

## H.264 中率失真代价估计模型研究

郑新资<sup>1</sup>, 孙知信<sup>1,2</sup>

(1. 南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室, 江苏 南京 210093;

2. 南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003)

**摘 要:** 提出了一种新的率失真代价估计模型。首先为提供更加精确的帧内/帧间宏块的编码比特数的估算, 提出了一种新的码率估计模型, 该码值为一序列编码参数的线性组合, 这些参数跟熵编码和变换系数相关, 从而得出新的性能更加优越的率失真代价估计模型。最后在率失真代价估计模型的效果分析、性能分析等多个方面进行详细的分析测试。实验结果表明, 该模型在保证 PSNR 和码长变化不大的情况下大大地加快了编码速度。

**关键词:** H.264; 率失真优化; 代价估计; 码率估计; 自适应可变长编码

中图分类号: TP339

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)06-0143-07

## Research on rate-distortion cost estimation model for H.264

ZHENG Xin-zi<sup>1</sup>, SUN Zhi-xin<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Key Laboratory of Broadband Wireless

Communication and Sensor Network Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Ministry of Education, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** A new rate distortion cost estimation model was proposed. To provide more accurate estimation of the number of coding bits for encoding intra / inter macro blocks, firstly a new bit rate estimation model was proposed. The rate estimation was a linear combination of existing coding parameters, which were more accurately related to entropy coding and transform coefficients. Secondly a new rate distortion cost estimation model which had superior performance was given. Finally, a detailed analysis on the rate distortion cost estimation model from many aspects such as the effect and the performance was taken. Experimental results show that the encoding speed is greatly accelerated in ensuring little change both in PSNR and coding bits.

**Key words:** H.264; rate distortion optimization; cost estimation; bit rate estimation; adaptive variable-length coding

### 1 引言

H.264 是由 ITU-T (国际电信联盟标准化部门) 和 ISO (国际标准化组织) / IEC (国际电工委员会) 的联合开发组共同开发的最新国际视频编码标准<sup>[1]</sup>。它通过一致性变长编码、多模式运动检测、整

数变换、柔性宏块排序等多项新技术, 使编码效率较以往标准有很大提高。与 H.263 或 MPEG-4 (moving picture expert group-4) 相比, 在同样视频质量下, 其码率能够降低一半<sup>[2]</sup>。H.264 运用了许多新编码技术, 极大地提高压缩性能的同时其编码复杂度也随之上升, 这主要体现在帧内、帧间预测、

收稿日期: 2010-10-09; 修回日期: 2011-05-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60973140, 61170276); 江苏省自然科学基金资助项目 (BK2009425); 江苏省青蓝工程基金资助项目; 江苏省六大人才高峰基金资助项目

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (60973140,6170276); The Natural Science Foundation of Jiangsu Province(BK2009425); Jiangsu Province Blue Engineering Project; The High-level Personnel Project Funding of Jiangsu Province Six Talents Peak

率失真优化、码率控制、熵编码以及去环路滤波上。其中, 率失真理论表述了编码比特数和图像失真度两者之间的制约关系。为了能用更少的比特数获得更优的图像质量, 需要更加高效、精确的率失真优化技术, 以期达到比特率受限条件下, 图像失真度最小的目标<sup>[3]</sup>。

文献[4~10]中提出了用数学模型描述的相关算法, 用于改进率失真优化模型的准确性。文献[5]提出了二次率失真模型, 用来决定有效帧或基于宏块的码率控制的量化参数。文献[6,7]提出了基于  $\rho$  域线性模型的控制算法, 在这些模型中, 输入图像经过变换和量化后零值个数与编码码率之间存在简单的线性关系, 并且该模型唯一的参数  $\theta$  影响编码输出码率的大小<sup>[6]</sup>。研究表明, 基于  $\rho$  域线性模型适用于大多数典型的基于子块 DCT 变换编码系统。

