

一种基于自适应阈值的 H.264/AVC 帧内预测模式快速选择算法¹⁾

滕国伟¹ 王国中¹ 张兆扬² 石旭利² 余松煜³

¹(上海广电(集团)有限公司中央研究院 上海 200233)

²(上海大学通信学院 上海 200072)

³(上海交通大学图像通信与信息处理研究所 上海 200030)

(E-mail: teng_gw@sva.com.cn)

摘 要 在 H.264/AVC 中, 帧内编码采用帧内预测来提高编码效率. 色度块尺寸为 8×8 , 亮度块包括 4×4 和 16×16 两种尺寸, 每种块提供多种预测模式, 因此这种多模式选择极大地增加了编码复杂性. 本文利用色度块和亮度块以及亮度 4×4 和 16×16 块模式选择之间的相关性, 提出一种基于 RDO(Rate distortion optimization) 不同判决依据的快速帧内预测模式选择算法, 并能够自适应调整阈值. 实验结果表明与校验模型 JM7.2 相比在信噪比和码率变化不大的同时, 能够使 I 帧编码速度平均提高 6 倍, 并可节约 P 帧 25% 的编码时间.

关键词 H.264/AVC, 帧内预测, 模式选择

中图分类号 TN919.81

A Fast Intra-prediction Mode Selection Algorithm of H.264/AVC Based on Adaptive Thresholds

TENG Guo-Wei¹ WANG Guo-Zhong¹ ZHANG Zhao-Yang²

SHI Xu-Li² YU Song-Yu³

¹(Central Research Academy, SVA (Group) Co. Ltd, Shanghai 200233)

²(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

³(Institute of Image Communication and Information Processing,

Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

(E-mail: teng_gw@sva.com.cn)

Abstract In H.264/AVC, intra-prediction is used to improve the coding efficiency of I-frames. The size for the chroma block is 8×8 , and the sizes for the luma block are 4×4 and 16×16 . Each kind of block provides many prediction modes, so that this multi-mode selection increases the coding complexity greatly while improving coding efficiency. In this paper, a fast intra-prediction mode selection algorithm with adaptive thresholds and different criterion based on RDO (Rate Distortion Optimization) is proposed using the mode selection relation of chroma block and luma block and the relation of luma 4×4 block and luma 16×16 block. Experiment results show that the proposed algorithm can averagely speed up 6 times for I frame coding or provide 25% time savings for P frames in comparison with JM7.2 while maintaining similar PSNR and bit rate.

Key words H.264/AVC, intra-prediction, mode selection

1) 国家自然科学基金重点项目 (60332030) 和国家技术创新基金 (01BK-272) 资助

Supported by National Natural Science Foundation of P. R. China (60332030), National Foundation for Technology (01BK-272)

收稿日期 2004-2-24 收修改稿日期 2006-2-23

Received February 24, 2004; in revised form February 23, 2006

1 引言

H.264/AVC 作为新一代的国际视频编码标准已得到越来越多的关注. 2003 年 3 月, 通过了最终的 H.264/AVC 视频编码标准草案, 与 MPEG-2, H.263 和 MPEG-4 相比, 其总体结构仍为基于块的混合编码, 但包含许多新特征: VCL 层和 NAL 层分离、帧内预测、1/4 像素精度运动估计、自适应块尺寸运动补偿、多参考帧运动补偿预测、低复杂 16bit 的整数变换和量化、环内去块滤波器和高效的熵编码等. 这些新特征使 H.264/AVC 能够显著提高编码效率且具有网络友好性, 可有效用于各种网络和应用环境^[1]. 但也极大增加了编码算法的复杂性, 文献 [2] 比较了 JVT 与 MPEG-4 的运算复杂性, 在相比 MPEG-4 提高约 50% 压缩效率的同时, 增加了十几倍运算复杂性. 这使之很难实时应用, 因此研究 H.264/AVC 的快速算法已经成为当前的热点.

