

# 一种基于参考质量的帧间自适应加权预测

杨敏捷 朱 策 郭红伟 蒋 妮

(电子科技大学信息与通信工程学院 成都 611731)

**摘 要** 帧间双向预测在目前的主流视频编码标准中扮演着重要的角色,该技术主要利用时域相关性去除图像间的冗余信息。帧间双向加权预测仅对两个运动补偿块做简单的加权平均(即权值为 0.5)。但当参考帧与编码帧之间的亮度发生剧烈变化,或由于诸如量化等因素导致生成预测块的质量不同时,采用现有的方法将会产生严重的失真。因此文中提出了基于参考质量的帧间自适应加权预测方法来解决上述问题。在本方案中,当前编码块参考的质量越好,则分配的权值越大,反之亦成立。实验结果显示,在编解码复杂度可接受的情况下,采用两种方法计算的权值在随机接入(RA)配置下和低时延 B 帧(LDB)配置下,相比于 JEM5.0.1 参考软件的基准平均码率分别节省约 0.25% 和 0.3%。

**关键词** 加权预测,运动补偿块,参考质量,亮度剧烈变化

**中图分类号** TN919      **文献标识码** A      **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.03.015

## Adaptive Weighted Bi-prediction Method Based on Reference Quality

YANG Min-jie ZHU Ce GUO Hong-wei JIANG Ni

(School of Information and Communication Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

**Abstract** In modern video codecs, bi-prediction technique plays a significant role for removing temporal redundancy by exploiting temporal correlations between pictures. The bi-prediction signal is formed simply by averaging two uni-prediction signals using a fixed weight value 0.5. However, it will produce serious distortion in some condition that illumination changes rapidly from one reference picture to another or the prediction quality of one motion-compensated prediction block may differ from the other due to the factors such as quantization. To solve the above problems, an adaptive weighted bi-prediction method based on reference quality was proposed in this paper. In this scheme, the greater weight value will be assigned to the reference block if the quality of the reference block is better, and vice versa. The simulation results show that compared with JEM5.0.1, the proposed weighted bi-prediction can achieve about 0.25% and 0.3% Bjøntegaard delta (BD) bitrate savings on average under random access main (RA) and low-delay B main(LDB) configurations, respectively, while the increased encoding and decoding complexities are moderate.

**Keywords** Weighted prediction, Motion-compensated block, Reference quality, Illumination changes rapidly

## 1 引言

在现代视频编解码中,帧间预测是去除视频中时域冗余信息的最主要手段,也是实现高性能编码标准的关键,因此,优化视频编码中的帧间预测技术具有重要的意义。双向运动补偿预测利用视频序列中图片之间的时间相关性来达到高效率去除时域冗余的目的,被广泛应用在目前流行的视频编解码标准中,如 H.264/AVC、高效视频编解码(H.265/HEVC)<sup>[1]</sup>及由联合视频探索小组(JVET)<sup>[2-4]</sup>开发的下一代视频编解码标准 H.266。

在目前的视频编码标准中,帧间双向运动补偿仅通过对搜索到的两个运动补偿块相加取平均得到当前编码块的预测

值。但是在某些条件下,编码块/帧相比于参考帧的亮度会发生剧烈变化,此时若采用现有视频编码标准中的方法,编码块会产生严重的失真。

鉴于双向运动补偿预测方法在一些应用场景中存在严重的不足,为了提高视频编码的性能,目前大多数科研工作者致力于研究全局预测技术和局部亮度补偿技术,即对已重建块采用一个权值(*weight*)加上一个偏移量(*offset*)的方法得到当前编码块的预测块。

Yin 等提出局部权值预测(Localized Weighted Prediction, LWP)<sup>[5]</sup>技术来解决亮度变化问题,对于每一个编码块,使用偏移量 *offset* 来补偿当前块。其中, *offset* 是由当前编码块的周围相邻参考像素进行参数估计得到的,不需要传输

到稿日期:2018-07-05 返修日期:2018-09-20 本文受国家自然科学基金项目(61571102),四川省科学技术厅重点项目(2018JS475)资助。

