

基于AVS2的色度扩展视频编码的设计和实现

王淑慧*

(同济大学电子与信息工程学院 上海 201804)

摘要: 色度扩展视频编码是当前视频编码领域的一个热点研究课题。该文提出基于AVS2平台的色度扩展视频帧内编码的实现方案。仿444/422编码方案通过将输入图像中的色度分量下采样后,使用原有的420方式进行编码,以实现444/422编码。进一步,该文将帧内预测及环路滤波等编码模块无缝扩展到相应的444/422格式,实现444/422帧内预测编码。实验结果表明,对444格式和422格式序列,在高码率的情况下444/422帧内预测编码与仿444/422编码相比,U/V平均BD-rate的减少分别为31.44%/31.72%和18.85%/19.3%,而Y分量平均BD-rate的增加仅为0.5%。其中422色度帧内预测过程的算法优化减少Y/U/V BD-rate最高可达5.66%。与HEVC RExt编码相比,在低码率时,444/422帧内预测编码取得了更好或相近的编码性能。

关键词: 色度扩展视频编码;色度子采样;AVS2;帧内预测

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2018)12-2936-09

DOI: 10.11999/JEIT180154

Design and Implementation for Chroma Extensions Video Coding Based on AVS2 Platform

WANG Shuhui

(College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Chroma extensions video coding is a hot topic in the field of video coding. Chroma extensions video coding scheme based on AVS2 platform is proposed. The most direct solution is pseudo444/422 coding. In this method, chroma component in the input image is down sampled by averaging adjacent samples. The core coding modules are still 420 coding. Further, this paper seamlessly extends intra prediction and loop filter to the 444/422 chroma format to implement 444/422 intra prediction coding. The experimental results show that compared with pseudo444/422 coding, in the case of high bit rate, the average U/V BD-rate saving is 31.44%/31.72% and 18.85%/19.30% for 444 and 422 test sequences respectively, with negligible increase of Y BD-rate (0.5% on average). The modification of the 422 chroma intra prediction algorithm achieves up to 5.66% Y/U/V BD-rate reduction. 444/422 intra prediction coding provides similar or better coding performance than HEVC RExt coding at low bitrates.

Key words: Chroma extensions video coding; Chroma subsampling; AVS2; Intra prediction

1 引言

过去几十年,在视频压缩领域,学术界及产业界主要致力于研究和开发自然图像及视频的经过4:1色度下采样的通常称为YUV4:2:0(也简称为420)格式视频的编码技术。随着人们对视频质量要求的不断提高,特别是对VR(Virtual Reality,

VR), 360°全景,航拍, HDR(High Dynamic Range)电视等新应用中色彩细节要求的提高^[1-3],色度扩展视频(不做下采样的视频或仅做2:1轻度下采样的视频,分别称为444或422格式)日益成为一种重要的视频格式。此外,在超高清直播视频(如体育比赛、舞台演出、大型事项现场直播等应用场景)、电视和电影的制作域、专业摄像机拍摄的视频的存储及传输等传统应用领域,对色度扩展视频进行数据压缩的编解码也必不可少^[4]。在屏幕图像编码(Screen Content Coding, SCC)领域(视频编码领域当前的热门研究课题之一)^[5-8],采用传统的420色度子采样技术会明显降低视觉质量,给受众带来极差的观感体验,因此编码必须针对全色度

收稿日期: 2018-02-06; 改回日期: 2018-09-14; 网络出版: 2018-09-18

*通信作者: 王淑慧 shw@tongji.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金(61601200, 61871289), 上海市自然科学基金(18ZR1440600)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61601200, 61871289), Shanghai Natural Science Foundation (18ZR1440600)

444格式的图像进行,可以说构建、实现全色度444视频编码平台是SCC的技术基础。与采用420色度子采样编码相比,对色度扩展视频编码大大增加了待处理的数据量,对系统的处理能力提出了更高的要求,但随着计算机性能的发展,并辅以视频编码算法的进步,已经使这一领域成为具有很高研究价值的热门课题之一。

色度扩展视频的编码是视频通信领域中的一项关键技术,因此将其标准化成为各视频编码国际标准化组织的热点研究工作。由三大国际标准组织ISO、ITU和IEC联合制定的新一代国际视频压缩标准HEVC(High Efficiency Video Coding, 也称作H.265)已经将色度扩展视频的编码纳入标准^[9](称为HEVC Range Extensions, HEVC RExt)。正式全面启动的下一代视频压缩技术FutureVideo/H.266也将色度扩展视频的标准化作为预定的工作内容之一^[10]。由此可见,在我国第2代数字视频编码标准AVS2中实现色度扩展视频的编码 also 具有很重要的现实意义^[11]。

针对内容多样的色度扩展视频,本文基于AVS2 420平台,充分利用已有420色度子采样编码技术,针对色度扩展视频的特性,做必要的算法修改,为基于AVS2的色度扩展视频编码提供了解决方案。本文的工作是基于AVS2技术提案^[12,13]。

