

一种快速 HEVC 帧内预测模式决策算法

雷海军^{1,2,3}, 危 雄^{1,2,3}, 杨 张⁴, 袁梅冷⁴

(1. 深圳大学计算机与软件学院, 广东 深圳 518060; 2. 广东省普及型高性能计算机重点实验室, 广东 深圳 518060;

3. 深圳市服务计算与应用重点实验室, 广东 深圳 518060; 4. 深圳职业技术学院, 广东 深圳 518060)

摘 要: 高性能视频编码(HEVC)标准是视频编码联合小组提出的新的视频编码标准。针对 HEVC 帧内预测模式决策的高计算复杂度问题, 提出一种基于边缘方向强度检测的快速帧内预测模式决策算法。将 35 种帧内预测模式根据 5 个基本方向分为 5 个预测候选模式集合, 每个集合中有 11 种预测模式。分别计算预测单元(PU)的 5 个方向的方向强度, 以及每个方向所占比例, 选择比例最大的方向所对应的候选模式集合为该 PU 块的候选预测模式, 有效减少帧内预测的计算复杂度。实验结果证明, 与 HM8.0 相比, 该算法能够以保证视频质量为前提, 在高效率条件和低复杂度条件下平均节省 15% 和 18% 的编码时间。

关键词: 视频编码; 高性能视频编码标准; 帧内预测; 预测单元; 模式决策; 边缘方向检测

A Fast Mode Decision Algorithm for Intra Prediction in HEVC

LEI Hai-jun^{1,2,3}, WEI Xiong^{1,2,3}, YANG Zhang⁴, YUAN Mei-leng⁴

(1. College of Computer Science & Software Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

2. Key Laboratory of Affordable High Performance Computer in Guangdong Province, Shenzhen 518060, China;

3. Key Laboratory of Service Computing and Application at Shenzhen, Shenzhen 518060, China;

4. Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518060, China)

【Abstract】 High Efficiency Video Coding(HEVC) is a kind of new standard of video coding developed by the Joint Collaborative Team on Video Coding(JCT-VC). For the problem of high computational complexity of intra prediction in HEVC, a fast intra prediction algorithm based on edge direction detection is proposed. The proposed method divides 35 intra prediction modes into 5 sets of candidate modes according to 5 basic directions, and each set contains 11 intra prediction modes. The edge direction strength of Prediction Unit(PU) in 5 directions are calculated. The proportion of each direction is calculated and the candidate modes are selected to set corresponding edge direction with the largest proportion as best candidate modes for PU to reduce computational complexity effectively. Experimental results show that the proposed method saves encoding time of 15% and 18% on average compared with HM8.0 in high efficiency and low complexity.

【Key words】 video coding; High Efficiency Video Coding(HEVC) standard; intra prediction; Prediction Unit(PU); mode decision; edge direction detection

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2014.05.056

1 概述

高性能视频编码(High Efficiency Video Coding, HEVC)标准于 2010 年 4 月在德国德累斯顿召开的 JCT-VC 第一次会议上提出。该标准主要面向高性能高清视频应用, 提供从 QVGA(320×240 像素分辨率)到 1080p 甚至超高清(7680×4320)分辨率的视频应用。HEVC 的核心目标在于: 相比于 H.264 视频编码标准, 大幅提高视频压缩效率, 即在相同视

频质量前提下, 视频流码率减少 50%^[1]。

相比 H.264 标准, HEVC 依然采用混合编码框架^[2], 但在很多方面做出了改进来提高压缩效率。具有代表性的技术方案有: 基于大尺寸的四叉树分割结构^[3]和残差编码结构, 多角度帧内预测^[4], 运动估计融合技术等。其中, 多角度帧内预测, HEVC 的预测方向数从 H.264 标准中的 9 种增加到 33 种^[4], 很大程度上提高了帧内预测的精度, 但同时也带来了很高计算复杂度的负面效果。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60972037); 广东省部产学研基金资助项目(2012B091100495, 2009B090300267); 深圳市基础研究基金资助项目(JCYJ20120613113419607); 深圳大学重点基金资助项目(2213k3190007)。