为避免熵编码中的实际计算, 文献[11~15]提出了多种帧内/帧间的码率估计计算方法。文献[11]提出了一种率失真估计增强算法模型, 该模型对包括非零量化系数的数目和拖尾系数的数目等参数进行编码, 以提高码率估计的精度。文献[12]提出了一种基于帧间预测的率失真模型, 该模型的码率为非零变换系数数目与所有非零系数数目的绝对值总和除以量化步长的线性组合。为了减少率失真代价计算复杂度, 文献[15]提出了一种码率估计算法, 以避免在帧内预测模式决策中使用熵编码方法。因此, 拥有一个好的率失真代价估计模型, 包括正逆变换、量化、熵编码和图像重建在内的实际残差编码过程, 在 H.264/AVC 编码进行帧间/帧内预测之后是不需要进行模式选择的。

文献[16]提出了将输出的码流分为几个部分, 其中每部分在编码前直接用已知的语法元素进行估值, 对非零系数的值则采用哥伦布编码方法表示。这种方法能够将经过预测、变换和量化后的时间与空间冗余去除, 特别是编码信息来源于非零系数的值及其位置, 能够有效地提高运行速度并降低信噪比。文献[17]提出在 CAVLA 码表查找算法中将二维码表转化成二叉树的形式, 从而提高查找速度。因此, 用数学模型描述的算法可极大地改进率失真优化模型的准确性。受此启发, 本文提出了一种改进的率失真代价估计模型, 用以提供更精确的帧内/帧间宏块的率失真代价估计。

本文旨在构造一个新的码率估计模型, 并给出

该模型数学表述和分布式实现方法, 该模型通过计算编码后的码率及失真度, 得出新的率失真代价估计模型。实验仿真表明, 本文提出的模型能提供更加精确的率失真代价估计。

## 2 基于拉格朗日法的率失真优化模型

影响率失真代价的因素有 2 个: 一是失真度因素, 另一个是码率因素。编码端的率失真代价估计的目标就是要选择合适的编码方法, 保证在码率较小的情况下同时得到较小的失真度。H.264 和 AVS 都采用率失真代价估计进行模式选择以提高编码器的性能, 通过遍历各种模式下的代价, 选取代价最小的模式为最优模式。H.264 采用基于拉格朗日法的率失真优化模型, 其数学表达式如式 (1) 所示<sup>[18~20]</sup>。

$$\min\{COST_{RD}\},$$

$$COST_{RD} = D(MODE) + \lambda \times R(MODE) \quad (1)$$

其中,  $COST_{RD}$  表示率失真代价估计值,  $D(MODE)$ 、 $R(MODE)$  分别表示失真度估计值和码率估计值,  $MODE$  为当前宏块可选编码模式集。

由式(1)可知, 只要获得拉格朗日系数  $\lambda$ , 宏块编码模式的率失真优化就可以实现。

依照 R-D 的近似数量关系和大量的实验结果, 得出参数  $\lambda$  与量化步长  $Q^2$  有着近似的线性关系, 给出公式:

$$\lambda_{MODE} = 0.85 \times Q^2$$

其中,  $Q = QP/2$ ,  $QP$  为量化参数, 该公式被用于 H.263 标准。

由于 H264/AVC 编码参数的改变, 对此做出了改进。在编码时没有 B 帧, 对于 I 帧和 P 帧目前 H264/AVC 采用的  $\lambda$  和量化参数  $QP$  关系式如式(2)所示。

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

## 3 新的码率估计模型

在深入分析 CAVLC 码表<sup>[21]</sup>的基础上, 本节提出了新的码率估计模型。CAVLC 利用处理过程中产生的高频与低频数据特性以及相邻  $4 \times 4$  块的非零系数数目的相关性极大地提高了数据的编码效率, 减少了数据中的冗余信息。

在 CAVLC 编码中, 量化后的数据经过锯齿形

(zig-zag)扫描, 将产生如下 5 个待编码句法元素: 非零量化系数绝对值的总和, 非零量化变换系数的个数, 拖尾系数的个数, 零系数的个数, 位于非零系数之前的零个数<sup>[22]</sup>。基于此, 为提供更加精确的码率估计, 本节提出一种改进的基于变换域的码率估计模型, 该模型如式 (3) 所示。

$$R(MODE) = x_i R_i, i=1,2,3,4,5 \quad (3)$$

其中,  $x_i (i=1,2,3,4,5)$  为模型参数, 当  $QP=24$  时, 取值如表 3 所示。

宏块	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
帧内宏块	2.889	-1.718	0.432	0.576	3.821
	3.429	-1.603	0.398	0.951	1.616
帧间宏块	3.731	-0.289	0.654	0.618	0.481
	2.832	-0.991	0.879	0.751	1.374

