

多扫描双向参考的快速帧内预测算法

李宏伟, 吴成柯, 宋锐

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室, 710071, 西安)

摘要: 为了进一步提高帧内预测算法的编码性能,提出了一种多扫描双向参考的快速帧内预测算法. 首先通过边缘相关性选取最优的扫描模式,并通过预处理缩减单向参考预测模式的数量,然后以哈达马变换比为权重确定双向参考的预测模式,最后利用简化的率失真模型确定最终的预测模式,并用这些预测模式进行编码,大幅度提高了编码性能. 仿真结果表明,与双扫描双向参考帧内预测算法相比,该算法在大幅度减少编码时间的情况下,不但使输出码率降低了 2.74%,而且使重建图像的平均峰值信噪比提高了 0.13 dB.

关键词: 帧内预测;多扫描;双向参考;预测模式

中图分类号: TN919.81 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)04-0098-05

Multi-Scan and Bi-Directional Reference Fast Intra Prediction

LI Hongwei, WU Chengke, SONG Rui

(State Key Laboratory of Integrated Services Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A multi-scan and bi-directional reference fast intra prediction algorithm is proposed to improve the performance of intra prediction. One or more scanning modes are determined by the fringe relativity, and the number of unidirectional intra prediction modes is reduced by preprocessing. Bi-direction intra prediction modes are determined by the sum of absolute transformed difference. The final intra prediction modes are determined by simple distortion, and then encoded to greatly improve the encoding quality. Simulations and comparisons with the double scanning mode and bi-direction intra prediction algorithm show that coding time of the proposed algorithm is reduced greatly, bitrate is reduced by 2.74% and power signal noise ratio is increased by 0.13 dB.

Keywords: intra prediction; multiply scan; bi-directional reference; prediction modes

在 H. 264 视频压缩标准(以下简称 H. 264 标准)中,为了获得残差图像,使传输比特数减少,所有 I 宏块均采用帧内预测技术. H. 264 基本层的帧内预测算法^[1]采用了穷尽搜索模式,其计算量相对于以往标准有很大的增加. 为了降低帧内预测算法的计算量,以往的改进算法主要通过 2 种方式进行:一种是通过简化率失真模型来减少预测模式^[2];另一种是不经过变换量化等步骤,而通过预处理提前确定预测模式^[3-4]. 以往的这些优化算法虽然降低了计

算量,但是所花费的代价是峰值信噪比(PSNR)的降低,比特率的增大.

针对该问题,在下一代视频压缩标准 H. 265 的提案中,一些新的帧内预测算法^[5-6]被提出,其中以双扫描双向帧内预测(DSM_BIP)^[7]的效果最为显著. 对于 DSM_BIP 算法,虽然 PSNR 值有所提高,但是计算量也大幅度增加. 为了改善这一情况,并进一步提高编码质量,本文提出了多扫描双向参考的快速帧内预测算法. 相对于 DSM_BIP 算法,本文算

法在编码时间大幅度减少的同时,不但降低了输出码率,而且进一步提高了重建图像的 PSNR 值。

1 DSM_BIP 算法^[7]与分析

1.1 双扫描模式

H. 264 基本层的帧内预测算法^[1]提出,在 8×8 块内按 A—B—C—D 子块的顺序进行扫描,每个 4×4 子块的帧内预测只能参考上边缘和左边缘,如图 1a 所示。DSM_BIP 算法^[7]提出,在 8×8 块内按 D—B—C—A 子块的顺序进行扫描,如图 1b 所示。在图 1b 这种扫描顺序下,每个 4×4 子块的可参考边缘如图 2 所示。在图 2 中:对 D 子块做预测时,可以参考上边缘和左边缘;对 B 子块做预测时,可以参考上边缘、下边缘和左边缘;对 C 子块做预测时,可以参考上边缘、左边缘和右边缘;对 A 子块做预测时,可以参考上边缘、下边缘、左边缘和右边缘。由图 2 可以看出,D—B—C—A 子块的扫描顺序比 A—B—C—D 子块的顺序扫描可以获得更多的参考边缘。