2 HEVC RExt中的色度扩展视频编码

最新的国际视频编码标准HEVC RExt中的色度扩展视频编码方案如图1所示。根据图1,整个编解码过程中的各模块都采用444/422格式,这种方式称为全444/422编码。在HEVC中,帧内预测、变换、量化、熵编码等操作是以变换单元(Transform Unit, TU)为单位进行的。一个变换单元由亮度变换块、色度变换块及其他辅助信息组成。对444, 422, 420这3种格式的变换块的划分, HEVC RExt分别采用3种完全不同的方式:(1)对444格式,亮度变换块和色度变换块采用同样的划分方式;(2)对422格式,1个或4个亮度变换块对应两对色度变换块;(3)对420格式,1个或4个亮度变换块对应两个色度变换块。由此可见,在现有的420平

台上实现全444/422编码,需要对各个编解码模块重新设计,大大降低了编解码模块的复用性,增加了软硬件实现特别是硬件实现的成本。此外,由于全444/422编码中,亮度Y和色度U/V的待编码数据相同,会造成色度分量编码效率过高、码率过大的情况,从而导致亮度分量编码效率显著变差。特别是在高码率时,这一现象更为明显。

3 本文提出的方案

3.1 仿444/422编码

在既有的AVS2 420平台上实现444/422编码,最直接、改动最少的编码方案就是仿444/422编码(Pseudo444/422编码, P444/422编码)。整个编解码器架构如图2所示。在编码端,首先对444/422格式的输入图像中的色度U/V做下采样,亮度Y保持不变,得到的420图像使用既有的AVS2 420方式进行编码(帧内预测、变换、量化、熵编码等),接着对420格式的部分重建图像做去块效应滤波(Deblocking Filtering, DF)、样值偏移补偿(Sample Adaptive Offset, SAO)、自适应环路滤波(Adaptive Loop Filter, ALF)等后处理操作,最后对完成后处理的420格式的重建图像做色度U/V上采样得到444/422格式的重建图像。在解码端,输入位流经过原有的420方式进行解码(熵解码、反量化、反变换、帧内预测)得到420格式的部分重建编码单元,在一幅图像所包含的所有编码单元完成上述部分重建以后,再对整幅部分重建图像做DF, SAO及ALF等后处理,得到420格式的重建图像。随后对420格式的重建图像中的色度U/V上采样得到444/422格式的重建图像。可见, P444/422编码是指将输入图像做420的色度下采样后,再送入编码器进行完整的420编解码的编码方式,整个编码流程的核心部分仍是420编码。

综合考虑编码性能及计算复杂度, P444/422编码器中色度上、下采样所用的滤波算法如下:下采样采用取平均法,对444格式(422格式)的输入图像,邻近的4个(邻近两行的两个)U/V样点取平均得到对应420图像的一个U/V样点。上采样采用重复法,444格式(422格式)的重建图像,其邻近的

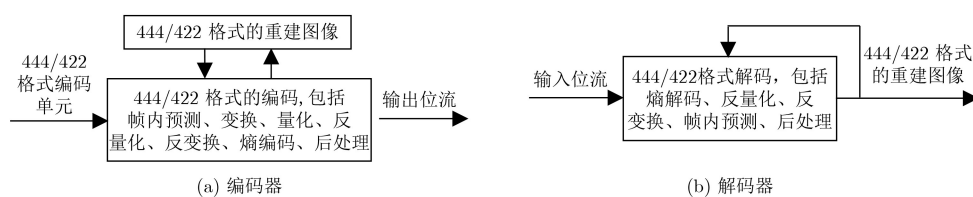


图1 HEVC RExt中的全444/422编码架构

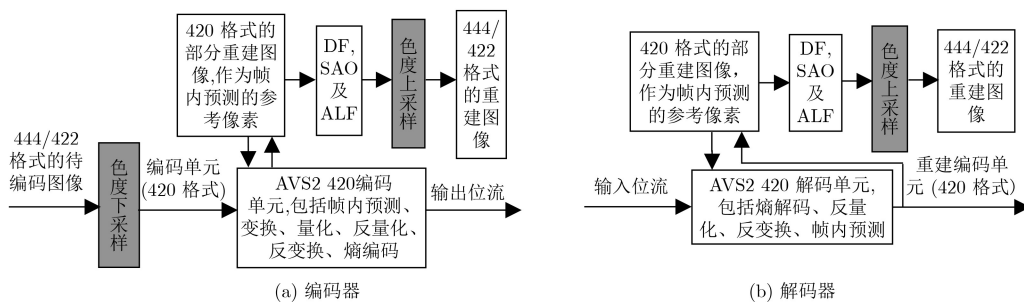


图2 P444/422编码架构

4个(其邻近两行的两个)U/V样点值均等于420格式的重建图像的对应位置的U/V样点值。

3.2 444/422帧内预测编码

3.2.1 编码架构 图3所示444/422帧内预测编码(444/422 Intra Prediction coding, 简称IP444/422编码)是对P444/422编码做进一步修改后的编码系统, 其主要修改包括: (1)帧内420预测改为帧内444/422预测, 色度的上/下采样针对残差数据进行; (2)后处理操作DF, SAO及ALF是针对完成部分重建的444/422格式的图像进行。除此之外, 其

余编码单元仍保持现有的AVS2 420的编码方式不变。由此可见, IP444/422编码通过在编码环路中加入色度子采样环节的方式, 与P444/422编码相比, 既保留了420编码平台在低码率时的编码优势, 又减少了色度子采样带来的编码误差; 与全444/422编码相比, 由于主要编码模块仍采用420编码, 避免了色度分量编码效率过高、码率过大的情况的出现。此外, 编码过程中, 对420/422/444色度块的划分采用统一的方法, 减少了实际应用中设计和实现有关模块的成本, 加快了开发速度。