下面分别详细定义该 5 个待编码句法元素  $R_i (i=1,2,3,4,5)$ 。

1) 当  $i=1$  时,  $R_1$  表示非零系数的数目, 数目范围是从 0 到 16, 对非零系数数目的编码是通过查表的方式, 共有 4 个变长表格和一个定长表格可供选择。其中定长表格的码长是 6bit, 高 4bit 表示非零系数的个数。 $R_1$  的具体数学表达式如式 (4) 所示。

$$R_1 = \sum_{xy} \psi_{xy}, \psi_{xy} = \begin{cases} 1, & |W(x,y)| \geq T_z(x,y) \\ 0, & |W(x,y)| < T_z(x,y) \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $W(x,y)$  为第  $(x,y)$  个 DCT 系数,  $T_z(x,y)$  为零量化阈值, 定义为

$$T_z(x,y) = \left\lceil \frac{2^{15+\lfloor QP/6 \rfloor} - \lfloor 2^{15+\lfloor QP/6 \rfloor} / m \rfloor}{A(x,y)} \right\rceil$$

其中,  $m=3$  时为帧内宏块,  $m=6$  时为帧间宏块。 $A(x,y)$  为量化参数, 取决于整数变化系数的位置。

2) 当  $i=2$  时,  $R_2$  表示熵编码中拖尾系数的数目, 数目范围是从 0 到 3, 对拖尾系数数目的编码是通过查表的方式, 共有 4 个变长表格和一个定长表格可供选择。其中定长表格的码长是 6bit, 低 2bit 表示拖尾系数的个数。 $R_2$  的具体数学表达式如式 (5) 所示。

$$R_2 = \sum_{xy} \phi_{xy}, \phi_{xy} = \begin{cases} 1, & T_z(x,y) \leq |W(x,y)| < T_o(x,y) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $T_o(x,y)$  为阈值。当  $|W(x,y)|$  量化为 1 时, 必须满足条件:

$$|W(x,y)| A(x,y) + \lfloor 2^{15+\lfloor QP/6 \rfloor} / m \rfloor < 2 \times 2^{15+\lfloor QP/6 \rfloor}$$

因此, 当编码器确定  $QP$  值时, 该阈值的值为

$$T_o(x,y) = \left\lceil \frac{2^{16+\lfloor QP/6 \rfloor} - \lfloor 2^{15+\lfloor QP/6 \rfloor} / m \rfloor}{A(x,y)} \right\rceil$$

其中,  $m=3$  时为帧内宏块,  $m=6$  时为帧间宏块。

3) 当  $i=3$  时,  $R_3$  表示所有非零系数的绝对值总和除以量化步长,  $R_3$  的具体数学表达式如式 (6) 所示。

$$R_3 = \frac{S_{ATD}}{q} = \frac{\sum_{xy} \psi_{xy} |W(x,y)| D_f(x,y)}{q} \quad (6)$$

其中,  $D_f(x,y)$  为 H.264/AVC 编码过程中定义的拉伸参数,  $S_{ATD}$  为残差值的绝对值的总和。

4) 当  $i=4$  时,  $R_4$  表示在最后一个非零系数之前所有零的数目, 此非零系数指的是按照正向扫描的最后一个非零系数。因为非零系数数目  $R_1$  是已知, 这就决定了  $R_4$  可能的最大值。 $R_4$  的具体数学表达式如式 (7) 所示。

$$R_4 = \sum_{xy} \xi_{xy} \quad (7)$$

5) 当  $i=5$  时,  $R_5$  表示非零值不相连的个数总和,  $R_5$  的具体数学表达式如式 (8) 所示。

$$R_5 = \sum_{k=1}^{R_1} \varphi_k, \varphi_k = \begin{cases} 1, & i_k - i_{k-1} > 1 \\ 0, & i_k - i_{k-1} = 1 \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $i_k$  为锯齿形扫描后非零量化系数的索引。

