

一种基于 H. 264 的混合视频转码方法

王波¹⁾ 刘涤尘¹⁾ 李敏²⁾

¹⁾(武汉大学电气工程学院,武汉 430072) ²⁾(武汉大学计算机学院,武汉 430072)

摘要 针对比特率缩减的 H. 264 视频转码问题,提出了一种混合型视频转码(mixture video transcode, MVT)方法。该方法首先采用串联结构对 Intra 帧进行编码转换,然后选择开环结构对 Inter 帧进行转换编码,同时在转换过程中,对 Inter 帧进行部分误差消除处理。这样,经过转换编码操作后,即可以得到无误差的 Intra 帧,而对于 Inter 帧,虽然开环结构转码后,图像质量损失大于串联结构方式,但由于在转码过程中进行了消除误差漂移的操作,因此这一损失被控制在可接受的最小范围之内。实验结果表明,该混合型视频转码方法在转码速度上远远高于串联结构,在转码后的图像质量上接近串联结构,并且远远好于开环结构。

关键词 转码 串联结构 开环结构 误差漂移

中图法分类号: TN919. 81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)12-2463-07

A Mixture Video Transcoding Method for H. 264

WANG Bo¹, LIU Di-chen¹, LI Min²

¹⁾(Electrical School of Wuhan University, Wuhan 430072) ²⁾(Computer School of Wuhan University, Wuhan 430072)

Abstract In this paper we propose a mixture video transcoding method with limited drifting error for H. 264 bit rate reduction transcoding. Cascaded pixel-domain architecture is selected to transcode an intra frame and open-loop architecture is selected to transcode the inter frame. At the same time, drift error compensation operation is implemented for the inter frame. Experimental results show that using this video transcoding architecture, the picture quality obtained from the proposed transcoder is close to that of the traditional cascade pixel-domain transcoder, while the transcoding speed is close to the open-loop architecture video transcoder.

Keywords transcode, cascade architecture, open-loop architecture, drift error

1 引言

将高码率的视频码流转码成低码率的视频码流,以适应不同网络带宽的需要,这是视频转码的一个最重要的应用^[1-3]。如今已存在全解全编结构、串联结构和开环结构3种不同结构的码率缩减视频转码器,其中,全解全编结构转码器所得的转码效果最好,但是运算复杂度最高,不适合实时视频的转码应用^[1,4-5];开环结构转码器的速度最快,但是因为

受漂移误差的影响,转码后的图像质量损失较大^[1,5-7];串联结构转码器由于重用了原始码流中的运动矢量和运动模式,加快了转码速度,因而转码速度与全解全编结构转码器相比,有了很大提高,并且转码后的图像质量与全解全编相比,差别不是很大,但是,由于串联结构转码器中闭合回路的使用增加了转码的复杂度,使得它的转码速度不如开环结构转码器^[7-9]。针对这3种转码器的优缺点以及 H. 264 的特点,本文提出了一种混合型像素域视频转码方法,该方法首先选择串联结构对 Intra 帧进行

基金项目:国家自然科学基金项目(50677046)

收稿日期:2008-04-28;改回日期:2008-10-29

第一作者简介:王波(1978~),男,讲师。2006年于武汉大学获得计算机应用专业工学博士学位。主要研究方向为电力系统实时数据融合、无线视频通信技术。E-mail:whwdwb@gmail.com

转换编码,然后选择开环结构对 Inter 帧进行转换编码,同时对 Inter 帧进行部分误差消除操作。用本文提出的方法进行转换编码操作后,可以得到无误差的 Intra 帧;对于 Inter 帧,转码后图像质量的损失大于串联结构的转码结果,这是因为进行了消除误差漂移操作的缘故,但这一损失可以控制在可接受的最小范围之内。实验结果表明,本文提出的混合型像素域视频转码器在转码速度上远远高于串联结构转码器,并且远远好于开环结构转码器转码后的图像质量。

2 码率缩减的视频转码结构

由于与 H. 263, MPEG-2 及 MPEG-4 等视频编解码标准不同,H. 264 采用了帧内预测编码技术,因此,在研究基于 H. 264 的转码结构时,既要考虑 Inter 帧内宏块的预测编码问题,也要考虑 Intra 帧内宏块的预测编码问题^[10]。在文献[5]、[6]、[10]~[12]研究的基础上,本文得到了如图 1 所示的基于 H. 264 的串联像素域视频转码器(cascaded pixel domain transcoder, CPDT)。其中,运动信息(MI)包括运动矢量、预测模式等与预测编码相关的信息。同时,为了方便分析,帧内补偿和帧间运动补偿均用运动补偿(MC)表示。

