

基于 MVMW 的 H. 264/AVC 自适应快速 帧间模式决策算法

吴 笛, 卿 粼波, 何小海

(四川大学电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要: 针对运动矢量移动窗口(motion vector-based moving window, MVMW)算法预测代价值计算不准确,且视频类型自适应不强等缺点,提出一种基于 MVMW 改进模式决策算法。所提算法摒弃了 MVMW 中计算较为复杂的比例参数矩阵,在详细统计分析编码宏块间时域和空域相关性的基础上,采用与当前帧相关性较高的前两帧参考帧中的已编码宏块参与计算当前块的分块预测代价值,确保了预测的有效性,其算法复杂度较 MVMW 降低较多。此外,所提算法采用的 MVMW 大小根据宏块分块模式自适应变化;且该算法阈值设置理论性较强,克服了 MVMW 算法中由于固定大小窗口和经验阈值造成预测代价值不准确的缺点,保证了预测精度。实验结果表明,所提算法较 MVMW 在码率和图像质量均改善提升的情况下,编码时间明显减少,其整体编码效率优于 MVMW。

关键词: 图像处理; 快速帧间编码模式选择; 运动矢量移动窗口; 自适应; 低复杂度

中图分类号: TN 919.81

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1001-506X.2013.06.34

Adaptive fast inter mode decision algorithm based on MVMW for H. 264/AVC

WU Di, QING Lin-bo, HE Xiao-hai

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: A novel adaptive fast inter mode decision algorithm based on motion vector-based moving window (MVMW) is proposed to solve the problem of inaccurate predicted rate-distortion cost (RDcost) and not suitable for all video types of the MVMW algorithm. Based on analysis of the spatial mode-correlation and temporal mode-correlation between macroblocks, the adjacent two previous macroblocks are used to predict the RDcost to solve the inaccuracy of prediction caused by ratio parameter matrix in MVMW. Meanwhile, the size of the proposed MVMW adaptively changes according to the macroblock partition mode and the theory of the proposed threshold is strong. These can ensure the prediction accuracy compared with the inaccurate of prediction RDcost caused by fixed size window and empirical threshold in MVMW algorithm. The experimental results show that the proposed algorithm achieves significant time saving, image quality increment and bit rate reduce on average. The overall coding efficiency is better than MVMW.

Keywords: image processing; fast inter-frame coding mode decision; motion vector-based moving window (MVMW); adaptive; low complexity

0 引 言

在 H. 264/高级视频编码(advanced video coding, AVC)^[1]视频编码标准中,运动估计采用的是块匹配方式,如何合理地将图像分块是块匹配算法所要解决的首要问

题。H. 264/AVC 标准采用的分块方法是通过遍历所有分块模式,计算其率失真分块代价值(rate-distortion cost, RD-cost),从中选出 RDcost 最小的模式作为当前宏块的最佳分块模式。该算法虽然分块精度较高,但计算量较大,耗时较长^[2]。为此,文献[3-4]分别采用移除均方差和 3×3 Sobel

算子得到宏块边缘,而后根据边缘梯度判决得到最佳分块模式。然而,上述算法需要对帧内所有像素进行计算,计算量较大。目前,多数的快速帧间模式决策算法是利用分块模式间率失真的统计相关性,通过减少分块代价值的计算次数,达到提高编码效率的目的^[5-7]。文献[5-7]所提算法虽然降低了计算复杂度,但由于判决模式较为单一,分块精度有所下降,特别是在图像纹理较为复杂的区域,其分块精度下降较快。文献[8-9]利用已编码宏块空-时域上下文信息,通过上下文预测当前宏块最佳分块模式。然而,其实验效果仍不令人满意。文献[10-11]在利用宏块率失真相关性的基础上,考虑了宏块间的空-时域相关性,采用运动矢量移动窗口(motion vector-based moving window, MVMW)计算当前宏块编码模式的代价值作为其阈值,而后利用该阈值筛选出最佳编码模式。然而,该算法未充分考察宏块间空-时域相关性,其最终阈值采用经验化设置。从实验结果看,针对图像纹理复杂区域,其分块时间和分块精度都有待提升。

本文针对 MVMW 不足,在遍历分块模式时使用与当前分块模式大小相同的自适应 MVMW(adaptive motion vector-based moving window, AMVMW),以保证其预测精度。同时,采用了计算复杂度较低的阈值计算方法。