根据变量当前块值 (NC, number current) 的值在表格中选择非零系数的数目  $R_1$  与拖尾系数数目  $R_2$ 。依据当前块左边  $4 \times 4$  块的非零系数数目 (NA) 和当前块上面  $4 \times 4$  块的非零系数数目 (NB) 求得除了色度的直流系数外, 其他系数类型的 NC 值。同时, 若输入的系数是色度的直流系数时,  $NC=-1$ 。求 NC 的过程<sup>[23]</sup>如表 2 所示, X 表示与当前块同属于一个片并可用。

上面的块 (NB)	左边的块 (NA)	NC
X	X	$(NA+NB)/2$
X	—	NA
—	X	NB
—	—	0

选择非零系数数目和拖尾系数数目的编码表格的过程如表3所示。

表3 选择非零系数数目和拖尾系数数目的编码表格

NC	表格
$0 \leq NC < 2$	变长表格1
$2 \leq NC < 4$	变长表格2
$5 \leq NC < 8$	变长表格3
$NC = -1$	变长表格4
$NC \geq 8$	定长表格

在JM14.2中验证码率估计模型式(3)的准确性。视频序列取news\_QCIF, QP值取28、36, 编码序列IPPP..., 用式(3)估计码率的长度。实验结果如图1所示。由图1看出, 估计的码长基本上分布在真实的码长上下较小的区域内。

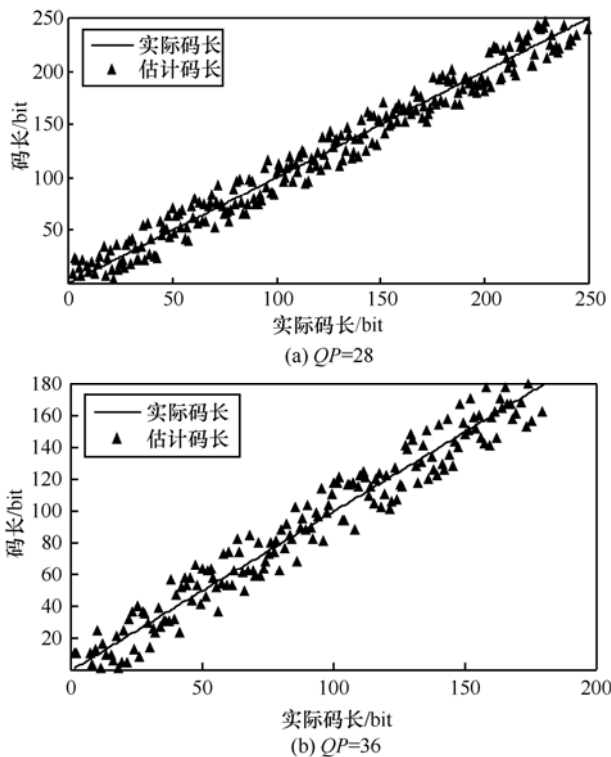


图1 估算码长

#### 4 新的率失真代价估计模型

考虑到失真度的相关研究现已非常成熟, 本文对失真度的研究不进行深入探讨, 而将重点放在研究影响到率失真代价的码率估计上。失真度估计模型由文献[15]提供, 其具体的表达式如式(9)所示。

$$D(MODE) = S + cR_1q^2 \quad (9)$$

其中,  $q$  为量化参数;  $R_1$  为非零系数的数目, 其具体数学表达式参考本文第3节;  $c$  为权值参数。

$S$  的定义如下:

$$S = \sum_{uv} \varphi_{uv} (W(u,v)S_f(u,v))^2$$

$$\text{其中, } \varphi_{uv} = \begin{cases} 1, & |W(u,v)| < T_z(u,v) \\ 0, & |W(u,v)| \geq T_z(u,v) \end{cases}$$

根据第3节提出的码率估计模型与文献[15]提出的失真度估计模型, 重新计算率失真代价值。将式(3)计算出的  $R(MODE)$  与式(9)计算出的  $D(MODE)$  代入到式(1)中, 并取  $\lambda_{MODE}$  的值为  $0.85 \times 2^{\frac{QP-12}{3}}$ , 从而得到新的率失真代价估计模型, 表达式如式(10)所示。

$$\begin{aligned} COST_{RD} &= D(MODE) + \lambda \times R(MODE) \\ &= S + cR_1q^2 + 0.85 \times 2^{\frac{QP-12}{3}} \times \sum_{i=1}^5 x_i R_i \\ &= (y_1 R_1 + y_2 R_2 + y_3 R_4 + y_4 R_5) q^2 + y_5 S q + S_{ATD} \end{aligned} \quad (10)$$

