

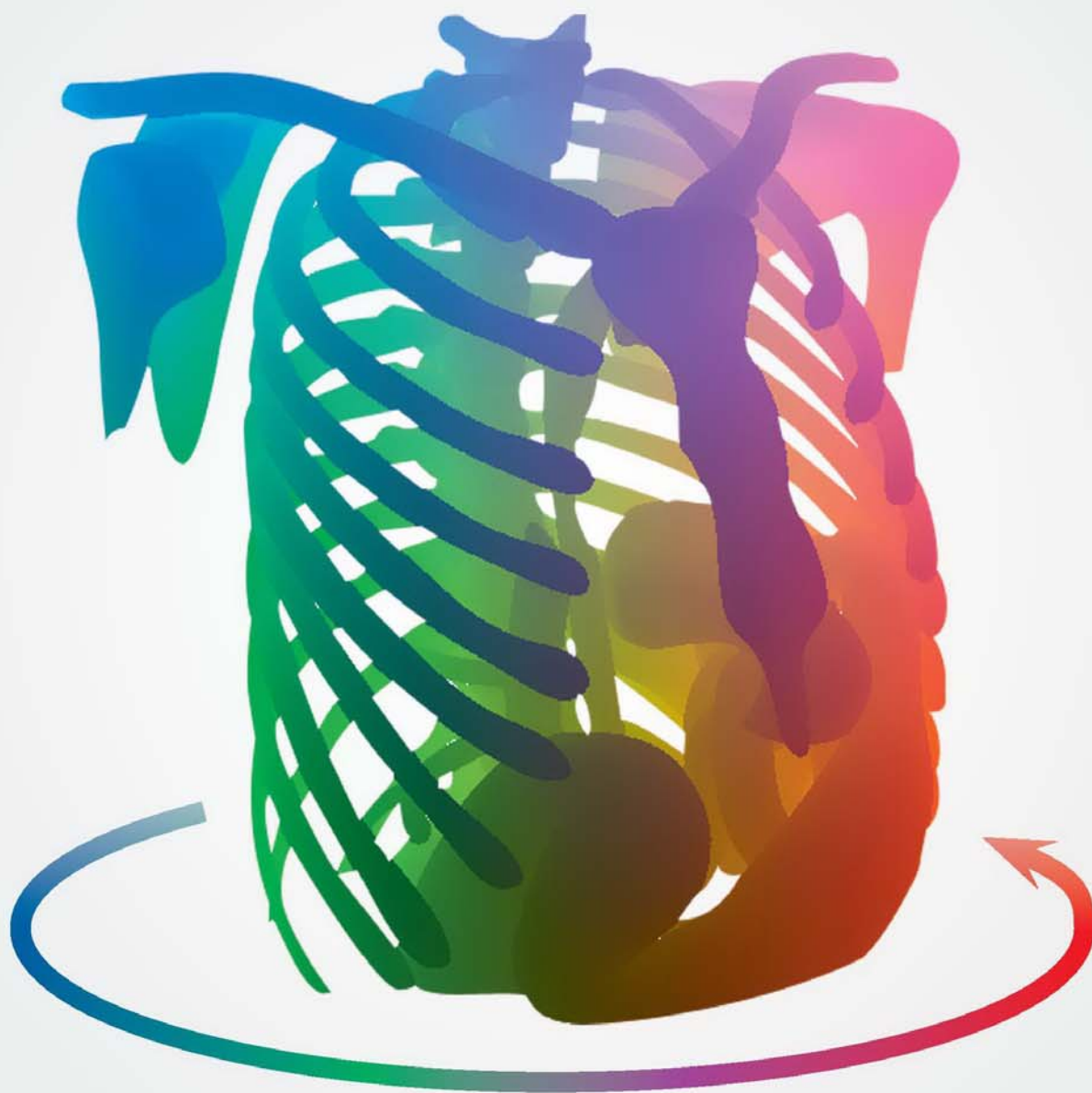
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
02
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



等值面光线跟踪 P193



第20卷第2期（总第226期）

2015年2月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



多尺度活动网格在云场景仿真中的应用(第0202页)



自然环境视频中基于显著鲁棒轨迹的行为识别(第0245页)



虚拟手抓持力觉生成算法真实性的评价(第0280页)

图像处理和编码

引入神经网络中间神经元的快速小波图像压缩

张海涛, 张永霖 0159

拟正态分布扩散的图像平滑

周先春, 汪美玲, 周林锋 0169

可选特征的快速分形图像编码

袁宗文, 鲁业频, 杨汉生 0177

图像分析和识别

融合多尺度码本的全局编码图像分类

董振宇, 赵杰煜, 祝军 0183

计算机图形学

结合K-D树和Shell的快速动态等值面光线跟踪法

罗月童, 石放放, 张伟, 朱会国 0193

多尺度活动网格在云场景仿真中的应用

范晓磊, 张立民, 张建廷, 徐涛 0202

第十届和谐人机环境联合会议专栏

低资源语言的无监督语音关键词检测技术综述

杨鹏, 谢磊, 张艳宁 0211

快速离散Curvelet变换域的图像融合

杨勇, 董松, 黄淑英 0219

高效视频编码中变换跳过模式的快速选择

王宁, 张永飞, 樊锐 0229

主动学习的多标签图像在线分类

徐美香, 孙福明, 李豪杰 0237

自然环境视频中基于显著鲁棒轨迹的行为识别

易云, 王瀚漓 0245

特征变换和数据集分块的行人比对

沈洋, 林巍晓, 殷惠清 0254

移动手持环境下触摸式目标选择技术对比

辛义忠, 李岩, 袁伟强, 郑谦 0264

虚拟环境的用户意图捕获

程成, 赵东坡, 卢保安 0271

虚拟手抓持力觉生成算法真实性的评价

杨文珍, 许艳, 颜传武, 吴新丽, 张昊, 孟闯 0280

交互式乐器演奏的六自由度力觉渲染方法

童号, 史有姣, 王党校, 张玉茹 0288

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Multi-scale moving grids and its application in clouds scene simulation(P0202)