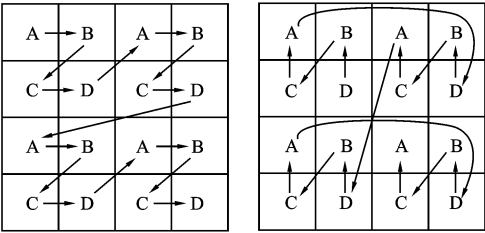


图 1 H. 264 和 DSM_BIP 的扫描顺序

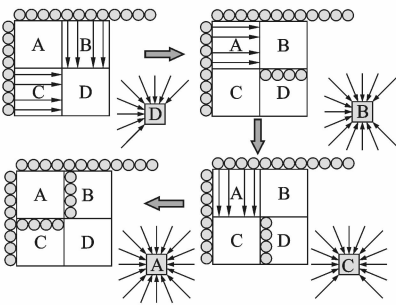


图 2 8×8 块新扫描方式下各 4×4 子块可用的参考边缘

1.2 双向参考模式

对于 4×4 块,DSM_BIP 算法提出,将 H. 264 的 9 种预测模式中的任意 2 种预测模式 P 和 Q 的残差信号进行插补,以形成 36 种双向参考预测模式。同理,对于 16×16 块,通过残差信号的插补,形成 6 种双向参考预测模式,最终的双向参考预测模

式的预测值为

$$\Phi_{PQ}(i,j) = w_{i,j}\Phi_P(i,j) + (1 - w_{i,j})\Phi_Q(i,j) \tag{1}$$

式中: Φ_P 和 Φ_Q 为预测模式 P 和 Q 的预测值; $w_{i,j}$ 为权重因子。

DSM_BIP 算法提出,将这两种扫描模式中所有的单向参考预测模式和双向参考预测模式一起代入完整率失真模型进行计算,最终选出最优的扫描模式和预测模式,同时将这种扫描方式发送到解码端,进行这个宏块的重建。

1.3 算法分析

相对于 H. 264 基本层的帧内预测算法,DSM_BIP 算法先通过双向扫描获得更好的扫描模式,再通过双向参考增加了预测模式的范围,最终提高了帧内预测的图像编码质量,但该算法也有以下缺点。

(1)如果边缘相关性不强,会导致重建图像质量的下降。例如,对 D 子块进行预测时,如图 3 所示,如果边缘 E_{D2} 和边缘 E_{B2} 相对于边缘 E_{D1} 和边缘 E_{B1} 的相关性不强,那么 D 子块的预测就会失误,从而导致其他子块得到错误的参考边缘,最终使图像的 PSNR 值下降。

(2)由于采用双扫描模式和双向参考,从而产生了更多的预测模式,使计算量大幅度增加。

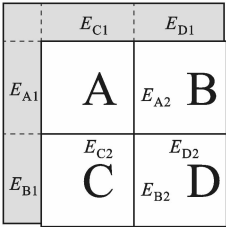


图 3 8×8 块边缘相关模式

2 多扫描双向参考的快速帧内预测算法

为了避免 DSM_BIP 算法边缘相关性不强导致的 PSNR 值下降,有效减少计算量,本文提出了多扫描双向参考的快速帧内预测算法。首先通过计算边缘相关性,以得到最优的扫描模式,再利用快速算法确定最优的预测模式,最终采用这些预测模式进行编码。

2.1 计算边缘相关性

设置边缘相关性系数为 r_{E_K} ,其计算公式如下

$$r_{E_K} = 1 - \sum_{i=0}^{N-1} \frac{2 | E_{K1}(i) - E_{K2}(i) |}{N | E_{K1}(i) + E_{K2}(i) |} \tag{2}$$

式中: E_{K1} 和 E_{K2} 为对应的参考边; N 为参考边像素个数.以 E_{A1} 和 E_{A2} 的相关性 r_{E_A} 为例,设 T_{bd} 为相关性阈值,如果 $r_{E_A} > T_{bd}$,则设置 $r_{E_A} = 1$,否则设置 $r_{E_A} = 0$.

2.2 根据边缘相关性确定最优的扫描模式

对于 8×8 块中的4个 4×4 子块,一共有24种扫描模式,如图4所示.按照表1中每种边缘相关性选取对应的扫描模式,选取依据是参考边总数最多的原则:①在边缘相关性已经确定的情况下,遍历各种扫描模式;②将A、B、C、D4个子块获得的参考边累加,选取获得参考边总数最多的扫描模式为所需的扫描模式;③在获得的多个扫描模式中,如果有某种扫描模式其中的1个子块只获得1个参考边,那么就将这种扫描模式抛弃,剩余的即为最终选取的扫描模式.

