

基于梯度方向算子的 H. 264 帧内模式选择算法

毛 峡 闫 晗

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 提出梯度方向算子的概念, 基于该算子提出了一种 H. 264 帧内模式快速选择算法。本文首先应用梯度方向算子计算编码宏块中各 4×4 亮度子块的纹理特征和灰度起伏特征, 根据这两种特征参量削减 4×4 帧内候选预测模式。通过统计宏块中各子块的 4×4 候选预测模式信息, 结合梯度方向强度门限判别法削减宏块的 16×16 候选预测模式, 通过率失真优化算法计算得到最优亮度预测模式。进一步根据亮度宏块和色度宏块的对应关系, 在亮度候选预测模式的基础上对色度宏块候选预测模式进行削减, 最后计算得到最优色度预测模式。该算法削减了 50% 以上的帧内预测模式, 减少了帧内预测模式选择的运算量, 实验表明, 该算法能够在峰值信噪比和码流比特率变化轻微的前提下减少 50% 以上的运算量。

关键词: H. 264/AVC; 视频编码; 帧内预测

中图分类号: TP37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2012)03-0410-07

Fast intra mode decision algorithm based on directional gradients for H. 264/AVC

MAO Xia YAN Han

(School of Electronic and Information Engineering, BeiHang University, Beijing 100191, China)

Abstract: A directional gradients operator is proposed in this paper, and a novel H. 264 intra prediction was introduced based on this operator. First of all, an encoding 16×16 macro block was divided into sixteen 4×4 sub-block. Using this directional gradients operator, an encoding 4×4 luma sub-block's texture feature and grey level fluctuation can be calculated. Based on these features, some dispensable 4×4 intra prediction modes were cut down. Furthermore, the 16×16 macro block's texture feature and grey level fluctuation can be judged according to statistical information of each 4×4 sub-block's candidate intra prediction modes. And the 16×16 candidate intra prediction modes can be decided by using the threshold of directional gradient strength value. The rate distortion optimization process should be done among the 4×4 and 16×16 candidate intra prediction modes and the best luma intra prediction mode should be decided. In addition, 8×8 chroma block intra prediction modes could also be reduced based on the corresponding luma macro block. In all, the number of intra prediction mode was reduced up to 50%, and the computational complexity was highly reduced. According to experiments, the proposed method could reduce the encoding time of overall sequence by about 50% without noticeable degradation of coding quality.

Key words: H. 264/AVC; video encode; intra predication

1 引言

H. 264 标准是国际电信联盟电信标准化部门视频编码专家组 (Video Coding Experts Group, VCEG) 和国际标准化组织活动图像专家组 (Moving Picture Experts

Group, MPEG) 共同组成的联合视频组 (Joint Video Team, JVT) 开发的视频编码标准^[1]。与传统的视频编码方式相比, H. 264 标准在具有更高压缩率更好编码品质的同时也具有更高的运算复杂度。

H. 264 标准将每帧图像分割成 16×16 像素亮度宏

块和 8×8 色度宏块,以宏块为基本单元进行编码,提供了多种 16×16 、 8×8 及 4×4 帧内预测模式,并采用率失真优化算法(Rate Distortion Optimization, RDO)进行预测模式选择。传统的RDO复杂度较高,遍历所有预测模式占用大量运算资源^[2]。因此,国内外研究人员相继提出多种算法简化帧内预测模式,使帧内编码算法得到了不同程度的优化。

一些研究人员采用更高效能的评估算法代替RDO算法,比较有代表性的有SAD、SATD、MAD等算法^{[3][4]},如沈阳理工大学的徐睿等人采用平均绝对误差MAD算法,输出图像峰值信噪比仅有 $0.05\text{dB} \sim 0.1\text{dB}$ 的下降,编码速率提升 $6.9\% \sim 14.1\%$ ^[4]。除此之外,编码前对宏块进行预处理从而削减编码模式的方式也被不少研究人员采用,如Keng-Pang Lim采用Sobel边缘检测算子对宏块进行预处理,程浩等人采用 4×4 图像模板的方式判断子块预测模式^[5],Ding Zhengjian等人在算法中引入终止模式达到削减预测模式的目的^[6]。