Action recognition from unconstrained videos via salient and robust trajectory (P0245)



Validation the Authenticity of Virtual fingers Grasping Haptic Algorithm(P0280)

Image Processing and Coding

- Fast wavelet image compression introducing neural network of relay neuron
Zhang Haitao, Zhang Yonglin 0159
- Image smoothing algorithm based on matching normal distribution diffusion
Zhou Xianchun, Wang Meiling, Zhou Linfeng 0169
- Optional features fast fractal image coding algorithm
Yuan Zongwen, Lu Yepin, Yang Hansheng 0177

Image Analysis and Recognition

- Image classification based on global coding combined with multi-scale codebook
Dong Zhenyu, Zhao Jieyu, Zhu Jun 0183

Computer Graphics

- Fast isosurface ray tracing method by combining K-D tree and Shell
Luo Yuetong, Shi Fangfang, Zhang Wei, Zhu Huiguo 0193
- Multi-scale moving grids and its application in clouds scene simulation
Fan Xiaolei, Zhang Limin, Zhang Jianting, Xu Tao 0202

Column of HHME'2014

- Survey on unsupervised spoken term detection for low-resource languages
Yang Peng, Xie Lei, Zhang Yanning 0211
- Image fusion based on fast discrete Curvelet transform
Yang Yong, Tong Song, Huang Shuying 0219
- Fast transform skip mode decision for high efficiency video coding
Wang Ning, Zhang Yongfei, Fan Rui 0229
- Online multi-label image classification with active learning
Xu Meixiang, Sun Fuming, Li haojie 0237
- Action recognition from unconstrained videos via salient and robust trajectory
Yi Yun, Wang Hanli 0245
- Pedestrian re-identification based on feature transformation and dataset classification
Shen Yang, Lin Weiyao, Yin Huiqing 0254
- Comparison of target selection techniques in mobile handheld environment
Xin Yizhong, Li Yan, Yuan Weiqiang, Zheng Qian 0264
- Intent understanding for virtual environments
Cheng Cheng, Zhao Dongpo, Lu Baoan 0271
- Validation the authenticity of virtual fingers grasping haptic algorithm
Yang Wenzhen, Xu Yan, Yan Chuanwu, Wu Xinli, Zhang Hao, Meng Chuang 0280
- Interactive simulation of music instrument playing by a six degree-of-freedom haptic rendering approach
Tong Hao, Shi Youjiao, Wang Dangxiao, Zhang Yuru 0288

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)02-0229-08

论文引用格式: Wang N, Zhang Y F, Fan R. Fast transform skip mode decision for high efficiency video coding[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(2): 0229-0236. [王宁, 张永飞, 樊锐. 高效视频编码中变换跳过模式的快速选择[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(2): 0229-0236.] [DOI: 10.11834/jig.20150209]

高效视频编码中变换跳过模式的快速选择

王宁¹, 张永飞^{1,2}, 樊锐¹

1. 北京航空航天大学计算机学院, 数字媒体北京市重点实验室, 北京 100191;
2. 北京航空航天大学虚拟现实技术与系统国家重点实验室, 北京 100191

摘要: **目的** 新一代高效视频编码(HEVC)标准采用了灵活的块结构和大量新颖的编码工具,有效提高了视频编码效率。变换跳过模式作为一种新增加的模式,可以有效地提高编码效率,但是也显著地增加了编码的复杂度,增加了实时编码应用的难度。因此提出一种针对变换跳过模式的提前剪枝算法。**方法** 通过分析不同率失真代价下是否选择变换跳过模式的残差块的分布情况,最终选取率失真代价的平方根作为阈值,并建立了量化参数与阈值之间的模型。之后可以根据量化参数提前计算得到阈值大小,减少变换跳过模式的编码次数,从而降低变换跳过模式的复杂度。**结果** 由于最终只需要对少量的块进行变换跳过模式编码,并且使用模型得到经验阈值并不会额外增加复杂度,因此能减少编码器的计算复杂度。实验结果表明,与标准编码器相比,该算法对于不同场景的标准测试序列平均峰值信噪比和平均比特率变化都非常小,平均减少了70%的变换跳过模式编码的次数。**结论** 该变换跳过模式的剪枝算法,选取率失真代价的平方根作为阈值,根据本文模型获取不同量化参数下的经验阈值,对是否需要进行变换跳过模式提前判断。实验结果表明,该算法能在保证视频编码质量的前提下有效地降低由于加入变换跳过模式增加的编码复杂度。