表 1 边缘相关性对应的扫描模式选择

边缘相关性				描模式
r_{E_A}	r_{E_B}	r_{E_C}	r_{E_D}	
1	1	1	1	MD_5, MD_6
1	1	1	0	MB_5, MC_5
1	1	0	1	MD_4
1	1	0	0	MB_1, MB_2
1	0	1	1	MB_5, MC_5
1	0	1	0	MB_5, MC_5
1	0	0	1	MB_4
1	0	0	0	MB_4
0	1	1	1	MD_3
0	1	1	0	MC_3
0	1	0	1	MA_5, MA_6, MD_5, MD_6
0	1	0	0	MA_1, MA_2
0	0	1	1	MC_1, MC_2
0	0	1	0	MC_3
0	0	0	1	MA_1, MA_2
0	0	0	0	MA_1, MA_2

例如,当确定边缘相关性 $r_{E_A} = r_{E_B} = 1, r_{E_C} = r_{E_D} = 0$ 时,遍历各种扫描模式后,发现按照 MB_1 和 MB_2 扫描模式可以获得最多的10个参考边.在 MB_1 扫描模式中,首先对于B子块和D子块可以获得上边缘和左边缘2个参考边,然后对于A子块可以获得上边缘、左边缘和右边缘3个参考边,最后对

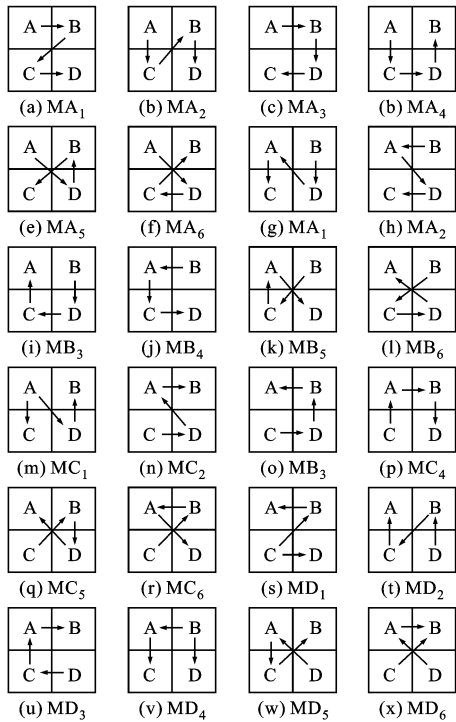


图 4 对应的扫描模式

于C子块可以获得上边缘、左边缘和右边缘3个参考边;在 MB_2 扫描模式中,虽然也可获得总数为10的参考边,但是D子块只能获得左边缘1个参考边,所以该模式被抛弃.在24种扫描模式中,有些扫描模式对于每种边缘相关性都不能符合参考边总数最多原则,所以将其抛弃.

2.3 预测模式范围的选择

为了避免预测模式的穷尽搜索导致的复杂度增加和经验搜索模式可能会导致的最优预测模式的漏选,单向参考预测模式选取方法如下.

(1)采用梯度方向估计方法,如图5所示,以 4×4 块为例,求出8个方向的梯度方向权值.

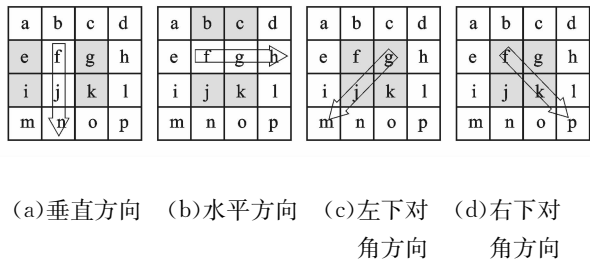


图 5 帧内预测梯度方向示意图

图5中垂直方向、水平方向、左下对角方向和右下对角方向的梯度方向权值分别为

$$G_v = \left(\left| \frac{-P_a}{2} + \frac{P_i}{2} \right| + \left| \frac{-P_e}{2} + \frac{P_m}{2} \right| + \right.$$

$$\left| \frac{-P_c}{2} + \frac{P_k}{2} \right| + \left| \frac{-P_g}{2} + \frac{P_o}{2} \right| \gg 2 \quad (3)$$

$$G_h = \left(\left| \frac{-P_a}{2} + \frac{P_c}{2} \right| + \left| \frac{-P_b}{2} + \frac{P_d}{2} \right| + \left| \frac{-P_i}{2} + \frac{P_k}{2} \right| + \left| \frac{-P_j}{2} + \frac{P_l}{2} \right| \right) \gg 2 \quad (4)$$