现有的各类帧内预测算法中,还存在需要改进的方面。首先,宏块预处理运算量较大,不利于和高速代价评估算法结合使用。比如Keng-Pang Lim引入的Sobel算子中,每计算一个 4×4 子块即需要144次乘法操作,从而限制了该算法的应用。参考文献^[7]采用Sobel算子得到纹理信息后又采用SAD算法计算灰度起伏特征,进一步增大了计算量。其次,算法在编码效率和编码质量之间分配不均,如参考文献^[6]采用基于统计分析结果引入门限值的算法,亮度信噪比下降 0.03dB 能够较好的保证图像质量,但编码速率仅提升 20% ;而参考文献^[8]对宏块中心像素计算梯度,编码速率得到了 70% 左右的提升,但亮度峰值信噪比下降严重,达到 0.2dB 以上,不能保证良好的视频质量。

基于上述情况,本文提出了更为简单有效的梯度方向算子,在保证良好的编码质量的前提下较大地提升了编码速度。在H. 264参考软件Joint Model(JM)中进行实验,取得了良好的效果。

2 H. 264 帧内预测原理

H. 264标准采用两种预测算法:帧间预测和帧内预测。前者基于视频序列的时间相关性采用已编码帧进行预测,后者基于单幅图像的空间相关性利用当前编码帧内容进行预测^[1]。输入原始序列格式通常为YUV420格式,即包含一个亮度平面和两个色度

平面,色度平面的纵横分辨率都为亮度平面的二分之一。

亮度和色度帧内预测编码是分开进行的,H. 264标准把一帧图像亮度平面分割成若干 16×16 宏块,再把每个宏块分割成16个 4×4 子块,标准中规定了 16×16 和 4×4 两种不同大小块的帧内编码方式。帧内预测编码的基本原理是采用当前编码块(16×16 或 4×4)上方、左方、左上方、右上方等已编码块的像素根据不同预测模式生成不同的预测值,如图1(a)所示。对各模式生成的预测值进行RDO运算得到最佳预测模式后,用编码块的原始数据和最佳模式的预测值相减,得到残差数据,最后残差数据经过DCT变换、量化、熵编码等即得到编码数据^[9]。色度平面和亮度平面类似,每个 16×16 亮度平面都对应了U、V两个 8×8 色度平面,和亮度平面有着类似的预测编码方式。

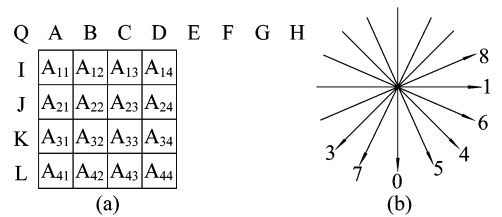


图1 4×4 帧内预测模式
Fig. 1 Intra prediction mode

亮度平面上,H. 264标准规定了4种 16×16 预测模式和9种 4×4 预测模式,色度平面上提供了4种 8×8 预测模式。标准中采用全搜索方式,即对所有预测模式独立依次进行模式选择运算(9种 4×4 模式采用复杂的RDO运算,8种 16×16 和 8×8 模式采用相对简单的SATD运算),其中率失真代价最小的模式为最优模式^[3]。由于RDO算法需要得到当前模式编码后的码流大小,必须对每种模式都进行残差DCT变换、量化、熵编码等步骤,运算复杂度高会消耗大量的计算时间。

3 基于梯度方向算子的帧内预测算法

3.1 算法结构

本算法是基于 4×4 图像模板实现的,其总体思路为:用图像模板对当前编码宏块的 4×4 子块进行预处理,计算出各子块的纹理特征和灰度起伏特征(即梯度方向和梯度强度),削减部分 4×4 预测模式。再根据各子块的纹理特征和灰度起伏特征计算出当前宏块的 16×16 候选预测模式。再通过上述亮度平面的预测结果削减两个色度平面的候选预测模式。最后运用

RDO 算法在各候选预测模式中计算出最优预测模式。 算法的流程简图如图 2 所示。

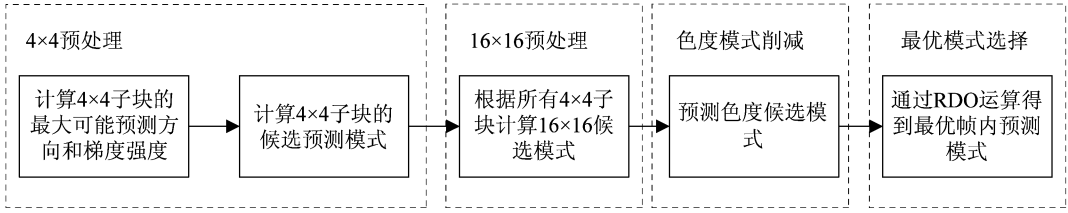


图2 算法流程图
Fig. 2 Algorithm Process

从图 2 中可以看出,本算法是以 4×4 亮度子块的纹理特征和灰度起伏特征为基础进行计算的,所以本文提出了一种简单高效的算法:梯度方向算子。

3.2 梯度方向算子

本文提出的梯度方向算子由 H 、 V 、 $D0$ 、 $D1$ 四个 4×4 模板构成:

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1/2 & -1/2 & 1/2 & 1/2 \\ -1/2 & -1/2 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 & 0 \\ 0 & -1/2 & -1/2 & 0 \\ 0 & -1/2 & -1/2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D0 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad D1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

H 、 V 分别计算水平、垂直梯度方向, $D0$ 、 $D1$ 计算两个对角线梯度方向,通过该算子处理一个 4×4 子块,仅需要 24 次乘法运算,并且可以通过纹理特征直接计算得到当前子块以及整个宏块的灰度起伏特征,无需引入其他算法,从而降低了计算复杂度。

3.3 4×4 快速模式选择算法

首先通过对 4×4 子块和梯度方向算子进行内积运算求得各子块的横向、纵向以及两个对角线的梯度方向值,如式(1)所示。

$$\begin{cases} GradH = A * H \\ GradV = A * V \\ GradD0 = A * D0 \\ GradD1 = A * D1 \end{cases} \quad (1)$$

式 1 中 A 为 4×4 子块灰度数据构成的 4×4 矩阵, H 、 V 、 $D0$ 和 $D1$ 分别为梯度向量算子的四个矩阵。 $GradH$ 、 $GradV$ 、 $GradD0$ 和 $GradD1$ 分别为不同梯度方向

向量的模,如图 3 所示。

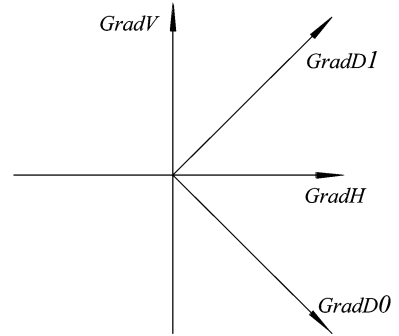


图3 梯度向量方向图

Fig. 3 Gradient vector direction

采用坐标合成法得出该 4×4 子块的梯度向量:

$$vecGrad = (vecX, vecY)$$

$$vecX = GradH + \frac{GradD0}{\sqrt{2}} + \frac{GradD1}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

$$vecY = GradV - \frac{GradD0}{\sqrt{2}} + \frac{GradD1}{\sqrt{2}}$$

理论上,预测方向应为灰度值变化最小的方向,而梯度向量方向为灰度值变化最大的方向,本算法假设预测方向与梯度向量方向垂直,可得预测方向角为:

$$\theta = \arctan\left(-\frac{vecX}{vecY}\right) \quad (3)$$

根据预测方向角选择与该角度最接近的预测模式以及相邻两侧的两个预测模式作为候选模式。实验表明,模式 2 (DC 模式) 对编码图像信噪比影响较大,所以把模式 2 也作为候选模式。预测方向角与候选模式的对应关系如表 1 所示。

为了尽可能减少计算量,本算法采用 $vecX$ 和 $vecY$

的比值 λ 取代上述角度值进行判定, 候选模式对应关系如表 1 所示。

表 1 比例因子候选模式对照表

Tab. 1 Relationship between Scale factor and Candidate Modes

λ 取值范围	候选模式	λ 取值范围	候选模式
$ \lambda > 5$	0, 2, 5, 7	$-0.2 < \lambda \leq 0.2$	1, 2, 6, 8
$-5 \leq \lambda \leq -1.5$	0, 2, 3, 7	$0.2 < \lambda \leq 0.67$	1, 2, 4, 6
$-1.5 < \lambda \leq -0.67$	2, 3, 7, 8	$0.67 < \lambda \leq 1.5$	2, 4, 5, 6
$-0.67 < \lambda \leq -0.2$	1, 2, 3, 8	$1.5 < \lambda \leq 5$	0, 2, 4, 5

