

3D-HEVC 深度图像帧内编码单元划分快速算法

张洪彬 伏长虹* 苏卫民 陈锐霖 萧允治

(南京理工大学电子工程与光电技术学院 南京 210094)

(香港理工大学电子资讯工程学系 香港 999077)

摘 要: 针对 3 维高性能视频编码(3D-HEVC)中深度图像帧内编码单元(Coding Unit, CU)划分复杂度高的问题, 该文提出一种基于角点和彩色图像的自适应快速 CU 划分算法。首先利用角点算子, 并根据量化参数选取一定数目的角点, 以此进行 CU 的预划分; 然后联合彩色图像的 CU 划分对预划分的 CU 深度级进行调整; 最后依据调整后的 CU 深度级, 缩小当前 CU 的深度级范围。实验结果表明, 与原始 3D-HEVC 的算法相比, 该文所提算法平均减少了约 63% 的编码时间; 与只基于彩色图像的算法相比, 该文的算法减少了约 13% 的编码时间, 同时降低了约 3% 的平均比特率, 有效地提高了编码效率。

关键词: 3 维高性能视频编码; 深度图像; 帧内编码; 编码单元; 角点检测;

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2016)10-2523-08

DOI: 10.11999/JEIT151426

Fast Coding Unit Decision Algorithm for Depth Intra Coding in 3D-HEVC

ZHANG Hongbin FU Changhong SU Weimin CHAN Yuilam SIU Wanchi

(School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

(Department of Electronic and Information Engineering, The Hong Kong Polytechnic University,

Hong Kong 999077, China)

Abstract: An efficient Coding Unit (CU) decision algorithm is proposed for depth intra coding, in which the depth level of CU is predicted by Corner-Point (CP) and the co-located texture CU. More specially, firstly, the CPs are obtained by corner detector in junction with the quantization parameter, which are further used to pre-allocate the depth level. After that, the refinement of pre-allocation depth level is performed by considering the block partition of the co-located texture. Finally, different depth search range is selected based on the final pre-allocation depth levels. Simulation results show that the proposed algorithm can provide about 63% time saving with maintaining coding performance compared with the original 3D-HEVC method. On the other hand, it can achieve about 13% time saving while the BD-rate 3% decreased over the CU decision method that only considers the texture information.

Key words: 3D-HEVC; Depth map; Intra coding; Coding unit; Corner Point (CP) detection

1 引言

多视点加深度^[1](Multi-view Video plus Depth, MVD)包含若干个视点的彩色和深度视频。MVD 能够利用基于深度图像渲染技术在低码率下实现自由视点视频, 近年来成为 3D 视频的研究热点^[2,3]。联合视频专家组在高性能视频编码(High Efficient

Video Coding, HEVC)的基础上, 增加了深度图像编码技术, 形成了 3 维高性能视频编码标准 3D-HEVC^[4]。3D-HEVC 引入的深度帧内编码新技术^[4], 虽然提高了压缩效率, 但编码复杂度也随之急剧增加, 因此提高深度图像帧内编码速度成为 MVD 的研究重点。深度图像帧内编码复杂度高有以下两个原因: 帧内模式数目多, 包括 HEVC 帧内模式、帧内跳过模式和深度模型模式(Depth Modelling Mode, DMM); 沿用了 HEVC 二叉树编码结构^[5], 编码单元(Coding Unit, CU)数目多。因此, 现有的算法都基于减少候选帧内模式数目或者减少候选 CU 数目。

对于减少候选帧内模式数目的算法, 文献[6]通

收稿日期: 2015-12-17; 改回日期: 2016-06-22; 网络出版: 2016-08-26

*通信作者: 伏长虹 enchfu@njjust.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金(61301109), 江苏省自然科学基金(BK2012395)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61301109), The Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK2012395)

过在双像素域上粗略地搜索 DMM, 有效地减少了候选 DMM 的数目; 文献[7]发现 DMM 并不适用于深度图的平滑区域, 在此基础上, 文献[8]发现 DMM 也不适用包含水平和垂直边界的 CU, 因此他们各自提出了相应的 DMM 跳过算法。由于以上方法仍需要遍历计算所有 CU 的率失真(Rate-Distortion, RD)代价, 所以这些方法对编码速度的提高十分有限。

在 3D-HEVC 中, CU 是基本编码和处理单元, 其大小范围为 64×64 到 8×8 , 对应的划分深度为 0 到 3。首先, 待编码帧划分为许多最大编码单元(Largest Coding Unit, LCU); 然后, 3D-HEVC 测试模型(3D-HEVC Test Model, HTM) 按照递归的方式将每级 CU 划分为 4 个子 CU, 直至最小的 CU (Smallest Coding Unit, SCU)。LCU 的划分过程需要计算 85 次 CU 的 RD 代价, 且每级 CU 要计算几十到几百次的 RD 代价来决定最优帧内模式。