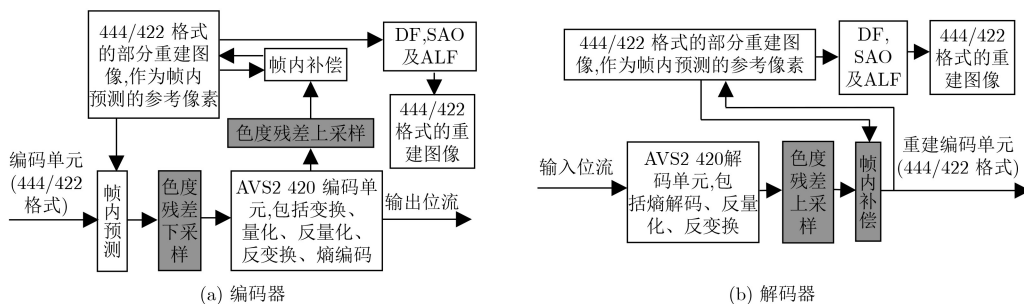


图3 IP444/422编码架构

3.2.2 与预测块划分相关的修改 如图4(a)所示, 在现有的AVS2 420平台中, 一个编码单元的帧内预测划分方式有I_NO_SPLIT, I_CROSS_SPLIT, I_HOR, I_VER 4种, 对应的亮度预测块数分别是1, 4, 4, 4, 而对应的U/V(Cb/Cr)色度预测块数都是1。预测单元(Prediction Unit, PU)矩形块中的数字代表各自的编码顺序。PU的非方形划分方式又被称为短距离帧内预测(Short Distance Intra Prediction, SDIP)。因为色度采样格式为420, 所以每个 $2N \times 2N$ 待预测编码的亮度块, 对应着两个 $N \times N$ 的色度U/V待编码块。对444格式, 色度和亮度具有同样的空间分辨率, 也即1个 $2N \times 2N$ 待预测编码的亮度块, 对应着两个 $2N \times 2N$ 的色度U/V待编码块。而对422格式, 色度在水平方向的采样率为亮度的1/2, 而垂直方向上的采样率与亮度相同, 也即1个 $2N \times 2N$ 待预测编码的亮度块, 对应着两个 $N \times 2N$ 的色度U/V待编码块。当前实现

中, 对应同样大小的待预测编码的亮度块, IP444/422编码中的420色度残差数据块的大小与现有的AVS2中420格式的色度残差数据块大小一致。这样, 若待预测编码的亮度块大小为 $2N \times 2N$, 对应I_NO_SPLIT, I_CROSS_SPLIT, I_HOR, I_VER 4种帧内预测划分方式, IP444编码的待预测编码色度块为一对 $2N \times 2N$ 大小的块, 而IP422编码的待预测编码色度块为一对 $N \times 2N$ 大小的块, 分别如图4(b)和图4(c)所示。

3.2.3 色度帧内预测过程的修改 (1) 存在问题: 目前AVS2 420编码中使用5种色度帧内预测模式: 亮度导出模式(Derived Mode, DM)、DC模式、水平模式、垂直模式以及Bilinear模式。在亮度导出模式下, 色度分量的预测模式将采用亮度分量第1个PU的预测模式, 这意味着色度块还可能采用亮度块的plane模式和各种角度模式。

