit System for Video Technology*, 2004, 14(10): 1210-1214.
- [20] XI Y L, HAO C Y, LAI C G. Polynomial model based fast fractional pixel search algorithm for H. 264/AVC[J]. *Journal of Electronics*, 2006, 23(6): 873-876.
- [21] HEVC test model [EB/OL]. [2013-12-20]. <http://hevc.kw.bbc.co.uk/git/w/jctvc-hm.git>.

作者简介:



吴宪云(1985—),男,山东临沂人,讲师,2012年于西安电子科技大学获得博士学位,主要从事图像视频压缩、高光谱方面的研究。E-mail: xywu@mail.xidian.edu.cn



雷杰(1981—),男,陕西渭南人,副教授,2003年、2006年和2010年于西安电子科技大学分别获得电子信息工程专业学士、硕士、博士学位,主要研究方向是图像视频处理、传输与编码。E-mail: jielei@mail.xidian.edu.cn

通讯作者:



高媛媛(1991—),女,山东泰安人,硕士研究生,2013年于西安电子科技大学获得学士学位,主要从事视频编码方面的研究。E-mail: gyy6654@sina.com



刘凯(1977—),男,陕西西安人,教授,1999、2002年分别获得西安电子科技大学学士、硕士学位,2005年获得信号处理专业博士学位,主要研究方向是FPGA/ASIC设计、图像和文本编码。E-mail: kailiu@mail.xidian.edu.cn



李云松(1974—),男,辽宁葫芦岛人,教授,1996年、1999年于西安电子科技大学分别获得学士、硕士学位,2002年12月于西安电子科技大学获得信号与信息处理专业博士学位,目前是西安电子科技大学空天研究院副院长、通信与信息系统学术带头人、通信与信息系统博士生导师、绕月探测工程科学应用专家委员会委员、中国宇航学会深空探测技术专业委员会委员、陕西省图形图像学会常务理事。主要研究方向为图像视频处理、传输与编码。E-mail: ysl@mail.xidian.edu.cn