1 传统 MVMW 算法分析

1.1 传统 MVMW 算法不足

分析传统 MVMW 算法具体存在以下几个缺点:①在整个计算过程中,MVMW 大小不变(16×16)。这样,当分块模式变化(非 16×16 模式)时,因为相对较远区域的参考宏块的介入,当前编码宏块与参考帧中对应位置和相邻宏块间的空间相关性就会减弱,导致分块精度下降。如图 1 所示,若计算分块代价值的当前编码宏块大小为 8×8 ,当运动矢量移动窗口大小为 16×16 时,部分与当前宏块相关性较小的区域也包含其中(灰色格子区域),这样会导致分块预测代价值计算精度的降低。② MVMW 中设计了模式代价值比例参数矩阵,该参数矩阵设计的初衷是考虑参考帧中已编码宏块的的分块代价值与当前待编码宏块的的分块代价值具有相关性,即可以用参考宏块的的分块代价值预测当前宏块分块代价值。通过该矩阵计算出分块代价值阈值,通过和阈值比较,减少遍历分块模式次数,进而达到降低编码复杂度的目的。但该参数矩阵在不同量化参数(quantization parameter, QP)下需要重新定义,且对于纹理复杂区域包含运动物体边界的宏块,随着分辨率和分块大小的改变,分块模式不相同的概率也会随之改变。③ MVMW 中分块代价值阈值是通过分块预测代价值与一经验参数相乘得到。由于该参数是根据经验得到,无较强理论支撑,通过实验最终证明,在图像纹理较为复杂的区域,其分块精度下降较快,图像质量难以得到保障。

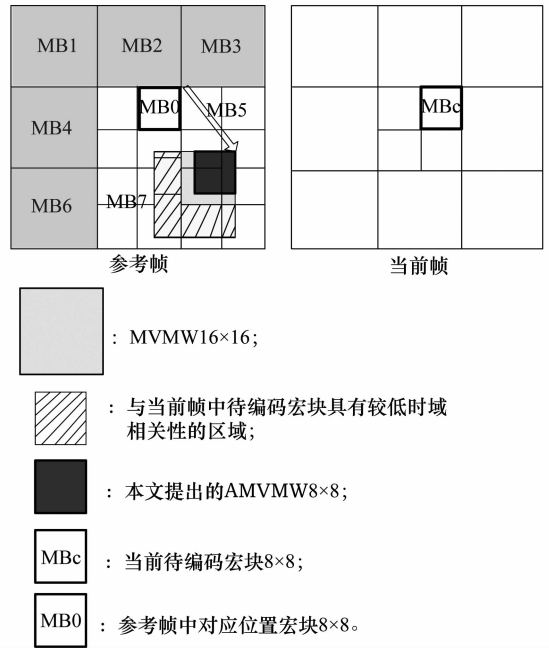


图 1 MVMW 包含低空间相关性参考宏块情况

1.2 宏块空、时域相关性统计分析

针对上述 MVMW 不足,在提高分块精度的前提下,进一步降低算法复杂度,本文首先详细考察宏块间空、时域相关性。与传统定义有所区别,针对本文算法,定义宏块时域相关性为当前帧待编码宏块经运动预测后与其参考帧中匹配宏块之间的相关性;宏块空域相关性为当前帧中待编码宏块与同帧中相邻宏块间的相关性以及参考帧中对应位置宏块和该对应位置相邻宏块间的相关性。

表 1 为视频编码的空、时域相关性概率统计,表中数据为实际编码中采用上述定义的空域或时域相关性进行预测编码的概率。

分辨率	序列名称	空域相关性	时域相关性
1 920 × 1 080	BasketballDrive	40.5	52.6
	Kimono1	43.2	47.4
	BQTerrace	68.9	69.8
832 × 480	Keiba	39.2	52.1
	BQMall	46.1	59.3
	PartyScene	42.8	47.9
416 × 240	BasketballPass	34.6	49.2
	RaceHorses	37.9	51.5
	BlowingBubbles	47.1	53.9
	FlowerVase	58.9	62.4
352 × 288	Mobile	31.4	34.0
	Forman	34.1	38.7
	Container	65.5	66.1