对于减少候选 CU 数目的快速算法, 文献[9-12]根据时空相关性, 提出了基于 HEVC 的 CU 划分快速算法, 但是这些算法并不适用于深度图像的 CU 划分; 文献[13]通过判断帧内跳过模式的 RD 代价和编码块的方差值跳过子编码单元, 然而该算法很难自适应地选择合适的阈值, 造成该算法的自适应性差, 对编码速度的提高有限; 文献[14]依据深度图像和彩色图像存在信息冗余, 利用彩色图像的 CU 划分缩小深度图像 CU 划分的深度范围, 该方法没有考虑深度图像和彩色图像的失配问题, 从而导致深度图像丢失部分细节, 严重降低了虚拟视角的图像质量。

针对文献[13,14]存在自适应能力差、重建虚拟视角图像质量差以及编码效率低等方面的不足, 本文将深度图像的空间特性和彩色图像的 CU 划分相结合, 提出了一种基于角点和彩色图像的深度图像帧内编码单元划分的快速算法。该方法利用深度图像具有特殊的空间特性, 提出利用角点特征对编码块进行预分类, 同时考虑深度和彩色的相关性, 利彩色图像的块划分对预分类结果进行修正, 最终依据分类结果选择不同的 CU 深度级。此外, 本文还定量地分析了不同角点算子对编码性能和效率的影响, 并提出了一种自适应选择角点的方法来提高算法自适应性。

2 基于角点和彩色图像的深度图像 CU 快速划分算法

3D-HEVC 包含两类帧内模式, 分别为: 单一方向型模式, 包括 DMM 和角度模式(Angular); 平

滑型帧内模式, 包含 Planar, DC 和帧内跳过模式。前者用于预测单一的纹理方向, 而后者用于预测平滑区域。在 HTM 的 CU 划分过程中, 如果最优帧内模式可以很好地预测 CU, 意味着更小尺寸的 CU 并不能提高当前块的重建质量, 反而会增加模式编码的比特开销, 所以该 CU 不必进一步地划分。文献[21]提出的方差等特征并不能可靠地预测 CU 的尺寸, 例如当编码块包含单一纹理或多纹理时, 其方差值都很大; 然而单一方向型帧内模式可以准确地预测单一纹理编码块, 无需划分为更小的 CU 尺寸。对于包含多纹理方向的 CU, 单一方向型的预测模式并不能很好地对 CU 划分进行预测, 因此本文提出利用多方向的角点特征来预测 CU 的尺寸。角点指的是具有两个主方向的兴趣点, 该特征可以区分单一纹理方向和多纹理编码块。

2.1 基于角点的 CU 预划分

图 1(a)为序列 Balloons 的角点分布图, 其中白色圆点表示角点。由图 1 可知, 深度图像的角点大多分布在不规则的边缘, 其邻域有不止一个方向上的变化。对于包含角点的 CU, 两类帧内模式都不适用于预测多方向信息, 导致深度边缘的失真。因此, 包含角点的 CU 一般采用较小的 CU 尺寸编码, 每个子 CU 可以采用不同的帧内模式, 以增强对多方向的预测效果; 相反没有包含角点的 CU, 其像素信息单一, 所有尺寸 CU 的预测效果都很好, 采用较大的 CU 尺寸可以减少 CU 编码的比特开销。因此, 本文利用角点对深度 CU 进行预划分。划分原则为: 如果 CU 包含一个或多个角点, 则该 CU 进一步划分为 4 个子 CU, 逐级向下, 直至 SCU。CU 按预划分深度分为 4 类: I-0(64×64), II-1(32×32), III-2(16×16) 和 IV-3(8×8)。图 2 为预划分的示例图, 对于图 2(a)中仅含有一个角点的 LCU, 按上述预划分原则得到预划分深度级, 并按如图 2(b)所示, 以 8×8 为单元存储预划分深度级。图 1(b)为基于图 1(a)中角点的预划分结果。图 1(d)为 HTM 方法获得的 CU 划分图。对比图 1(b)和图 1(d)可知, 对于含有角点的区域, 基于角点的预划分和 HTM 的划分都采用了较小尺寸的 CU, 而对于不包含角点的区域, 两种方法都选择较大的 CU。表 1 为序列 Balloons 序列的最优分割深度级和预划分深度级的分布表。表 1 证实了上述假设, 大部分的 I-0 和 II-1 的编码块会选择深度级 0 和 1 的 CU, 而 III-2 和 IV-3 的编码块大多采用较大深度级。然而, 图 1(b)的 CU 划分和最优的 CU 划分并不相同, 因此需要对基于角点的预划分结果进行修正。