杨敏捷(1990-),女,硕士生,主要研究方向为视频编码与通信;朱 策(1969-),男,博士,教授,主要研究方向为视频编码与通信、视频分析和处理, E-mail: eczhu@uestc.edu.cn(通信作者);郭红伟(1980-),男,博士生,主要研究方向为视频编码与通信;蒋 妮(1996-),女,硕士生,主要研究方向为视频编码与通信。

额外的比特。此方法会增加编解码端的复杂度,且当参考像素和编码块像素的相关性很弱时,偏移量  $offset$  的推导会存在偏差。文献[6]提出的局部亮度补偿技术(Local Illumination Compensation, LIC)从相邻模板导出权值  $weight$  和偏移量  $offset$  进行加权预测,一定程度上提高了预测精度,但同样在编解码端增加了运算复杂度。在 JVET 第四次会议中,提案 JVET-D0102<sup>[7]</sup> 提出了广义加权预测方法,其预先设定一组固定的权值  $\{-1/4, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, 5/4\}$ , 然后将设定的权值个数(此方法中为 7)作为循环次数,通过计算率失真代价选出最优的权值,并把最优权值对应的索引号传送到解码端。该方法一定程度地提升了编码性能,但编码端的复杂度大幅增加,在视频编码标准中不可忽略。

为了解决上述问题,本文提出一种基于参考质量的帧间自适应加权预测方法,即基于参考质量设定加权预测时的权值。

## 2 帧间双向加权预测方法

帧间预测<sup>[8]</sup>主要包括运动估计和运动补偿两个过程,其中运动估计就是在参考帧中寻找与当前编码块最匹配的已编码块,这个已编码块就作为当前块的预测块,其间会用运动矢量(Motion Vector, MV)标记预测块与当前块之间的位移。运动补偿则是根据前面得到 MV,通过插值操作获得当前块的预测块的过程<sup>[9]</sup>。

目前,主流的视频编码标准中规定了两种帧间双向加权预测方法,包括默认的加权预测技术和显示加权预测(Explicit Weighted Prediction, EWP)技术。

默认的加权预测对两参考列表搜索到的运动补偿块设定了默认的权值,均为 1/2。当前编码块的预测像素值的计算如式(1)所示:

$$P[x] = \frac{1}{2} * P_0[x + \nu_0] + \frac{1}{2} * P_1[x + \nu_1] \quad (1)$$

其中,  $P[x]$  为当前编码块的预测值,  $P_0[x + \nu_0]$  为在参考列表  $List_0$  搜索到的最优匹配块,  $\nu_0$  和  $\nu_1$  为运动矢量(MV),  $P_1[x + \nu_1]$  为在参考列表  $List_1$  中搜索到的最优匹配块, 1/2 为预测帧间加权时默认的权值。

显示加权预测(EWP)方法中,当前编码块的预测像素值如式(2)所示:

$$P[x] = \omega_0 * P_0[x + \nu_0] + offset_0 + \omega_1 * P_1[x + \nu_1] + offset_1 \quad (2)$$

其中,权值  $\omega_0$  和  $\omega_1$  为加权预测的权值,  $offset_0$  和  $offset_1$  表示相应的偏移量。 $\omega$  和  $offset$  的值由帧级的编码器决定,并需要传送到解码端。

## 3 改进的帧间自适应加权预测方法

目前,已有的视频编码标准的运动补偿都是在不考虑帧与帧之间存在剧烈亮度变化的基础上进行的。然而,实际中,大多数场景的视频往往存在亮度的变化,这就导致生成的预测块不够准确。最新的视频编码标准将双向加权的权值设置为固定值 1/2, 固定权值的设定严重影响了双向预测的准确性,进而影响整个编码器的性能。