从表 1 可以看出,时间相关性通常略大于空间相关性。对于存在复杂纹理或剧烈运动的视频序列(Race-

Horses、BasketballDrive),其时间相关性要远大于空间相关性。这是因为对于剧烈运动的视频序列,由于运动位移较大,使得参考帧中的匹配块与待编码块在参考帧对应位置块的位置相差较远,即参考帧中的对应块与当前帧待编码块空间相关性较小,而对于运动相对缓慢的视频序列(Container、BQTerrace)的两种相关性相差不大,且此统计对于各分辨率视频均呈现相同规律。上述结论表明,可以采用空、时域相结合的方法进行帧间快速模式决策^[12-13]。

进一步考察宏块间的空域相关性,通过对大量不同类型序列在不同QP值下进行实验分析,本文统计出了在同一帧中与当前宏块相邻的块以及参考帧中对应位置宏块及其相邻宏块,其最佳分块模式与当前宏块一致的平均概率,如图2所示。其中,frame *t* 为当前帧,frame (*t* - 1) 和 frame(*t* - 2)分别为与当前帧相邻的前两个参考帧。从图2可以看出,在 frame(*t* - 2)中对应位置宏块及其相邻宏块与当前宏块分块模式相同的概率仍然较高,这说明宏块间的空间相关性仍较高。由此,本文联合与当前帧相关性较高的前两帧参考帧中的已编码宏块来计算当前块的分块预测代价值,以确保其有效性。

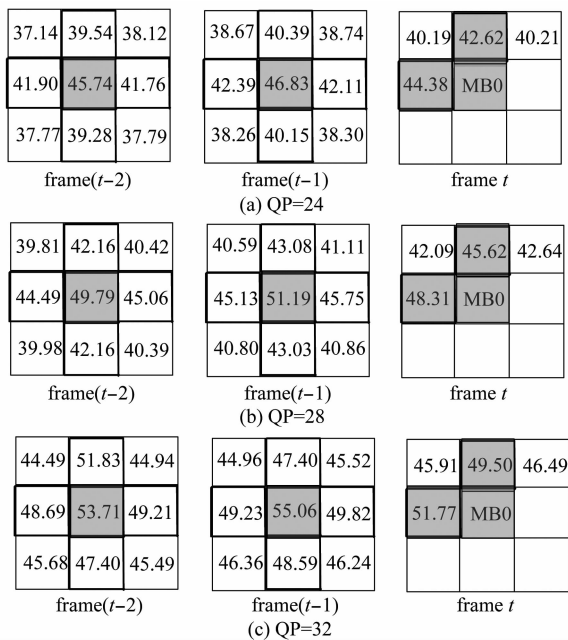


图2 相同分块模式平均概率

2 AMVMW 快速帧间模式决策算法

由上述分析可知,可以通过改变MVMW窗口大小使之与当前遍历到的分块模式大小相同,来保证预测代价值的精度;另外可以摒弃MVMW中的比例参数矩阵,以进一步降低计算复杂度。因此,本文算法步骤如下:

步骤 1 首先针对跳过不编码即SKIP模式,根据预测运动矢量(predicted motion vector, PMV)移动窗口计算当

前帧待编码宏块与参考帧中对应位置宏块和相邻宏块间的相关因子(correlation factor, CF),其公式为

$$cf_i = \begin{cases} \frac{overlapped_region_i}{AMVMW_region}, & \text{被窗口覆盖} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, *overlapped_region_i* 表示被MVMW覆盖的参考宏块面积; *AMVMW_region* 表示面积。这里,本文采用AMVMW,即窗口大小与要计算分块代价值的当前宏块尺寸一致,保证了CF的准确性。

步骤 2 通过式(2)得到当前待编码宏块分块预测代价值。

$$Th_m = pred_RD \cos t_m = \sum_{i=0}^{i=16} cf_i \times prev_RD \cos t_i \quad (2)$$

式中, *prev_RDcost_i* 表示参考帧中已编码宏块的分块代价值。

从式(2)看出,本文在计算当前待编码宏块分块预测代价值时,去掉了比例参数矩阵,但参考宏块的个数从MVMW的8个增加到16个,这使得本文阈值 *Th_m* 较MVMW更为准确。这是因为MVMW中的阈值是通过比例参数矩阵计算得到,该矩阵中的元素是参考帧中已编码宏块最佳分块模式代价值和当前帧相关宏块各分块模式代价值的比值。该比值反映了当前块与参考帧中对应块具有相同分块模式的几率。而对于纹理复杂区域包含运动物体边界的宏块,当前宏块与参考宏块分块模式不同的概率较大,且在一帧视频图像中,运动对象边界并不一定为水平或者垂直的,一个运动对象的各个部分的运动速度也可能不同,在正方形块匹配前提下,分块尺寸越大,该情况出现的概率越高,分块模式不相同的概率也会随之改变。而本文采用与当前帧相关性较高的前两帧参考帧中的已编码宏块来计算当前块的分块预测代价值。此计算的依据是对宏块空、时域相关性的统计,该统计说明了当前宏块与连续两参考帧中对应位置宏块及其相邻宏块具有较强相关性。且统计对各种类型视频序列都呈现较为相似的规律,这保证了本文阈值的有效性和普适性。