$$G_{d_L} = \left(\left| \frac{-P_d}{2} + \frac{P_i}{2} \right| + \left| \frac{-P_g}{2} + \frac{P_m}{2} \right| + \left| \frac{-P_c}{2} + \frac{P_i}{2} \right| + \left| \frac{-P_h}{2} + \frac{P_n}{2} \right| \right) \gg 2 \quad (5)$$

$$G_{d_R} = \left(\left| \frac{-P_a}{2} + \frac{P_k}{2} \right| + \left| \frac{-P_f}{2} + \frac{P_p}{2} \right| + \left| \frac{-P_b}{2} + \frac{P_l}{2} \right| + \left| \frac{-P_e}{2} + \frac{P_o}{2} \right| \right) \gg 2 \quad (6)$$

式中: P 为点的像素值; G 为梯度方向权值. 其他 4 个方向的梯度方向权值通过这 4 个方向的插值确定, 例如: $G_{v_R} = (G_v + G_{d_R}) \gg 1$. 最后在这 8 个梯度方向权值中找到最小值方向和次小值方向, 并将这两个方向的预测模式作为候选模式.

(2) 在 I 帧中, 将已编码的临近子块的预测模式作为候选模式.

(3) 考虑到统计概率, 在 H. 264 基本层帧内预测算法^[1]中, 由于平板模式、垂直模式和水平模式最经常被采用, 所以这 3 种模式也被作为候选模式.

最终在 I 帧中, 单向参考预测模式的选取由以上 3 个步骤组成, 而在非 I 帧中的 I 宏块, 单向参考预测模式的选取由步骤(1)和步骤(3)组成.

对于由单向参考预测模式 P 和 Q 组成的双向参考预测模式, 其预测值为

$$\Phi_{PQ}(i, j) = \frac{\Phi_P(i, j) + \delta_P \Phi_Q(i, j) / \delta_Q}{1 + \delta_P / \delta_Q} \quad (7)$$

式中: Φ_P 和 Φ_Q 为单向参考预测模式 P 和 Q 的预测值; δ_P 和 δ_Q 分别为单向参考预测模式 P 和 Q 的哈达马变换(SATD)值.

将上面计算得到的所有单向参考预测模式和双向参考预测模式带入简化的率失真模型进行计算, 简化率失真模型的失真度计算如下

$$J_s(D) = \delta(D) + \lambda_M R(D) \quad (8)$$

式中: λ_M 为率失真参数; $R(D)$ 为产生的比特数. 为得到最终的扫描模式和预测模式, 将失真度 $J_s(D)$ 最小的 3 种预测模式带入完整率失真模型

$$J(D) = R_{PSN}(D) + \lambda_M R(D) \quad (9)$$

式中: $J(D)$ 为完整率失真模型的失真度; $R_{PSN}(D)$ 为实际 PSNR 值.

3 实验结果与分析

为了测试本文算法的性能, 在 JVT 公布的 H. 264 视频编解码仿真平台 JM15.1^[8]上, 做 2 种不同的仿真验证.

3.1 全 I 帧下不同量化参数的编码性能比较

在视频压缩中, 量化参数(Q_p)为图像质量损失系数. 在 H. 264 中, 其取值范围在 0~51, 即从无损失到损失最大. 本文选取 Q_p 为 20 和 30, 对 H. 264 中基本层的帧内预测算法、DSM_BIP 算法和本文算法的峰值信噪比、编码时间和比特率进行比较. 实验中采取标准的 QCIF 测试序列, H. 264 基本层算法, 帧率为 30 帧/s, 全 I 帧格式, 共编码 100 帧. 对于本文算法的边缘相关性阈值, 考虑到扫描模式选择的最优性, 对 3 个运动剧烈的图像序列 Bus、Football、Coastguard 和 3 个运动平缓的图像序列 Salesman、Grandma、News 进行测试, 设置 $T_{hd} = 0.9$, 实验结果如表 2 所示. 其中 R_{PSN} 为 PSNR 值, 且编码时间增量 Δt 和比特率增量 $\Delta \Psi$ 的计算如下

$$\Delta t = (t_{other} / t_{H.264} - 1) \times 100\% \quad (10)$$

$$\Delta \Psi = (\Psi_{other} / \Psi_{H.264} - 1) \times 100\% \quad (11)$$

式中: t_{other} 为本文算法的编码时间或 DSM_BIP 算法的编码时间; $t_{H.264}$ 为 H. 264 的编码时间; Ψ_{other} 为本文算法的比特率或 DSM_BIP 算法的比特率; $\Psi_{H.264}$ 为 H. 264 的比特率.