为了解决现存视频编码标准中存在的上述问题,本文提出一种基于参考质量的帧间自适应加权预测方法。本方法中权值的设定基于参考块的编码质量,所对应的参考块的质量越高,其对应的权值就越大,反之对应的权值就越小。因此,帧间加权预测的权值不仅仅是 0.5, 而是根据参考帧的质量设定不同的权值。此权值不仅应用于 H.266 的 Inter 模式,还应用于 H.266 视频编码标准中的其他预测新技术,如 LIC 技术、OBMC 技术<sup>[10]</sup>、Affine 预测模式<sup>[11]</sup>和 BIO 技术<sup>[12]</sup>。

基于参考质量做加权时,其具体实施过程可分为两大步骤:做帧间双向加权时权值的获取,以及双向运动补偿。

### 3.1 帧间自适应权值的获取

文中做帧间加权预测时,加权预测的权值不再仅仅是默认的权值。假设本方案中计算的权值设定为  $\omega_0$ , 则编码块的预测值如式(3)所示,帧间双向加权预测示意图如图 1 所示。

$$P[x] = \omega_0 * P_0[x + \nu_0] + (1 - \omega_0) * P_1[x + \nu_1] \quad (3)$$

其中,  $\omega_0$  为加权预测的权值,  $\nu_0$  和  $\nu_1$  为运动矢量,  $P[x]$  为当前编码块的预测像素值,  $P_0[x + \nu_0]$  为依据运动矢量在参考列表  $List_0$  中搜索到的最优匹配块,  $P_1[x + \nu_1]$  为依据运动矢量在参考列表  $List_1$  中搜索到的最优匹配块。

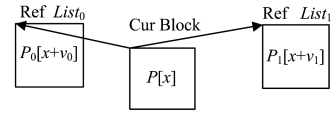


图 1 帧间双向加权预测示意图

Fig. 1 Schematic diagram of weighted bi-prediction

在该方案中,每个编码块根据编码模式的不同,获取权值的方式也不同。对于需传送运动矢量残差(MVD)的模式,如 Inter 模式和 Affine Inter 模式,需通过基于参考质量的方法计算权值。对于无需传送 MVD 的模式,如 Merge 和 Affine Merge 模式,不需要计算权值,就可直接从已编码块中推断当前编码块的权值。

#### 3.1.1 需传送 MVD 编码模式的权值计算

对编码块而言,均方误差(Mean Square Error, MSE)是比较常见的失真衡量标准,反映了失真的大小,计算公式如式(4)所示:

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M (P_k - \hat{P}_k)^2 \quad (4)$$

其中,  $P_k$  表示编码块的原始像素值,  $\hat{P}_k$  表示重建像素值,  $M$  表示编码块的总像素的个数。

由方差的性质可知,若  $X$  与  $Y$  是两个随机变量,且  $X$  与  $Y$  是两个不相关的随机变量,则  $D(X+Y)$  可用式(5)表示:

$$D(X+Y) = D(X) + D(Y) \quad (5)$$

又假定在参考列表  $List_0$  中对应的参考块  $P_0$  的失真对当前编码块的失真与在参考列表  $List_1$  中对应的参考块  $P_1$  的失真对当前编码块的失真是不相关的,则由于  $P_0$  和  $P_1$  的失真导致当前编码单元的失真如式(6)所示:

$$\sigma_p^2 = \omega_0^2 * \sigma_0^2 + (1 - \omega_0)^2 * \sigma_1^2 \quad (6)$$

在当前单元的编码中,编码器尽量保证当前编码单元的失真最小等价于求解式(7)。

$$\min \sigma_p^2 = \min \{ \omega_0^2 * \sigma_0^2 + (1 - \omega_0)^2 * \sigma_1^2 \} \quad (7)$$

进一步推导得到式(8):

$$\frac{\partial \sigma_p^2}{\partial \omega_0} = 2\omega_0 * \sigma_0^2 - 2(1 - \omega_0) * \sigma_1^2 = 0 \quad (8)$$

可得参考块  $P_0$  对应的权值  $\omega_0$  如式(9)所示:

$$\omega_0 = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_0^2} \quad (9)$$

