

基于 DCT 域的 MPEG-2 视频色度格式转换

王兴国 陈 冰 李宏东 刘济林 顾伟康

(浙江大学信息与通信工程研究所, 杭州 310027)

摘 要 提出了一种新的基于 DCT 域的 MPEG-2 码流转换算法. 该算法与现有算法, 即通过解码、空域采样率转换来设定新的码流参数, 再编码的算法相比, 无需 IDCT、DCT 操作, 便可在 DCT 域实现码流转换, 而且省去了运动矢量估值和运动补偿过程, 不仅节省了大量帧存和减少了运算量, 而且更具有实时性的优点. 对 MPEG-2 MP@ML 到 4:2:2 Profile@ML 码流转换算法实例的分析和实现表明: 该算法能简单有效的实现压缩域码流转换, 其思想同样可广泛用于其他基于 DCT 压缩图象的采样率转换、线性滤波等任务.

关键词 视频压缩 帧间内插 MPEG-2 色度格式 交织 转码器

中图法分类号: TP391 TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)03-0308-07

DCT Domain MPEG-2 Video Chrominance format 4:2:0/4:2:2 Transcoder

WANG Xing-guo, CHEN Bing, LI Hong-dong, LIU Ji-lin, GU Wei-kang
(Institute of Information and Communication Engineering, Zhejiang University 310027)

Abstract In this paper a novel MPEG-2 transcoder based on DCT domain is proposed. After analyzing the differences between MPEG-2 MP@ML and 4:2:2 Profile as well as the properties of discrete cosine transform and some spatial domain filters, the upsampling and linear filter algorithm in DCT domain is derived. The new transcoder has low buffer requirement and results in low delay. Compared with common decoder-encoder cascade methods, the current algorithm can reduce the computation and hardware complexity dramatically due to its omission on DCT (IDCT), ME (motion estimation) and MC (motion compensation) procedures, which are very time consuming. The simulation results demonstrate, the new approach only suffers slighter quality degradation than the pixel domain method on basis of the conventional decode/re-encode schema, and it is more appropriate to be used in real time environment.

Keywords Video compression, Interpolation, MPEG-2, Chrominance format, Interactivity, Transcoder

0 引 言

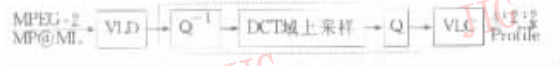
随着多媒体技术的不断发展, 图象压缩技术得到了深入研究. 针对不同应用和压缩编码技术, 国际组织建立了一系列的视频编码标准, 例如 DVC、JPEG、MJPEG、MPEG 等等^[1,2]. 不同的压缩标准并存, 给图象的传输、重放带来格式间转换的问题^[3~8], 即使是同一规范中, 也因满足不同的需要存在不同的编码模式子集, 例如 MPEG-2 就存在很多种类(profile)和级(level). 其中, 对分辨率相同而采样率不同的码流进行相互转换就成为一个极为普遍的问题.

传统上, 解决不同采样率压缩码流转换的过程包

括解码、空域采样率变换、再编码等几个步骤, 其中涉及到 DCT、IDCI、运动估值、运动补偿等操作, 而这些正是压缩编码的运算瓶颈. 据统计, 仅 DCT 变换就占用了 38.7% 的执行时间, 而运动估值占用了余下的大部分时间. 这种方法带来的大运算量和高的硬件复杂度, 不仅给算法的实时实现带来困难, 而且还因多次操作数字处理的有限字长效应而引入误差积累. 本文提出的算法则可以有效地克服上述缺陷.

MPEG-2 是目前最具有代表性的压缩编码标准, 本文以 MPEG-2 MP@ML 到 4:2:2 Profile@ML 码流转换为例, 分析了算法的原理及实现, 算法的实现过程如图 1 所示. 显然, 实现码流转换要完成的工作为: (1) DCT 域采样率转换; (2) 运动矢量

的比例调整. 文中重点研究了第 1 个问题.



1 DCT 域色度格式变换

1.1 码流色度格式

ISO/IEC 13818-2 标准规定 MPEG-2 MP@ML 使用的是 4 : 2 : 0 色度格式; 4 : 2 : 2 Profile@ML 使用的是 4 : 2 : 2 色度格式. 它们的亮度与色差空间采样关系如图 2 所示.