H. 264 的 Inter 帧由于是采用多参考帧的预测编码方法,所以 Inter 帧的宏块值包括两部分:一部分是运动补偿参考值,另一部分是预测残差值。以单参考帧为例,假设当前的视频帧为 F_n ,它的参考帧为 F_{n-1} ,则解码得到的当前视频帧的像素值为

$$F_n = R_n + MC(F_{n-1}) = R_n + P_n \quad (1)$$

其中, P_n 是运动补偿参考值, R_n 是预测残差值。当前视频帧的像素值 F_n 将作为视频转码器编码部分的输入,因此 F_n 又可以表示为

$$F_n = \tilde{R}_n + \tilde{P}_n = \tilde{R}_n + MC(\tilde{F}_{n-1}) \quad (2)$$

式中,新的运动补偿参考值 \tilde{P}_n 来自于转码之后的参考帧 \tilde{F}_{n-1} ,新的预测残差值 \tilde{R}_n 将送入转码器的编码部分进行编码,由式(1)和式(2)可得

$$\tilde{R}_n = R_n + MC(F_{n-1}) - MC(\tilde{F}_{n-1}) \quad (3)$$

由于重新编码的时候,使用了和原始视频码流一致的预测模式和运动矢量(MV),所以式(3)可以表示成

$$\tilde{R}_n = R_n + MC(F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1}) \quad (4)$$

在 H. 264 中,由于整数变换(T)为线性操作,因此式(4)可以改写成 $T(\tilde{R}_n) = T(R_n) + T(MC(F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1}))$,即

$$\tilde{B}_n = B_n + T(MC(F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1})) \quad (5)$$

这样即可得到如图 2 所示的 CPDT 的简化结构。

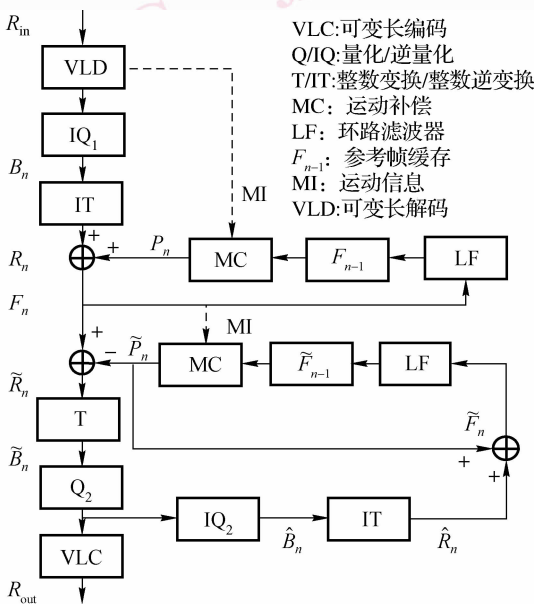


图 1 串联像素域视频转码器结构

Fig. 1 Architecture of cascaded pixel domain transcoder

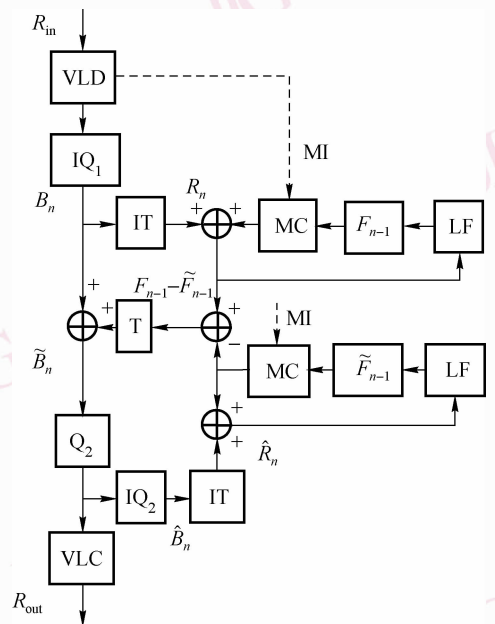


图 2 串联像素域视频转码器简化结构

Fig. 2 Simplified architecture of CPDT

式(4)中, $F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1}$ 表示参考帧转码前和转码后像素的差值, 这就是漂移误差的来源。如果忽略这个差值, 即认为转码前的 F_{n-1} 等于转码后的 \tilde{F}_{n-1} , 那么就可以将图 2 所示的串联结构简化成开环结构^[5]。但是因为存在误差累积放大效应, 致使这一简化不可避免地会带来较大的图像质量降低。