采用下述两种方法来求解具体的权值:1)基于定量的方法;2)基于统计的方法。

方法1 基于定量的方法计算权值

假定当前编码块在参考队列  $List_0$  中对应的参考帧为  $r_0$ ,相应的量化参数  $QP$  为  $QP_0$ ;在参考队列  $List_1$  中对应的参考帧为  $r_1$ ,相应的量化参数为  $QP_1$ ,如图2所示。若输入的信号服从均匀分布,且采用 MSE 衡量失真,则均匀量化后的失真如式(10)所示:

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{\Delta} \int_{x_i - \Delta/2}^{x_i + \Delta/2} (x - x_i)^2 dx = \frac{\Delta^2}{12} \quad (10)$$

其中,  $\hat{x}_i$  表示各区间重建值,  $M$  表示重建值的个数,  $\Delta$  表示量化步长。因此,对于均匀分布,失真(MSE)正比于量化步长  $\Delta$  的平方。

量化步长如式(11)所示:

$$\Delta = 2 \frac{QP - 4}{6} \quad (11)$$

将式(10)和式(11)代入式(9),可得式(12),即为最终的权值计算公式。

$$\omega_0 = \frac{2^{\frac{QP_1}{2}}}{2^{\frac{QP_0}{2}} + 2^{\frac{QP_1}{2}}} \quad (12)$$

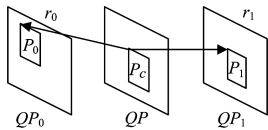


图2 基于参考质量的帧间预测示意图

Fig. 2 Schematic diagram of bi-prediction based on reference quality

方法2 基于统计的方法计算权值

在视频编码中,编码失真主要来自于变换和量化模块,因此量化步长与编码块的失真有关,对不同的编码模式(帧内/帧间),基于量化步长做不同比例的缩放。统计失真和量化步长的关系,如图3所示。从图3可知,相同的量化步长有相似的压缩失真,且失真与量化步长呈线性关系。若缩放因子标记为  $a$ ,偏置因子标记为  $b$ ,拟合图3所示曲线,可得  $a$  和  $b$  在不同配置下的值,如表1所列。

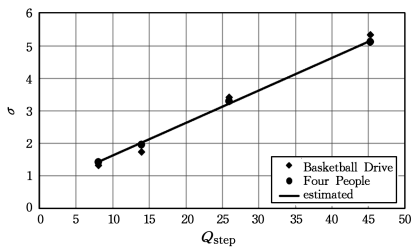


图3 失真与量化步长的关系

Fig. 3 Relationship between distortion and quantization step

表1 系数  $a$  和  $b$  的值

Table 1 Value of coefficient  $a$  and  $b$

	AI		RA		LDB	
	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$
Y	0.13	0.71	0.10	0.49	0.10	0.49
U	0.07	0.86	0.04	0.88	0.04	0.88
V	0.07	0.86	0.04	0.88	0.04	0.88

经上述分析,把拟合公式代入式(9),可获得最终权值,如式(13)所示:

$$\omega_0 = \frac{(a * \Delta_1 + b)^2}{(a * \Delta_1 + b)^2 + (a * \Delta_0 + b)^2} \quad (13)$$

通过上述方法获得权值之后,设定基于参考质量计算的权值对应的索引标号为0,默认的权值0.5对应的索引标号为1。

3.1.2 无需传 MVD 模式的权值计算

可从已编码块中直接推测出当前编码块的权值,如图4所示。例如,对于 Merge 模式,若当前编码块对应的最优候选列表为左(L)邻域块,则当前编码块做双向加权时,对应的权值为左(L)邻域块对应的权值。