在420格式下, 色度预测块都是方形; 但在

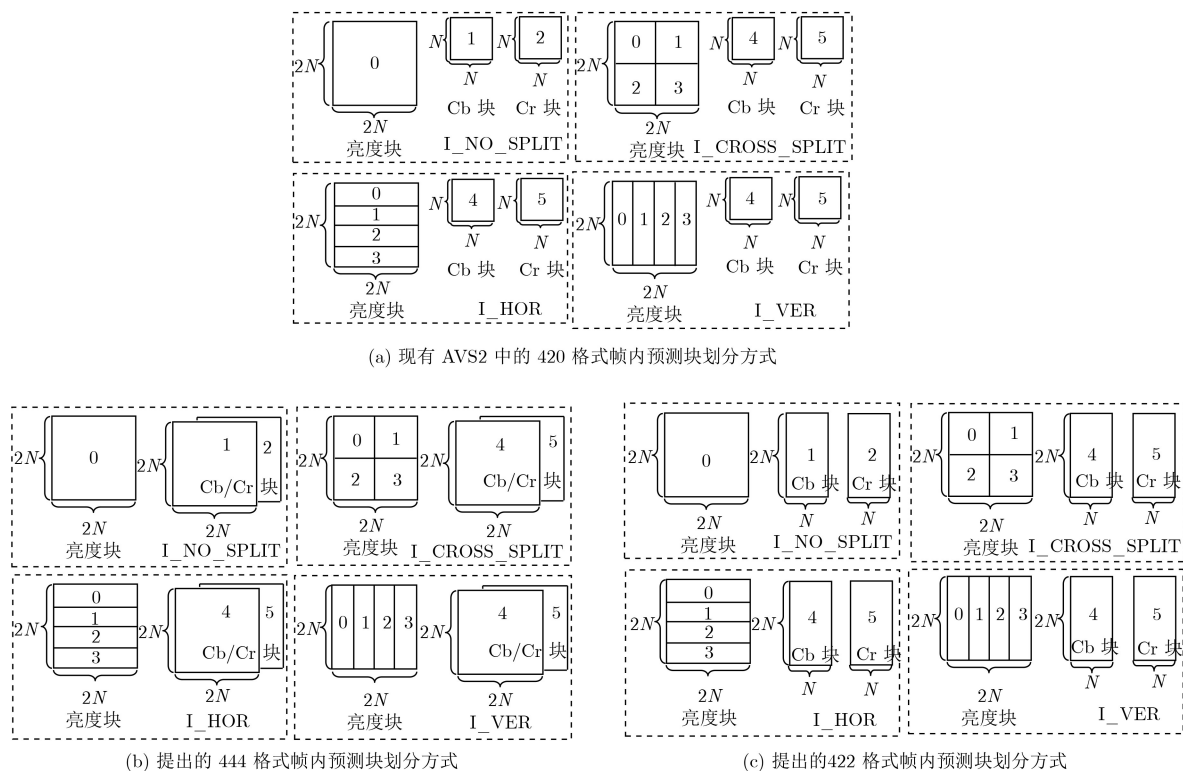


图 4 不同色度格式对应的帧内预测块划分方式

422格式下, 色度预测块为非方形块, 这种预测块尺寸的改变使得原来针对420格式的某些色度模式(除水平模式和垂直模式外)的预测值的计算过程对422格式不再适用。因为亮度SDIP也是非方形划分, 比较直观的处理方法是将其应用到422格式的色度帧内预测值的计算, 但由于422色度非方形块的划分本质上是色度分量2:1的水平下采样引起, 其色度模式预测值的计算直接照搬亮度SDIP的预测值计算过程会引起较大的计算误差, 导致编码性能的下降。以下是具体分析。

(a) DC模式预测值计算: 对DC模式而言, 所有样点的预测值相同, 且为参考样点值的均值。对422格式的色度预测块, 由于预测块宽度是高度的1/2, 如果直接使用亮度DC模式预测值计算公式计算预测值, 会造成预测值中垂直方向参考像素值比重大于水平方向参考像素的情况, 且整除(/)运算的截断也会带来较大的计算误差。

(b) Bilinear模式预测值计算: 如图5所示, Bilinear模式中的预测值是通过上行和左列的参考像素A, B, D, E经双线性插值得到的。图中, P为当前待预测像素, G, F, C为中间计算出的样点值。其中C点的值 i_C 计算如式(1):

$$i_C = (((i_A \ll \log_2 M) + (i_B \ll \log_2 N)) \times 13 + (1 \ll (\text{ishift} + 5))) \gg (\text{ishift} + 6) \quad (1)$$

其中, $\text{ishift} = \log_2 (\text{Min}(M, N))$ 。

式(1)中, i_A, i_B 是A, B样点的值; Min函数取两个参数中的最小值; 预测块大小为 $M \times N$ (M, N 在下文中的含义相同)。如果直接将亮度Bilinear模式中预测值的计算方法用于422色度预测块, 会引起计算误差; 特别从式(1)看出, 对亮度非方形预测块而言, M 和 N 之间满足关系式: $M=4N$ 或 $N=4M$, 而422色度预测块满足 $N=2M$, 因此直接将式(1)用于422色度块预测值C的计算, 会引起C乃至样点最后预测值P较大的计算误差。

(c) plane模式: 如式(2)所示, plane模式中,

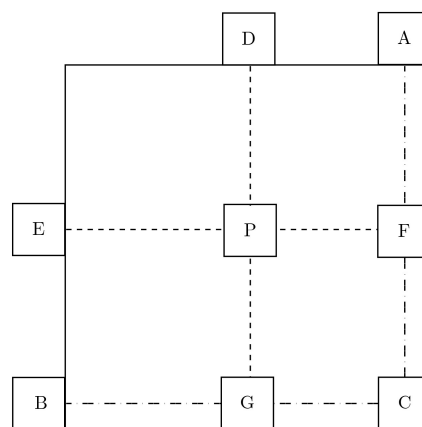


图 5 Bilinear模式预测

各样点预测值 $P[x][y]$ 的计算是由左列和上行的参考样点通过线性插值得到。

$$P[x][y] = (iA + (x - (M \gg 1) + 1) \times iB + (y - (N \gg 1) + 1) \times iC + 16) \gg 5, \\ x = 0 \sim M - 1, y = 0 \sim N - 1 \quad (2)$$

式(2)中, iA , iB 和 iC 由上行和左列参考像素计算得到。 iB 和 iC 在 $P[x][y]$ 计算中占比要小很多, 起到对 iA 的修正作用。尽管如此, 由 iB 得到的修正项其计算过程与水平坐标 x 有关, 所以直接将亮度plane模式用于422色度预测值的计算, 仍然会引起一定的计算误差。

(d) 角度(angular)模式: AVS2 420亮度帧内编码中, 包括水平模式和垂直模式这两种特殊的角度模式, 共有30种角度模式。对420格式, 由于色度在水平和垂直方向都做了2:1的下采样, 所以色度和亮度的角度预测方向是一致的。但对422格式, 由于其仅在水平方向做2:1的下采样, 造成色度角度预测方向和亮度角度预测方向存在偏差。如图6所示, 图6(a)给出了亮度角度模式对应的预测方向为沿水平偏27°的情况, 箭头所指为用到的参考像素。对于422的色度块而言, 图6(b)箭头给出了对应的色度预测时所用到的参考像素。可见这时色度块预测方向为沿水平偏45°, 色度预测方向对应角度的正切值为亮度预测方向对应角度正切值的2倍。因此如果对422色度块直接使用亮度角度预测模式和方向, 将不可避免产生不能使用有效的参考像素计算预测值的问题。