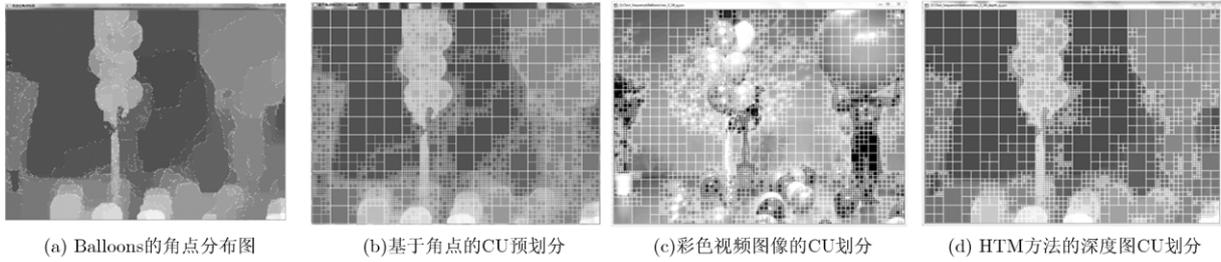


图 1 角点的分布图以及 CU 的划分示意图

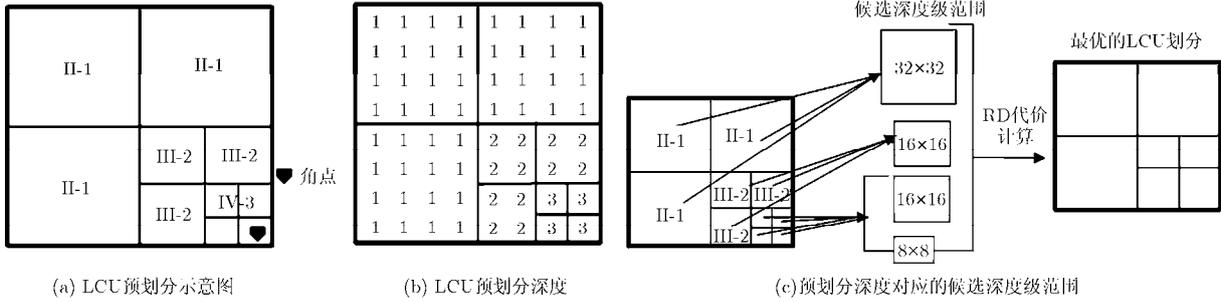


图 2 LCU 的预划分及对应的候选深度级示例图

表 1 最优深度级和预划分深度级的分布表

预划分深度	最优深度			
	0	1	2	3
I-0	11389	3893	4	0
II-1	1183	1840	77	4
III-2	2356	2888	4114	86
IV-3	6016	6736	20512	3840

表 2 预划分 CU 深度级的调整方案

彩色图像的 CU 划分深度	基于角点的 CU 划分深度			
	I-0	II-1	III-2	IV-3
0(64 × 64)	0	1	1	1
1(32 × 32)	0	1	2	2
2(16 × 16)	0	1	2	3
3(8 × 8)	1	2	3	3

2.2 基于彩色图像对预划分修正

深度图像的失真评价由合成视角和自身失真两部分组成，而合成视角失真和彩色图像的失真有很大关系^[15]。具体表现为：彩色图像变化小的区域对深度的失真不敏感，即深图像失真对合成视角的图像质量影响较小；反之亦然。图 1(c)为彩色图像的最优 CU 划分，在像素值变化小的区域，彩色图像选择较大的 CU，反之亦然。文献[14]对彩色和深度视频的 CU 划分深度进行了详细的分析，并得到彩色图像和深度图像的 CU 划分相关性强的结论，感兴趣的读者可参考文献[14]。因此，本文利用彩色图像的 CU 划分的深度对预划分的深度进行调整，具体如表 2 所示。

当彩色图像采用较大的 CU 时，减小预划分深度级，例如表 2 中第 3 行彩色图像的 CU 深度级为 0，则 III-2 和 IV-3 的划分深度调整为 1；当彩色图像采用较小的 CU 时，增大预划分深度级，例如表 2 第 6 行彩色图像的 CU 的划分深度为 3，将 I-0，

II-1 和 III-2 的划分深度分别调整为 1, 2 和 3。值得注意的是，如果当前深度图像 CU 的所有像素值都相同，则不会依据表 2 中的方案增大 CU 划分深度。

2.3 基于预划分深度级的 CU 选择方法

为了探究调整后的预划分深度和最优深度之间的关系，本文选取了 7 个标准测试序列，并将量化参数(Quantization Parameter, QP)设置为 34，对每个序列的前 20 帧进行测试，获得了最优深度级和预划分深度级之间的分布概率，具体如表 3 所示。对于 I-0 类型的编码块，97.23%的 CU 选择深度级 0，采用其他尺寸 CU(32 × 32, 16 × 16 和 8 × 8)的概率非常低，仅为 2.77%；对于 II-1 块，87.76%的 CU 选深度为 1；对于 III-2 块，75.32%的 CU 采用了 16 × 16 大小的 CU；而 IV-3 的 CU 块，89.58%的 CU 选择了深度级为 2 和 3。由于每种类型 CU 的最优划分深度概率呈不均匀分布，所以可以依据预划分深度级选择不同的 CU 深度级范围，以提高编码效率。表 3 同时列出了预划分深度的遍历深度范围。