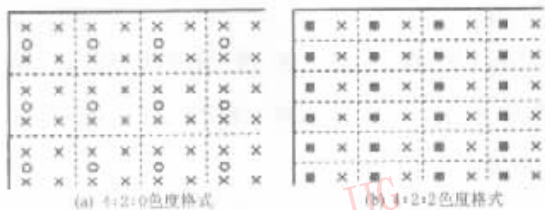


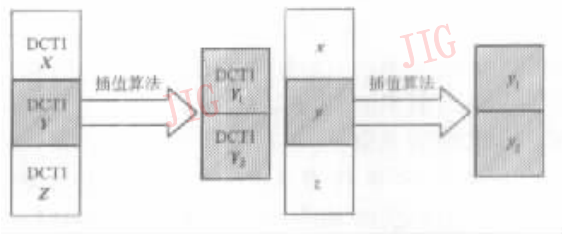
图 2 两种不同色度格式亮度与色差空间采样关系
×表示亮度采样;○表示色差采样

显然, 4 : 2 : 2 色度格式色差垂直采样率是

4 : 2 : 0 的 2 倍, 所以码流转换可归结为 1 : 2 上的采样问题^[9~12] (对于其他比例为有理数的码流采样率, 其转换步骤与之相同).

1.2 帧内邻域 DCT 基算法实现

要实现较好的空域内插需使用高阶的内插滤波器, 这样 DCT 域的上采样将在一些相邻块间进行. 大量的实验结果表明, 对于上述码流转换中的上采样, 若在垂直方向上的三邻域块中进行, 则可取得运算量和处理效果之间的最佳折中. 本算法的输入为垂直方向的 3 个 DCT 系数矩阵, 输出为对应于当前块插值生成的两块 DCT 系数 (如图 3 所示).



(a) DCT 基邻域插值算法 (b) DCT 基邻域插值算法
输入输出关系 (Y 为当前处理块, 输入输出关系对应的空域表示, Y₁ 和 Y₂ 为输出块) 图中的输入定义为 w_{24×8}

图 3

为便于推导最佳滤波器方程, 将输入的三个邻域块的空域值由 8×8 矩阵扩展成 24×8 矩阵 (见图 4).

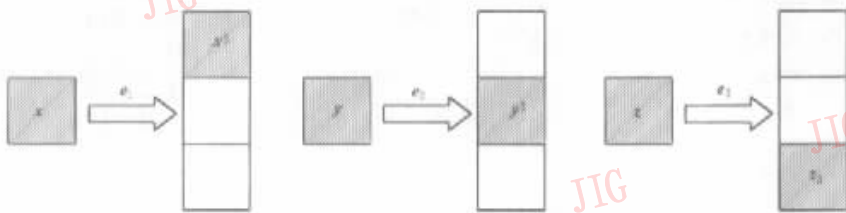


图 4 三邻域块由 8×8 矩阵垂直扩展成对应的 24×8 矩阵

$$e_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_8 \\ \mathbf{O}_8 \\ \mathbf{O}_8 \end{bmatrix}_{24 \times 8} \quad e_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_8 \\ \mathbf{I}_8 \\ \mathbf{O}_8 \end{bmatrix}_{24 \times 8} \quad e_3 = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_8 \\ \mathbf{O}_8 \\ \mathbf{I}_8 \end{bmatrix}_{24 \times 8}$$

其中

$$\mathbf{I}_8 = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & 0 & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}_{8 \times 8} \quad \mathbf{O}_8 = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ \vdots & 0 & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{8 \times 8}$$

则

$$x^3 = e_1 x \tag{1}$$

$$y^3 = e_2 y \tag{2}$$

$$z^3 = e_3 z \tag{3}$$

令 w_{24×8} 为对应于图 3(b) 输入的空域表示, 则

$$w_{24 \times 8} = x^3 + y^3 + z^3 \tag{4}$$

设图 3(b) 中, 由输入 w_{24×8} 至输出 y₁ 可由滤波矩阵 f_{1(8×24)} 左乘实现.