关键词: 高效视频编码(HEVC); 视频编码; 变换跳过; 率失真代价

Fast transform skip mode decision for high efficiency video coding

Wang Ning¹, Zhang Yongfei^{1,2}, Fan Rui¹

1. Beijing Key Laboratory of Digital Media, School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;
2. State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and Systems, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract: **Objective** The latest video coding standard high efficiency video coding (HEVC) adopts a more flexible structure and new coding tools compared with other coding standards. The adoption of new technologies results in entirely unrelated prediction residual blocks. An inferior energy concentration can also be obtained by using several methods, such as DCT transform in frequency domain, in less-correlative pixel residual blocks. Among these new coding tools, transform skip mode can enhance the coding efficiency effectively while increasing the coding complexity considerably. Therefore, the difficulty of practical real-time coding is increased. To address the problem, a fast algorithm that reduces the transform skip mode in advance is proposed. **Method** The square root of the rate distortion cost is selected as the threshold value by analyzing whether the distribution of the residual block has selected the transform skip mode as the best mode at different rates

收稿日期: 2014-07-25; 修回日期: 2014-10-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(61272502)

第一作者简介: 王宁(1990—), 男, 北京航空航天大学计算机学院硕士研究生, 主要研究方向为视频编码与传输。E-mail: wang.ning621@163.com

通信作者: 张永飞, E-mail: zhangyf.ac@gmail.com

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61272502)

of distortion costs. To save bits, the HEVC standard defines whether the coefficients of transform units are all zero after transform skip and quantization. The DCT/DST transform is directly chosen as the best mode. A larger quantization parameter can mean a larger percentage of all zero blocks after transform skip mode. Therefore, an exponential model of the rate distortion cost and quantization parameter is established. In the actual coding process, thresholds can be calculated in advance based on the quantization parameters. These thresholds are used to reduce the number of transform units that need to check the transform skip mode. Therefore, the complexity of the transform skip mode is reduced. **Result** Only a small number of blocks need to check the transform skip mode, and the thresholds are obtained by offline training. Thus, no additional complexity is added, and the computational complexity of the encoder is reduced. Experimental results show that compared with the standard encoder, the fast algorithm has minimal effect on PSNR and bit rate for standard test sequences that include different scenes. On average, about 70% of the transform units do not need to check the transform skip mode. The exponential model established in this paper fits very well, with a square of determination coefficient larger than 0.95. **Conclusion** The algorithm selects the square root of the rate distortion cost as the threshold to reduce the transform skip mode and obtains the threshold by using the exponential model and quantization parameter. The transform skip mode can be reduced in advance. Experimental results indicate that the fast algorithm can reduce the coding complexity effectively because of the addition of transform skip mode with negligible performance loss. The proposed algorithm can be applied to real-time situations. It can reduce the time of transform skip mode significantly and can be further optimized. The relationship between the coding efficiency and coding time can be balanced dynamically by establishing the model of performance loss and pruning percentage in further research.

Key words: high efficiency video coding (HEVC); video coding; transform skip; rate distortion cost

0 引言

随着光电、信息技术的发展,视频应用在高清晰度、高帧率、高压缩率等方面提出了更高的要求。为了满足这些新的需求,ITU-T VCEG (Video Coding Experts Group) 与 ISO/IEC MPEG (Moving Picture Experts Group) 在 2010 年 6 月成立了视频编码标准联合专家组,制定新一代视频编码标准 HEVC (high efficiency video coding)^[1],并且在 2013 年 1 月正式公布 HEVC 编码标准,其对应的测试模型为 HM10^[1]。

作为新一代视频编码标准,HEVC 采用了和当前应用最广泛的视频编码标准 H. 264/AVC^[2] 相同的混合编码架构,通过使用不同大小的编码单元和变换单元组合构成的灵活的块结构、自适应采样点偏移技术、基于离散余弦变换的亚像素插值等方法,对于高清视频,能够在相同质量下,比 H. 264/AVC 节省一半的码流,但是庞大并且灵活的编码参数集的模式选择,使 HEVC 编码器复杂度急剧增加,需要优化大约 5 000 倍才能实现实时编码^[3],因此对于减少 HEVC 编码器的复杂度的研究很有必要。

与 H. 264/AVC 相比,HEVC 使用了更大尺寸的变换,并且根据率失真代价递归的选择最优尺寸的变换组合。由于只要编码单元或者预测单元的划分方式不同,即编码模式不同,就需要对该模式下的残差递归的选择最优变换单元的组合,极大的增加了编码器的复杂度。文献[4]通过贝叶斯判别分析的方法自适应的选择变换单元递归划分的深度,文献[5]通过设定最末非零系数的位置以及非零系数的个数的阈值,对变换单元的递归划分过程进行剪枝处理。当帧内模式下亮度变换单元大小为 4×4 时,使用离散正弦变换(DST),这是由于帧内预测后预测残差具有一定的方向性,当前像素与预测像素相隔越远则它们之间的相关性就越小,而相应的预测残差就会越大,DST 变换能够很好的处理这种特性,DST 变换比离散余弦变换(DCT)复杂度略高,能够在帧内模式减少约 1% 的码率^[6-7]。

2 维 DCT/DST 变换,能够将变换单元的能量集中到左上角,但是当残差在变换单元中分布较为零散,像素点间相关性较差时,进行 2 维 DCT/DST 变换后得到的结果可能仍然是零散的分布,这时使用变换跳过模式往往会带来较大的增益^[8]。目前有关变换跳过模式的文献[9-11]主要集中在通过改变