根据不同的深度范围,本文提出的 CU 划分算法,具体如下:如果 CU 属于 I-0 类,则只考虑深度级 0,跳过深度级为 1, 2 和 3 的 RD 代价计算;如果 CU 属于 II-1 类,则只考虑深度级 1,跳过其他深度级。如果当前块属于 III-2 类,则仅计算深度级 2 的 RD 代价。对于 IV-3 类的 CU,将计算深度级为 2 和 3 的 RD 代价。图 2(c)为基于预划分深度级的 CU 划分示意图,列出了 LCU 的预划分深度级、对应候选深度级范围和最优的 LCU 划分。虽然对于 II-1, III-2 和 IV-3 的块,有 10%~20%的编码块选择较大尺寸的 CU,意味着本文所提的 CU 选择方法的准确率仅为 80%到 90%,但是这对最终的合成视角的 RD 性能的影响较小。其原因在于:HTM 采用视角合成优化(View Synthesis Optimization, VSO)用来评价深度图像的 RD 性能,然而 VSO 并非合成完整的虚拟视角,存在失准问题,对 II-1, III-2 和 IV-3 块进行精细的划分,将提高最终合成虚拟视角的图像质量;与彩色视频相比,深度图像的比特数约占总比特数的 10%,所以精细的深度图划分所需要的比特数对总 RD 性能影响较小。

2.4 角点的计算方法和自适应选择角点数目

本文的基于角点和彩色图像的 CU 划分算法需要利用角点对每个 LCU 进行预划分,因此其编码性能依赖于角点的选择,所以自适应地根据不同的编码内容和编码参数选取角点数目成为本文算法的重要环节。角点的检测方法有很多,例如 FAST^[16], Shi-Tomasi^[17]以及 Harris^[18]算子等。角点算子根据图像局部相关性原理,利用像素邻域的梯度变化来检测特征点。FAST 算子通过中心像素点与离散圆上的像素点进行比较,进行角点检测。Harris 算子的角点响应值依据 Harris 矩阵 M 计算,如式(1)。

$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $w(x,y)$ 为权重系数, (x,y) 为像素点位置, I_x 和 I_y 为水平和垂直的一阶导数值。Shi-Tomasi 算子通过计算矩阵 M 的特征值,并且比较较小的特征值

和下限阈值 T 来决定角点。Shi-Tomasi 算子的检测效果最好,因此本文将采用 Shi-Tomasi 算子进行 CU 的预划分。该算子自带参数 T 限定了角点响应值的下限,能够控制角点的数目,并将按角点响应值(矩阵 M 的较小的特征值)的大小进行排序。不同时刻或是同一时刻不同视点的深度图像的纹理内容有很大的变化,很难确定一个通用的参数值 T 。因此,本文提出了一种两阶段自适应选择角点数目的方法。第 1 步实现内容自适应;第 2 步实现量化参数 QP 的自适应。如图 3 所示为阈值参数 T 取不同值时,Shi-Tomasi 算子获得角点的数目,随着 T 值的变小,检测到的角点数目基本保持不变,其主要原因在于深度图像的纹理简单并且边缘的梯度大,这也是角点可以用来预测 CU 深度的主要原因。

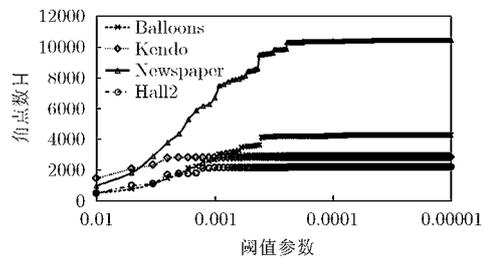


图 3 不同阈值参数 T 检测到的角点数目

本文选择一个较小的阈值参数 T 为 0.0001,获得整幅图像的角点数目。总角点数与深度图内容有关,例如对于 Newspaper 序列,可以检测到约 10000 个角点,而对于细节较少的 Hall2 序列仅有约 2000 个角点。

另外,本文通过大量的实验,发现不同 QP 与所需角点数关系大致如式(2)所示:

$$Num_{QP} = \begin{cases} Num_T, & QP \leq 36 \\ Num_T \times \frac{5 - ((QP - 37)\%3)}{3 \times 2^{(((QP - 37)/3) + 1)}}, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中, Num_{QP} 为最终角点数,而 Num_T 为参数 T 得到的角点数, $[\cdot]$ 为取整函数, $\%$ 为求余运算。当 $QP \leq 36$ 时,选择所有的角点进行 LCU 预划分;

表 3 HTM 划分深度级和调整后的预划分深度级的分布概率以及预划分深度级对应的遍历深度级范围

HTM 的 CU 划分深度	预划分 CU 划分深度分布概率(%)				预划分深度对应的深度级范围			
	I-0	II-1	III-2	IV-3	I-0	II-1	III-2	IV-3
0	97.23	11.08	11.34	3.08	0			
1	2.67	87.76	12.89	9.34		1		
2	0.10	1.02	75.32	42.91			2	2
3	0	0.14	0.45	44.67				3

当 $QP > 36$ 时，将根据 QP 的大小按照式(2)选择部分响应值较大的角点，具体为 QP 每增加 3，角点数减少 $1/2$ 。此外，本文增加了另外两种方案来表征 QP 与所需角点数量的关系，并以此来验证式(2)方案的准确性。在两种备选方案中，我们分别在 QP 每增加 3 的情况下，把角点数减少 $1/3$ 和 $2/3$ 倍。