本文在深入分析 H.264/AVC 校验模型给出的帧内模式选择算法的基础上, 充分利用色度和亮度块模式选择间的相关性以及亮度宏块和 4×4 块之间模式选择与出现概率的关系, 提出了一种基于 RDO 的不同判决依据的快速帧内模式选择算法, 可使帧内编码速度提高数倍. 在以下内容中, 节 2 介绍 H.264/AVC 的帧内预测编码基本方法及校验模型中的模式选择; 节 3 提出快速帧内模式选择算法; 节 4 给出了两种自适应阈值方法; 节 5 和 6 分别是实验结果和结论.

2 H.264/AVC 帧内预测编码的模式选择

为了提高帧内编码的效率, H.264/AVC 采用帧内预测技术. 宏块尺寸依然是 16×16, 然而基本处理块单元相对于其它标准由 8×8 降为 4×4. 因此亮度宏块支持两种帧内预测块尺寸: 4×4(I4) 和 16×16(I16), 而色度仅支持 8×8(I8). 图 1 给出了 4×4 块的帧内预测示意图, 包括 9 种预测模式, 除了图 1(b) 所示的 0-1 和 3-8 八种方向预测模式外, 2 为直流模式. 图 1(a) 中 a-p 的值可用相邻块的 A-Q 来预测. 例如对于图 1(b) 中的垂直方向模式 0 而言, 图 1(a) 中的像素 a, e, i, m 值可用 A 点的值预测. 但亮度 16×16 和色度 8×8 仅支持 4 种预测模式: 垂直 (V)、水平 (H)、直流 (D) 和平坦模式 (P), 下文中分别简称为 V, H, D 和 P 模式.

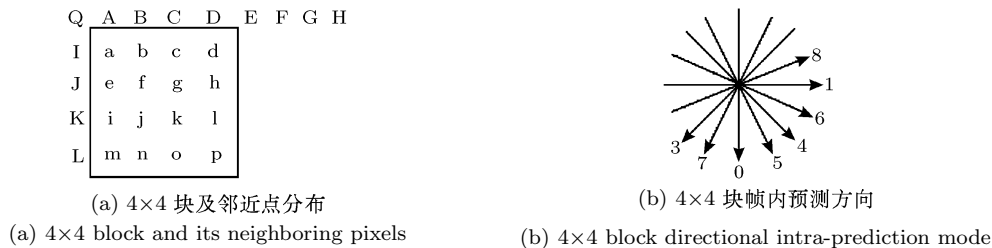


图 1 4×4 块帧内预测

Fig. 1 4×4 block intra-prediction

为了能够保证在获得尽可能好的编码质量的同时将编码后的数据比特降至最小, H.264/AVC 采用如式 (1) 所示的 RDO 判决^[3]

$$J_{MODE}(S_k, I_k|Q, \lambda_{MODE}) = D_{REC}(S_k, I_k|Q) + \lambda_{MODE} R_{REC}(S_k, I_k|Q) \quad (1)$$

式中, D_{REC} 表示编码后总的失真, R_{REC} 表示总的码率. $\lambda_{MODE} \geq 0$ 为拉格朗日参数, 通过确定编码选择项 I_k , 使编码后的失真和码率总和最小. 对于宏块帧内预测模式选择, I_k 为帧内预测模式的一种, D_{REC} 由式 (2) 给出的 SSD (Sum of squared difference) 来衡量

$$SSD = \sum_{(x,y) \in A} |s(x,y) - s'(x,y)|^2 \quad (2)$$

式中, s 为原始块像素, s' 为重建块像素. 而拉格朗日参数由量化参数 QP 决定

$$\lambda_{MODE} = 0.85 \cdot 2^{(QP-12)/3} \quad (3)$$

包括宏块类型、子块帧内预测模式 (I4 情况下) 和残差的编码比特. 为提高模式选择的编码效率, 4×4 块在编码时参考空间相邻块的编码模式, 如图 2 所示. 通过已编码邻块 A, B 的模式可以推断当前块 E 的最可能模式, 如果 E 的实际模式与可能模式一致, 则仅需一比特确认, 如不一致, 再对它的实际模式进行编码.