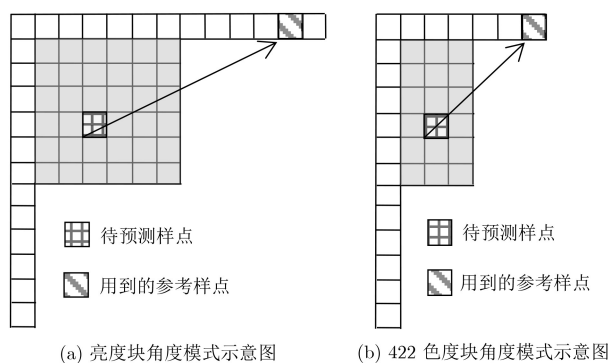


图6 角度模式示意图

(2) 解决方案: 针对上述422色度块各帧内模式的预测值计算中存在的问题, 本文提出了一种统一的解决方法。在 $422N \times 2N$ 大小的色度帧内预测块的上行 $2N+1$ 个参考样点的值确定后, 在编码器中, 首先对上行 $2N+1$ 个参考样点做1:2的上采样, 得到 $4N+1$ 个参考样点 $r[x](x=0 \sim 4N)$; 而后对除水平模式和垂直模式外的其他模式, 使用有效的参考

像素计算预测值。这里, 上采样中的未知参考样点的值通过邻近两个已知参考样点取平均实现。

(a) 对DC模式: 样点的预测值由上行和左列的参考像素 $r[i]$, $c[i]$ 按式(3)计算得到。

$$DCvalue = \left(\sum_{i=1}^N (r[i] + c[i]) + N \right) / (2N) \quad (3)$$

(b) 对Bilinear模式: 将预测块水平方向尺寸加倍, 按式(1)计算该方形预测块 iC 值, 而后再将各待预测像素的水平坐标 x 调整为 $2x$ 后, 按亮度Bilinear模式的做法计算其预测值。

(c) 对plane模式: 根据上采样得到的上行 $N+1$ 个参考样点 $r[0] \sim r[N]$ 计算式(2)中 iB 的值, 而后再将各待预测像素的水平坐标 x 调整为 $2x$ 后, 按式(2)计算其预测值。

(d) 对角度模式: 首先将各待预测像素的水平坐标加倍, 根据亮度分量第1个PU的角度预测方向, 确定待预测像素所使用的参考像素的坐标, 而后根据该坐标从上采样得到的 $4N+1$ 个参考样点 $r[0] \sim r[4N]$, 及既有的 $c[0] \sim c[4N]$ 中选择有效的参考像素计算预测值。

3.2.4 环路滤波过程的修改 现有的AVS2编码流程中, 环路滤波包括DF, SAO, ALF 3个模块。本文的实验表明, 对IP444/422编码而言, 对完成部分重建的444/422格式图像做环路滤波的处理方式, 与对完成部分重建的420格式图像做环路滤波再上采样为444/422格式图像的处理方式相比, 前者的编码性能要优于后者。本文采用对444/422重建图像做环路滤波的方法编码。为此, 需要将现有AVS2中针对420格式图像的后处理滤波算法做相应修改。

(1) 去块效应滤波DF: AVS2中的DF是以块为单位的, 色度滤波块的尺寸是 8×8 。IP444/422编码中, 色度滤波依然是基于 8×8 的块进行, 但444/422格式图像色度滤波 8×8 的块数为420格式图像色度滤波 8×8 的块数的4/2倍。

(2) 样值偏移补偿SAO: 现有的AVS2 420编码中, SAO是以样值偏移补偿单元为单位的, 色度样值偏移补偿单元是由最大编码单元(Largest Coding Unit, LCU)向左上偏移4个像素得到的。针对444/422格式图像的色度样值偏移补偿修改也是由最大编码单元按同样方式导出的, 但需要将最大编码单元的尺寸调整为 $2N \times 2N / N \times 2N$ (对应420格式色度最大编码单元的尺寸为 $N \times N$)。

(3) 自适应环路滤波ALF: 对色度分量, ALF利用完成SAO后的整幅重建图像与原始图像, 按照既定滤波器的算法得到一套滤波系数, 而后利

用这套系数以自适应修正滤波单元(由最大编码单元导出)为单位做滤波。为此,对444/422格式图像的色度分量的自适应环路滤波,需要将滤波用到的重建图像和原始图像的尺寸调整为444/422格式大小,此外,还需要将导出自适应滤波单元的最大编码单元尺寸调整为 $2N \times 2N / N \times 2N$ (对应420格式色度最大编码单元的尺寸为 $N \times N$)。