$y_i (i=1,2,3,4,5)$  为权值, 取值如表4所示。

表4  $y_i(i=1,2,3,4,5)$  的值

QP	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$
20	0.345	0.264	-0.012	0.421	0.016
22	0.275	0.276	0.041	0.167	0.021
24	0.371	0.204	0.035	0.149	0.021

#### 5 实验仿真

##### 5.1 实验环境

目前, H.264/AVC 常见的开源编解码器有以下3种: JM(joint model)、X264、T264。JM 也称为校验模型, 是由德国 Heinrich-Hertz-Institute(简称 HHI)研究所开发研究的, 是 H.264/AVC 国际标准的官方测试软件[24]。开发 JM 的目标是实现 H.264/AVC 的所有技术以提高编码性能, 使得整个校验模型结构复杂、程序冗长, 从而导致编码复杂度极高, 实用性差。JM 实现了 H.264/AVC 的3个档次(基本、主要和扩展档次)的各个功能。目前, 学术研究的新算法都是在 JM

上实现并与 JM 标准算法进行比较的<sup>[24,25]</sup>。JM 于 2002 年 2 月开始进行开发研究, 目前最新的版本为 JM17.2, 本文采用的版本是 JM14.2<sup>[26,27]</sup>。

本文采用的测试视频序列为“mobile”、“football”、“bus”、“tempete”、“paris”等几个目前比较通用的标准视频序列, 视频格式选取 QCIF 格式和 CIF 格式, 即分辨率为 176×144 和 352×288, 帧率为 24frame/s(帧/秒)。测试 QP 参数的取值范围为 16 到 34。本文分别从率失真代价估计模型的主观质量评价、客观质量评价这 2 个方面进行详细的测试分析。

### 5.2 仿真结果及分析

#### 1) 主观质量评价

对原始测试序列的图像、编码过程中生成的用作参考的重构图像和解码后生成的图像进行观察, 判断其视觉效果的好坏。图 2 给出了视频序列 paris\_CIF 的解码重构图像。

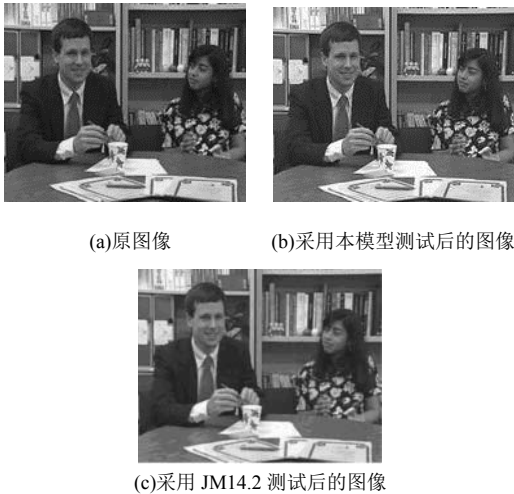


图 2 paris\_CIF 序列主观质量的比较

由图 2 可以看出, 采用 JM14.2 模型的解码重构图像存在局部模糊及阴影等问题, 采用本文提出的模型能较好地解决这些问题, 从而具有较好的主观质量。

#### 2) 客观质量评价

率失真代价估计模型的效果分析, 主要是对模型的准确性进行测试。首先对率失真代价估计模型进行测试分析, 视频序列取 mobile\_CIF、foreman\_CIF, QP 值取 28, 用式 (10) 分别对 I 帧、P 帧估计代价值。实验结果如图 3 和图 4 所示。从图中可以看出, 估计的代价值非常接近实际代价值, 因此本文提出的代价估计模型可以大大改进率失真代价估计的精确度, 从而提升率失真优化模型的性能。