量化后扫描方式,进一步提高视频编码质量,然而这些文章并没有考虑到由于加入变换跳过模式带来的复杂度的增加,本文希望能通过分析最终是否选择变换跳过模式的变换单元的特点,在不影响编码质量的前提下,有效降低 HEVC 的计算复杂度。

本文主要从率失真代价的角度分析不选择变换跳过模式的变换单元的特点,建立了适用于不同变换单元大小的变换跳过模式剪枝阈值与不同量化参数之间的指数模型,通过剪枝有效减少需要进行变换跳过模式编码的变换单元数量。

1 HEVC 中的变换跳过模式

在视频编码技术中,变换能去除空间信号的相关性,并且将空域的能量集中到低频系数上,而系数较小的系数能被量化去除,同时对质量的影响并不明显。HEVC 标准中最终采用的是 DCT 和 DST 变换以及变换跳过技术^[1],通过率失真优化技术选择最优的变换编码模式。为了得到最佳变换单元大小和模式,一个残差块需要遍历不同大小的变换单元以及每个变换单元的所有变换编码模式,并最终选择率失真代价最小的变换单元大小和模式作为最佳变换模式。

变换跳过模式是 HEVC 中新引入的技术之一,该技术对于场景变化缓慢的视频序列有明显效果,典型的视频序列是标准测试序列中的 F 序列,该序列中的视频都是用于在电脑或者手机等电子产品屏幕进行显示。这种模式在变换部分,采用放缩的方式将残差数据的数据大小转换到与变换后相当的大小,之后再行和其他模式完全相同的率失真优化量化,反量化,以及反变换跳过和熵编码。

最初,变换跳过模式只用于处理帧内模式下 4×4 大小的变换单元,文献[12]提案中表明 BD-RATE^[13]能够减少 7.8%。文献[14]提案中将变换跳过模式应用到帧间模式下 4×4 大小的变换单元, BD-RATE 能够减少 1% 到 3%。最终,在文献[15]提案中变换跳过模式正式被采用,变换跳过模式在帧内和帧间模式都使用,并且限定于处理 4×4 大小的亮度或者色度残差块。在 HEVC 标准^[1]中,变换单元大小为 4×4 时,需要首先进行 DCT 变换或者 DST 变换(帧内模式下 $N \times N$ 模式),然后进行变换

跳过模式编码,然后两者进行比较。当使用变换跳过模式比使用 DCT 或者 DST 变换的率失真代价更大,或者使用变换跳过模式量化后得到系数全部为零时,则不选择变换跳过模式。

在文献[9]和[16]提案中,作者通过统计发现,变换跳过模式带来的最大增益,是当编码单元的大小为 8×8 并且预测单元模式为 $N \times N$ 时获得的,以此为基础,提出了帧内模式下的变换模式的加速算法,只有满足编码单元的大小为 8×8 并且预测单元模式为 $N \times N$ 时,才进行变换跳过模式编码,减少了大约 10% 的编码时间,序列 F 的 BD-RATE 大约增加了 0.2%。当前有关变换跳过模式的文献,主要是通过改变量化后系数的扫描方式,进一步提高编码效率,特别是提高在屏幕显示序列的增益。例如,文献[10]通过统计分析发现,由于帧内预测中,距离左上角越远的位置,预测性能越差,离左上边界越远,残差越大,量化后为非零的概率更大。因此文章提出在变换跳过模式时,熵编码从右下角开始扫描并编码的算法,结果显示在不影响时间复杂度的条件下, BD-RATE 大约减少 0.1% 到 0.5%。

2 变换跳过模式的快速选择算法

变换跳过模式能提高压缩效率,特别是对于在屏幕显示的视频,能带来较多的质量提升。表 1 列出了 HM 10.0 中变换跳过模式对编码性能和时间的影响。编码性能采用 R_{BD} (BD-RATE) 衡量,使用 TS 表示编码复杂度的影响, TS 定义为

$$TS = \frac{T_{PRO} - T_{REF}}{T_{REF}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, T_{REF} 和 T_{PRO} 分别表示开启变换跳过模式的 HM 10.0 的原始编码时间和关闭变换跳过模式后 HM 10.0 的编码时间。从表 1 可以看出,变换跳过模式能够略微降低编码码率,特别是屏幕显示的序列 F 质量提升效果非常明显,但同时会分别对应帧内和帧间模式增加将近 14% 和 7% 的编码时间。而在表 1 中有少量视频序列质量有所下降,主要是由于打开变换跳过模式,需要对其相应的标志位进行编码,这样会耗费码流,但是最终实际合适选用变换跳过模式的块又非常少,造成了最终质量的下降。

表2则列出了不同类别序列,亮度和色度分量最终选择变换跳过模式的比例。表1和表2使用分别对应于帧间模式和帧内模式的低延迟 Low_Delay_P_Main^[17]配置和全I帧 All_Intra_Main^[17]的配置作为测试条件,量化参数QP取值为22,27,32,37,测试序列包括HEVC标准测试序列中大小为2560×1600像素的A序列,大小为1920×1080像素的B序列,大小为832×480像素的C序列,大小为416×240像素的D序列,大小为1280×720像素的E序列,来自于电脑或者手机屏幕显示的F序列。