表1 8个测试序列

序号	序列名	短名	分辨率	比特数/样点	帧率
1	iceAerial_3840×2160_444(422)_10 bit	ARL	3840×2160	10	30
2	iceRiver_3840×2160_444(422)_10 bit	RVR	3840×2160	10	30
3	iceRock_3840×2160_444(422)_10 bit	RCK	3840×2160	10	30
4	iceRock2_3840×2160_444(422)_10 bit	RK2	3840×2160	10	30
5	Bubbles_4096×2160_24_10bit_444(422)	BBE10b	4096×2160	10	24
6	Traffic_2560×1600_30_10 bit_444(422)_crop	TFC10b	2560×1600	10	30
7	Bubbles_4096×2160_24_12 bit_444(422)	BBE12b	4096×2160	12	24
8	Traffic_2560×1600_30_12 bit_444(422)_crop	TFC12b	2560×1600	12	30

本文对P444/422编码器、IP444/422编码器及HEVC RExt做了编码性能测试对比。P444/422编码器及IP444/422编码器是在AVS2参考软件RD17.0平台上实现的,HEVC RExt编码器采用参考软件HM16.6。3个编码器均使用All intra(全部图像都是I帧)配置,使用8个测试序列的前10帧评估各编码器的编码性能。

表2给出了实验中所使用的量化参数(Quantization Parameter, QP)。为了更好地测试各编码器的编码性能,与HEVC RExt的做法类似^[15],本文分别选取一组大QP和一组小QP做实验。

表2 两组测试QP

	传统QP组	超高质量QP组
P444/422及IP444/422编码器, 10-bit序列	41, 48, 54, 61	14, 21, 28, 34
P444/422及IP444/422编码器, 12-bit序列	57, 64, 70, 77	30, 37, 44, 50
HM16.6编码器	22, 27, 32, 37	2, 7, 12, 17

4.2 实验结果

在现有420编码平台上实现色度扩展视频编码, P444/422编码是最直接的实现方案。本文以P444/422编码为基准,给出了IP444/422编码相对P444/422编码的比较结果。同时也给出了IP444/422编码相对HEVC RExt的比较结果。实验结果的对比以BD-rate的改变衡量编码性能的改变, BD-rate减少意味着编码性能的提高^[16,17]。具体的实验

4 实验结果与分析

4.1 测试条件

本文采用表1中的8个YUV格式的序列作为测试序列,每个序列有444和422两种格式。8个序列都为高精度(10 bit及以上)视频,其每样点比特数如表1所示。其中序列1~4是来自AVS2的4个航拍序列^[14],序列5~8来自HEVC。

数据如表3—表5所示。其中表4中的Cpsnr是由3个颜色分量的峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)psnrY, psnrU, psnrV计算得到,具体公式为:

$$\begin{aligned} \text{Cpsnr} = & -10 \lg \left(0.685 / \left(10^{\text{psnrY}/10} \right) \right) \\ & + 0.137 / \left(10^{\text{psnrU}/10} \right) + 0.178 / \left(10^{\text{psnrV}/10} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

(1) 根据表3, 444帧内预测编码与仿444编码相比,在小QP时,两个色度分量UV的编码性能有较大提高,而Y分量的编码性能改变很小。色度分量BD-rate的减少最大为71%,U,V平均BD-rate的减少为31.44%和31.72%。在大QP时,Y分量的编码性能改变不大,RVR,RCK及RK2 3个序列的UV分量BD-rate有所增加。其余5个序列的UV分量BD-rate减少,最多可达22%。

(2) 根据表3, 422帧内预测编码与仿422编码相比,在小QP时取得了更好的色度编码性能,相近的亮度编码性能。UV分量BD-rate的减少最多为38%,平均分别为18.85%和19.30%。在大QP时,Y分量的BD-rate有所增加,平均为2.76%。RVR,RCK及RK2 3个序列的UV分量BD-rate也有所增加。8个序列UV分量平均BD-rate几乎未有改变。

(3) IP444/422编码与HM16.6相比,对所有序列和两组QP,色度编码性能差些,但亮度编码性能要优于后者。人眼对色度的敏感程度要低于对亮

表 3 IP444/422与P444/422实验结果比较(%)

序列名		QP=14, 21, 28, 34 or 30, 37, 44, 50			QP=41, 48, 54, 61 or 57, 64, 70, 77		
		Y	U	V	Y	U	V
YUV444	ARL	-0.59	-71.07	-47.01	0.08	-4.42	-2.31
	RVR	-0.21	-25.13	-39.49	0.43	4.49	1.36
	RCK	0.18	-16.67	-14.77	0.43	7.47	7.88
	RK2	0.21	-27.59	-18.88	0.43	2.29	0.51
	BBE10b	0.17	-48.05	-38.37	0.13	-22.79	-15.33
	TFC10b	1.85	-27.33	-55.52	0.53	-6.05	-9.89
	BBE12b	0.24	-28.43	-18.69	-0.14	-15.12	-8.67
	TFC12b	2.12	-7.27	-21.05	0.12	-3.76	-5.52
444平均		0.50	-31.44	-31.72	0.25	-4.74	-4.00
YUV422	ARL	0.08	-32.45	-21.12	5.45	-3.48	-1.82
	RVR	0.58	-18.22	-29.51	3.58	4.79	1.99
	RCK	0.65	-11.52	-9.44	3.94	8.96	8.74
	RK2	0.71	-21.95	-13.92	3.89	1.92	1.75
	BBE10b	0.06	-19.36	-18.34	1.27	-2.63	-0.68
	TFC10b	0.81	-21.35	-38.49	3.46	-2.43	-5.66
	BBE12b	0.43	-8.77	-6.16	0.18	-2.98	-1.37
	TFC12b	0.90	-17.14	-17.42	0.30	-1.69	-2.81
422平均	平均	0.53	-18.85	-19.30	2.76	0.31	0.02