$$y_1 = f_1 w_{24 \times 8} = f_1 (e_1 x + e_2 y + e_3 z) \tag{5}$$

对上式 DCT 变换, 得图 3(a) 中输出 Y₁ 为

$$\begin{aligned} Y_1 &= T_8 y_1 T_8^{-1} = T_8 f_1 (e_1 x + e_2 y + e_3 z) T_8^{-1} \\ &= T_8 f_1 (e_1 T_8^{-1} X + e_2 T_8^{-1} Y + e_3 T_8^{-1} Z) \\ &= T_8 f_1 e_1 T_8^{-1} X + T_8 f_1 e_2 T_8^{-1} Y + T_8 f_1 e_3 T_8^{-1} Z \\ &= F_{1X} X + F_{1Y} Y + F_{1Z} Z \end{aligned} \tag{6}$$

式中, T₈ 为 8×8 DCT 变换矩阵, 其定义为

$$T(k, n) = \frac{c(k)}{2} \cos\left(\frac{2n+1}{16}k\pi\right) \quad (k, n = 1, 2, \dots, 7);$$

$$\begin{cases} F_{1X} = T_8 f_1 e_1 T_8^{-1} \\ F_{1Y} = T_8 f_1 e_2 T_8^{-1} \\ F_{1Z} = T_8 f_1 e_3 T_8^{-1} \end{cases} \text{为频域滤波矩阵.}$$

同样,图 3(a)中 Y_2 可表示为

$$Y_2 = F_{2X}X + F_{2Y}Y + F_{2Z}Z \quad (7)$$

$$\begin{cases} F_{2X} = T_8 f_2 e_1 T_8^{-1} \\ F_{2Y} = T_8 f_2 e_2 T_8^{-1} \\ F_{2Z} = T_8 f_2 e_3 T_8^{-1} \end{cases} \text{为频域滤波矩阵.}$$

式(6)和式(7)表明,在邻域块基 DCT 域上采样可通过预先计算的频域滤波矩阵与相应的 DCT 系数矩阵相乘来实现. 不难扩展,对于实现三邻域间垂直方向的其他线性滤波也可吸收于上述的 3 个滤波矩阵内. 下面推导频域滤波矩阵 $F_{1X}, F_{1Y}, F_{1Z}, F_{2X}, F_{2Y}, F_{2Z}$.

1.3 滤波矩阵求取

下面讨论将针对 MPEG-2 中,在由参数 dct_format 确定的帧编码(DCT_FRAME)和场编码(DCT_FIELD)情况下,空域滤波矩阵 f_1, f_2 的求取问题. 因为对于 MPEG-2 MP@ML 中 4:2:0 色度格式, U, V 空间均为帧编码,当 progressive_frame = 0 时,组成一帧的两场采样时刻不同(因 progressive_frame = 1 时,组成一帧的两场采样时刻相同,推导更容易,故略去),所以内插分别在顶场和底场中进行. 首先,从 24×8 的色度矩阵提取顶场、底场,即得到两个 12×8 的矩阵. 分离交织帧的顶场和底场可由以下的左乘矩阵 s_{top} 和 s_{bot} 实现.

$$s_{top} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{12 \times 24}$$

$$s_{bot} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{12 \times 24}$$

若在设插值在 12×8 的矩阵上形成,则对应的

空域场插值核为 8×12 矩阵 u .

(1) dct_type 为场编码时的滤波矩阵

当 dct_type 为场编码时,其滤波矩阵推导如下: 设

$$f_1 = u \times s_{top} \quad (8)$$

$$f_2 = u \times s_{bot} \quad (9)$$

式中, u 为上采样矩阵. 其一种简单的一阶线性内插矩阵为

$$u = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{8 \times 12}$$

对于线性相位高阶 FIR 滤波器

$H(z) = \sum_{n=0}^N b_n z^{-n}$ 有类似的上采样矩阵. 其频域滤波矩阵为

$$\begin{cases} F_{1X} = T_8 u \times s_{top} e_1 T_8^{-1} \\ F_{1Y} = T_8 u \times s_{top} e_2 T_8^{-1} \\ F_{1Z} = T_8 u \times s_{top} e_3 T_8^{-1} \end{cases} \quad (10)$$

(2) dct_type 为帧编码时的滤波矩阵

当 dct_type 为帧编码时,对应于空域采样需要交织,其滤波矩阵的推导相对复杂些.