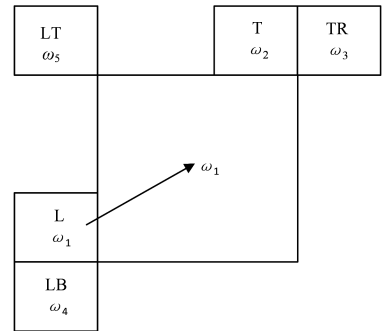


图4 候选列表权值推测

Fig. 4 Deriving weight from selected candidate

3.2 帧间双向运动补偿过程

帧间运动补偿过程就是通过最终搜索到的最优匹配块和3.1节中计算的权值,利用式(3)获得最终预测块的过程。

3.2.1 无需传送 MVD 的帧间双向运动补偿

无需传送 MVD 的帧间双向加权预测的流程如图5所示。其具体实施过程如下:首先,根据 Merge 候选列表中的权值和运动信息,使用率失真代价找到当前编码块所对应的最优候选列表;然后,根据当前编码块最优候选列表中的运动信息,使用最优候选列表中的权值和其对应的运动信息,采用式(3)做加权,从而获得当前编码块的预测值。

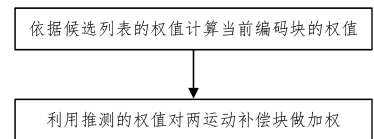


图5 使用权值推测模式的帧间预测

Fig. 5 Inter prediction based on deriving weight

3.2.2 需传送 MVD 模式的帧间双向预测

需传送 MVD 模式的帧间双向预测的流程如图6所示。其具体实施过程包括运动搜索和运动补偿两个步骤。

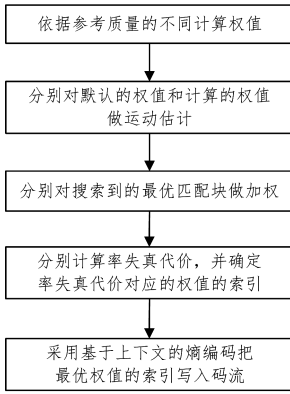


图 6 需传送 MVD 的帧间加权预测

Fig. 6 Inter prediction for MVD to be transmitted

第一步 搜索运动匹配块。

分别使用索引标号为 0 和 1 对应的权值在参考列表  $List_0$  和  $List_1$  中搜索当前编码块的最优匹配块,分别记为  $P_0$  和  $P_1$ 。搜索方式与现有标准类似,但做二次搜索时匹配的权值要做相应的变化。将参考块  $P_0$  对应的率失真代价记为  $RDcost_0$ ,参考块  $P_1$  对应的率失真代价记为  $RDcost_1$ 。

若  $RDcost_0 < RDcost_1$ ,则  $P_0$  为在参考队列  $List_0$  中搜索到的最优匹配块,记为  $P_0[x+\nu_0]$ 。当前编码块在参考队列  $List_1$  中需进行二次搜索,以获得最优匹配块,使用式(14)所得的块,在参考队列  $List_1$  中进行二次搜索,记得到的最优匹配块为  $P_1[x+\nu_1]$ 。反之同理。

$$P_1[x] = (pDst[x] - \omega_0 * P_0[x+\nu_0]) / (1 - \omega_0) \quad (14)$$

第二步 根据第一步搜索得到的两个最优匹配块和基于参考质量计算的权值,使用式(3)获得当前编码块的预测值。

在编码端,分别对索引标号为 0 和 1 的权值计算率失真代价,并确定率失真代价最小的权值对应的索引号。若索引标号为 0 的率失真代价最小,则采用本算法计算的权值,利用式(3)对搜索到的运动补偿块做加权,以获得当前编码块的预测值。若索引标号为 1 的率失真代价最小,则采用现有参考软件中的算法做加权,以获得当前编码块的预测值。最后采用已有的上下文模型对最优权值对应的索引号进行熵编码,并写入码流,传到解码端。

4 解码端重建块的生成过程

4.1 需传送 MVD 的预测块的生成过程

在解码端,对于每个解码块,当解码端的最优模式为 Inter 且当前编码块为双向加权预测,对应的最优权值的索引为 0 时,选择基于参考质量做帧间双向加权的方法。然后按照与编码端同样的方法计算出权值,并对解码端得到的两运动补偿块做加权,最终获得解码端的预测值。若解出当前编码块对应的最优权值的索引为 1,则表示使用的是现有参考软件默认的值,即权值采用 0.5,此时按照现有参考软件中的方法对解码端解出的两运动补偿块做加权,这样就可以在解码端得到预测块。