表1 变换跳过模式对HEVC编码性能和时间的影响

Table 1 Impact on coding time and efficiency
by transform skip mode

类别	帧内模式		帧间模式	
	R_{BD}	TS	R_{BD}	TS
	/%		/%	
A	-0.02	-14	-0.08	-7
B	-0.04	-14	-0.05	-7
C	0.02	-15	0.24	-7
D	0.03	-15	0.38	-7
E	-0.07	-13	-0.29	-6
F	8.61	-14	10.48	-7

表2 选择变换跳过模式的比例

Table 2 The percentage of transform units chosen
transform skip mode

类别	帧内模式		帧间模式	
	亮度	色度	亮度	色度
	/%		/%	
A	0.37	0.58	0.45	0.16
B	0.94	0.30	1.43	0.08
C	2.56	0.62	2.50	0.24
D	2.61	0.56	4.29	0.32
E	0.16	0.83	0.13	0.01
F	8.18	6.61	2.22	0.34

从表2可以看出,最终选择采用变换跳过模式的比例非常小,亮度最多不会超过10%,绝大多数色度结果更是低于1%。而表1显示变换跳过模式虽然带来了一定的质量提升,但是时间复杂度也有

较大的增加。因此,如果可以提前判断出最终不会选择变换跳过模式,则该模式下对应的变换、量化和熵编码等操作都可以被省去,从而节省编码时间。

HEVC中如果通过变换跳过模式后,得到的是全零块或者率失真代价比DCT/DST模式的率失真代价更大,则最终选择的是DCT/DST模式。由于多数的变换单元最终选择的是DCT/DST模式进行编码,可以考虑利用DCT/DST模式编码完成后的结果进行剪枝。通常进行剪枝选用的特征量包括非零系数的个数,非零系数绝对值的和以及率失真代价,而通过实验发现,使用进行DCT/DST模式编码后的率失真代价能较好地将不采用变换跳过模式的变换单元区分出来。因此,本文选择率失真代价作为提前判断的依据。率失真代价由两部分组成,其计算公式为

$$J = R \times \lambda + D \quad (2)$$

式中, J 表示率失真代价, R 表示对编码模式,残差等数据进行编码所需要的码流位数, D 表示重建图像和原始图像的差异, λ 是主要与量化参数QP值相关的拉格朗日因子。其中 R 反应出码流大小, D 反应出失真大小或者峰值信噪比(PSNR)的大小。

由于率失真代价能够表示该模式的性能,如果DCT/DST变换用于处理该残差块的失真代价已经足够小,则认为采用DCT/DST变换已经能起到很好的效果,再进行变换跳过模式并不能带来很大的质量提升,则可以不再检测之后的变换跳过模式。DCT/DST变换模式下的率失真代价在进行变换跳过模式选择前已经得到,因此,采用该代价作为提前判断依据不会引入额外的计算量。

图1为序列BasketballDrillText在低延迟Low_Delay_P_Main配置下QP为32时,变换单元的亮度分量在不同率失真代价下选择DCT/DST变换模式或者变换跳过模式的分布。其中 k 表示率失真代价的平方根值, $N(k)$ 表示对应于 k 的变换单位数量。由于率失真代价本身值较大,分布较广,不利于获取阈值特征,因此采用率失真代价的平方根作为判断标准。

如表2所示,由于选择变换跳过模式的块数量非常少,图1中实线是将其纵坐标放大了100倍的结果。

从图1中可以看出,是否采用变换跳过模式的曲线分布存在明显的差异,特别是当使用DCT或

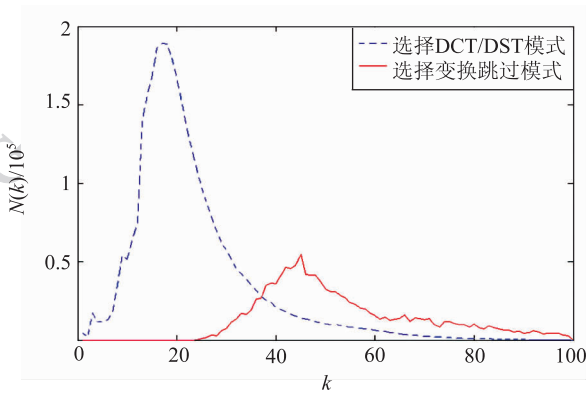


图1 不同率失真代价变换单元的变换模式选择情况

Fig. 1 Distribution of the chosen transform mode of transform units under different rate distortion cost

者 DST 变换得到的率失真代价较小时, 完全不存在或存在非常少的采用变换跳过模式的块。因此可以考虑, 通过合理的选择率失真代价阈值, 将这部分块排除掉, 即当率失真代价小于阈值条件时, 直接判定该变换单元采用 DCT 或者 DST 变换, 而阈值选取为满足式(3)的所有 t 中的最小值, 即 $T = \min \{t\}$ 。

$$\sum_{k=0}^t N(k) > \gamma \times \sum_{k=0}^n N(k) \quad (3)$$

式中, γ 表示如果阈值选择为 t 时, 被误判为 DCT 或者 DST 变换模式的块占有选择变换跳过模式的块的比例, n 表示最大率失真代价的平方根的取值 $N(k)$ 对应图1 虚线纵坐标, 即当率失真代价的平方根大小为 k 时, 选择变换跳过模式块的数量。