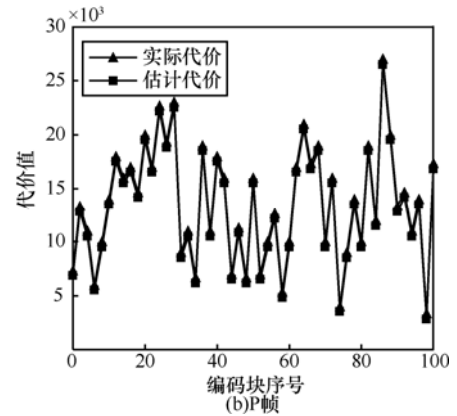
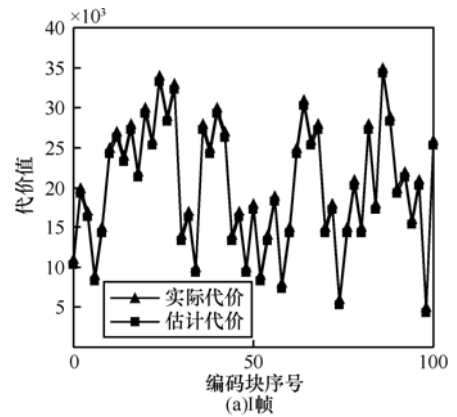


图 3 mobile\_CIF 序列代价估计值与实际值

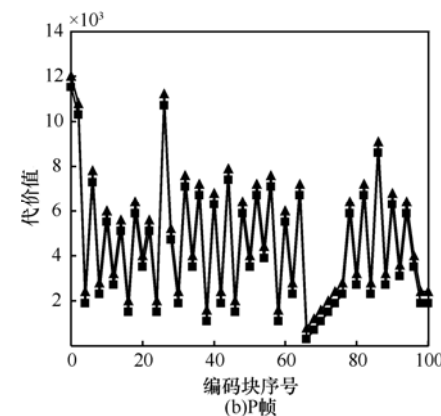
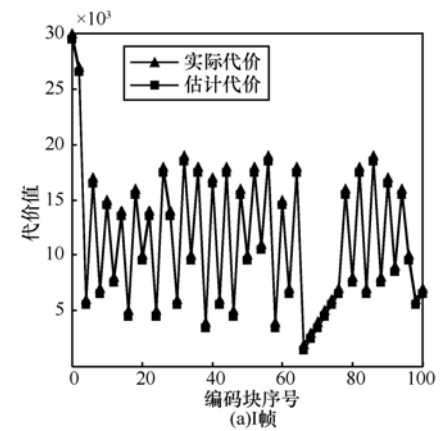


图 4 foreman\_CIF 序列代价估计值与实际值

验证模型的视频编码质量。视频序列均采用 IPPPP...编码方式,使用一个参考帧,运动搜索范围 20,编码 100 帧,帧率采用 10frame/s,采用的测试序列为 3 个具有不同运动程度和空间细节信息的“mobile\_QCIF”、“football\_QCIF”、“bus\_QCIF”。采用不同的目标码率多次编码得到 3 个序列平均 PSNR-码率率失真曲线图,如图 5 所示。

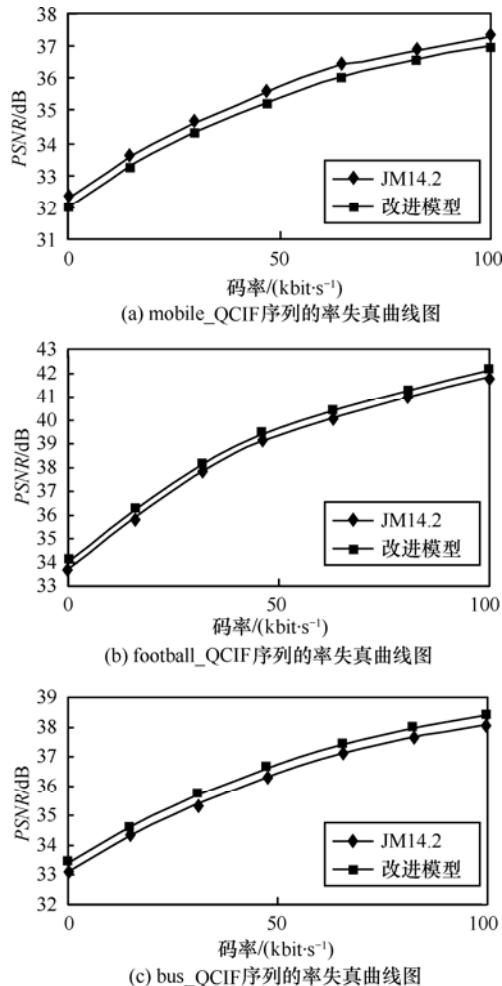


图 5 率失真曲线图

从图 5 可以看出,采用改进的率失真优化模型与 JM14.2 中使用的优化模型相比,在相同码率下可以得到更高的 PSNR 值,即可以获得更高的编码质量,从而得到了更好的率失真优化性能。