2.5 本文算法流程

对于整体算法流程，如图 4 所示。首先针对每个深度视频帧，根据角点算子和 QP 获得角点，然后对每个 LCU 进行预划分，再依据彩色图像的 CU 划分对预划分进行调整，得到各 LCU 最终预划分，并按 8×8 为单位存储。对于每个 LCU 的划分过程，根据预划分的深度选择不同的遍历深度范围。整体算法的具体步骤如下：

- (1)对于深度视频帧，设定参数 T 为 0.0001，利用 Shi-Tomasi 算子检测角点，并根据 QP 和式(2)，选择响应值较大的角点。
- (2)利用角点对每一个 LCU，得到预划分的深度。
- (3)利用彩色图像 LCU 的划分，对步骤(2)中的预划分深度按表 2 进行调整，并以 8×8 的像素块为单元存储。
- (4)对于每个 LCU，按原始的递归顺序进行 CU 编码，如果当前 CU 对应的所有预划分深度级为 0，则计算深度级为 0 的 RD 代价并且终止 CU 的划分。

否则，执行步骤(5)。

(5)如果当前 CU 对应的所有预划分深度级都为 1，则计算深度级为 1 的 RD 代价并且终止 CU 的划分，否则执行步骤(6)。

(6)如果当前 CU 对应的所有预划分深度级为 2 或是 3，则计算深度级为 2 的 RD 代价。若所有的预划分深度级都为 2 则终止 CU 的划分，否则执行步骤(7)。

(7)计算深度级为 3 的 RD 代价，并按自底向上的顺序返回步骤(4)，重复执行步骤(4)-步骤(7)，直至遍历结束，获得最优的 LCU 划分。

3 实验结果以及分析

本文在 3D-HEVC 的测试平台 HTM-13.0^[19]上实现了该算法，并与文献[13,14]及原始 HTM 的 CU 划分的算法进行比较。使用全帧内配置模式，对 7 个标准序列进行了编码，编码帧数为 100。编码性能使用平均比特率(Bjontegaard Delta Bit Rate, BDBR)，它是由彩色和深度视频的总比特率以及虚拟视角的峰值信噪比(PSNR)，按文献[20]所述方法计算得到。计算复杂度用编码时间来度量。为了便于说明，本文所提的 CU 划分方法记做 JCUD 方法。

表 4 为本文所提 JCUD 算法与文献[13]和文献[14]的编码性能和计算复杂度的比较结果。由表 4 可知，与 HTM-13.0 相比算法 JCUD 节省编码时间平

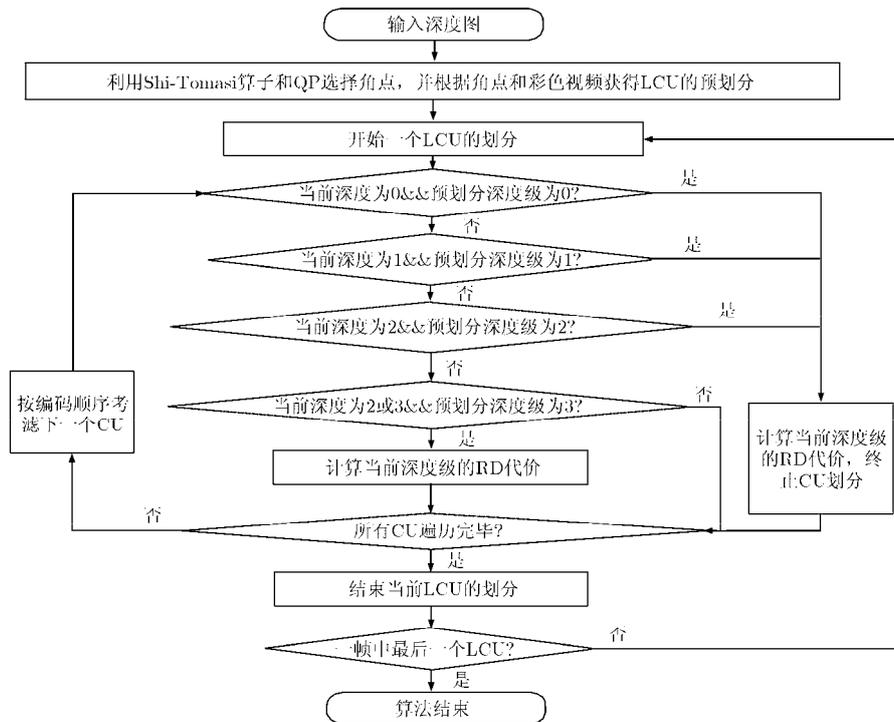


图 4 本文算法的流程图

表 4 本文提出方法与文献[13]和文献[14]方法的编码性能的比较(%)