表 4 IP444/422编码与HM16.6实验结果比较(%)

序列名		QP=14, 21, 28, 34 or 30, 37, 44, 50				QP=41, 48, 54, 61 or 57, 64, 70, 77			
		Y	U	V	Cpsnr	Y	U	V	Cpsnr
YUV444	ARL	-8.91	71.73	65.46	-2.32	-13.07	64.85	58.25	-5.98
	RVR	-8.66	87.33	117.26	-1.61	-6.25	100.29	97.44	-0.39
	RCK	-6.27	65.96	68.14	-3.26	-9.45	41.87	40.87	-6.92
	RK2	-6.60	78.85	82.33	-3.04	-8.97	41.30	36.70	-6.84
	BBE10b	-21.38	144.38	100.00	1.08	-34.36	99.20	101.21	-14.43
	TFC10b	-33.59	100.00	100.00	71.28	-20.12	83.45	68.89	-8.13
	BBE12b	-20.58	100.00	100.00	12.25	-25.99	138.27	125.42	-2.67
	TFC12b	-32.97	100.00	100.00	66.38	-12.85	84.05	81.61	-1.69
444平均		-17.37	93.53	91.65	17.60	-16.38	81.66	76.30	-5.88
YUV422	ARL	-5.32	11.11	12.37	-3.01	-6.08	7.18	5.96	-4.22
	RVR	-5.67	26.32	37.23	-1.82	-2.27	13.82	17.62	-0.31
	RCK	-3.18	25.05	24.41	-1.45	-4.34	3.84	2.76	-3.69
	RK2	-3.10	29.96	29.46	-1.01	-3.66	1.06	-4.21	-3.51
	BBE10b	-11.98	23.52	23.79	-3.75	-16.58	18.07	25.56	-9.42
	TFC10b	-16.17	100.00	77.21	23.00	-6.84	18.05	14.23	-2.53
	BBE12b	-10.98	49.59	54.40	2.84	-7.30	31.64	36.23	0.66
	TFC12b	-15.42	100.00	126.25	22.01	-2.16	20.82	21.55	1.66
422平均	平均	-8.98	45.69	48.14	4.60	-6.15	14.31	14.96	-2.67

度的敏感程度，亮度分量比色度分量更重要，所以业界使用侧重亮度分量的基于Y, U, V 3分量综合

的平均BD-rate降低率，即表4中的Cpsnr来进行整体的编码效率的比较，该衡量方法已被AVS2标准

表5 422格式色度帧内预测修改的实验结果(%)

序列名	QP=14, 21, 28, 34 or 30, 37, 44, 50			QP=41, 48, 54, 61 or 57, 64, 70, 77		
	Y	U	V	Y	U	V
ARL	-1.68	-1.61	-1.73%	-3.24	-3.02	-2.73
RVR	-1.96	-1.01	-1.91	-2.91	-2.41	-2.48
RCK	-1.57	-0.17	0.08	-2.82	-5.30	-5.66
RK2	-1.43	-1.22	0.09	-2.40	-2.50	-2.74
BBE10b	-0.86	-0.82	-0.70	-2.48	-3.53	-3.37
TFC10b	-1.05	-2.60	-1.25	-1.71	-2.60	-1.22
BBE12b	-0.80	-2.54	-2.19	-5.44	-2.13	-0.77
TFC12b	-1.14	-3.70	-4.47	-2.90	-2.20	-1.58
平均	-1.31	-1.71	-1.51	-2.99	-2.96	-2.57

工作组采纳^[18]。根据基于Cpsnr的BD-rate的数据, IP444/422编码与HM16.6相比, 在大QP时, 前者取得了更好或相近的编码性能。对444序列, BD-rate减少平均为5.88%, 最大为14%; 对422序列, BD-rate减少平均为2.67%, 最大为9%。而在小QP时, 对4个航拍序列, 前者编码性能稍好些, 但平均来看要差些。IP444/422编码与HM16.6有各自适用的序列和码率范围。

(4) 422格式色度帧内预测算法修改前后编码性能的比较结果如表5所示。根据表5, 对所有QP, 色度帧内预测算法修改后, 亮度及色度分量的编码性能均有不同程度的提升。在小QP时, Y, U, V平均BD-rate的减少分别为1.31%, 1.71%及1.51%, 最大为4.47%; 在大QP时, Y, U, V平均BD-rate的减少分别为2.99%, 2.96%及2.57%, 最大为5.66%。

5 结束语

本文提出了基于AVS2 420编码平台的色度扩展视频编码的实现方法。通过将帧内预测, DF, SAO, ALF等扩展到与待编码图像相同的444/422格式, 在高码率时, 与P444/422编码相比, 在亮度编码性能相近的条件下, 取得了更高的色度分量编码性能。这主要由于444/422格式的环路滤波操作能提高444/422格式重建图像质量, 而预测样本采用444/422格式, 能减少色度采样误差的影响, 从而提高编码性能。进一步的工作包括针对444/422帧内预测编码算法的进一步优化, 变换、量化、熵编码的444/422实现, 以及色度扩展视频编码的帧间预测模式实现等。