虽然通过式(3)获取阈值能够保证获取的阈值是最优的, 没有相应的误判, 但是这样的阈值只能在编码之后才能知道。为了在编码之前得到阈值, 需要分析可能影响阈值的因素。如前文所述, 如果使用变换跳过模式后得到的为全零块, 那么就不会选择变换跳过模式, 这种变换单元使用 DCT/DST 模式得到的率失真代价几乎等于该变换单元的失真大小。失真与 QP 是正相关的, 而阈值的选取是根据最终不选择变换跳过模式的变换单元中使用 DCT/DST 模式编码得到的最大率失真代价, 因此该阈值会随着 QP 的增大而增大。

为了进一步分析阈值的选取与量化参数的关系, 选用所有测试序列中的前 25 帧进行统计, 得到如图2 所示的阈值与量化参数的关系。

根据图2 中曲线分布情况, 可以看出 T 的值会

随着 QP 值的增大而明显增大, 并呈现较明显的指数型关系。

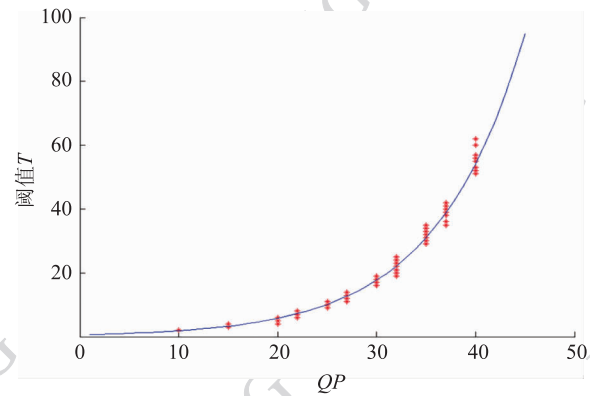


图2 不同QP下不同序列的阈值选择情况

Fig. 2 Threshold chosen by different QP for different sequences

因此提出采用如下指数模型来描述剪枝阈值与量化参数之间的关系

$$T = \alpha \times \exp(QP \times \beta) \quad (4)$$

式中, QP 表示对应的量化参数大小, T 表示该量化参数下应该选取的阈值大小, α 和 β 为指数型阈值模型的参数。

表3 列出了针对不同编码模式(帧间编码、帧内编码)和分量(亮度、色度)的经验模型参数。其中, 经过大量实验发现, 通过式(3)获取阈值时, 帧间模式和帧内模式 γ 的取值分别取 0 和 0.03 时, 可以达到较好的编码质量和编码时间平衡。当然, 针对不同的应用需求, 可取不同的 γ 值, 从而得到不同的阈值模型参数 α 和 β 。例如, 对于实时性要求高的应用, 可采用更大的 γ 值, 容许变换跳过模式被误判为 DCT/DST 模式, 但会大幅减少变换跳过模式编码次数, 从而有效降低编码复杂度。

表3 不同条件下的模型参数

Table 3 Mode parameter in different conditions

	α	β	R^2	Sig
帧间亮度	0.615	0.112	0.995	0.000
帧间色度	0.566	0.114	0.993	0.000
帧内亮度	0.990	0.113	0.991	0.000
帧内色度	0.702	0.115	0.987	0.000

表3 中 R^2 表示复相关系数, Sig 表示显著性。帧间表示使用帧序为 IPPP 的 Low_Delay_P_Main 配

置得到的结果,帧内表示使用全 I 帧 All_Intra_Main 的配置对应的参数。从实验结果来看, R^2 的值非常接近于 1,表明拟合程度非常好;Sig 的值小于 0.01,表明差异极显著,该模型受误差影响很小。通过表 3 中 R^2 和 Sig 的结果可以看出,本文提出的指数型剪枝阈值模型能够准确地预测不同量化参数下的剪枝阈值。另外,本文模型采用的是离线训练,并不会额外增加复杂度。

3 实验结果与分析

将本文算法在 HEVC 参考编码器 HM 10.0 实现,测试序列包含 HEVC 标准测试序列中 A、B、C、D、E 和 F 的所有测试序列,其中 F 序列由于来自于屏幕显示的序列,因此其分辨率不完全相同,分别在帧序为 IPPP 的 Low_Delay_P_Main 配置和全 I 帧 All_Intra_Main 的配置条件进行测试,测试的帧数为 100 帧。由于目前有关变换跳过模式的研究主要是通过分析量化后系数的分布特点,改变系数的扫描方式,以进一步提高编码质量,并没有相关减少编码复杂度的文章,因此本文算法将和标准编码器 HM 10.0 进行比较。

采用 R_{BD} 作为视频质量衡量标准, R_{BD} 为正表示码率增加,为负则表示码率减少,采用编码节省时间 TS 来衡量文本算法节省的编码时间占原始时间的比例,其定义如式(1)所示,此时式(1)中的 T_{REF} 和 T_{PRO} 分别表示 HM10.0 原始的编码时间和加入本文算法后 HM10.0 的编码时间;使用 R_p 表示采用本文算法后不需要进行变换跳过模式的块占原始算法中需要进行变换跳过模式的比例,一定程度上可以表示变换跳过模式节省的时间; R_w 表示分别采用本文算法和原始算法最终选择变换跳过模式的变换单元比例的差异,一定程度上可以反映出使用本文算法的准确率。 R_p 和 R_w 的定义分别为

$$R_p = \left(1 - \frac{B_{PRO}}{B_{REF}}\right) \times 100\% \quad (5)$$

$$R_w = \text{abs}\left(1 - \frac{M_{PRO}}{M_{REF}}\right) \times 100\% \quad (6)$$