测试序列	文献[13]		文献[14]		JCUD	
	Δ BDBR	Δ T	Δ BDBR	Δ T	Δ BDBR	Δ T
Kbndo	0.09	-24	2.78	-52	1.02	-62
Balloons	0.05	-25	14.85	-54	1.41	-64
Newspaper	0.10	-20	3.75	-43	0.77	-49
GT_Fly	0.10	-23	0.15	-54	0.85	-74
Poznan_Hall2	0.40	-47	2.92	-62	1.71	-72
Poznan_Street	0.28	-26	2.14	-46	1.63	-53
Undo_Dancer	0.27	-37	1.09	-49	1.45	-68
平均值	0.18	-29	3.96	-50	1.26	-63

均为 63%。对于 Fly 和 Hall2 序列, JCUD 其编码时间节省了 70%, 这是因为这两个序列中含有的物体较少, 检测到的角点数目少, 故大部分 LCU 仅需计算 0, 1, 或是 2, 一个深度级的 RD 代价。文献[14]只考虑了彩色图像, 忽略了深度图像和彩色图像的失配问题, 导致了平均码率增加了 3.96%。尤其对于通过深度估计算法得到的序列 Kendo, Balloons 和 Newspaper, BDBR 增加了 2.78%~14.85%。文献[13]利用方差等特征提前终止 CU 的划分, 但是方差只是反映了像素的变化信息, 并不能够提供方向信息, 因此该方法只用于像素几乎不变的平滑区域, 平均码率增加了 0.18%, 但是节省的编码时间仅为 30%。图 5 为 Newspaper 序列分别在 HTM, 文献[14]和本文所提 JCUD 方法的 CU 划分结果, 文献[14]的方法对一些边缘区域选择了较大尺寸的 CU, 导致了合成视角的图像质量下降; 而本文算法与 HTM 算法的 CU 划分基本一致, 且在物体的边缘区域采用了更加精细的划分。

图 6(a)给出了当 Num_T 为 100000 时 3 种表征 QP 与角点数目关系方案的示例图, 分别记为备选方案 a, 最终方案和备选方案 b; 同时图 6(b)和图 6(c)给出了 3 种方案的编码性能和编码效率的对比图。由图 6 可知, 以本文所提方案为基准, 增加角点数目(备选方案 a)将增加 IV-3 编码块的数目, 进而降低了编码效率, 而编码性能略微下降; 减少角点数目(备选方案 b)虽然会略微提高编码效率, 却严

重地降低了编码性能。Kendo, Balloons, Fly 和 Hall2 序列 BDBR 增加了约 2%~5%, 其原因在其深度图细节少, 内容自适应检测到的检点数目少, 按方案备选方案 b 减少角点数目将导致一些细节区域的 CU 预分配深度为 0。然而对于 Newspaper, Street 序列的细节多, 检测到的检点多, 且角点多呈现密集分布; Dancer 是计算机生成的深度图, 其深度值范围广, 一些缓慢变化的区域会被误检为角点, 因此对于以上 3 个序列按备选方案 b 减少角点对编码性能影响较小。从结果中可以看出, 因为不同序列本身的特性相差较大(包括深度图生成方法的区别), 本文采用的式(2)尚未能够完美地在所有的序列中表征出 QP 与所需角点数的关系。但对所有的测试序列均表现出了在编码效率和复杂度上的较好的平衡。当序列的 QP 和角点数目关系不能被完美表征时, 如序列 Balloons, 最终的编码性能也没有受到明显的影响。

表 5 列出了采用 Harris, Shi-Tomasi 以及 FAST 角点算子的实验结果。由表 5 可知, 不同的角点算子对编码性能影响很小, 说明本文算法有很好的推广性。另外, 基于 FAST 算子的 CU 划分算法节省的时间最少, 约为 55%, 其原因在于 FAST 容易将边界点误检为角点特征, 导致预分配过程产生较多的 IV-3 的块, 而 IV-3 块需要计算深度级 2 和 3 的 RD 代价。同时表 6 列出了各角点算子的计算时间占所提算法的百分比。因为 3 种算子的计算时间仅