作者简介: 雷海军(1968 -), 男, 副教授, 主研方向: 图像处理, 网络多媒体技术; 危 雄, 硕士研究生; 杨 张, 硕士; 袁梅冷, 副教授。

收稿日期: 2013-01-28 **修回日期:** 2013-04-01 **E-mail:** yangzhang120@163.com

针对 H.264 帧内预测的高计算复杂度, 已有众多学者提出了优化改进的方法。文献[5]提出了一种基于二维直方图的快速帧内预测算法, 在帧内预测之前对宏块预判, 减少预测算法复杂度, 提高视频压缩编码效率。文献[6]利用预测图中相邻模式及次优模式与最优模式的相关性特点, 对帧内预测模式进行选择, 提出了一种基于 Intra4×4 的快速模式选择算法, 减少了帧内预测的候选模式数。文献[7]通过对前 4×4 块帧内预测方向度量, 利用相邻块和相邻方向预测模式的相关性进行帧内模式预测。文献[8]利用帧内预测模式与视频图像块纹理方向的相关性提出了一种快速帧内预测算法, 使用 Sobel 算子计算出视频图像中纹理最强的方向, 在纹理最强方向和与该方向最接近的 2 个方向以及 DC 方向模式搜索最优的预测方向, 将 H.264 中的 9 种帧内预测方向减少为 4 种预测方向, 从而大量节省计算时间。

同样, 针对 HEVC 帧内预测的高计算复杂度问题, 文献[9]采用反向预测顺序进行色度分量预测生成深度图和候选预测模式集合, 再进行亮度分量帧内预测, 以降低 HEVC 帧内预测计算复杂度。文献[10]利用 HEVC 二叉树编码的特点, 缩短预测像素与参考像素之间的距离, 提高帧内预测精度。这种短距离帧内预测方向能大幅提高细节丰富的图像的帧内预测精度, 从而提高编码效率。

本文使用一种新的方法, 对帧内预测模式进行优化, 减少参与率失真优化(Rate Distortion Optimization, RDO)计算的帧内预测模式, 将 HEVC 中 35 种帧内预测模式减少为 11 种预测模式来实现快速帧内预测模式决策过程, 从而降低帧内编码时间, 提高编码效率。

2 HEVC 帧内预测

HEVC 标准定义了 3 种单元块: 编码单元(Coding Unit, CU), 预测单元(Prediction Unit, PU)和变换单元(Transform Unit, TU)^[1]。编码单元是 HEVC 视频编码的基本单元, 类似于 H.264 编码中的宏块, CU 块是正文形, 并且 CU 块的最大尺寸为 64×64(即 Largest Coding Unit, LCU), 最小尺寸为 8×8(即 Smallest Coding Unit, SCU)。对于每个 CU 块, HEVC 使用 PU 块实现该 CU 块的预测过程。PU 块支持多种分割类型, 对于帧内预测, PU 块的分割类型只能为 2N×2N 和 N×N 这 2 种类型。TU 块可支持对 4×4 至 32×32 基本单元的编码变换和量化。图 1 所示为 CU 与 PU 的分割关系。

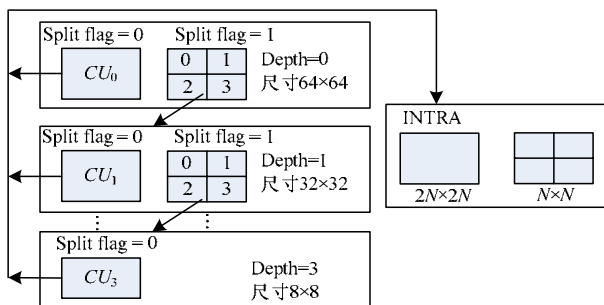


图 1 CU、PU 分割关系

HEVC 软件测试模型 HM8.0^[12]中的帧内预测共有 33 种角度预测模式, 如图 2 所示, 另外还包括 2 种非方向性预测模式: 直流预测模式(Intra_DC)和平面预测模式(Intra_planar)。PU 块的大小共有 5 种, 分别为 64×64, 32×32, 16×16, 8×8, 4×4, 这 5 种尺寸 PU 块所对应的帧内预测模式数分别为 4, 35, 35, 35, 18。当前 PU 块的帧内预测值是从相邻 PU 块的参考像素矩阵中通过线性内插得到。该预测过程中, 每个像素预测值需要大量的算术计算, 增加了预测过程的计算复杂度。

