

针对 HEVC 编码单元的二分深度划分算法^①

曹腾飞¹, 史媛媛²

¹(青海大学 计算机技术与应用系, 西宁 810016)

²(西安电子科技大学 计算机学院, 西安 710071)

通讯作者: 曹腾飞, E-mail: tengfeihello@163.com

摘要: 为了降低高效率视频编码 (HEVC) 的编码单元 (CU) 进行二叉树递归遍历的时间, 提出一种改进的编码单元快速划分算法. 首先, 利用帧间时间域的相关性, 提取前一帧相同位置 CU 的最优划分结构, 以预测当前 CU 的划分深度; 然后通过改进编码 CU 结构划分遍历的算法, 减少 CTU (Coding Tree Unit) 二叉树结构的遍历, 即从二分深度开始遍历, 在每一步遍历之前, 判断是否提前终止遍历. 实验表明, 与 HM15.0 中的基准划分算法相比, 本文算法能够在保证编码性能的同时, 降低了 55.4% 的编码时间, 提高了 HEVC 的编码效率.

关键词: 高效率视频编码 (HEVC); 编码单元 (CU) 结构; 二叉树; 二分深度划分

引用格式: 曹腾飞, 史媛媛. 针对 HEVC 编码单元的二分深度划分算法. 计算机系统应用, 2018, 27(7): 167-172. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6422.html>

Half Depths Decision Algorithm for HEVC Coding Units

CAO Teng-Fei¹, SHI Yuan-Yuan²

¹(Department of Computer Technology and Applications, Qinghai University, Xining 810016, China)

²(School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Aiming at the high computational complexity of recursive quad-tree partition of Coding Unit (CU) in High Efficiency Video Coding (HEVC), an improved fast CU partition algorithm of HEVC was proposed. Firstly, based on the temporal-spatial correlation among neighboring CUs, the best partition structure from the co-located position of the previous frames is extracted to predict the depth of partition CU. Secondly, a fast CU partitioning structure decision algorithms are improved to reduce traversal of Coding Tree Unit (CTU) quad-tree structure. It means that the traverse operation begins from the half depths of CU partitions structure, and whether to early termination of traversal is judged before each step traversal. We compare to baseline works in HM 15.0, showing the proposed algorithm can reduce the encoding time by 55.4% while improving the coding performance and improve the coding efficiency of HEVC compared with the quad-tree recursive traversal algorithm.

Key words: High Efficiency Video Coding (HEVC); Coding Unit (CU) structure; quad-tree; the half depths of CU

随着智能终端的普及使得视频应用越来越多样化, 涉及的视频内容丰富多样, 人们对视频分辨率的要求也随之水涨船高^[1], 对视频编码压缩和传输提出更高的要求. 2013 年 JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding) 正式发布了新一代高效视频编码标准

(High Efficiency Video Coding, HEVC) 标准^[2], 又称 H.265, 由于新标准 HEVC 采用了灵活的四叉树自适应存储结构、35 种的帧内预测 (包括 planner 模式和 DC 模式) 模式、包括运动信息融合技术 (Merge) 以及基于 Merge 的 Skip 模式的帧间预测模式、自适应环路

① 基金项目: 教育部“春晖计划”项目 (z2016081)

Foundation item: “Chunhui Plan” Project of the Ministry of Education (z2016081)

收稿时间: 2017-10-24; 修改时间: 2017-11-29; 采用时间: 2017-12-17; csa 在线出版时间: 2018-06-27

滤波等新技术^[3],这些技术的改进使得 HEVC 比 H.264 节省了 50% 左右的编码率^[4].这些新的编码技术在提高编码效率的同时,也增加了计算复杂度,特别是编码器为获得最佳 CU 二叉树划分所采用的全深度搜索方法需要大量的计算时间,这极大地提高了 HEVC 编码器的复杂度.