令: $g_1 = \begin{bmatrix} I_8 \\ O_8 \end{bmatrix}, g_2 = \begin{bmatrix} O_8 \\ I_8 \end{bmatrix}$. 为实现帧交织,定义

$$p_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{8 \times 16}$$

$$p_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{8 \times 16}$$

$$f_{16 \times 8} = g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot} \quad (12)$$

$$f_1 = p_1 f_{16 \times 8} = p_1 (g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot}) \quad (13)$$

$$f_2 = p_2 f_{16 \times 8} = p_2 (g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot}) \quad (14)$$

则帧编码时频域滤波矩阵为

$$\begin{cases} F_{1X} = T_8 p_1 (g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot}) e_1 T_8^{-1} \\ F_{1Y} = T_8 p_1 (g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot}) e_2 T_8^{-1} \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} F_{1Z} = T_8 p_1 (g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot}) e_3 T_8^{-1} \\ F_{2X} = T_8 p_2 (g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot}) e_1 T_8^{-1} \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} F_{2Y} = T_8 p_2 (g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot}) e_2 T_8^{-1} \\ F_{2Z} = T_8 p_2 (g_1 u \cdot s_{top} + g_2 u \cdot s_{bot}) e_3 T_8^{-1} \end{cases}$$

至此,已对邻域块基算法的整个过程进行了推导.下面考虑帧间预测编码的情况.应注意的是在预测编码中相邻块编码模式不一致时,只能使用块基 DCT 域方法处理.

2 预测编码帧中残差域内插原理

典型的 MPEG-2 编码帧序列如图 5 所示,由帧内编码 I 帧、预测编码 P 帧、双向预测编码 B 帧组成^[1].图中所示为编码视频的显示顺序,编码顺序为 I, P₁, B₁, B₂, P₂, B₃, B₄, B₅.上节的推导是针对编码帧内 I 帧数据的,而 P 帧和 B 帧是对预测误差进行编码的,下面推导 I 帧、P 帧及 B 帧的一致内插原理.

加权线性组合

$$x_I = \sum_k c_k x_{I+k} \quad (17)$$

$$y_P = \sum_k c_k y_{P+k} \quad (18)$$

$$d y_P = \sum_k c_k d y_{P+k} \quad (19)$$

式中, c_k 为滤波器系数, k 在 FIR 滤波器覆盖各自的邻域内取值.预测过程为

$$y_{P+k} = x_{I+k} + d y_{P+k} \quad (20)$$

显然

$$\begin{aligned} x_I + d y_P &= \sum_k c_k x_{I+k} + \sum_k c_k d y_{P+k} \\ &= \sum_k c_k (x_{I+k} + d y_{P+k}) \\ &= \sum_k c_k y_{P+k} = y_P \end{aligned} \quad (21)$$

由此可见,对于 P 帧图象残差域内插与帧内数据内插是一致的.仿照以上步骤可以证明,B 帧图象双向预测残差域内插与帧内数据内插是一致的.至此,已证明帧内数据域内插与残差域内插具有严格数学意义上的等效.

3 转码仿真与总结

仿真中,在不同压缩比下,对测试序列 Cheer 进行 MPEG-2 码流转换.为比较压缩域转码和空域转码性能,本文采用 C_b 、 C_r 两种色度成分方案实现了 MP@ML 至 4:2:2P@ML 的类转码,得到各自的 PSNR 曲线.测试序列分辨率为 720×480 ,码流参数见表 1.图 7 为按帧序列号给出的象素域和压缩域两种转码方案的信噪比对比曲线和平均信噪比对比图,图 8 为目标码流中信噪比较低的典型的 I、P 和 B 帧图象.虽然两种方案有约 1dB 的 PSNR 差别,但主观视觉很难察觉出这个差别.

表 1 测试码流参数

	Cheer. m2v	Cheer. es
编码帧数	60	63
码流比特数	1 257 253	3 213 332
压缩比	33.398 53	13.720 93

本文以 MPEG 编码视频为例,讨论了 DCT 域类转码器结构与 DCT 域处理方法的实现,并讨论了与之有关的数学处理问题.仿真结果表明,DCT 域处理方法特别适合现有视频编码标准中普遍采用的 MC-DCT 压缩视频流转码,在可接受的编码效率下降范围内,提供了一个最大限度的软硬件复杂度