按照上述方法, 进行 RDO 计算的 4×4 候选模式由原来的 9 个削减为 4 个, 减少了 50% 以上的计算复杂度。

为了进一步削减候选预测模式降低预测复杂度, 本算法结合子块灰度起伏特征再次缩小候选模式范围。定义梯度强度 $stren$ 表示 4×4 子块灰度变化的起伏程度:

$$stren = |vecX| + |vecY| \quad (4)$$

实验表明, 9 种 4×4 预测模式中, 模式 0 和模式 1, 即垂直预测模式和水平预测模式出现频率远高于其他模式, 占预测模式总和的 40% ~ 50%。因此, 可以通过进一步限定 λ 和 $stren$ 取值范围筛选出垂直、水平方向性较强的子块进一步削减候选模式。

本算法规定: 在 $|\lambda| > 7 \ \&\& \ stren > 100$ 情况下, 候选模式为 0, 2; 在 $|\lambda| < 0.1 \ \&\& \ stren > 100$ 情况下, 候选模式为 1, 2。

图 4 是采用上述约束条件对模式 0、1 分离成功率统计图, 可以看出, 该限定条件可以准确地分离出模式 0 和模式 1。

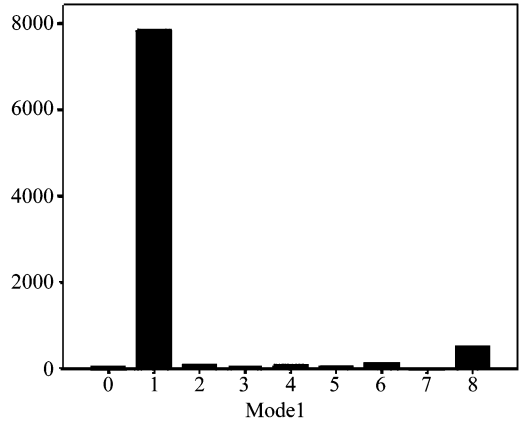


图 4 模式分离实验统计图
Fig. 4 Statistics of Mode Filter

3.4 16×16 快速模式选择算法

H. 264 标准算法中有 4 种 16×16 预测模式, 包含垂直预测模式、水平预测模式、DC 模式和 plane 模式, 前两种模式和 4×4 子块的垂直、水平模式类似, 属于方向性预测模式, 后两种预测模式属于无方向性预测模式, 适用于较为平坦或变化比较缓慢的图像。本算法根据四种 16×16 预测模式的特性, 从宏块的纹理特征和灰度起伏特征中计算出 16×16 候选预测模式。

首先从 16 个 4×4 子块候选预测模式的统计信息中得到当前编码宏块的纹理特征。定义 $mode0_count$ 和 $mode1_count$ 分别表示候选模式包含 0 和包含 1 的 4×4 子块数量。再通过计算各子块的 $stren$ 值的一阶中心矩来描述宏块的灰度起伏特征, 如式(5)所示。

$$sad_stren = \sum_{i=1}^{16} \left| stren_i - \overline{stren} \right| \quad (5)$$

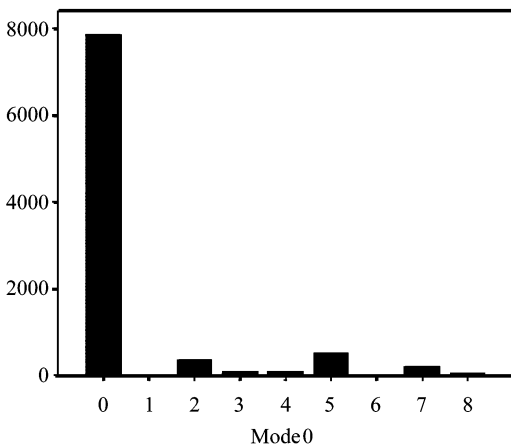
其中 $stren_i$ 是第 i 个子块的梯度强度值, \overline{stren} 为各 4×4 子块梯度强度 $stren$ 的均值。

本算法根据 sad_stren 、 $mode0_count$ 和 $mode1_count$ 的不同取值筛选 16×16 候选模式, 首先根据宏块的总体起伏特征分为三种情况讨论:

1) $sad_stren > 1400$ 时, 表示当前宏块灰度变化十分复杂, 平滑度很低, 不适合采用 16×16 模式进行预测;

2) $1000 < sad_stren \leq 1400$ 时, 表明当前宏块平滑度较低, 不适合采用 DC 模式(模式 2)和 plane 模式(模式 3)进行预测, 把垂直预测模式(模式 0)和水平预测模式(模式 1)作为候选模式;