目前已经有一些研究学者针对 CU 二叉树划分计算复杂度高的问题提出众多优化算法来降低计算复杂度.文献[5]提出了自适应 CU 深度遍历的算法,利用空域相关性来预测当前编码块的深度值,而大部分的编码块还是要遍历 3 个 CU 以上的深度,所以该方法节省的时间相当有限.文献[6]通过比较时空相邻 CU 的深度,来判断是否可以跳过当前深度 CU 的预测编码.文献[7]采用时空域相结合的预测方式,通过相邻编码块深度值加权方式来预测当前编码块的深度值.虽然这种方法在很大程度上减少了遍历范围,但没有考虑到不同视频序列之间的差异性.文献[8]根据空域相关性自适应地决定当前 CU 深度的最大值和最小值.显然,这种仅根据空域的相关性的方法降低的复杂度是有限的,且其预测深度值的准确度也不高.文献[9-11]通过提前终止二叉树划分的遍历对 CU 结构进行快速决策,依据当前待编码 CU 的率失真代价(RDcost)与阈值 Thre 间的大小,判断是否要进行下一步的递归划分,但当图像细节较多时提高效率不高.文献[12]在帧内预测前利用相邻已编码 CU 的深度对当前 CU 的深度进行预判断;在帧内预测时利用当前 CU 的率失真代价与预先定义的阈值进行对比判断,跳过一些不合适所属区域内容的编码单元尺寸类型的编码过程.文献[13]提出一种基于时空相关性的编码单元深度决策算法.融合关联帧编码单元的深度信息及当前帧相邻编码单元的深度信息,从而预测当前编码单元的深度范围.

针对以上问题,本文综合考虑了编码效率和时间损耗,通过优化 CU 二叉树结构划分的遍历过程,提出了一种 CU 结构快速划分算法.通过考虑时空域的相关性和二分法的高效性对编码单元深度决策算进行改进法,使得优化后的结果在基本不改变图像的质量与输出码率的情况下,提高了编码时间.

1 HEVC 的 CU 深度决策

为了灵活有效的表示视频编码内容,HEVC 为图像的划分定义了一套全新的分割模式,包括编码单元

(Coding Unit, CU)、预测单元 (Prediction Unit, PU) 和变换单元 (Transform Unit, TU) 3 个概念描述整个编码过程.其中 CU 类似于 H.264 中的宏块或子宏块,每个 CU 均为 $2N \times 2N$ 的像素块,是 HEVC 编码的基本单元,目前可变范围为 64×64 至 8×8 .图像首先以最大编码单元 (LCU, 如 64×64 块) 为单位进行编码,在 LCU 内部按照二叉树结构进行子块划分,直至成为最小编码单元 (SCU, 如 8×8 块) 为止,对应的分割深度分别为 0、1、2 和 3,如图 1 所示.在 HEVC 的编码过程中,通过比较二叉树结构 (图 2) 中本层 CU 与下层 4 个子 CU 的 RDcost 大小来决定 CU 是否需要划分,进而决定 LCU 的最终划分方式,如图 2 所示每一个 CTU 的二叉树递归划分过程如下.

步骤 1. 首先进行 CU 的划分过程.对于每个 64×64 深度 $Depth=0$ 的最大编码单元 LCU 进行预测编码,同时,该 CU 还要进行各种 PU 预测和相应的模式选择,最终根据公式 (1) 得到率失真代价.

$$RDcost = SSE + \lambda \times bits \quad (1)$$

其中, SSE 表示使用预测模式计算的残差平方和, λ 表示拉格朗日系数; $bits$ 表示使用当前预测模式下进行编码的码率.

步骤 2. 将 64×64 的编码单元划分为 4 个 32×32 的子 CU, 每个子 CU 的尺寸大小是 32×32 , 深度 $Depth=1$. 同理对每个子单元进行预测编码, 并计算各自的率失真代价值. 如此递归的划分下去, 直至划分到最小的编码单元 8×8 , 深度 $Depth=3$ 时便不再划分.

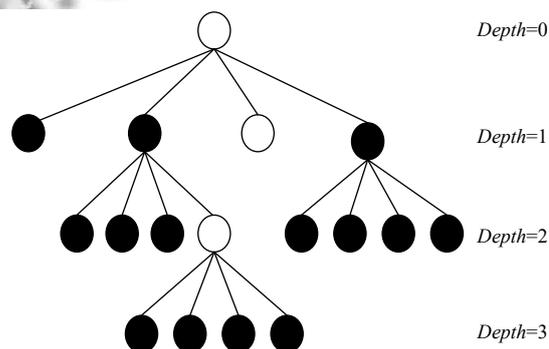


图 1 二叉树结构

步骤 3. 从 $Depth$ 为 0 的 CU 开始进行 CU 深度划分过程, 如果 4 个 32×32 大小的子 CU 的率失真代价之和大于其对应的 64×64 大小的 CU 的率失真代价, 则选择 64×64 的 CU; 否则, 选择 32×32 的 CU. 如此递

归下去,直到选到 *Depth* 为 0 的 CU.至此,当前 LCU 的深度决策过程完成.