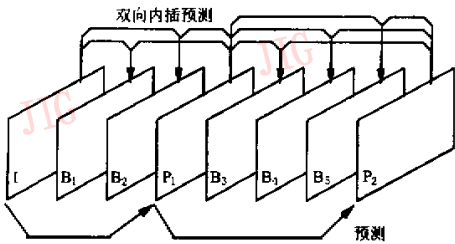


图 5 典型 MPEG-2 编码帧序列时间图象结构

图 6 为 P 帧编码数据预测形成过程.图中 x 序列为帧内编码序列,而 y 序列可由对应的 x 序列预测得到,预测残差为 $d y$ 序列.这里可证明,对于 x 序列和 y 序列做上采样内插,等效于对 x 序列和残差序列 $d y$ 做相同的内插.假设 $x_I, y_P, d y_P$ 均由其邻域内插获得,不失一般性,由线性相位 FIR 滤波器实现内插,这一过程可表示为如下各自邻域序列的

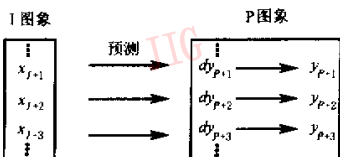
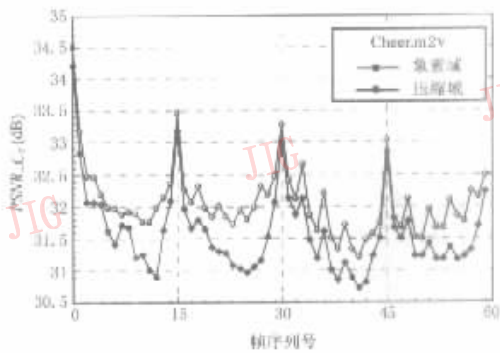
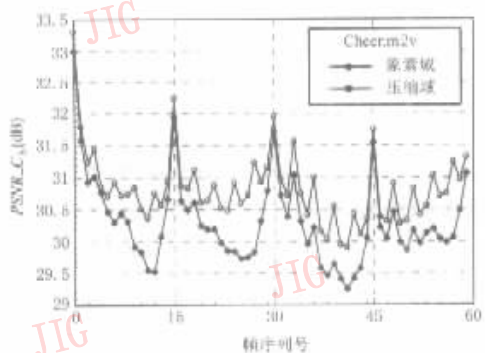
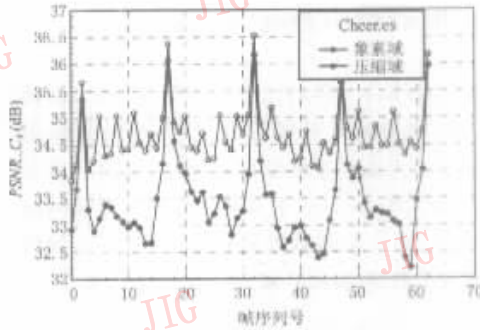
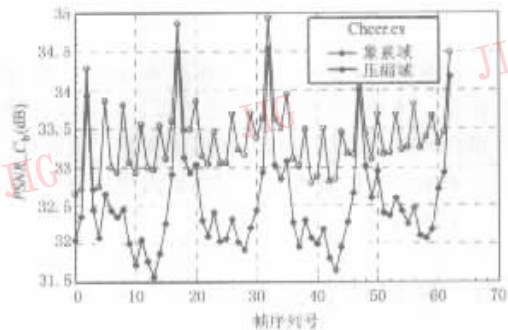


图 6 预测图象 P 与参考图象 I 关系

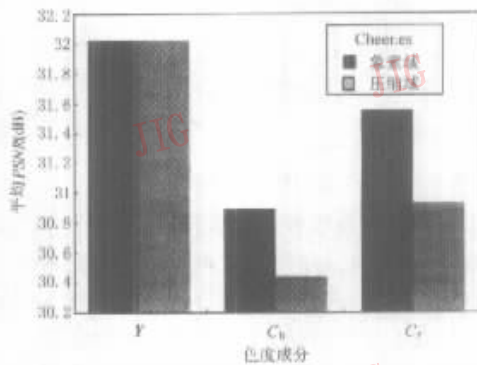
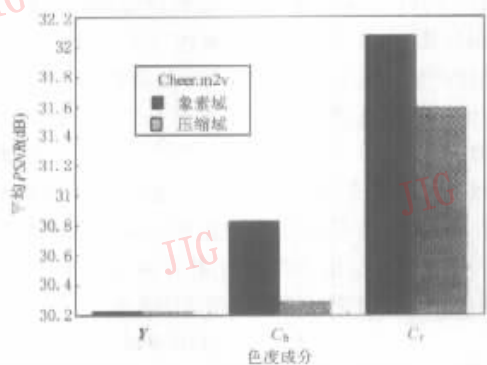
的节省方案,给实时应用一个理想的选择.