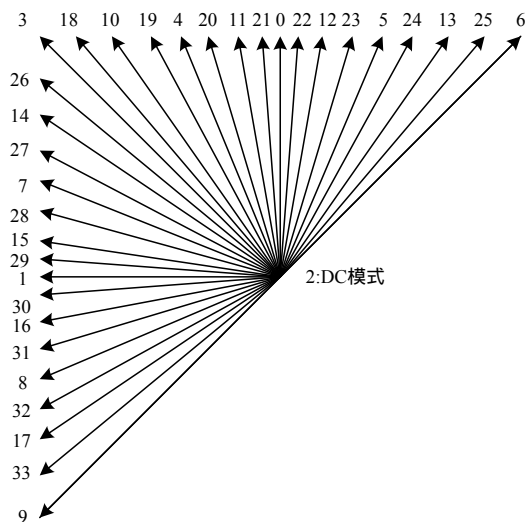


图 2 帧内预测模式方向

在 HEVC 软件测试模型 HM8.0 中, 首先根据当前 PU 块的大小得到当前 PU 块的可用帧内预测模式, 再通过对预测残差哈达曼变换计算出各个模式下的残差绝对值总和(Sum of Absolute Transformed Difference, SATD), 选出 SATD 最小的前 n 种预测模式为率失真优化(Rate Distortion Optimization, RDO)候选预测模式。帧内预测过程中为保证预测的准确性, 最可能预测模式(Most Probable Mode, MPM)始终包括在 RDO 候选预测模式集合中。最后对各 RDO 候选预测模式进行率失真优化计算, 得到帧内最优预测模式。

3 快速帧内预测模式决策算法

3.1 PU 块边界方向检测

在 HEVC 的帧内预测模式中, 有 33 种方向性预测模式, 若某个 PU 块选中某一预测模式则说明该 PU 块的纹理方向与该预测模式方向具有相似性。因此, 可以首先计算出各 PU 块的纹理方向, 对帧内预测模式进行快速搜索。如图 3 所示, 对 4×4 的 PU 块, 可以划分为 4 个 2×2 的子块。

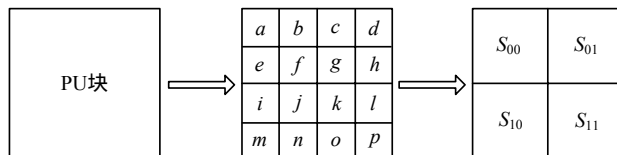


图 3 用于边缘方向检测的 PU 块 4 分割

每个子块可以用其中包含的 4 个像素的平均值表示。各子块的计算过程如下。

4×4 的 PU 块的各像素值为： $p(m, n)$, $m, n=0,1,2,3$ ；则被分割后的各子块的灰度值为：

$$S_{xy} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 p(2x+i, 2y+j), a, b=0,1$$

对于该 4×4 的 PU 块,若块内无明显边界,则 $(S_{00}+S_{11})/2$ 与 $(S_{01}+S_{10})/2$ 的差将会很小;若块内存在一个明显的水平边界,则 $(S_{00}+S_{01})/2$ 与 $(S_{10}+S_{11})/2$ 将有明显的差值,垂直方向类似;若块内存在一个明显的 45°对角线边界,则 S_{00} 与 $(S_{01}+S_{10}+S_{11})/3$ 或 S_{11} 与 $(S_{00}+S_{01}+S_{10})/3$ 有明显差值,135°对角线边界类似。

本文将 PU 块划分 5 种边界方向,分别是无明显边界、水平边界、垂直边界、45°对角线边界、135°对角线边界,如图 4 所示。

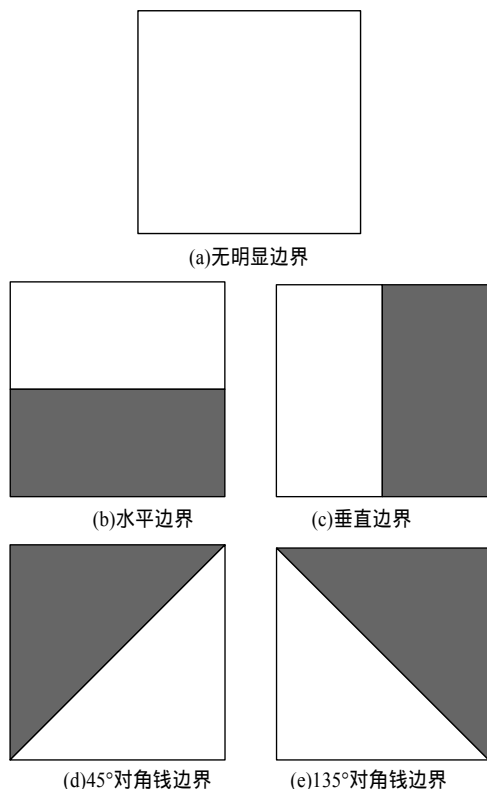


图 4 PU 块的 5 种边界方向

这 5 种边界方向的强度值 $E_{\theta}(\theta \in \{ND, 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4\})$ 的计算如表 1 所示,则 PU 块的边界方向即为 E_{θ} 最大值所对应的边界方向。