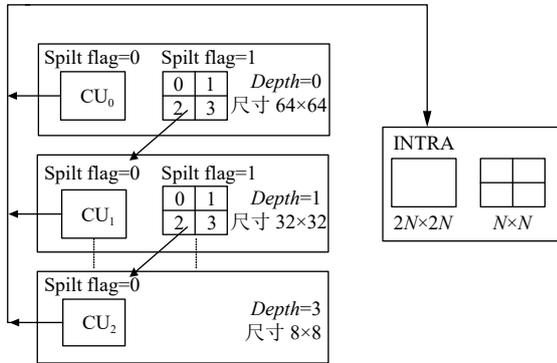


图2 CU 的深度分割示意图

为了能够获取最佳的块划分方式, HEVC 编码器使用全深度搜索方法.在确定一个 LCU 的最终深度算法中,需要对 CU 深度进行 0~3 次的全遍历,总共需要进行 $1+4+4 \times 4+4 \times 4 \times 4=85$ 次 CU 尺寸选择的率失真代价计算,而每个 CU 还要进行各种 PU 预测和模式选择的率失真代价计算.这使得编码器的复杂度过高,无法满足编码器的实时应用,因此降低编码器的复杂度,提高编码速度具有非常重要的应用价值.

2 算法介绍

2.1 帧间时空域的相关性

由于在视频序列是由连续的图像序列帧构成,则相邻帧之间具有很强的关联性,即空间相关性的存在.由于存在空间相关性,因此 HEVC 编码帧与编码帧之间 CU 的分割方式也存在极强的关联性.为了分析时空相邻 CU 划分深度的相关性,首先通过 5 类官方的测试序列 ClassA~E 进行编码测试,测试详情如表 1 所示.时空相邻 CU 划分深度的相关统计结果如表 2 所示^[14].

表 1 通用测试序列的详细情况

序列	类型
Traffic, PeopleOnStreet, Nebuta, SteamLocomotive	Class A
Kimono, ParkScene, Cactus, QTerrace, BasketballDerive	Class B
RaceHorse, BQMall, PartyScene, BasketballDrill	Class C
RaceHorse, BQSquare, BlowingBubbles, BasketballPass	Class D
Johnny, KristenAndSara, FourPeople	Class E

通过表 2 的数据分析可知,当前 CU 的最优化分深度与前一帧相同位置的 CU 之间有较强的相关性,

因此可以利用前一帧相同位置的 CU 的划分深度对当前 LCU 的最优二叉树结构进行预测.

表 2 时空相邻 CU 的相关性 (单位: %)

量化参数 QP	左帧 CU	右帧 CU	前帧 CU
22	51.3	50.1	80.5
27	45.4	39.8	75.6
32	61.2	48.5	81.2
37	49.8	37.1	79.2
42	50.6	50.7	78.9

2.2 二分深度划分决策算法

在 HEVC 视频编码标准中,当视频图像比较平坦,内容变化缓慢时,针对它的编码单元大多选择了大尺寸类型;当视频图像比较复杂,细节比较丰富时,针对它的编码单元大多选择了小尺寸类型;使用 HEVC 测试模型 HM15.0 下对 5 类官方的测试序列 ClassA~E 进行编码测试,通过统计分析出不同量化参数 QP 下编码单元 CU 的分布情况,见表 3.

表 3 不同 QP 下编码单元 CU 的分布 (单位: %)

量化参数 QP	CU size			
	64x64	32x32	16x16	8x8
22	9.51	24.85	39.76	25.88
27	10.34	32.37	41.53	15.76
32	12.6	17.21	45.44	24.75
37	15.04	31.3	36.1	17.56
42	16.26	22.09	32.04	29.61

从表 3 可以看出,在测试序列中最小划分深度 CU 结构 (64x64) 仅仅占 10% 左右.而在 HM15.0 中从划分深度最小的 CU 结构开始遍历,那么大部分 CU 需要花费大量的时间效率进行层层遍历,计算复杂度高.因此通过对 CU 二叉树结构的遍历过程进行优化,提出了一种二分深度划分决策算法,从二分深度 *Depth=2* (即 CU 的大小为 16x16) 开始遍历,并在每一步遍历之前,判断是否提前终止遍历.