(a) 两种方案实现的 MPEG-2 压缩流 Cheer.m2v 上象素域与压缩域类转码对比图



(b) 两种方案实现的 MPEG-2 压缩流 Cheer.es 上象素域与压缩域类转码对比图



(c) 两种方案实现的 MPEG-2 压缩流象素域与压缩域类转码平均 PSNR 对比图

图 7

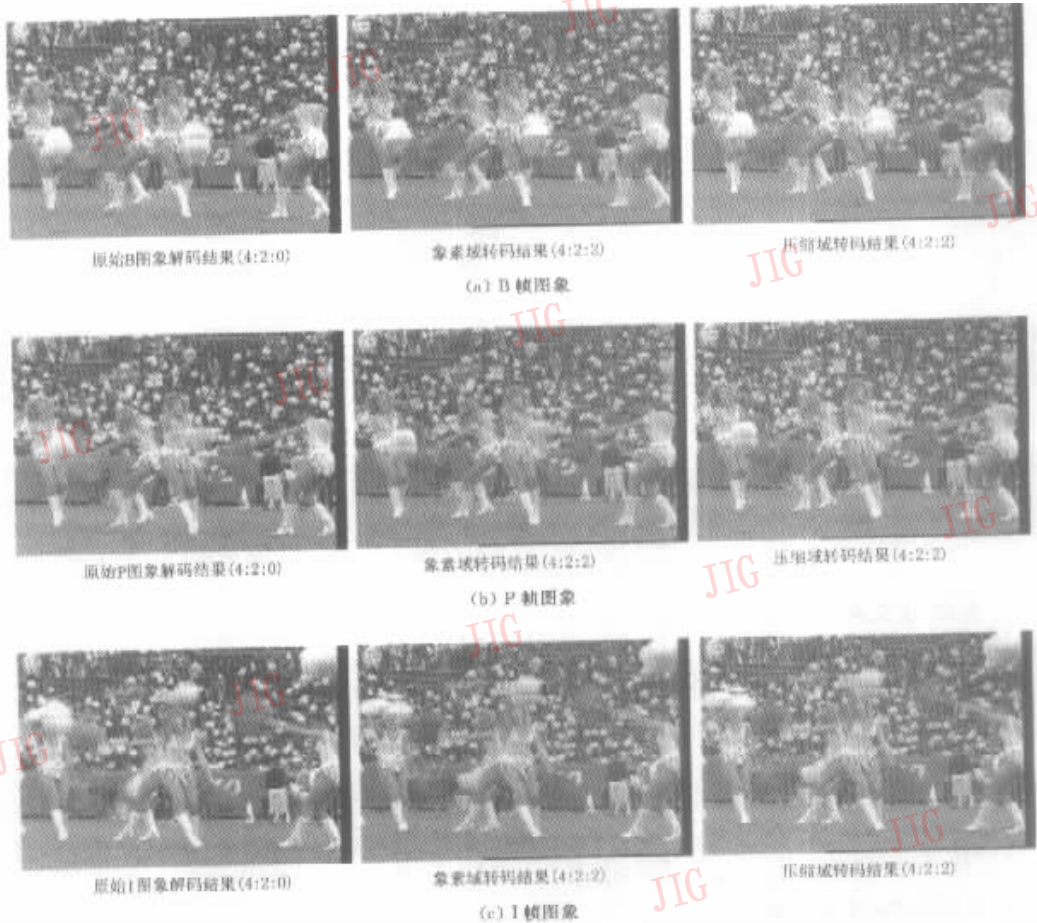


图8 信噪比较低的目标码流解码、转码结果

参考文献

- ISO/IEC 13818-2 Amendment 2. Generic coding of moving pictures and associated audio[S]. International Organization for Standardization, 1996.
- ITU-T Recommendation H. 261. Codec for audio-visual services at $p \times 64$ Kbit/s[S], 1993.
- Assuncao P A A, Ghanbari M. Post-processing of MPEG-2 coded video for transmission at lower bit rates[A]. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing[C], 1996, 4:1998~2001.
- Acharya S, Smith B. Compressed domain transcoding of MPEG [A]. In: IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems[C], 1998:295~304.
- H C Fu, Z H Chen, Y Y Xu *et al.* A neural network based transcoder for MPEG-2 video compression [A]. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing[C], 1999, 5:1125~1128.
- Bjork N, Christopoulos C. Transcoder architectures for video coding [A]. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing[C], 1998, 5:2813~2816.
- Bjork N, Christopoulos C. Transcoder architectures for video coding[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1998, 44(1):88~98.
- Lovrich A, Reimer J. A multi-rate transcoder[J]. Consumer Electronics, IEEE Trans., 1999, 35(4):715~722.
- Kou W, Fjalbrant T. A direct computation of DCT coefficients for a signal block taken from two adjacent blocks [J]. IEEE Trans, Signal Processing, 1991, 39(7):1692~1695.
- J B Lee, B G Lee. Transform domain filtering based on pipelining structure[J]. IEEE Trans, Signal Processing, 1992, 40(8):2061~2064.