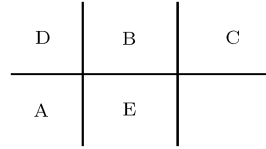


图 2 当前块的邻块位置

Fig. 2 Adjacent blocks of current block

校验模型 JM7.2 给出了一种全搜索的算法, 对所有模式进行检测, 主要步骤如下:

1) 以色度宏块的帧内预测模式为外循环 (D 到 P 模式). 每一次循环, 色度模式被确定.

2) 计算 I16 的 J_{MODE}

- a) 比较 I16 四种模式的残差变换绝对值之和 (SATD), 得到最佳模式.
- b) 在最佳模式下对宏块残差进行变换、扫描, 量化, 得到重建宏块.
- c) 由步骤 1) 确定的色度模式, 对色度残差变换, 得到重建色度宏块.
- d) 计算亮度和色度的 SSD .
- e) 熵编码得到 R_{REC} , 计算 $J_{MODE} = SSD + \lambda_{MODE} * R_{REC}$.

3) 计算 I4 的 J_{MODE}

- a) 根据相邻块模式得到一个 4×4 块最有可能的模式.
- b) 针对一种模式, 求得该 4×4 块的重建块.
- c) 计算该块的 SSD , 并根据最有可能模式进行熵编码得到该块的 R_{REC} , 计算该块的 J_{MODE} .

d) 对应 4×4 块的九种模式重复 a)–c), 得到该块的最佳模式.

e) 依次对宏块中 16 个 4×4 块重复上述操作, 得到整个宏块的所有最佳模式.

f) 计算整个宏块的亮度和色度 SSD , 根据 a)–e) 得到的信息求宏块的 R_{REC} , 计算宏块 J_{MODE} .

4) 比较步骤 2) 和 3) 分别得到 J_{MODE} 值, 确定最终的宏块模式.

5) 对应 4 种色度模式重复步骤 2)–4), 得到最佳亮度和色度模式.

这种全搜索算法能够扫描到所有的模式, 编码质量最高, 运算量也是最大的. 其搜索的模式总数为 $4 \times (16 \times 9 + 4)$, 共 592 个. 这意味着为了得到一个宏块的最佳模式, 需要计算 592 个不同的 J_{MODE} , 因此研究快速的帧内模式选择算法是提高编码速度所必需的.

下一节通过分析色度和亮度之间模式选择的关系、亮度 I4 和 I16 模式选择的关系, 由相邻块的相关性联合确定整个宏块的模式判决, 使搜索范围实质上涵盖了全搜索, 在不降低编码质量的同时, 可成倍提高帧内预测编码的速度.

3 基于 RDO 的快速模式选择算法

3.1 色度块和亮度块的关系

从上述的全搜索算法及其实验结果可以观察到, 亮度宏块无论选择 I16 还是 I4, 色度宏块模式都是一致的. 因此色度预测模式可以独立判决, 并能够为亮度宏块模式判决提供信息. 对于亮度 I16 和色度 I8, 尽管二者模式选择不能达到完全一致, 但存在着联系: 当色度块选择 D 模式, 亮度可以选择 D, H, V, P 模式; 当色度块选择 H 模式, 亮度可以选择 D, H, P 模式; 当色度块选择 V 模式, 亮度可以选择 D, V, P 模式; 当色度块选择 P 模式, 亮度可以选择 D, P 模式. 而对于亮度 I4 和色度 I8, I8 的模式是亮度宏块 I4 下绝大多数 4×4 块可能选择的模式.