2.3 二分深度划分算法

整体算法描述如下:

1) 利用前一帧相同位置的 CU 的划分深度对当前 LCU 的最优二叉树结构进行预测.

2) 首先将二分深度 CU (即 CU 的大小为 16x16, *Depth=2*) 的最佳预测模式作为最优 RDcost 模式,以二分划分深度的 CU 作为最小 CU 结构.

3) 将预测深度 *Depth_{pre}* 和二分深度 *Depth* 进行比较 (流程如图 3 所示).若预测深度 *Depth_{pre} ≥ 二分深度*

Depth, 则进行向下划分遍历, 跳转到4); 反之, 则进行向上合并遍历, 跳转到5).

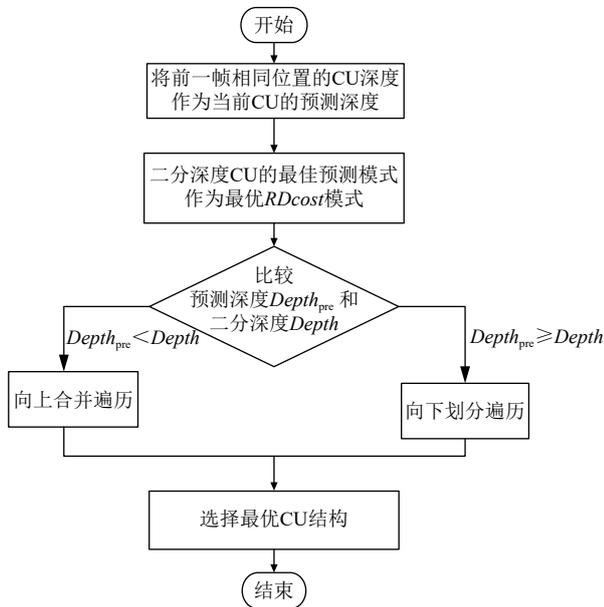


图3 二分深度划分算法流程

4) 若预测深度 $Depth_{pre} \geq$ 二分深度 $Depth$, 则进行向下划分遍历 (流程如图4所示). 首先以二分深度CU的最佳预测模式作为最优 $RDcost$ 模式, 再对二分深度CU结构进行四叉树划分, 求解每一个子CU的最小 $RDcost$, 并将最优 $RDcost$ 与4个子CU的最小 $RDcost$ 之和 S_{RDcost} 进行比较: 若 S_{RDcost} 较小, 则以4个子CU的最小 $RDcost$ 之和作为最优 $RDcost$, 以4个子CU作为最小CU结构; 若最优 $RDcost$ 较小, 则停止当前CU子块的划分, 以当前CU作为当前CU子块的最优结构.

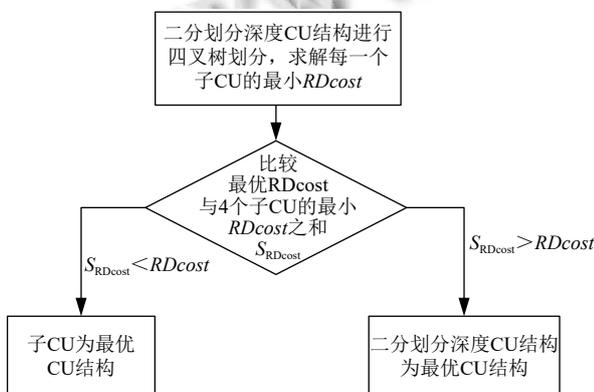


图4 向下划分遍历算法流程

5) 若预测深度 $Depth_{pre} <$ 二分深度 $Depth$, 则进行向上合并遍历 (流程如图5所示). 对4个CU结构进行合并, 求解合并后CU的 S_{RDcost} , 并将其与最优 $RDcost$ 进行比较: 若合并后CU的 S_{RDcost} 较小, 则以合并后CU为最小CU结构, 并继续对周围相邻的4个CU进行合并; 若最优 $RDcost$ 较小, 则停止当前CU子块的划分, 以当前CU作为最优结构.