下面进一步对本文阐述模型的实用性进行测试。 $QP$  值选取 16 到 32,性能测试的参数包括 PSNR 增量(dB)、码率增量、总时间增量、率失真时间增量 4 个指标,增量值分别为 JM14.2、本文模型与 JM13.2 进行对比而得。通过与 JM14.2 的模型效果进行比较分析,得出的实验结果如表 5 所示。

表 5 编码性能

视频序列	增量	JM14.2	本文模型
mobile_QCIF	PSNR 增量/dB	0.27	0.69
	码率增量/%	3.52	2.31
	总时间增量/%	-21.33	-43.18
	率失真时间增量/%	-23.25	-49.29
football_CIF	PSNR 增量/dB	0.31	0.73
	码率增量/%	3.59	1.87
	总时间增量/%	-29.31	-50.61
	率失真时间增量/%	-31.04	-56.32
bus_CIF	PSNR 增量/dB	0.43	0.93
	码率增量/%	3.31	2.13
	总时间增量/%	-19.89	-37.37
	率失真时间增量/%	-23.49	-43.91
tempe_CIF	PSNR 增量/dB	0.29	0.76
	码率增量/%	3.89	2.17
	总时间增量/%	-21.69	-49.82
	率失真时间增量/%	-26.72	-48.86
paris_CIF	PSNR 增量/dB	0.38	0.82
	码率增量/%	3.01	2.38
	总时间增量/%	-27.59	-51.43
	率失真时间增量/%	-30.79	-52.16

由实验结果看出,跟 JM14.2 相比,采用改进的率失真优化模型,时间的减少百分比下降了。实验结果表明,在估计代价值方面,本文提出的计算方法比原有的更加精确。比如,从表中可以看出,在序列选择 mobile\_QCIF 时,改进模型比 JM14.2 模型的 PSNR 增量高出 0.42dB,但总时间增量反而降低了 21.85%。进而分析表明,在保证 PSNR 下降较小并且码长增加较少的情况下,编码总时间和率失真估计时间减少了,从而降低了编码过程的复杂度,加快了编码速度。

## 6 结束语

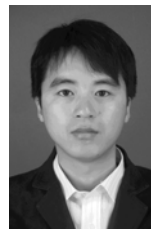
在对现有率失真代价估计模型的优缺点和 H.264 编码的特点进行系统研究后,提出了一种编码速度更快的率失真代价估计模型。该模型不仅能提供更精确的帧内/帧间宏块的码长估算,并且本文提出的代价估计模型可以改进率失真代价估计的精确度。大量仿真实验结果表明,利用新提出的码率控制方法,所有测试序列的 PSNR 均有不同程度的提高,其码流曲线更平滑平稳,目标码率控制更准确。进而分析表明,在保证 PSNR 下降较小并且