3.2 亮度宏块 I16 和 I4 的关系

对于 I16 和 I4, V, H, D 模式相对于其它模式具有优先选择性. I4 情况下, 通过相邻块的模式可以判决得到当前块的最优先选择模式, 其中与预测方向邻近的模式具有优先性. 在实际的实现过程中, 选择 I4 的概率远远大于 I16, 因此在判决过程上优先检测 I4. 但由于 I16 和 I4 随宏块纹理复杂度的 RDO 曲线 (如图 3 所示) 是不同的, 在模式选择时还应考虑宏块的纹理复杂度.

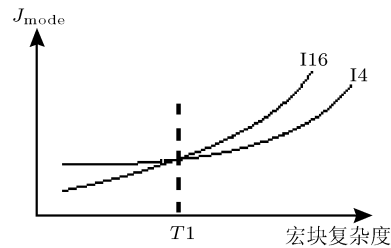


图 3 I16 和 I4 的率失真变化

Fig. 3 RDO changes of 4×4 and 16×16 intra-prediction

从图 3 可知, 在纹理平坦区域, I16 生成的重建图像能更好地与原始图像相匹配, 故率失真较小, 选择 I16 概率大于 I4; 但随着纹理复杂度的逐渐增加, I16 在细节内容上率失真逐渐增加, 到某个阈值 T_1 时大于 I4 的率失真, 这时 I4 更适合宏块编码模式选择.

在确定的 16 个 4×4 块最佳模式中, 概率最大的两种模式很可能与 I16 的最佳模式一致. 因此可以和色度模式一起检验, 最终确定 I16 最佳模式.

3.3 RDO 判决准则

帧内预测模式判决准则应该遵守公式 (1), 为了减少运算的复杂性, 可根据具体情况作相应的简化. 在本算法中, 色度模式选择不依赖亮度的模式选择, 且其 R_{REC} 只包含色度模式和色度残差两部分, 因此采用 SATD 就可以反映不同模式间 J_{MODE} 的差别. 在亮度 I4 的 4×4 块的 J_{MODE} 中, R_{REC} 包括块模式和残差的熵编码. 因为 4×4 块尺寸较小, 其块模式编码的比特数和不同模式间的残差编码比特数的差异会导致 J_{MODE} 的变化很大, 故选择 J_{MODE} 作为 I4 的模式判决依据. 且 4×4 块的分布比较集中, 可在分布范围中定义一个阈值 T_{044} . 如果在某一模式下其 J_{MODE} 小于 T_0 , 可认为达到最佳模式. 对于 I16,

R_{REC} 主要包括宏块模式和残差的熵编码, 故 SATD 能够反映 J_{MODE} 的变化, 以其作为模式选择的依据。

如 2.2 所述, 对亮度 I4 的检测应优先于 I16, 因此当 I4 情况下所有 4×4 块的模式确定后, 比较重建宏块和原始宏块并计算整个宏块的复杂度, 若大于图 3 所示的阈值 $T1$, 则不必再进一步检测 I16。否则需进一步计算 I16 的 J_{MODE} , 并与 I4 的 J_{MODE} 比较, 最终确定宏块的最佳模式。

3.4 快速选择算法

根据上述的各种关系, 得到帧内预测模式的快速选择算法, 步骤如下:

- 1) 以 SATD 为判决依据, 确定色度宏块帧内的最佳模式。
 - 2) 进行 I4 帧内预测, 首先根据相邻块的模式确定可能模式, 将之和色度块的最佳模式相比较, 确定最有可能块模式。计算最可能模式的 J_{MODE} , 与阈值 $T0$ 比较, 如果小于 $T0$, 即可确认为最佳模式, 跳转到 7)。否则跳转到 3)。
 - 3) 计算另一模式 (上面被排除的模式) 的 J_{MODE} , 与 2) 计算的 J_{MODE} 比较, 得到最小 J_{MODE} 值的模式。与 $T0$ 比较, 如果小于 $T0$, 确认为最佳模式, 跳转到 7)。
 - 4) 选择最小 J_{MODE} 的模式作为候选模式, 计算与其预测方向相邻的两个模式的 J_{MODE} , 比较这三种模式的 J_{MODE} , 如果邻近模式的 J_{MODE} 值都大于候选模式的 J_{MODE} , 跳转 7)。否则到 5)。
 - 5) 如果最小 J_{MODE} 的模式是 V, H 或 D, 计算这三种模式在上述过程未曾计算的 J_{MODE} , 比较得到最小 J_{MODE} 的模式, 跳转到 7); 如果是其它模式, 跳转到 6)。
 - 6) 计算其它剩余模式, 得到最小 J_{MODE} 模式, 跳转到 7)。
 - 7) 该最小 J_{MODE} 模式为该块的最佳模式。
 - 8) 循环步骤 2)~7), 得到 16 个 4×4 块的最佳模式。计算宏块复杂度, 如果大于阈值 $T1$, 则该宏块为 I4, 结束判决。否则计算 I4 情况下整个宏块的 J_{MODE} , 跳转到 9)。
 - 9) 根据色度的最佳模式, 确定 I16 的可能模式。
 - 10) 统计 I4 情况下 16 个子块的模式, 得到概率最大的两种模式, 如果属于 V, H 或 D, 它们是宏块的可能模式; 如果为其它模式, 则对应于 I16 的 P 模式。
 - 11) 比较上述确定的 I16 可能模式, 得到 I16 最佳模式, 计算其 J_{MODE} 。与 I4 情况下的宏块最小 J_{MODE} 比较, 得到最佳块尺寸和其对应的最佳预测模式。
- 由上述的算法可知, 通常情况下需要检测的色度模式为 4 种, 亮度 I16 最少 2 种或最多 4 种, 亮度 I4 的每个 4×4 块最少 1 种或最多 9 种, 几乎涵盖了所有的模式。但总体检测的模式数极大地降低。

H.264/AVC 的帧间编码宏块也可采用帧内预测编码, 上述方法同样适用, 只是略作改动即可: 在步骤 2) 的 I4 帧内预测中, 当该 4×4 块的邻块模式为帧内编码模式时, 则不必考虑直接使用即可; 如果邻块为帧间模式, 则可默认其帧内预测模式为直流模式 (D)。

4 自适应阈值计算方法

4.1 阈值 $T0$

在帧内预测后, 残差矩阵还需要经过变换、量化和熵编码。如果能预先判知量化系数接近于 0, 则可提前终止这些后续处理。根据统计特性, 如果残差矩阵变换后的 DC 系数趋于 0, 则其它 AC 系数也趋于 0。当前 4×4 块的 DC 系数可由下式计算得到

$$DC = \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 (s(x, y) - p(x, y)) \quad (4)$$

其中, s 是当前 4×4 块的原始像素值, p 是预测的参考像素值.

在 H.264/AVC 中, 如果变换系数经过量化后, 其量化值绝对值小于 1 时, 则该残差矩阵可视为 0 矩阵^[4]. 因此可根据下述不等式来判断当前残差矩阵是否趋近于 0 矩阵:

$$|DC| < (2^{q_bits} - qp_const) / quant_coef[qp_rem][0][0] \quad (5)$$

其中: $qp_per = QP/6$, $qp_rem = QP \% 6$, $qp_bits = qp_per + 15$, $qp_const = (1 \ll q_bits) / 6$.

对于每个 4×4 块, 其 SAD(Sum of Absolute Difference) 可由公式 (6) 来计算.

$$SAD = \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |s(x, y) - p(x, y)| \quad (6)$$

很明显下面不等式成立

$$|\sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 (s(x, y) - p(x, y))| \leq \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |s(x, y) - p(x, y)|$$

即 $|DC| \leq SAD$. 则如果式 (7) 成立, 则满足 0 矩阵的判断.

$$SAD < (2^{q_bits} - qp_const) / quant_coef[qp_rem][0][0] \quad (7)$$

本文算法中阈值 T_0 由 4×4 块的 RDO 来确定, 如公式 (8) 所示. 其中 mode 表示所选的预测模式, R 包括模式类型和残差的熵编码.