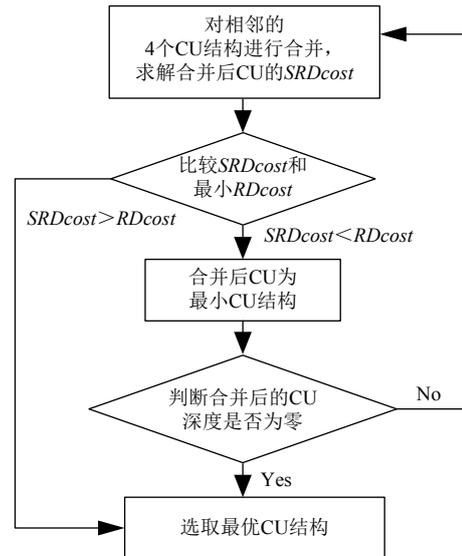


图5 向上合并遍历算法流程

3 实验结果与分析

为了验证本文所提出算法的效率, 以HEVC的软件测试模型HM15.0为参照进行实验. 实验平台为Inter(R)酷睿双核CPU, 主频2.60 GHz, 内存4.00 GB, 操作系统Windows7. 在此实验平台上采用11个通用序列分别进行验证, 测试QP(量化参数)为: 22, 27, 32, 37和42, 每个序列各测试100帧. 本文主要从所提出算法的编码效率以及付出的相应代价来考虑算法的性能.

通过比较编码效率的参数指标有峰值信噪比增量 ($\Delta PSNR$)、码率增量 ($\Delta Bitrate$) 和编码时间增量 ($\Delta Time$):

$\Delta PSNR$ 是指本文所提快速算法与HM15.0算法的视频峰值信噪比之差, 即:

$$\Delta PSNR = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (PSNR_{proposed}(QP) - PSNR_{HM}(QP)) \times 100\% \quad (2)$$

$\Delta Bitrate$ 是指本文所提快速算法视频的平均码率与 HM15.0 算法视频的平均码率之差, 即:

$$\Delta Bitrate = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{(Bitrate_{proposed}(QP_i) - Bitrate_{HM15.0}(QP_i))}{Bitrate_{proposed}(QP_i)} \times 100\% \quad (3)$$

$\Delta Time$ 是指本文所提快速算法视频的平均编码时间与 HM15.0 算法视频的平均编码时间之差, 即:

$$\Delta Time = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{(Time_{proposed}(QP_i) - Time_{HM15.0}(QP_i))}{Time_{proposed}(QP_i)} \times 100\% \quad (4)$$

从表 4 可以看出, 本文所提出的快速算法与 HM15.0 相比, 编码时间平均缩短了 55.4%, 而编码码率平均仅增加了 0.56%, 视频峰值信噪比仅降低了 0.019%, 主观图像质量基本没有变化。由此可见, HEVC 编码 CU 快速划分算法在保证视频质量的前提下, 缩短了编码时间, 提高了编码效率。

表 4 编码性能的对比

类别	序列名称	$\Delta PSNR$ (dB)	$\Delta Bitrate$ (%)	$\Delta Time$ (%)
Class A	Traffic	-0.015	0.74	-56.56
	PeopleOnStreet	-0.009	0.61	-53.62
Class B	BasketballDerive	-0.021	0.50	-49.19
	ParkScene	-0.034	0.46	-64.69
Class C	RaceHorse	-0.018	0.51	-62.47
	PartyScene	-0.016	0.57	-57.84
Class D	RaceHorse	-0.027	0.64	-56.64
	BasketballPass	-0.014	0.49	-48.57
Class E	FourPeople	-0.019	0.60	-50.77
	KristenAndSara	-0.017	0.48	-53.75
平均		-0.019	0.56	-55.41

图 6 显示了本文提出的快速算法与 HM15.0 编码算的性能对比情况。文中算法与 HM15.0 的率失真代价 (RD) 曲线基本重合, 表明本文算法与 HM15.0 的编码性能相比没有明显差异, 由此证明本文所提算法的有效性。

表 5 是本文快速算法以其他几种典型算法的编码性能对比。根据表 5 的对比, 不论是编码质量、码率, 还是编码时间, 本文提出的 CU 快速划分算法性能要比其他 2 种更优, 这得益于本文提出的二分深度划分技术, 降低了当前 CU 划分的时间消耗。