步骤 3 从SIKP模式开始,计算其分块模式代价值并与该模式下由对应大小窗口通过式(2)计算得到的阈值比较,若当前分块代价值小于该阈值,则把当前分块模式作为最佳分块模式,否则按照 16×16、16×8、8×16、8×8 的顺序依次重复上述比较过程,直到得到最佳分块模式。

从上述步骤及计算公式看出,本文算法的运算次数少于MVMW,即降低了算法复杂度。

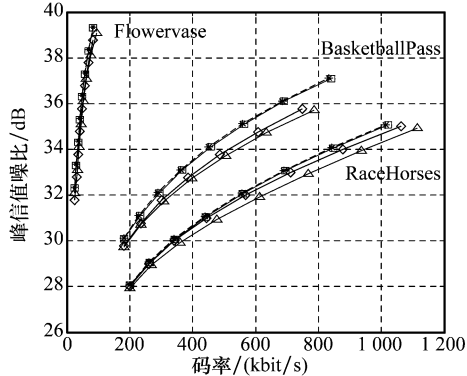
3 实验结果及分析

实验采用H.264/AVC参考软件KTA2.7^[14]对本文算法进行实现及验证。为了检验算法的有效性,本文测试序

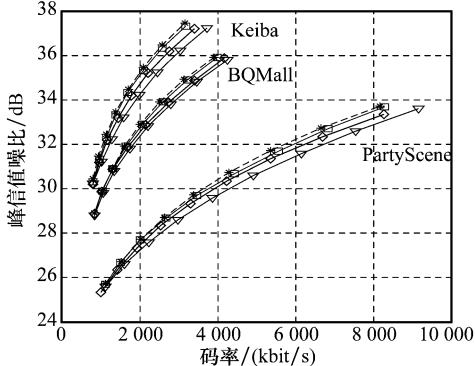
列包含各分辨率、各种视频内容^[15]。

3.1 率失真优化实验及分析

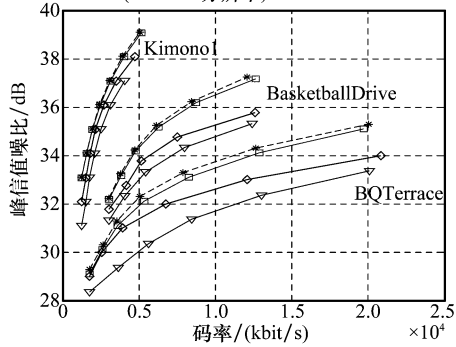
图 3 为不同序列在相同参数条件下,本文算法与 H. 264 及文献[10]、文献[11]率失真性能的比较^[16]。由图 3 可以看出,对于各分辨、各种类型的视频,本文算法和 H. 264/AVC 标准算法相比,在图像 PSNR 值基本相同的情况下,码率略有增加。而 MVMW 算法和文献[11]算法针对部分低分辨率视频,其率失真曲线和本文算法相近,但对于包含复杂运动(416×240 分辨率 BasketballPass)和高分辨率视频(1 920×1 080 分辨率 BQTerrace),PSNR 值较本文算法和 H. 264/AVC 标准算法降低较多。



(a) Flowervase、BasketballPass和RaceHorses序列 (416×240分辨率)



(b) Keiba、BQMall和PartyScene序列 (832×480分辨率)

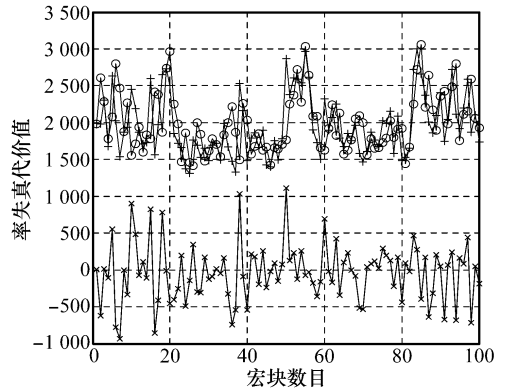


(c) BasketballDrive、Kimono1和BQTerrace序列 (1 920×1 080分辨率)