$$J_{mode}(mode) = SSD + \lambda_{mode} R \quad (8)$$

而 $SSD = \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |s(x, y) - x'(x, y)|^2$, $x'[x, y]$ 是将预测后残差经过变换、量化、反量化、反变换后与参考块的值相加后得到, 故下面不等式成立

$$|s(x, y) - s'(x, y)| \leq |s(x, y) - p(x, y)|$$

因此

$$SSD \leq (\sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |s(x, y) - p(x, y)|^2) < (\sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |s(x, y) - p(x, y)|)^2$$

即 $SSD < SAD^2$, 则

$$SSD < ((2^{q_bits} - qp_const) / quant_coef[qp_rem][0][0])^2 \quad (9)$$

如果上式成立, 该块残差量化系数将趋于 0, 因此得到 T_0 .

$$T_0 = ((2^{q_bits} - qp_const) / quant_coef[qp_rem][0][0])^2 \quad (10)$$

实际中可能存在差别, 因此设置一个校正因子 $\alpha = 0.5$, 则

$$T_0 = \alpha \times ((2^{q_bits} - qp_const) / quant_coef[qp_rem][0][0])^2 \quad (11)$$

4.2 阈值 T1

在实际中, 当 $T1$ 越大, 搜索 I16 的可能性越大, 因此搜索的模式越多; $T1$ 越小, 搜索 I16 的可能性越小, 则搜索的模式变少. 本文根据当前宏块的前一宏块来确定 $T1$ 值, 具体方法如下:

- 1) 初始化 $T1$ 为最大值;
- 2) 在处理第一个宏块时, 依次进行 I4 和 I16 模式判决, 得到二者的 MSE(Mean square error), 将均值赋给 $T1$, 作为下一宏块的阈值;
- 3) 对于其它宏块, 如果仅判决了 I4 模式, 则 $T1$ 不变. 如果依次进行了 I4 和 I16 模式判决, 则二者的 MSE 的均值赋给 $T1$.

5 实验条件和结果

将这种快速算法在校验模型 JM7.2 上实现, 测试了三个纹理复杂程度不同的 CIF 序列 Mobile, Bus 和 Paris. 熵编码采用了 CABAC, 量化参数分别为 14, 28 和 36. 为简化比较, 用 $\Delta\text{PSNR}(\text{dB})$ 表示相对于全搜索算法亮度信噪比的变化, 用 $\Delta\text{bitrate}(\%)$ 表示码率变化百分比, 提高的编码速度 speedup 由倍数或百分比表示. 编码序列分两种编码结构: IIII 和 IPPP. 表 1, 2 和 3 给出 IIII 情况的实验结果.

实验结果表明, 相比 H.264/AVC 原有的全搜索方法, 本算法可提高 I 帧编码速度大约 6 倍左右. 在速度提高的同时, 平均信噪比降低约 0.1db 左右, 码率稍有变化.

针对 P 帧编码, 编码序列为 IPPP, 运动估计搜索范围 ± 16 , 5 个参考帧, 运动估计算法为全搜索算法. 表 4,5 和 6 列出实验结果, 可以看出本文算法在帧间情况下比 H.264/AVC 原有的帧间全搜索方法可提高编码速度大约 25% 左右. 在速度提高的同时, 平均信噪比变化约 0.02db 左右, 码率几乎没有变化.