参考文献

- [1] FRANÇOIS E, RUSANOVSKYY D, YIN P, *et al.* Suggested new draft text of signalling, backward compatibility and display adaptation for HDR/WCG video coding[C]. JCTVC-Z0023, Geneva, Switzerland, 2017: 1–31.
- [2] GOMMELET D, ROUMY A, GUILLEMOT C, *et al.* Gradient-based tone mapping for rate-distortion optimized backward-compatible high dynamic range compression[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2017, 26(12): 5936–5949. doi: [10.1109/TIP.2017.2740159](https://doi.org/10.1109/TIP.2017.2740159).
- [3] HENRY F, JUNG J, OUACH A, *et al.* Stereoscopic 360 video compression with the next generation video codec[C]. JVET-G0064, Torino, Italy, 2017: 1–5.
- [4] FLYNN D, MARPE D, NACCARI M, *et al.* Overview of the range extensions for the HEVC standard: Tools, profiles, and performance[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2016, 26(1): 4–19. doi: [10.1109/TCSVT.2015.2478707](https://doi.org/10.1109/TCSVT.2015.2478707).
- [5] PENG W H, WALLS F, COHEN R A, *et al.* Overview of screen content video coding: Technologies, standards, and beyond[J]. *IEEE Journal on Emerging Selected Topics in Circuits and Systems*, 2016, 6(4): 393–408. doi: [10.1109/JETCAS.2016.2608971](https://doi.org/10.1109/JETCAS.2016.2608971).
- [6] 林涛, 蔡文婷, 陈先义, 等. 一种高性能低复杂度的基于串匹配的屏幕图像无损压缩算法[J]. *电子与信息学报*, 2017, 39(2): 351–359. doi: [10.11999/JEIT160560](https://doi.org/10.11999/JEIT160560).
- [7] LIN Tao, CAI Wenting, CHEN Xianyi, *et al.* Lossless compression algorithm based on string matching with high performance and low complexity for screen content coding[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2017, 39(2): 351–359. doi: [10.11999/JEIT160560](https://doi.org/10.11999/JEIT160560).
- [8] ZHAO Liping, ZHOU Kailun, GUO Jing, *et al.* A universal string matching approach to screen content coding[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2018, 20(4): 796–809. doi: [10.1109/TMM.2017.2758519](https://doi.org/10.1109/TMM.2017.2758519).
- [9] ZHU Weijia, ZHANG Kai, AN Jicheng, *et al.* Inter-palette coding in screen content coding[J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2017, 63(4): 673–679. doi: [10.1109/TBC.2017.2711144](https://doi.org/10.1109/TBC.2017.2711144).
- [9] FLYNN D, NACCARI M, ROSEWARNE C, *et al.* High

- Efficiency Video Coding (HEVC) range extensions text specification: Draft 7[C], JCTVC-Q1005, Valencia, Spain, 2014.
- [10] WIEN M, BARONCINI V, BOYCE J, *et al.* Preliminary joint call for evidence on video compression with capability beyond HEVC[C], JVET-E1002, Geneva, Switzerland, 2017: 1–9.
- [11] AVS N2378. AVS第59次会议视频组会议纪要[C]. 海口, 中国, 2016.
- AVS N2378. Meeting summary of video coding subgroup of the 59th AVS meeting[C]. Haikou, China, 2016.
- [12] 王淑慧, 林涛, 郭靖, 等. AVS2-P2框架下对YUV444图像的编码[C]. AVS M4082, 海口, 中国, 2016: 1–7.
- WANG Shuhui, LIN Tao, Guo Jing, *et al.* YUV444 image coding in AVS2-P2[C]. AVS M4082, Haikou, China, 2016: 1–7.
- [13] 王淑慧, 林涛, 郭靖, 等. AVS2-P2框架下对YUV444和YUV422(简称CEExt)图像的编码[C]. AVS M4154, 北京, 中国, 2017: 1–10.
- WANG Shuhui, LIN Tao, Guo Jing, *et al.* YUV444 and YUV422 image coding in AVS2-P2[C]. AVS M4154, Beijing, China, 2017: 1–10.
- [14] 郑萧桢. 无人机航拍视频序列意见征集[C]. AVS M4503, 大连, 中国, 2016: 1.
- ZHENG Xiaozhen. Opinion collection of aerial video[C]. AVS M4503, Dalian, China, 2016: 1.
- [15] ROSEWARNE C, SHARMAN K, and FLYNN D. Common test conditions and software reference configurations for HEVC range extensions[C]. JCTVC-P1006, San Jose, USA, 2014: 1–11.
- [16] BJØNTEGAARD G. Calculation of average PSNR differences between RD-curves[C]. VCEG-M33, Austin, USA, 2001: 1–4.
- [17] BJØNTEGAARD G. Improvements of the BD-PSNR model. ITU-T SG16 Q.6 document[C]. VCEG-AI11, Berlin, Germany, 2008: 1–2.
- [18] 吴成家, 陈大鹏, 陈芳, 等. 一种计算综合PSNR的方法[C]. AVS M3830, 杭州, 中国, 2016: 1–11.
- WU Chengjia, CHEN Dapeng, CHEN Fang, *et al.* A method for calculating integrated PSNR[C]. AVS M3830, Hangzhou, China, 2016: 1–11.
- 王淑慧: 女, 1973年生, 副研究员, 研究方向为视频编码算法及SOC实现.