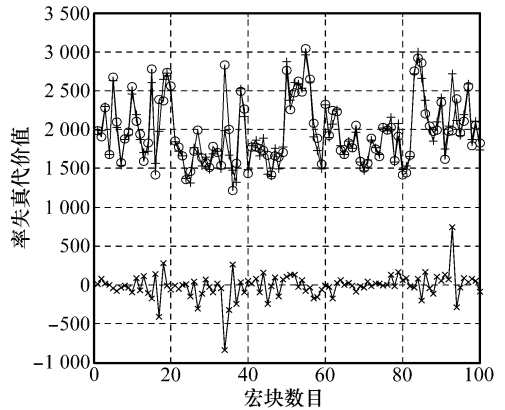
---: H.264传统算法; —: MVMW^[10];
-·-: AMVMW; -▽-: 文献[11]算法。

图 3 率失真曲线图

这是因为本文阈值设置更为合理,没有经验参数参与计算。同时,两个参考帧、16 个参考宏块确保了在剧烈运动下分块代价值预测的准确性,进而保证了图像质量。为了在理论上更进一步说明本文算法的分块预测代价值要比文献[10]算法更加准确,本文对视频序列的预测值做了统计,如图 4 所示。从图 4 可以看出,本文算法的代价值差值比文献[10]算法差值更为平滑,即预测值更加准确。



(a) MVMW分块预测代价值与真实代价值差值



(b) AMVMW分块预测代价值与真实代价值差值

○: 预测代价值; +: 真实代价值; * : 两者差值AMVMW。

图 4 分块预测代价值与真实代价值差值统计

3.2 复杂度分析

算法复杂度其测试序列和实验结果如表 2 所示。其中, $\Delta PSNR$ 表示相比 H. 264 传统算法下降的图像峰值信噪比; ΔBit 表示相比传统算法增加的码率; $\Delta Time$ 表示较传统算法减少的编码时间。从表 2 可以看出,本文算法与 H. 264 传统帧间模式决策算法比较,在图像质量和码率变化可以忽略不计的前提下,运算时间平均减少 59.6%;与文献[10]算法比较,其整体编码效率有明显提升。其中编码时间平均减少 2.4%,码率平均降低 0.34%,图像质量平均提高 0.4 dB,图像质量最大提高 1.2 dB(BasketballDrive)。与文献[11]算法相比,在码率增加几乎相同的情况下,图像质量平均提高 0.81 dB,编码时间平均减少 20.2%,编码时间减少较为明显。

表 2 编码效率比较

视频分辨率	序列名称	文献[11]算法			MVMW ^[10] 算法			本文 AMVMW 算法		
		$\Delta PSNR/dB$	$\Delta Bit/\%$	$\Delta Time/\%$	$\Delta PSNR/dB$	$\Delta Bit/\%$	$\Delta Time/\%$	$\Delta PSNR/dB$	$\Delta Bit/\%$	$\Delta Time/\%$
1 920×1 080	BasketballDrive	-1.93	0.37	32.3	-1.44	0.90	37.6	-0.20	1.06	41.3
	Kimono1	-1.82	0.84	31.7	-1.27	1.04	41.1	-0.17	-0.65	46.2
	BQTerrace	-1.25	0.02	42.8	-0.89	0.77	43.8	-0.16	0.49	48.1
832×480	Keiba	-1.08	-0.42	31.6	-0.72	0.99	45.4	-0.15	0.73	51.9
	BQMall	-1.23	0.12	40.1	-0.54	-0.22	50.7	-0.09	0.04	56.7
	PartyScene	-0.97	0.52	40.7	-0.33	0.66	51.6	-0.06	0.37	55.4
416×240	BasketballPass	-0.88	0.81	41.2	-0.42	1.92	59.8	-0.16	1.41	60.2
	RaceHorses	-0.69	0.73	35.3	-0.31	0.89	65.9	-0.07	-0.47	66.7
	BlowingBubbles	-0.71	0.54	38.6	-0.25	0.68	64.8	-0.10	0.31	65.1
	Flowervase	-0.52	0.67	46.1	-0.19	-0.13	72.4	-0.02	0.22	73.6
352×288	Mobile	-0.27	0.09	46.9	-0.09	0.34	63.7	-0.09	0.42	63.1
	Forman	-0.31	0.41	42.4	-0.13	0.79	63.9	-0.08	0.55	64.2
	Container	-0.34	0.66	42.1	-0.07	0.96	82.9	-0.04	0.69	82.4
平均	-0.92	0.41	39.4	-0.51	0.74	57.2	-0.11	0.40	59.6	