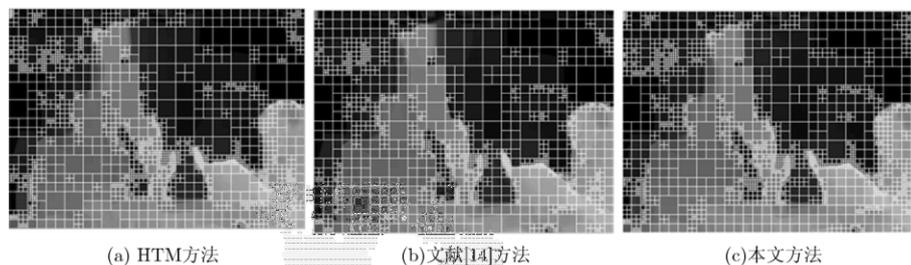


图 5 序列 Newspaper 在 QP=39 时的 CU 划分结果

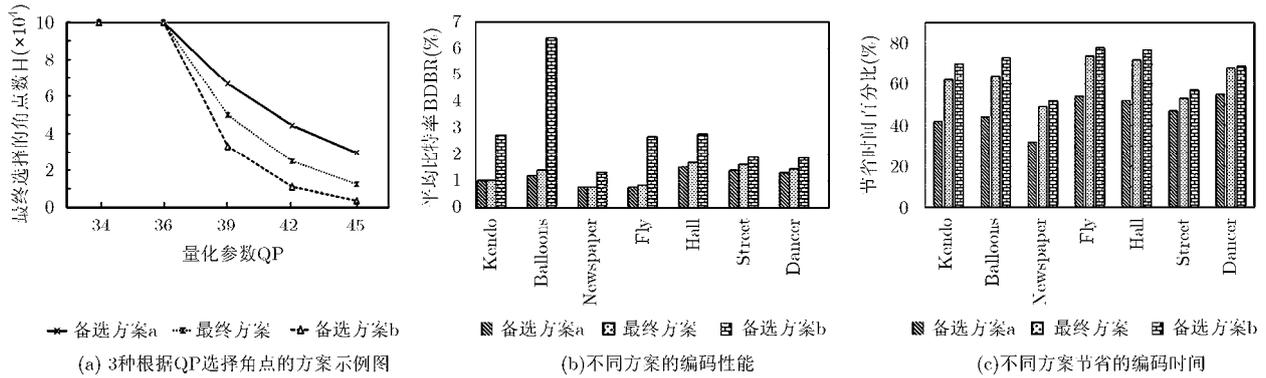


图 6 3 种根据 QP 选择角点的方案及对所提算法编码性能和效率的影响

表 5 FAST, Harris以及Shi-Tomasi角点算子对编码性能的影响(%)

测试序列	FAST		Harris		Shi-Tomasi	
	Δ BDBR	Δ T	Δ BDBR	Δ T	Δ BDBR	Δ T
Kendo	1.10	-57	1.06	-60	1.02	-62
Balloons	1.27	-60	1.37	-60	1.41	-64
Newspaper	0.79	-47	0.77	-49	0.77	-49
Fly	0.84	-61	0.84	-68	0.85	-74
Hall2	1.50	-60	1.62	-68	1.71	-72
Street	1.57	-48	1.59	-50	1.63	-53
Dancer	1.20	-52	1.31	-60	1.45	-68
平均值	1.18	-55	1.22	-59	1.26	-63

表 6 FAST, Harris以及Shi-Tomasi的计算时间及占总编码时间的百分比

测试序列	计算时间(s)			占总编码时间百分比(%)		
	FAST	Harris	Shi-Tomasi	FAST	Harris	Shi-Tomasi
1024 × 768	0.007	0.123	0.179	0.02	0.41	0.60
1920 × 1088	0.012	0.313	0.416	0.02	0.45	0.59
平均值	0.001	0.218	0.301	0.02	0.43	0.60

占总编码时间 0.02%~0.60%，所以单纯计算角点的时间对所提算法的编码效率影响很小。

此外，虽然本文提出的方法是针对帧内编码(I 帧) ,而在实际应用中帧间编码(P/B 帧)的占比更大。需要指出的是，即使在帧间编码的帧中，同样包含了大量的帧内块。为了说明所提算法的应用范围，本文将分层编码结构^[21]的帧分为 4 类：I 帧，Inter-View(IV)帧，Inter-Temporal(IT)帧，以及 Inter-View/Temporal(IVT)帧。表 7 中列出了后 3 种帧间编码帧的当中的帧内块的百分比分别为 94.26%，22.07%和 16.19%。在这些帧内块当中，本文的算法已经可以发挥作用。另外，由于深度图像的帧间相关性低，且角点大多分布在物体边缘，如图 1(a)所示，角点区域更容易受到运动的影响，往往需要采

表 7 分层编码结构中不同类型帧的帧内块的百分比(%)

测试序列	IV 帧	IT 帧	IVT 帧
Kendo	92.66	40.05	28.48
Balloons	92.91	15.25	9.83
Newspaper	97.21	10.91	10.27
平均值	94.26	22.07	16.19

用较小的编码单元提供准确的预测，所以所提算法可以应用于非帧内块的 CU 划分，但仍需要进一步地研究。

4 结论

本文利用深度图像的空间结构和其与彩色图像存在冗余，提出了基于角点和彩色图像的帧内编码单元划分快速算法。实验结果表明，与 HTM-13.0

的方法相比,本文算法平均比特率在仅增加了约1.26%的情况下,节省了约63%的编码时间,与只基于彩色图像的方法比较,节省了约13%的编码时间,且平均比特率减少了约3%,有效地提高了编码效率。同时,本文所提算法可以根据不同的视频内容和编码参数,自适应地选择所需的角点数目,算法的自适应性很强。由于角点大多分布在物体的边缘,所以本文算法还可以应用到基于 Kinect 的物体 3 维重建,3 维定位等基于对象访问的远程系统中,以促进 3 维视频压缩技术在此类应用的进一步发展。