式中, B_{REF} 和 B_{PRO} 分别表示原始算法以及本文算法中需要进行变换跳过模式变换单元的数量, M_{REF} 和 M_{PRO} 分别表示原始算法以及采用本文算法后选择变换跳过模式变换单元的数量。

表 4 和表 5 分别为在 All_Intra_Main 和 Low_Delay_P_Main 配置下本文算法与 HM 10.0 原始算法性能比较的结果,其中表 5 中的 LDP_Main 表示 Low_Delay_P_Main 的配置。

从表 4 和表 5 的实验结果可以看出,本文提出的快速变换跳过模式快速选择算法效果良好。具体而言,采用本文算法和 HM 标准算法中选择变换跳过模式的比例差异,即 R_w ,在 All_Intra_Main 和 Low_Delay_P_Main 两种编码配置下分别仅有不到 5%,而剪枝的比例接近 70%。

表 4 本文算法在 All_Intra_Main 配置下的结果
Table 4 Performance under All_Intra_Main configuration

		/%			
类别	序列名称	R_{BD}	TS	R_p	R_w
A 2 560 × 1 600	PeopleOnStreet	0.01	7	74	5
	Traffic	0.01	7	77	5
	BasketballDrive	0.02	8	76	4
	BQTerrace	-0.01	5	55	2
B 1 920 × 1 080	Cactus	0.00	6	65	3
	Kimono	0.00	10	90	17
	ParkScene	0.00	6	67	4
	BasketballDrill	0.00	6	69	3
C 832 × 480	BQMall	0.00	6	62	2
	PartyScene	0.00	2	35	1
	RaceHorses	0.00	6	62	1
	BasketballPass	-0.01	7	73	3
D 416 × 240	BlowingBubbles	0.00	4	46	2
	BQSquare	-0.01	3	42	1
	RaceHorses	0.00	6	58	2
	FourPeople	0.01	8	82	2
E 1 280 × 720	Johnny	-0.01	9	87	3
	KristenAndSara	0.01	9	88	3
F	BasketballDrillText	-0.03	7	69	2
	ChinaSpeed	0.02	6	72	1
	SlideEditing	0.01	5	57	0
	SlideShow	0.03	10	92	3
平均值		0.00	7	68	3

表5 本文算法在 Low_Delay_P_Main 配置下的结果

Table 5 Performance under LDP_Main configuration

		/%			
类别	序列名称	R_{BD}	TS	R_p	R_w
A 2 560 × 1 600	PeopleOnStreet	-0.01	3	72	0
	Traffic	0.01	4	76	0
	BasketballDrive	0.00	3	67	0
	BQTerrace	0.05	3	68	1
B 1 920 × 1 080	Cactus	0.04	3	62	1
	Kimono	0.00	3	74	0
	ParkScene	-0.01	3	68	0
	BasketballDrill	-0.01	3	66	0
C 832 × 480	BQMall	-0.05	3	66	0
	PartyScene	0.00	2	47	0
	RaceHorses	0.01	2	53	0
	BasketballPass	0.01	3	69	0
D 416 × 240	BlowingBubbles	0.03	2	53	0
	BQSquare	0.00	3	64	0
	RaceHorses	0.00	2	52	0
	FourPeople	0.00	5	91	0
E 1 280 × 720	Johnny	0.00	5	93	0
	KristenAndSara	0.00	5	93	0
	BasketballDrillText	0.09	3	66	1
	ChinaSpeed	-0.07	3	72	0
F	SlideEditing	-0.31	5	88	3
	SlideShow	0.06	4	86	0
平均值		0.00	3	70	0

与 HM 10.0 相比,本文算法对于单个序列的质量几乎没有影响。即使对于质量下降最大的序列 BasketballDrillText, R_{BD} 也只增加了 0.09% 的,即大约 0.004 5 dB 的质量下降。对于场景切换比较迅速或者纹理较为复杂的序列,如序列 BasketballDrill-Text 和 SlideShow,由于情况更加复杂导致阈值不够准确,在 Low_Delay_P_Main 配置下相对于其他视频序列误判率较高,因此视频质量有一定的下降。由于这些测试序列包含了各种不同运动复杂程度以及纹理复杂度并具有不同的分辨率,因此测试结果能

够较为客观的展示出本文算法的有效性。部分测试序列的编码质量得到了一定的提升,例如 SlideEditing,该测试序列在关闭变换跳过模式时, R_{BD} 会提升大约 10%,表明变换跳过模式对该类序列能较大幅度的提升质量,而采用本文算法后,质量能进一步提升是因为在使用率失真代价判定是否使用变换跳过模式时采用的熵编码上下文模型,和最终实际编码时的熵编码上下文还是有一定差异,造成少量变换单元虽然在模式选择时使用变换跳过模式更优,但是实际编码时使用 DCT 或者 DST 变换模式能够达到更好的编码效果。