3) $240 < sad_stren \leq 1000$ 时, 当前宏块平滑度适中, 采用全部 4 种 16×16 预测模式;



4) $sad_stren \leq 240$ 时,表明当前宏块平滑度很高,无需进行 4×4 预测,只采用全部 4 种 16×16 预测模式进行预测。

为了进一步优化算法减少候选预测模式, $240 \leq sad_stren \leq 1400$ 的情况下,如果 $mode0_count$ 或

$mode1_count$ 有一项大于 9,则只采用相应的模式 0 或模式 1 作为候选预测模式不再采用其他 16×16 预测模式。

上述选择结构如图 5 所示,以 sad_stren 取值为横坐标轴,不同的取值区间选择不同的候选预测模式。

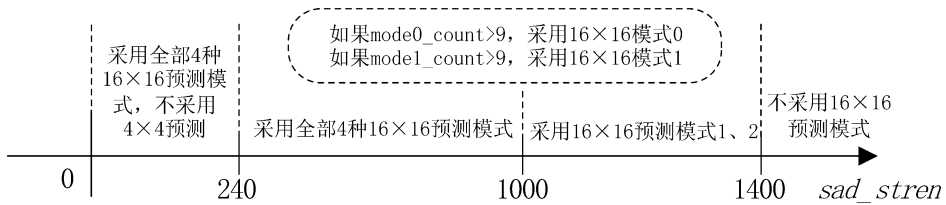


图5 16×16 候选模式选择流程

Fig. 5 16×16 Candidate Mode Selection process

最后,对上述经过宏块预处理后确定的 4×4 和 16×16 候选模式分别进行 RDO、SATD 运算,得出最佳 4×4 预测模式和最佳 16×16 预测模式,进而得到当前编码宏块的最优亮度预测模式。

3.5 色度预测模式选择算法

由于每个 8×8 色度宏块和 16×16 亮度宏块都有着——对应的关系,并且大量实验表明色度宏块和亮度宏块的预测模式有着很强的相关性^[10],所以可以通过亮度宏块的模式选择结果对色度宏块进行预测。又因为色度平面的灰度起伏比亮度平面更小^[11],所以把 DC 模式默认作为候选模式之一。

色度候选模式选择基于当前亮度宏块最优预测模式、 $mode0_count$ 和 $mode1_count$ 三个因素,分以下两种情况讨论:

当前亮度宏块最优预测模式为 16×16 模式时(如垂直预测模式),选择该模式相对应的色度预测模式和 DC 模式作为色度候选预测模式;

当前亮度宏块最优模式为 4×4 模式时,选择 $mode0_count$ 和 $mode1_count$ 数值较大的模式以及 DC 模式为色度候选预测模式。

采用 RDO 算法在色度候选模式中选出最优色度预测模式。

4 实验结果

本文所述算法采用 JVT 提供的 H. 264 参考代码 JM8.6 进行实验仿真,主要对比编码相同序列,采用 H. 264 标准算法和本文所述算法编码时间变化百分比、平均比特率差别和 YUV 三个编码平面的峰值信噪比差异。为了排除帧间预测算法的影响,采用全 I 帧

编码方式。

4.1 不同序列对比实验

本实验采用 Carphone、Bridgefar、Costgard、Football、Akiyo 五组 QCIF 视频作为测试序列,可按照视频图像特征将这五组序列划分成三种:

1) 背景较平滑变化较小,主体变化较大: Carphone、Akiyo;

2) 背景和主体都有一定起伏,且有着较为剧烈的变化: Football、Costgard;

3) 整幅图像都较为平滑,变化很小: Bridgefar。

实验的量化参数值设为 28,实验结果如表 2 所示。

表2 JM8.6 实验结果

Tab. 2 Experiment results in JM8.6

序列	YPSNR (dB)	UPSNR (dB)	VPSNR (dB)	Bitrate (%)	Time (%)
Carphone	-0.08	-0.03	-0.01	+3.91	-52.21
Bridgefar	-0.04	-0.01	-0.01	+2.91	-64.32
Coastguard	-0.06	-0.05	-0.03	+4.12	-52.65
Football	-0.08	-0.02	-0.03	+3.53	-51.31
Akiyo	-0.08	-0.02	-0.02	+4.84	-50.56