参考文献

- [1] ISO&IEC and MPEG. Information technology-MPEG video technologies-Part 3: Representation of auxiliary video and supplemental information[R]. ISO/IEC/JTC1/SC29-23002-3, 2007.
 - [2] 张秋闻,安平,张艳,等.基于虚拟视点绘制失真估计的深度图帧内编码[J].电子与信息学报,2011,33(11):2541-2546. doi: 10.3724/SP.J.1146.2011.00218.
ZHANG Qiuwen, AN Ping, ZHANG Yan, et al. Depth map intra coding based on virtual view rendering distortion estimation[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2011, 33(11): 2541-2546. doi: 10.3724/SP.J.1146.2011.00218.
 - [3] 时琳,刘荣科,李君焯.基于深度信息的立体视频错误隐藏方法[J].电子与信息学报,2012,34(4):1678-1684. doi: 10.3724/SP.J.1146.2011.01107.
SHI Lin, LIU Rongke, and LI Junye. Error concealment based on depth information for stereoscopic video coding[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2012, 34(4): 1678-1684. doi: 10.3724/SP.J.1146.2011.01107.
 - [4] MULLER K, SCHWARZ H, MARPE D, et al. 3D high-efficiency video coding for multi-view video and depth data[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22(9): 3366-3378. doi: 10.1109/TIP.2013.2264820.
 - [5] SULLIVAN G J, OHM J R, HAN W J, et al. Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(12): 1649-1668. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221191.
 - [6] MERKLE P, MULLER K, ZHAO X, et al. Simplified Wedgelet search for DMM modes 1 and 3--JCT3V-B0039[R]. ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, 2012.
 - [7] GU Z Y, ZHENG J H, LING N, et al. Fast depth modeling mode selection for 3D HEVC depth intra coding[C]. IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops, San Jose, CA, 2013: 1-4. doi: 10.1109/ICMEW.2013.6618267.
 - [8] PARK C. Edge-based intra mode selection for depth-map coding in 3D-HEVC[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2015, 24(1): 155-162. doi: 10.1109/TIP.2014.2375653.
 - [9] 李元,何小海,钟国韵,等.一种基于时域相关性的高性能视频编码快速帧间预测单元模式判决算法[J].电子与信息学报,2013,35(10):2364-2370. doi: 10.3724/SP.J.1146.2013.00028.
LI Yuan, HE Xiaohai, ZHONG Guoyun, et al. A fast inter-frame prediction unit mode decision algorithm for high efficiency video coding based on temporal correlation[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2013, 35(10): 2364-2370. doi: 10.3724/SP.J.1146.2013.00028.
 - [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[J].电子与信息学报,2014,36(7):1699-1705. doi: 10.3724/SP.J.1146.2013.01148.
QI Meibin, CHEN Xiuli, YANG Yanfang, et al. Fast coding unit splitting algorithm for high efficiency video coding intra prediction[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2014, 36(7): 1699-1705. doi: 10.3724/SP.J.1146.2013.01148.
 - [11] SHEN Liqun, ZHANG Zhaoyang, and LIU Zhi. Effective CU size decision for HEVC intra coding[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2014, 23(10): 4232-4241. doi: 10.1109/TIP.2014.2341927.
 - [12] SHEN Liqun, ZHANG Zhaoyang, and AN Ping. Fast CU size decision and mode decision algorithm for HEVC intra coding[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2013, 59(1): 207-213. doi: 10.1109/TCE.2013.6490261.
 - [13] MIOK K, NAM L, and LI S. Fast single depth intra mode decision for depth map coding in 3D-HEVC[C]. IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops, Turin, Italy, 2015: 1-6. doi: 10.1109/ICMEW.2015.7169769.
 - [14] MORE E G, JUNG J, CAGNAZZO M, et al. Initialization, limitation, and predictive coding of the depth and texture quadtree in 3D-HEVC[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2014, 24(9): 1554-1565. doi: 10.1109/TCSVT.2013.2283110.
 - [15] LI W and LU Y. Rate-distortion optimization for depth map coding with distortion estimation of synthesized view[C]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Beijing, China, 2013: 17-20. doi: 10.1109/ISCAS.2013.6571771.
 - [16] ROSTEN E and DRUMMOND T. Fusing points and lines for high performance tracking[C]. IEEE International Conference on Computer Vision, Beijing, China, 2005: 1508-1515. doi: 10.1109/ICCV.2005.104.
 - [17] SHI J and TOMASI C. Good features to track[C]. IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seattle, WA, 1994: 593-600. doi: 10.1109/CVPR.1994.323794.
 - [18] HARRIS C and STEPHENS M. A combined corner and edge detector[C]. Alvey Vision Conference, Manchester, UK, 1988: 147-151.
 - [19] MPEG 3D-HTM Software V13.0[OL]. https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_3DVCSoftware/tags/13.0, 2014.
 - [20] BJPMTEGAARD G. Calculation of average PSNR differences between RD curves[R]. ITU-T Video Coding Experts Group, 2002.
 - [21] MERKLE P, SMOLIC K, MULLER P, et al. Efficient prediction structures for Multi-view video coding[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 17(11): 1461-1473. doi: 10.1109/TCSVT.2007.903665.
- 张洪彬: 男,1988年生,博士生,研究方向为3D视频压缩和图像处理。
伏长虹: 男,1981年生,副教授,研究方向为视频压缩和处理。
苏卫民: 男,1960年生,教授,研究方向为雷达信号处理、图像处理和视频处理。