表 1 边界方向强度计算

边界方向	边界方向强度 E_{θ}
ND(no-direction)	$E_{ND} = (S_{00}+S_{11})/2 - (S_{01}+S_{10})/2 $
0	$E_0 = (S_{00}+S_{01})/2 - (S_{10}+S_{11})/2 $
$\pi/4$	$E_{\pi/4} = \max\{ S_{00} - (S_{01}+S_{10}+S_{11})/3 , S_{11} - (S_{00}+S_{01}+S_{10})/3 \}$
$\pi/2$	$E_{\pi/2} = (S_{00}+S_{10})/2 - (S_{01}+S_{11})/2 $
$3\pi/4$	$E_{3\pi/4} = \max\{ S_{01} - (S_{00}+S_{10}+S_{11})/3 , S_{10} - (S_{00}+S_{01}+S_{11})/3 \}$

以上为 4×4 的亮度块的边界方向检测过程。对于 8×8, 16×16, 32×32 的 PU 块,将其分割成 4×4 的 PU 单元,再进行边界方向检测。如图 5 所示,将 16×16 的 PU 块分割成 16 个 4×4 的 PU 块,计算这 16 个 4×4 的 PU 块的边界方向,则 16×16 的 PU 块的边界方向由 16 个 4×4 的 PU 块边界方向中占比最大的方向决定。由于尺寸较大的 PU 块被检测为无边界方向的可能性更大,为避免将有边界方向误判为无边界方向,特别设定只有在无边界方向的 4×4 块所占比例超过 75%时,当前 PU 块才被检测为无边界方向。

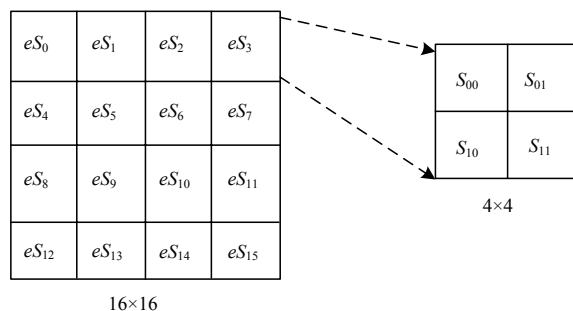


图 5 16×16 PU 块分割成 4×4 PU 单元的方向检测

3.2 帧内预测模式的划分

由于帧内预测模式与视频图像块内的边缘方向是密切相关的,因此可根据上述 5 种边缘方向将 33 种帧内预测模式划分为 5 类。

- (1) 无边界方向预测模式： $E_{ND} = \{0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ ；
- (2) 水平方向预测模式： $E_H = \{1, 7, 8, 15, 16, 28, 29, 30, 31\}$ ；
- (3) 垂直方向预测模式： $E_V = \{0, 4, 5, 11, 12, 20, 21, 22, 23\}$ ；
- (4) 45°对角线方向预测模式： $E_{45^\circ} = \{5, 6, 9, 13, 17, 24, 25, 32, 33\}$ ；
- (5) 135°对角线方向预测模式： $E_{135^\circ} = \{5, 6, 9, 13, 17, 24, 25, 32, 33\}$ 。

为保证帧内预测的准确性, Intra_DC 和 Intra_planar 预测模式将加入到上述 5 个预测模式集合中,每个 PU 单元的可用预测模式数从 33 种减少为 11 种。若检测到当前 PU 块的边缘方向无明显边缘方向,则当前 PU 的可用帧内预测模式为集合 E_{ND} ,对于其他方向的选择过程与此类似。由于每个 PU 块的可用帧内预测模式数减少,本文所用方法中将 4×4 和 8×8 大小 PU 块的候选帧内预测数设定为 5。