从实验结果可以看出: DSM_BIP 算法用计算量的增加来换取 PSNR 值的提高, 相对于 H. 264 中基本层的帧内预测算法, 虽然平均 PSNR 值有 0.13 dB 的提高, 平均比特率有 1.1% 的下降, 但是平均编码时间却增加了 84.39%. 如表 2 所示, 本文算法相对于 DSM_BIP 算法, 不但获得了更多参考边缘信息, 使平均 PSNR 值有 0.13 dB 的提高, 平均比特率有 2.74% 的下降, 而且通过预处理大大缩减了预测模式的范围, 使平均编码时间大幅度减少.

3.2 不同比特率下的 PSNR 值比较

对于 H. 264 基本层的帧内预测算法, DSM_BIP 算法和本文算法、测试与实验 1 相同的 6 个视频序列在不同比特率下的 PSNR 值. 实验采取标准的 QCIF 测试序列, H. 264 基本层算法, 帧率 30 帧/s, GOP 长度为 15 帧, IPPP 格式, 编码 100 帧, 边缘相关性阈值 $T_{hd} = 0.9$. 结果表明, 在同样比特率情况下, DSM_BIP 算法的 PSNR 值优于 H. 264 基本层的帧内预测算法, 而本文算法的 PSNR 值又优于 DSM_BIP 算法, 如图 6 所示.

表 2 全 I 帧下不同 Q_p 的编码性能比较

序列名称	Q_p	R_{PSN}/dB			$\Delta t/\%$		$\Delta \Psi/\%$	
		H. 264	DSM_BIP	本文算法	DSM_BIP	本文算法	DSM_BIP	本文算法
Bus	20	43.12	43.33	43.35	89.28	-17.77	-1.20	-4.06
Bus	30	33.89	33.96	34.10	83.58	-17.62	-2.42	-3.20
Coastguard	20	42.74	42.93	42.98	92.23	-13.06	-0.05	-2.26
Coastguard	30	34.15	34.21	34.28	98.92	-17.36	-1.18	-5.03
Football	20	43.75	43.89	44.01	82.24	-18.03	-0.76	-4.23
Football	30	35.39	35.45	35.62	83.36	-15.70	-1.33	-1.59
Salesman	20	43.66	43.84	43.98	74.81	-25.46	-1.22	-3.99
Salesman	30	34.97	35.08	35.22	78.85	-23.97	-0.88	-2.19
Grandma	20	44.15	44.32	44.47	72.62	-29.30	-0.86	-5.90
Grandma	30	35.97	36.03	36.13	95.75	-22.46	-0.85	-5.50
News	20	44.60	44.74	44.93	78.29	-23.82	-1.11	-4.23
News	30	36.50	36.60	36.79	80.88	-22.10	-1.44	-2.73
平均值		39.72	39.85	39.98	84.39	-20.56	-1.10	-3.74