表 1 序列 Mobile 的实验结果
Table 1 Results of "Mobile"

QP	$\Delta\text{bitrate}(\%)$	$\Delta\text{PSNR}(\text{dB})$	Speedup(倍)
14	2.5	-0.21	5.17
28	4.2	-0.18	5.51
36	5.7	-0.16	6.08

表 2 序列 Bus 的实验结果
Table 2 Results of "Bus"

QP	$\Delta\text{bitrate}(\%)$	$\Delta\text{PSNR}(\text{dB})$	Speedup(倍)
14	2.7	-0.16	5.45
28	4.2	-0.10	5.94
36	5.8	-0.08	6.64

表 3 序列 Paris 的实验结果
Table 3 Results of "Paris"

QP	$\Delta\text{bitrate}(\%)$	$\Delta\text{PSNR}(\text{dB})$	Speedup(倍)
14	2.4	-0.11	5.56
28	4.5	-0.08	5.93
36	6.7	-0.08	6.57

表 4 序列 Mobile 的实验结果
Table 4 Results of "Mobile"

QP	$\Delta\text{bitrate}(\%)$	$\Delta\text{PSNR}(\text{dB})$	Speedup(%)
14	0.5	0	28
28	0.2	0.01	28
36	0.4	-0.01	24

表 5 序列 Bus 的实验结果
Table 5 Results of "Bus"

QP	$\Delta\text{bitrate}(\%)$	$\Delta\text{PSNR}(\text{dB})$	Speedup(%)
14	1.1	0.06	29
28	0.1	-0.02	26
36	0.9	-0.03	23

表 6 序列 Paris 的实验结果
Table 6 Results of "Paris"

QP	$\Delta\text{bitrate}(\%)$	$\Delta\text{PSNR}(\text{dB})$	Speedup(%)
14	0.8	0.03	28
28	0.9	-0.02	23
36	-0.2	-0.09	21

6 结论

本文通过对色度块和亮度块之间以及亮度 I16 和 I4 之间关系的分析, 指出了对色度模式、亮度 I4 和 I16 模式应使用不同的判据, 在此基础上提出了一种帧内预测模式的快速选择算法. 实验结果表明, 该算法在保持编码效率的同时能够极大地提高编码速度.

References

- 1 Wiegand T, Sullivan G, Bjontegaard G, Luthra A. Overview of the H.264/AVC video coding standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, **13**(7): 560~576
- 2 Ravasi M, Mattavelli M, Clerc C. A computational complexity comparison of MPEG4 and JVT codecs. In: Proceedings of Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6), JVT-D153r1-L, Klagenfurt, Austria: 2002
- 3 Wiegand T, Schwarz H, Joch A, Kossentini F, Sullivan G J. Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, **13**(7): 688~703
- 4 Malvar H, Hallapuro A, Karczewicz M, Kerofsky L. Low-complexity transform and quantization in H.264/AVC. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, **13**(7): 598~603

滕国伟 1997年毕业于东北师范大学电子学专业, 2002年在中科院长春光机与物理研究所获得电路与系统专业硕士学位, 2005年于上海大学获得通信与信息系统专业博士学位, 现为上海广电(集团)有限公司博士后. 主要研究方向为数字视频编解码和传输.

(**TENG Guo-Wei** Graduated in electrical engineering in 1997. He received his master degree in electronics from Changchun Institution of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, and then his Ph.D. degree in communication and information processing from Shanghai University. Currently he is a postdoctor in SVA. His research interests include video compression and communication.)

王国中 教授, 博导, 研究方向为计算机应用、数字电视关键技术、音视频编解码、产品开发和产业化研究.

(**WANG Guo-Zhong** Professor with Central Research Academy of SVA Group Co. Ltd.. His research interests include DTV key technique, digital audio/video processing, development and industrialization of correlative products, and computer application.)

张兆扬 教授, 博导, 研究方向为图像处理、视频编解码和通信.

(**ZHANG Zhao-Yang** Professor in communication and information engineering at Shanghai University. His research interests include the image processing, video coding and communication.)

石旭利 副教授, 博士, 研究方向图像处理.

(**SHI Xu-Li** Associate professor at Shanghai University. His research interest includes image processing.)

余松煜 教授, 博导, 研究方向为数字电视及其无线传输.

(**YU Song-Yu** Professor at Shanghai Jiaotong University. His research interests include DTV and its wireless communication.)