4 实验结果及分析

为了验证所提出方法的效率,本文以 HEVC 的软件测试模型 HM8.0 为参照进行实验。实验平台为 Inter(R)酷睿双核 CPU,主频 2.83 GHz,内存 3 GB,操作系统 Windows XP。实验所用的序列的测试条件来自文献[13],量化值分别为 22、27、32、37。实验结果如表 2 所示。比较编码效率的参数指标有 PSNR 增量($\Delta PSNR$)、码率增量($\Delta Bitrate$)和编码时间增量($\Delta time$),分别用以下公式进行计算:

$$\Delta PSNR = PSNR_{proposed} - PSNR_{HM8.0}$$

$$\Delta Bitrate = \frac{Bitrate_{proposed} - Bitrate_{HM8.0}}{Bitrate_{HM8.0}} \times 100\%$$

$$\Delta time = \frac{time_{proposed} - time_{HM8.0}}{time_{HM8.0}} \times 100\%$$

表 2 实验结果对比

分组	All-Intra HE			All-Intra Loco		
	$\Delta Y-PSNR/dB$	$\Delta Bitrate/\%$	$\Delta time/s$	$\Delta Y-PSNR/dB$	$\Delta Bitrate/\%$	$\Delta time/s$
ClassA	-0.13	0.06	-13.78	-0.14	0.08	-18.36
ClassB	-0.06	-0.16	-14.58	-0.02	-0.20	-18.28
ClassC	-0.09	0.10	-13.23	-0.14	-0.13	-15.73
ClassD	-0.22	0.65	-16.13	-0.17	0.72	-17.33
ClassE	-0.18	0.31	-16.43	-0.13	0.44	-18.77
平均值	-0.14	0.19	-14.83	-0.12	0.18	-17.69

从表 2 中可以看出，在高效率条件下本文提出的算法的码率与 HM8.0 相比有明显提升，视频编码质量仅提高了 0.14 dB，但是编码时间节省了约 15%。在低复杂度条件下本文算法的码率与 HM8.0 相比有明显提升，视频编码质量仅提高了 0.12 dB，但是编码时间节省了约 18%。

5 结束语

本文通过检测各 PU 块的边缘方向强度，将帧内预测模式数从 35 种减少为 11 种，简化了对不必要的预测模式的率失真优化(RDO)计算，从而降低视频编码的计算复杂度，节省编码时间，提高编码效率。实验结果证明本文所提出的快速帧内预测模式决策算法是正确和有效的。但是所提出的算法仅优化了 HEVC 帧内预测的粗选模式决策过程，并未考虑帧内预测模式的率失真优化计算过程，有待进一步研究以提高帧内预测的编码速度。

参考文献

[1] Sullivan G J, Ohm J, 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.

[2] Wiegand T, Ohm J R, Sullivan G J, et al. Special Section on the Joint Call for Proposals on High Efficiency Video Coding(HEVC) Standardization[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(12): 1661-1666.

[3] Kim I K, Min J, Lee T, et al. Block Partitioning Structure in the HEVC Standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1697-1706.

[4] Lainema J, Bossen F, Han 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.

[5] 谢 晶, 贾克斌. 一种基于二维直方图的 H.264/AVC 快速帧内预测判决算法[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(7): 1053-1057.

[6] 王维哲, 周 兵, 张行进. H.264 编码中的帧内预测模式选择算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(2): 226-228, 231.

[7] 王启文, 黄东军. H.264 中 4×4 块的快速帧内预测算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(2): 217-219.

[8] Pan F, Lin X, Rahardja S, et al. Fast Mode Decision Algorithm for Intra Prediction in H.264/AVC Video Coding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(7): 813-822.

[9] Chen Weijing, Su Jia, Li Bin, et al. Reversed Intra Prediction Based on Chroma Extraction In HEVC[C]//Proc. of International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2011: 1-5.

[10] Cao Xiaoran, Lai Changcai, Wang Yunfei, et al. Short Distance Intra Coding Scheme for HEVC[C]//Proc. of Picture Coding Symposium. [S. l.]: IEEE Press, 2012: 501-504.

[11] Han W J, Min J, Lee T, et al. Improved Video Compression Efficiency Through Flexible Unit Representation and Corresponding Extension of Coding Tools[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(12): 1709-1720.

[12] JCT-VC. The Reference Software of HEVC[EB/OL]. (2012-11-10). https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/HM-8.0.

[13] Bossen F. Common Test Conditions and Software Reference Configurations[Z]. 2011.

编辑 顾逸斐