从实验结果可看出,本算法在编码不同类型视频序列都有 50% 以上的性能提升,得益于本算法引入的梯度强度门限判别法,对于平滑度较高的视频,如 bridgefar,节省编码时间达到 64%,大大提高了编码效率。

应用该算法后,码流比特率有 3% ~ 5% 的轻微增加,亮度峰值信噪比有 0.04dB ~ 0.08dB 的下降,UV 色度峰值信噪比的下降都小于 0.05dB,主观上很难看出算法对编码视频画质的影响。

4.2 同类算法对比实验

下面用本算法和参考文献[5]、[7]两种同类基于4×4模板计算子块方向向量的算法进行对比实验,实现结果如表3所示:

表 3 对比实验结果
Tab. 3 Contrast experiment results

序列	算法	YPSNR (dB)	Time (%)
Container	DG	-0.08	-55.31
	CP1	-0.04	-43.31
	CP2	-0.16	-53.20
Coastguard	DG	-0.06	-52.65
	CP1	-0.04	-38.97
	CP2	-0.10	-40.53
Foreman	DG	-0.06	-54.26
	CP1	-0.04	-40.21
	CP2	-0.10	-40.21

表3列出了本文算法和对比算法采用相同序列的三组实验数据,分别列出了三种算法相对于标准算法的峰值信噪比变化数据和编码时间减少百分比,其中DG表示本文算法,CP1表示参考文献[5]提出的4×4模板算法,CP2表示参考文献[7]提出的方向场终止模式算法。从表中实验结果可以看出,CP1算法编码时间比标准算法减少40%左右,本文算法编码时间比标准算法节省50%-55%,所以本文算法比CP1算法有明显的性能提升。与CP2算法相比,本文算法不仅编码速率优于CP2算法,并且峰值信噪比也比CP2算法高0.04dB-0.08dB。

4.3 不同量化参数对比实验

为了测试采用不同量化参数值时本算法对编码质量的影响,对Bridgefar和Football两个有代表性的序列分别以22、24、26、28、30、32、34共7组量化参数值(QP值)进行测试,对比本算法和标准算法的亮度峰值信噪比和码流比特率的差别,实验结果如图6、图7所示。

图6、图7为本算法和标准算法在不同QP值情况下亮度峰值信噪比和码流比特率的对比图,X轴为QP值,左Y轴为峰值信噪比,右Y轴为生成码流比特率。从图中可看出,在不同QP值的情况下,本算法性能表现稳定,输出序列的峰值信噪比和比特率同标准算法相比略有下降,无明显起伏。

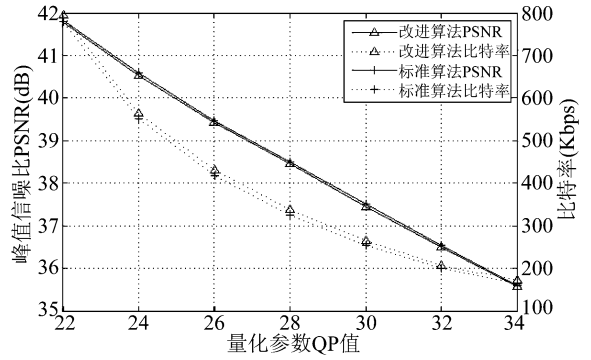


图 6 Farbridge 序列实验结果

Fig. 6 Experiment result on Farbridge sequence

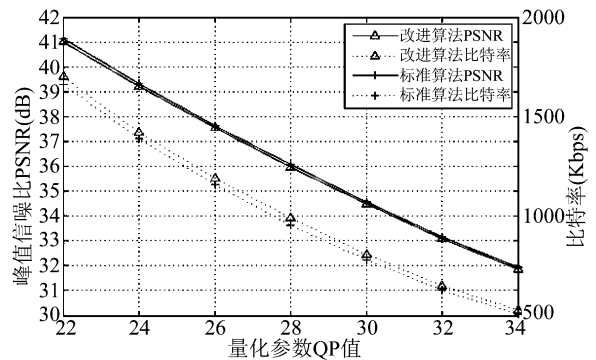


图 7 Football 序列实验结果

Fig. 7 Experiment result on Football sequence

5 结论

本文提出基于梯度方向算子的快速帧内模式选择算法,并在梯度向量算子的基础上引入梯度强度门限判决法,有效地削减了亮度和色度候选预测模式。应用本算法在JM8.6参考软件上进行实验,亮度峰值信噪比衰减控制在0.08dB以内,和参考文献[8]相比的0.2dB以上的衰减相比,画质有了较大的提升;编码速度提升达到50%以上,在画质损失轻微的情况下编码和参考文献[6]相比有大幅度的提升。