4.2 无需传送 MVD 的预测块的生成过程

对于无需传送 MVD 的编码块,其解码端的流程如图 7 所示。

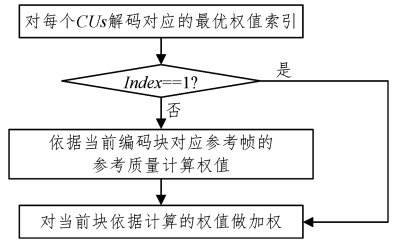


图 7 无需传送 MVD 的解码端的决策过程

Fig. 7 Decision process at decoder side without requiring to transmit MVD

当解码端的最优模式为 Merge 且为双向加权时,按照与编码端同样的方法得到预测块。最后把解码出来的残差进行反量化和反变换,得到残差块。把残差块和解码端得到的预测块相加,就可以恢复出重建块。

5 实验验证

为验证本文方法的有效性,将其集成到 H. 266 参考软件 JEM5.0.1 中。该方法中计算权值的方式有两种:1)使用基于量化参数 QP 的方法计算权值;2)使用基于统计的方法计算权值。

编码器配置分别为低延时 B 帧(Low Delay B, LDB)和随机接入(Random Access, RA)编码结构。实验中的测试序列和编码器参数设置采用提案 JVET-B1001<sup>[13]</sup> 建议的通用测试条件。

采用 Bjontegaard delta bitrate<sup>[13]</sup> (BD-rate)来评估编码率失真的性能,即在质量 PSNR 相同的情况下码率的平均变化率,每项百分比值均通过优化方法得到的 BD-rate 值与 H. 266 标准参考软件 JEM5.0.1<sup>[14]</sup> 的基准(anchor)BD-rate 值计算得来。

负的百分比表示优化算法能够带来的码率节省,即编码效率得到了提高;正的百分比则代表了编码性能的损失。EncT 和 DecT 分别表示采用本文方法的编解码器相对于原始编解码器 JEM5.0.1 的编码时间百分比和解码时间百分比,若其值大于 100%,则表示本方法会使复杂度增加,反之表示复杂度降低。

5.1 RA 配置下实验性能的比较

将基于参考质量做帧间加权带来的编码性能与参考软件 JEM5.0.1 的基准(anchor)相比较,使用第一种方式计算权值带来的编码性能如表 2 所列,使用第二种方法计算权值带来的性能比较如表 3 所列。

表 2 使用第一种方式计算权值在 RA 情况下的比特率节省

Table 2 Bitrate saving using the first method to calculated weight under RA configure

Test sequences	Y	U	V
Class B	-0.23	-0.28	-0.24
Class C	-0.18	-0.22	-0.28
Class D	-0.21	-0.07	0.01
Class F	-0.41	-0.50	-0.49
Total Average	-0.26	-0.27	-0.28
EncT		113	
DecT		101	

(单位:%)

表3 使用第二种方式计算权值在RA情况下的比特率节省

Table 3 Bitrate saving using the second method to calculate weight under RA configure

Test sequences	(单位:%)		
	Y	U	V
Class B	-0.29	-0.45	-0.12
Class C	-0.17	-0.19	-0.38
Class D	-0.19	-0.11	-0.04
Class F	-0.19	-0.57	-0.56
Total Average	-0.21	-0.33	-0.28
EncT		115	
DecT		100	

从表2和表3可知,依据上述两种方式计算的权值做帧间双向运动补偿获得重建块,得到的码率节省相差不大。该实验结果从另一方面反映了编码块的失真主要是来自于量化失真的影响。该算法在RA配置下带来的客观性能约为0.2%~0.3%,编码复杂度相比于ancor增加了大约15%。

## 5.2 LDB配置下实验性能的比较

基于参考质量计算的权值的编码性能与参考软件JEM5.0.1基准相比,使用第一种方式计算的权值在LDB配置下的编码性能如表4所列,使用第二种方式计算的权值在LDB配置下的编码性能如表5所列。