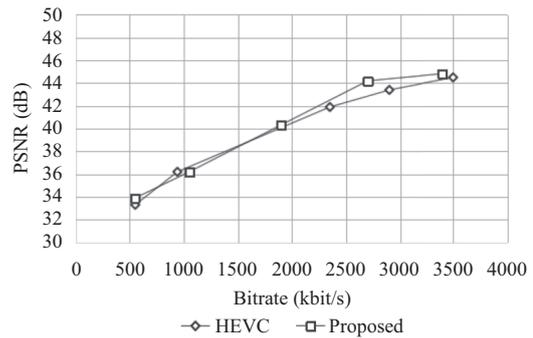


图 6 RaceHorse 的率失真代价 (RD) 曲线图

表 5 本文快速算法与各典型算法的性能比较

各快速算法	$\Delta PSNR$ (dB)	$\Delta Bitrate$ (%)	$\Delta Time$ (%)
文献[11]	0.020	0.62	-21.8
文献[5]	-0.029	1.41	-38.04
本文算法	-0.019	0.56	-55.41

4 结论

为降低算法遍历 HEVC 编码单元 CU 结构的计算复杂度, 本文提出一种改进的 HEVC 编码单元 CU 快速划分算法。本文算法首先预测当前 CU 的最优深度, 再通过二分深度划分算法进行深度遍历, 选出最优深度。实验结果表明, 与 HM15.0 相比, 在编码质量几乎没有变化的情况下, 编码时间减少 55.4%, 能有效降低 HEVC 的编码复杂性。

参考文献

- Shen LQ, Zhang ZY, An P. Fast CU size decision and mode decision algorithm for HEVC intra coding. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2013, 59(1): 207-213. [doi: 10.1109/TCE.2013.6490261]
- Sullivan GJ, Ohm JR, Han WJ, *et al.* Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(12): 1649-1668. [doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221191]
- 朱秀昌, 李欣, 陈杰. 新一代视频编码标准——HEVC. *南京邮电大学学报 (自然科学版)*, 2013, 33(3): 1-11.
- 黄胜, 付雄, 郝言明, 等. 一种 HEVC 帧内快速编码算法. *光电子·激光*, 2017, 28(3): 296-303.
- Li X, An JC, Guo X, *et al.* Adaptive CU depth range. *Proceedings of the 5th JCT-VC Meeting*. Geneva, Switzerland. 2011.
- 李维, 张和仙, 杨付正. 高效率视频编码快速模式判决算法. *西安交通大学学报*, 2013, 47(8): 104-109. [doi: 10.1109/TCE.2013.6490261]

- [10.7652/xjtuxb201308018](https://doi.org/10.7652/xjtuxb201308018)]
- 7 Cao XR, Lai CC, Wang YF, *et al.* Short distance intra coding scheme for HEVC. Proceedings of 2012 Picture Coding Symposium. Krakow, Poland. 2012. 501–504.
 - 8 Mu FS, Song L, Yang XK, *et al.* Fast coding unit depth decision for HEVC. Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW). Chengdu, China. 2014. 1–6.
 - 9 Kim J, Choe Y, Kim YG. Fast coding unit size decision algorithm for intra coding in HEVC. Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Las Vegas, NV, USA. 2013. 637–638.
 - 10 齐美彬, 陈秀丽, 杨艳芳, 等. 高效率视频编码帧内预测编码单元划分快速算法. 电子与信息学报, 2014, 36(7): 1699–1705.
 - 11 白彩霞, 袁春. HEVC 子划分快速决策算法. 第八届和谐人机环境联合学术会议. 广州, 中国. 2012. 23–28.
 - 12 姚晓敏, 王万良, 岑跃峰, 等. 一种面向 HEVC 的编码单元深度决策算法. 计算机工程, 2015, 41(1): 240–244.
 - 13 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. 光学精密工程, 2014, 22(5): 1322–1330.
 - 14 李强, 覃杨微. 一种基于空时域相关性的 HEVC 帧间预测模式快速决策算法. 重庆邮电大学学报 (自然科学版), 2016, 28(1): 9–16. [doi: [10.3979/j.issn.1673-825X.2016.01.002](https://doi.org/10.3979/j.issn.1673-825X.2016.01.002)]