所以可以得出结论,本算法性能均衡,在保持良好画质的前提下对编码性能提升明显,具有实用性和有效性。

参考文献

[1] 胡伟军,李克非,成建波. H. 264/AVC 视频编码标准的技术特点及应用分析[J]. 信号处理, 2005, 21(1): 79-85.
Hu Weijun, Li Kefei, Cheng Jianbo. Features and Applications of H. 264/AVC[J]. Signal Processing, 2005, 21

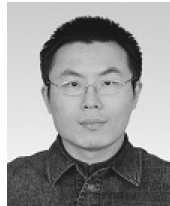
- (1):79-85. (in Chinese)
- [2] 张阳, 催慧娟, 唐昆. H. 264 视频编码中的快速失真与速率估计算法[J]. 清华大学学报(自然科学版). 2009, 49(7): 961-964.
Zhang Yang, Cui Huijuan, Tang Kun. Fast distortion and the rate estimation algorithm for H. 264 video coding[J]. J Tsinghua Univ(Sci & Tech). 2009, 49(7): 961-964. (in Chinese)
- [3] Yunhui Shi, Huayuan Cai, Baocai Yin. A Fast and Efficient Intra Mode Decision Algorithm for H. 264/AVC[C]. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Piscataway, USA:IEEE Press, 2009: 560-563.
- [4] Xu Rui, Wang Yan, Zhang Zhigang. A fast H. 264 intra prediction algorithm[J]. Journal of Shenyang Ligong university. 2010, 29(5): 10-12.
- [5] 程浩, 张有会, 王志巍, 滑斌杰, 李金红. H. 264 帧内快速模式选择算法[J]. 计算机工程与应用. 2010, 46(12): 192-194.
Cheng Hao, Zhang Youhui, Wang Zhiwei, Hua Binjie, Li Jinhong. Computer Engineering and Applications. 2010, 46(12): 192-194. (in Chinese)
- [6] Ding Zhengjian, Liu Changfan. A NEW FAST MODE DECISION ALGORITHM OF 4x4 BLOCK INTRA PREDICTION FOR H. 264/AVC[C]. Proceeding of IC-BN-MT2009, 2009.
- [7] 黄慧娟, 李辉. 基于方向场和终止模式的 H. 264 帧内模式选择方法[J]. 计算机应用. 2006, 26(2): 421-423.
Huang Huijuan, Li Hui. Directional field and termination based H. 264 fast intra mode decision[J]. Computer Applications. 2006, 26(2): 421-423. (in Chinese)
- [8] An-Chao Tsai, Anand Paul, Jia-Ching Wang, Jhing-Fa Wang, Intensity Gradient Technique for Efficient Intra-Prediction in H. 264/AVC[J]. IEEE TRANSACTIONS CIRCULTS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY. 2008, 18(5): 694-698.
- [9] Yuanyuan Ding, Yujian Si, Cheng Yao. Fast Intra Mode Decision Algorithm for H. 264/AVC[C], 2008 Congress on Image and Signal Processing, 2008: 570-574.
- [10] 田川, 王永生. 关于 H. 264 帧内预测模式选择快速算法的研究[J]. 计算机工程与应用. 2006, 11: 13-15.
Tian Chuan, Wang Yongsheng. Improved and Fast algorithm for Intra-prediction Mode Decision in H. 264. Computer Engineering and Applications. 2006, 11: 13-15. (in Chinese)
- [11] A. Elyousfi, A. Tamtaouti, E. Bouyakhf. A New Fast Intra Prediction Mode Decision Algorithm for H. 264/AVC Encoders[J]. Engineering and Technology. 2007. 27.

作者简介



毛 峡(1952-),女(汉),浙江省杭州市,北京航空航天大学电子信息工程学院,教授。主要研究方向为音频数字信号处理,模式识别与人工智能。

E-mail: moukyoucn@yahoo.com.cn



闫 晗(1987-),男(汉),河南省郑州市,北京航空航天大学电子信息工程学院,硕士研究生。主要研究方向为视频数字信号处理。

E-mail: yan2005nt@yahoo.com.cn