表4 第一种方式计算的权值在LDB情况下的比特率节省

Table 4 Bitrate saving using the first method to calculate weight under LDB configure

Test sequences	(单位:%)		
	Y	U	V
Class B	-0.42	-0.56	-0.87
Class C	-0.25	0.14	-0.29
Class D	-0.40	-0.02	-0.44
Class E	-0.33	-1.19	-1.10
Class F	-0.40	-0.36	-0.32
Total Average	-0.36	-0.40	-0.60
EncT		118	
DecT		100	

表5 第二种方式计算的权值在LDB情况下的比特率节省

Table 5 Bitrate saving using the second method to calculate weight under LDB configure

Test sequences	(单位:%)		
	Y	U	V
Class B	-0.38	-0.49	-0.39
Class C	-0.20	-0.27	-0.15
Class D	-0.16	-0.19	-0.24
Class E	-0.26	-0.17	-0.64
Class F	-0.28	-0.57	-0.14
Total Average	-0.26	-0.34	-0.31
EncT		114	
DecT		101	

从表4和表5可知,在LDB配置下,该算法带来的客观性能为0.3%~0.4%,编码复杂度相比于基准方法约提升了16%。

分析实验结果可知,基于参考质量做帧间自适应加权提高了视频压缩的性能,节省了码率。在编码复杂度可接受的情况下,该算法具有一定的可行性和正确性。其中,对于BQSquare序列,在LDB配置下,其码率节省可高达1.16%。

**结束语** 帧间预测技术主要利用视频间的时间相关性去除时域冗余,提高了压缩效率,帧间双向加权是帧间双向预测不可缺少的一部分,是实现高性能编码的关键和重要手段。本文首先介绍了帧间双向预测的方法及其研究现状和不足;然后针对上述问题,提出了一种帧间自适应加权预测的方法。实验结果证明,所提算法在复杂度增加可忽略的情况下,在LDB和RA配置下都能够获得一定的码率节省,提高了视频压缩效率。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] CHEN J, CHEN Y, KARCZEWICZ M, et al. Coding tools investigation for next generation video coding; ITU-T SG16-C806 [S]. 2015.
- [3] KARCZEWICZ M, CHEN J, CHIEN W J, et al. Study of coding efficiency improvements beyond HEVC; MPEG doc. m37102 [S]. 2015.
- [4] CHOI K, ALSHINA E, ALSHIN A, et al. Information on coding efficiency improvements over HEVC for 4K content; MPEG doc. m37043[S]. 2015.
- [5] YIN P, TOURAPIS A M, BOYCE J. Localized weighted prediction for video coding[C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. New York: IEEE Press, 2005: 4365-4368.
- [6] LIU H, CHEN Y, CHEN J, et al. Local Illumination Compensation; VCEG-AZ06[S]. 2015.
- [7] CHEN C C, XIU X, HE Y, et al. EE3: Generalized bi-prediction; JVET-D0102[S]. 2016.
- [8] YUAN Y, KIM I K, ZHENG X Z, et al. Quadtree Based Non-square Block Structure for Inter Frame Coding in High Efficiency Video Coding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1707-1718.
- [9] UGUR K, ALSHIN A, ALSHINA E, et al. Motion Compensated Prediction and Interpolation Filter Design in H. 265/HEVC [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2013, 7(6): 946-956.
- [10] CHEN Y, MUKHERJEE D. Variable block-size overlapped block motion compensation in the next generation open-source video codec[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. New York: IEEE Press, 2017: 938-942.
- [11] LI L, LI H, LV Z, et al. An affine motion compensation framework for high efficiency video coding[C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. New York: IEEE Press, 2015: 525-528.
- [12] ALSHIN A, ALSHINA E. Bi-directional Poptical Flow for Future Video Codec[C]// Proceedings of Data Compression Conference. New York: IEEE Press, 2016: 83-90.
- [13] SUEHRING K, LI X. JVET common test conditions and software reference configurations; JVET-B1001[S]. 2016.
- [14] BJONTEGAARD G. Calculation of average PSNR difference between RD-curves; VCEG-M33[S]. 2001.