4 结 论

针对 MVMW 算法预测精度不高、运算步骤繁琐等缺点,提出 AMVMW 算法。该算法充分利用统计分析宏块间空、时域相关性特点,采用自适应窗口大小的 MVMW,摒弃 MVMW 经验性参数,采用同类性质的参考宏块代替 MVMW 中计算繁琐的比例参数矩阵参与预测代价值计算。本文算法与 H. 264/AVC 帧间编码比较在码率和图像质量变化可以忽略不计的情况下,其编码时间减少 59.6%;较 MVMW 和文献 11 算法在码率和图像质量均改善的情况下,编码时间分别减少 2.4% 和 20.2%,进一步降低了算法复杂度,且对于各类型、各分辨率视频有较强的普适性。

参考文献:

[1] Wiegand T, Sullivan G, Bjotegaard G, et al. Overview of the H. 264/AVC video coding standard[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, 13(7): 560-576.

[2] Ostermann J. Video coding with H. 264/AVC: tools, performance and complexity[J]. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 2004, 4(1): 7-28.

[3] Chen J W, Qu Y M, He Y. A fast mode decision algorithm in H. 264[C]//*Proc. of the Picture Coding Symposium*, 2004:39-43.

[4] Wu D, Pan F, Lim K P, et al. Fast intermode decision in H. 264/AVC video coding[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, 15(6):953-958.

[5] Martinez-Enriquez E, De F L M, Pujol-Alcolado J C, et al. A fast motion-cost based algorithm for H. 264/AVC inter mode decision[C]//*Proc. of the IEEE International Image Processing*, 2007:325-328.

[6] Martinez-Enriquez E, De F L M, Pujol-Alcolado J C, et al. An adaptive algorithm for fast inter mode decision in the H. 264/AVC video coding standard[J]. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2010, 56(2): 826-834.

[7] Liu Z, Shen L G, Zhang Z Y. An efficient inter-mode decision algorithm based on motion homogeneity for H. 264/AVC[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2009, 13(19):128-132.

[8] Kim B G, Cho C S. A fast inter-mode decision algorithm based on macro-block tracking for P slices in the H. 264/AVC video standard[C]//*Proc. of the IEEE International Image Processing*, 2007: 301-304.

[9] Jung H K, Kim H S, Kim B G. Fast inter-mode decision algorithm based on contextual mode and priority information for H. 264/AVC video encoding system[C]//*Proc. of the International Information Science and Applications*, 2011: 1-8.

[10] Lee J, Kim S W, Lee S Y. Fast inter mode decision using motion vector-based moving window (MVMW)[J]. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2010, 56(7): 1942-1949.

[11] Kim B G, Song S K, Cho C S. Efficient inter-mode decision based on contextual prediction for the P-slice in H. 264/AVC video coding[C]//*Proc. of the IEEE International Image Processing*, 2006:1333-1336.

[12] Ri S H, Yuri Y, Ostermann J. Fast inter-mode decision in an H. 264/AVC encoder using mode and lagrangian cost correlation[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2009, 19(2):302-306.

[13] Kim B G. Novel inter-mode decision algorithm based on macroblock (MB) tracking for the P-slice in H. 264/AVC video coding[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, 18(2): 273-279.

[14] H. 264/AVC test model KTA2.7. [EB/OL]. [2012-11-08]. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/KTA/KTA2.7.zip>.

[15] Joint call for proposals on video compression technology[S]. ITU-T Q. 6/SG16 VCEG-AM91,2010.

[16] Bjontegaard G. Calculation of average PSNR differences between RD-curves[S]. ITU-T Q. 6/SG16 VCEG-M33,2001.

作者简介:

吴 笛(1982-),男,讲师,博士研究生,主要研究方向为信号与信息系统、图像处理、图像通信。
E-mail:wudi1945@gmail.com

卿 颀波(1982-),通讯作者,男,讲师,博士,主要研究方向为信号与信息系统、图像处理、图像通信。
E-mail:qing-lb@scu.edu.cn

何小海(1964-),男,教授,博士,主要研究方向为信号与信息系统、模式识别、图像处理。
E-mail:nic5602@scu.edu.cn