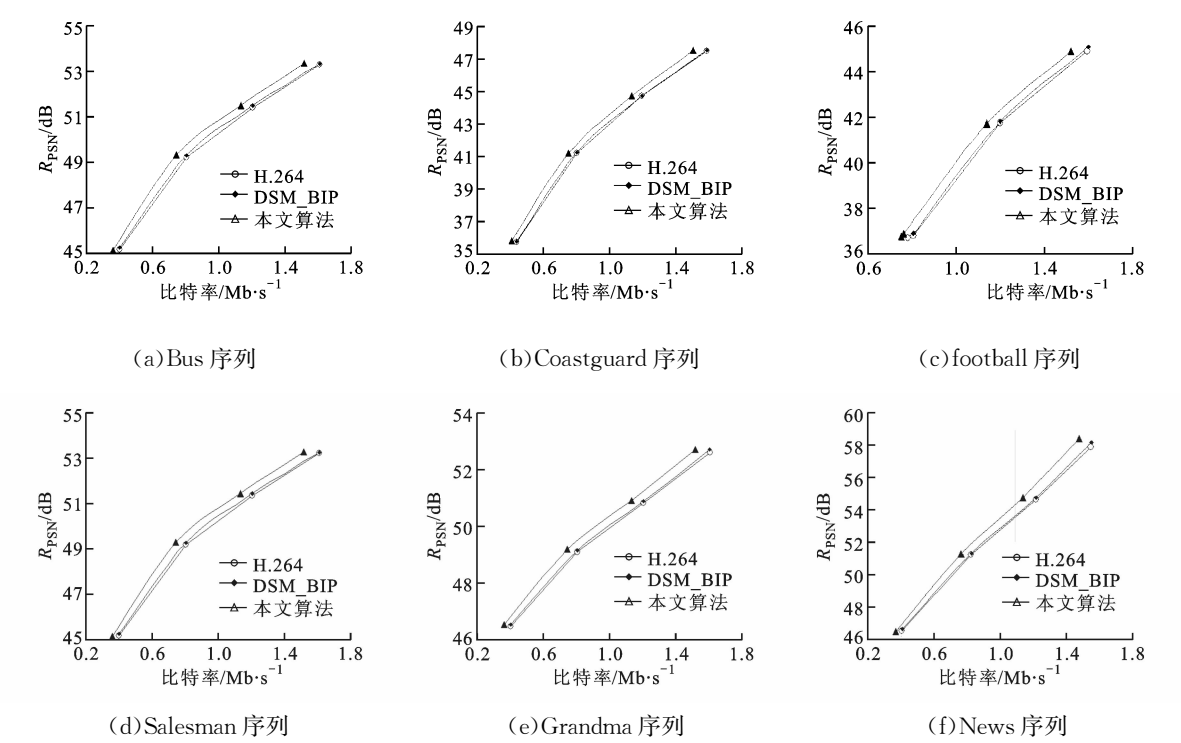


图 6 不同比特率下的 PSNR 值比较

4 小 结

通过对 H. 264 基本层的帧内预测算法和 DSM_BIP 算法的分析,本文提出了一种多扫描双向参考

的快速帧内预测算法. 以往的帧内预测快速算法虽然减少了计算量,但是影响了图像的 PSNR. DSM_BIP 算法虽然提高了 PSNR,但是使计算量大幅度增加.

本文利用多扫描模式和快速双向参考的算法对以上缺点进行了改进. 仿真实验表明, 相对 DSM_BIP 算法, 本文算法的 PSNR 值平均提高了 0.13 dB, 比特率平均降低了 2.74%, 同时编码时间大幅度减少.

参考文献:

- [1] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准——H. 264/AVC [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [2] HUANG Yuwen, HSIEH B Y, CHEN T C, et al. Analysis of fast algorithm and VLSI architecture design for H. 264/AVC intra frame coder [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(3): 378-401.
- [3] LA B, EOM M, CHOE Y. Fast mode decision for intra prediction in H. 264 AVC encoder [J]. Image Processing, 2006, 10(5): 321-324.
- [4] DRUGEON V, WEDI T, PALDNER T. High precision edge prediction for intra coding [J]. Image Processing, 2008, 10(6): 1620-1623.
- [5] YAMAMOTO T, YASUGI Y. A new intra mode using down-sampled macroblock [DB/OL]. (2007-01-14)[2009-07-06]. <http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0701.Mar/VCEG-AE12.zip>.
- [6] MATSUO S, TAKAMURA S, KAMIKURA K, et al. Extension of intra prediction using multiple reference lines [DB/OL]. (2007-04/19)[2009-07-06]. <http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0704.San/VCEG-AF05.zip>.

VCEG-AF05. zip.

- [7] CHO K T, KU S, KAWASAKI, et al. Bidirectional intra prediction [DB/OL]. (2007-01-14)[2009-07-06]. <http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0701.Mar/VCEG-AE14.zip>.
- [8] INTERNATIONAL TELEGRAPH UNION. H. 264 reference software. JM15.1 [DB/OL]. (2009-07-07)[2009-07-20]. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/jm15.1.zip>.

[本刊相关文献链接]

一种方向提升小波变换和网格编码量化的图像编码算法. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 67-71.

任意视点电视系统中深度数据的自适应非均匀量化方法. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 82-87.

判断运动复杂度的快速运动估计算法. 西安交通大学学报, 2009, 43(10): 81-84.

视频通信中的选择性重传技术. 西安交通大学学报, 2009, 43(6): 82-87.

适合于小波视频编码的尺寸自适应图像组结构. 西安交通大学学报, 2009, 43(4): 52-59.

利用 MPEG-4 视频流的运动目标检测算法. 西安交通大学学报, 2008, 42(4): 454-457.

保证 H. 264 视频通信质量的实时传输协议载荷. 西安交通大学学报, 2007, 41(12): 1455-1459.

(编辑 刘杨)