另一方面,采用本文算法后不需要进行变换跳过模式的块占原始算法中需要进行变换跳过模式的比例 R_p ,即表示节省的变换跳过模式的时间,在 All_Intra_Main 和 Low_Delay_P_Main 两种编码配置下平均可达 68% 和 70%,实际整体编码时间节省 7% 和 3%。需要注意的是,虽然就整体编码时间来看,节省的时间比例比较少,然而从绝对时间方面来看,本文的算法是具有实际意义的,以序列 BasketballDrive 在 Low_Delay_P_Main 配置下的结果为例,当 QP 为 27 时, HM 10.0 中平均 25 帧变换跳过模式需要耗费的时间为 92 s,而加入本文算法后该模块的时间仅为 45 s。综上所述,本文算法在不影响编码性能的情况下,节省了大量用于变换跳过模式的时间,有助于 HEVC 实时编码的应用。

4 结 论

HEVC 中新引入的变换跳过模式技术有助于提高压缩效率,然而在一定程度上增加了编码复杂度。统计发现实际采用变换跳过模式的变换单元的比例非常低,本文采用 DCT/DST 变换模式的率失真代价平方根作为阈值进行剪枝,并建立了适用于不同量化参数的指数型阈值模型。由于使用的是进行变换跳过模式之前的编码结果,因此并不会带来额外的计算复杂度。实验结果表明,本文算法能够在不影响编码性能的同时,显著降低了变换跳过模式的计算复杂度。

参考文献 (References)

- [1] Bross B, Han W J, Ohm J R, et al. High efficiency video coding

- (HEVC) text specification draft 10. JCTVC-L1002 high efficiency video coding [R]. Geneva, Switzerland: JCTVC, 2013.
- [2] Bi H J. A New Generation of Video Coding Compression Standard—H. 264/AVC [M]. 2nd ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2009. [毕厚杰. 新一代视频编码压缩标准—H. 264/AVC [M]. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2009.]
- [3] Bossen F, Bross B, Suhring K, et al. HEVC complexity and implementation analysis [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22 (12): 1685-1696. [DOI: 10.1109/TCSVT.2012.2221255]
- [4] Zhang Y F, Li Z, Zhao M F, et al. Fast residual quad-tree coding for emerging high efficiency video coding standard [J]. China Communications, 2013, 10 (10): 155-166. [张永飞, 李哲, 赵明菲, 等. 面向下一代高性能视频编码标准 HEVC 的快速残差四叉树编码算法 [J]. 中国通信, 2013, 10 (10): 155-166.]
- [5] Kang J, Choi H, Kim J. Fast transform unit decision for HEVC [C] // Proceedings of the 6th International Congress on Image and Signal Processing. Hangzhou, China: IEEE, 2013: 26-30. [DOI: 10.1109/CISP.2013.6743998]
- [6] Joshi R, Chen P, Karczewicz M, et al. CE7: Mode dependent intra residual coding. JCTVC-E098 High Efficiency Video Coding [R]. Geneva, Switzerland: JCTVC, 2011.
- [7] Saxena A, Fernandes F. CE7: Mode-dependent DCT/DST without 4×4 full matrix multiplications for intra prediction. JCTVC-E125 High Efficiency Video Coding [R]. Geneva, Switzerland: JCTVC, 2011.
- [8] Ding W P, Lu Y, Wu F. Enable efficient compound image compression in H. 264/AVC intra coding [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. San Antonio, USA: IEEE, 2007: 337-440. [DOI: 10.1109/ICIP.2007.4379161]
- [9] Zhao L, An J C, Ma S W, et al. Improved intra transform skip mode in HEVC [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Melbourne, Australia: IEEE, 2013: 2010-2014. [DOI: 10.1109/ICIP.2013.6738414]
- [10] Bansal V, Chawla A K, Shukla M N. Reverse scan for transform skip mode in HEVC codec [C] // Proceedings of Visual Communications and Image Processing. Kuching, Malaysia: IEEE, 2013: 1-4. [DOI: 10.1109/VCIP.2013.6706421]
- [11] Chen X T, He X T, Zhong G Y, et al. An adaptive HEVC ranks transform skip mode [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2012, 44 (1): 208-212. [陈相涛, 何小涛, 钟国韵, 等. 一种自适应 HEVC 视频编码行列变换跳过模式 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2012, 44 (1): 208-212.]
- [12] Lan C, Xu J, Sullivan G J, et al. Intra transform skipping. JCTVC-J0408 High Efficiency Video Coding [R]. Geneva, Switzerland: JCTVC, 2012.
- [13] Bjøntegaard G. Calculation of average PSNR differences between RD-curves [EB/OL]. (2001-03-26) [2010-10-05]. http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0104_Aus/VCEG-M33.doc.
- [14] Lan C, Xu J, Sullivan G J, et al. Inter transform skipping. JCTVC-J0237 high efficiency video coding [R]. Stockholm, Switzerland: JCTVC, 2012.
- [15] Bross B, Han W J, Ohm J R, et al. Working draft 10 of high-efficiency video coding. JCTVC-L1003_3 high efficiency video coding [S]. Geneva, Switzerland: JCTVC, 2013.
- [16] Onno P, François E (Canon), Zhao L, et al. Combination of J0171 and J0389 for the non-normative encoder selection of the intra transform skip. JCTVC-J0572 high efficiency video coding [R]. Stockholm, Switzerland: JCTVC, 2012.
- [17] Bossen F. Common test conditions and software reference configurations, document of joint collaborative team on video coding, JCTVC-I1100 high efficiency video coding [R]. Geneva, Switzerland: JCTVC, 2012.