- Chitprasert B, RAO K R. Discrete cosine transform filtering [A]. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing[C], 1990, 3:1281~1284.
- Neri Merhav. Multiplication-free approximate algorithms for compressed-domain linear operations on images [J] IEEE Transactions on image processing, 1999, 8(2):247~253.

王兴国 1992年毕业于浙江大学信息与电子工程学系, 2000年在浙江大学信息与电子工程学系获博士学位, 现于香港科技大学攻读博士后. 主要研究领域为视频压缩编码技术、多媒体技术与通信系统.

陈冰 1998年毕业于浙江大学信息与电子工程学系,现为浙江大学通讯与信息专业研究生.主要研究邻域是数字视频处理和传输技术.

李宏东 1973年生,1999年获浙江大学信息与电子工程学系博士学位,现留校任教.主要从事图象处理、人工智能与机器人.

刘济林 1947年生,现任浙江大学信息与电子工程学系教授、博士生导师.主要从事图象处理与理解、并行处理、人工智能、多媒体技术与通信系统的研究.

顾伟康 1939年生,现任浙江大学信息与电子工程学系教授、博士生导师.主要从事图象处理与理解、人工智能、多媒体技术与通信系统的研究.

《中国图象图形学报》文后参考文献编排格式

1. 专著、论文集、学位论文、报告

[序号]主要责任者.文献题名[文献类型标识].出版地:出版者(或存放单位),出版年.起止页码.

- 1 刘国钧,陈绍业,王凤.图书馆目录[M].北京:高等教育出版社,1957:15~18.
- 2 张筑生.微分半动力系统的不变集[D].北京:北京大学数学系数学研究所,1983.

2. 期刊文章

[序号]主要责任者.文献题名[J].刊名,年,卷(期):起止页码.

- 1 金显贺,王昌长,王忠东等.一种用于在线检测局部放电的数字滤波技术[J].清华大学学报(自然科学版),1993,33(4):62~67.

3. 论文集析出的文章

[序号]析出文献主要责任者.析出文献题名[A].见(In):原文献主要责任者(任选).原文献题名[C].出版地:出版者(或会议地点),出版年:析出文献起止页码.

- 1 钟文发.非线性规划在可燃毒物配置中的应用[A].见:赵玮.运筹学的理论与应用——中国运筹学会第五届大会论文集[C].西安:西安电子科技大学出版社,1996:468~471.
- 2 Middleton V, Owen M J, Elliman D G *et al.* Development in non-axisymmetric filament winding[A]. In:Proceedings of 2nd International Conference on Automated Composite'88 Noordwijkerhout[C], the Netherlands, 1988:324~335.

参考文献类型及标识

参考文献类型	专著	论文集	报纸文章	期刊文章	学位论文	报告	标准	专利
文献类型标识	M	C	N	J	D	R	S	P

电子文献类型参考文献标识

电子参考文献类型	数据库	计算机程序	电子公告
电子文献类型标识	DB	CP	EB

载体类型标识

载体类型	联机网络	磁带	光盘	磁盘
载体标识	OL	MT	CD	DK