码长增加较少的情况下, 降低了编码过程的复杂度, 加快了编码速度。

### 参考文献:

- [1] 敬嘉亮. H.264 快速帧内预测算法及码率控制技术的研究[D]. 武汉理工大学, 2009.  
JING J L. Research on Flash Intra-Prediction Moden Decision Algorithm and Rate Control in H.264[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009.
- [2] Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification, Document JVT-G050.doc, ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC[S]. 2003.
- [3] 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, 2003.  
BI H J. A New Generation of Video Compression Coding Standard-H.264/AVC[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2003.
- [4] LEE J Y. A rate control algorithm for DCT-based video coding using simple rate estimation and linear source model[J]. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions, 2005, 15(9): 1077-1085.
- [5] CHIANG T, ZHANG Y Q. A new rate-control scheme using quadratic rate-distortion model[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 1997, 7(1): 246-250.
- [6] TAN W T. Accurate distortion-driven macroblock level rate control via  $\rho$ -domain analysis[J]. IEEE International, 2005, (3): 45-48.
- [7] WANG Z H, DONG S F, XU L. Estimating the value of  $\theta$  in the intra frame for  $\rho$ -domain rate control algorithms[A]. PCS'09 Proceedings of the 27th Conference on Picture Coding Symposium[C]. Chicago, Illinois, USA, 2009. 1-4.
- [8] LIU L. A novel square root rate control algorithm for H.264/AVC encoding[A]. Multimedia and Expo, IEEE International[C]. 2009. 814-817.
- [9] KWON D K. Rate control for H.264 video with enhanced rate and distortion models[J]. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions, 2007, 17(5): 517-529.
- [10] LEE J Y, PARK H W. A rate control algorithm for DCT-based video coding using simple rate estimation and linear source model[J]. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions, 2005, 15(9): 1077-1085.
- [11] TSENG C H, WANG H M, YANG J F. Enhanced intra-4×4 mode-decision for H.264/AVC coders[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2006, 16(81): 1027-1032.
- [12] TU Y K, YANG J F, SUN M T. Efficient rate-distortion estimation for efficient H.264/AVC encoding[J]. IEEE Syst Video Technol, 2006, 16(5): 600-611.
- [13] TU Y K, YANG J F, SUN M T. Efficient rate-distortion modeling for efficient H.264/AVC encoding[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2007, 17(7): 530-543.
- [14] SARWER M G, PO L M. Bit-rate estimation for cost function decision of 4×4 intra-mode-decision H.264/AVC[A]. Proc Int Conf Multimedia Expo (ICME 2007)[C]. Beijing, China, 2007. 1579-1582.
- [15] SARWER M G, PO L M. Fast bit-rate estimation for mode-decision of H.264/AVC[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2007, 17(10): 1042-1407.
- [16] CHEN Q Q, YUN H. A fast bits estimation method for rate-distortion optimization in H.264/AVC[EB/OL]. <http://www.inf.uni-konstanz.de/cgip/bib/files>.
- [17] 朱冬冬, 戴琼海. H.264 解码器中 CAVLC 码表查找算法的改进[J]. 电视技术, 2004, (1): 26-27.  
ZHU D D, DAI Q H. Improvement on CAVLC codebook lookup algorithm in H.264 decoder[J]. TV Engineering, 2004, (1): 26-27.
- [18] EVERETT H. Generalized lagrange multiplier method for solving problems of optimum allocation of resources[J]. Oper Res, 1963, (11): 399-417.
- [19] WIEGAND T, GIROD B. Lagrangian multiplier selection in hybrid video coder control[A]. Proc Int Conf Image Process (ICIP '01)[C]. Thessaloniki, Greece, 2001. 542-545.
- [20] 文玉亮. H.264 编码算法的 DSP 优化与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.  
WEN Y L. DSP Optimization and Implementation of H.264 Coding Algorithm[D]. Xi'an: Xidian University, 2008.
- [21] 李东江, 唐义平. H.264 中 CAVLC 的分析与实现[J]. 网络安全技术与应用, 2008, (1): 10-28.  
LI D J, TANG Y P. The CAVLC analysis and implementation based on H.264[J]. Network Security Technology & Application, 2008, (1): 10-28.
- [22] 谷岚. 基于 H.264/AVC 中 CAVLC 算法研究及 VLSI 设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.  
GU L. In H.264/AVC CAVLC Algorithm and VLSI Design[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [23] 吴斌. H.264 解码关键算法的 VLSI 实现研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.  
WU B. VLSI Implementation for H.264 Decoding Key Algorithm[D]. Changchun: Jilin University, 2008.
- [24] Q042 of JVT, Revised H.264/MPEG-4 AVC Reference Software Manual[S].
- [25] O079 of JVT, Text Description of Joint Model Reference Encoding Methods and Decoding Concealment Methods[S].
- [26] Joint Video Team, JVT Reference Software Encoder, version 14.2[EB/OL]. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download>. 2009.
- [27] 崔子冠. H.264 率失真优化和码率控制算法的研究与改进[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.  
CUI Z G. Research and Improvement of H.264 Rate-Distortion Optimization and Rate Control Algorithm[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008.

### 作者简介:



郑新资 (1986-), 男, 广东广州人, 硕士, 主要研究方向为多媒体通信、网络安全。

孙知信 (1964-), 男, 安徽宣城人, 博士, 南京邮电大学教授、博士生导师, 主要研究方向为计算机网络与安全、多媒体通信、移动互联网等。