在图 1 中, 预测残差值 \tilde{R}_n 经过整数变换和量化(Q)后即得到量化后的预测残差值, 该值经过可变速长编码(VLC)后输出转码后的比特流, 同时它经过整数逆变换(IT)和逆量化(IQ)操作, 得到重建的预测残差值 \hat{R}_n , 即二次编码后, 当前视频帧的像素值为

$$\tilde{F}_n = \hat{R}_n + \tilde{P}_n = \hat{R}_n + MC(\tilde{F}_{n-1}) \quad (6)$$

由式(1)和式(6)得

$$F_n - \tilde{F}_n = R_n - \hat{R}_n + MC(F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1}) \quad (7)$$

从式(7)可以看出, 当前帧的漂移误差包括以下两部分: 预测残差编码前后的差值 $R_n - \hat{R}_n$ 和参考帧的漂移误差 $MC(F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1})$ 。也就是说, 因为预测编码时, 参考帧的漂移误差将带到当前帧, 即使参考帧只有很小的漂移误差, 经过累积也会变得很大, 这就是漂移误差的累积放大效应。

对于 H. 264 Intra 帧中的预测编码宏块, 其漂移误差的分析过程与上述过程类似, 主要的区别在于帧内预测选用的是同一帧中的宏块作为参考值, 并且在进行帧内补偿时, 用到的运动信息为编码模式及预测模式信息。

式(4)和式(7)也给出了解决漂移误差的方法, 即在转码过程中, 先对参考帧的漂移误差进行缓存, 然后在重新编码的时候, 再根据式(4)对预测残差值 R_n 进行补偿后, 才能得到新的编码预测残差值 \tilde{R}_n 。

根据整数变换的线性性, 式(7)可表示成

$$T(F_n - \tilde{F}_n) = B_n - \hat{B}_n + MC(T(F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1})) \quad (8)$$

按照上述方法, 根据式(5)和式(8), 即可对 CPDT 进行进一步简化, 就可得到如图 3 所示的快速像素域视频转码器 (fast pixel domain transcoder, FPDT), 其结构如图 3 所示。

与 CPDT 结构相比较, 由于 FPDT 少了一次 IT 操作、一次 MC 操作和一次环路滤波 (loop filter, LF) 操作, 所以转码速度得到了很大提高; CPDT 结构中

有两个帧缓存器, 分别用来存储转码前参考帧数据及转码后参考帧数据, 而 FPDT 结构中由于只有一个帧缓存 (Error), 用来存储参考帧转码前和转码后的差值, 所以 FPDT 能够节省存储空间。

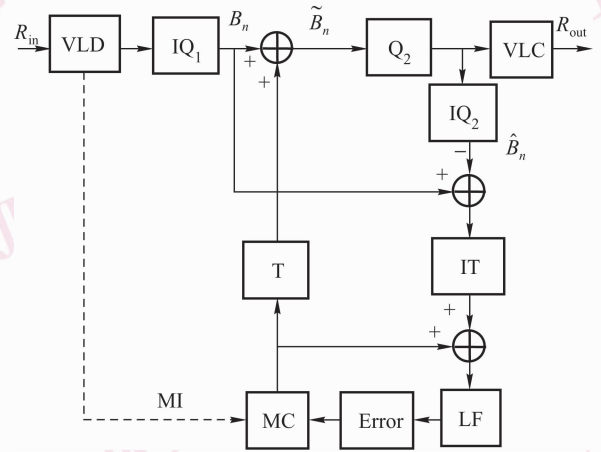


图 3 快速像素域串联视频转码器

Fig. 3 Architecture of fast cascaded pixel domain transcoder

在上面的分析中, 对于 MC, LF, Q/IQ, T/IT 等, 均假设其为线性操作, 尽管这些假设不完全准确, 但对于 MPEG-2 等标准而言, 其带来的误差可以忽略不计^[13], 但是对于 H. 264, 这些误差却非常大。由于 FPDT 与 CPDT 相比较, 少了一次 LF 操作、一次 IT 和一次 MC 操作, 因此会带来转码误差, 同时, 由于误差累积的放大效应, 最终导致用 FPDT 转码所得的转码图像质量远低于用 CPDT 转码所得的转码图像质量, 这种差别对 Intra 帧尤其明显。

Damien 等人分别用全解全编结构 (full decode and re-encode, FDR)^[10]、CPDT 和 FPDT 对同一组合视频序列进行转码, 得出了如下结论: 用 FDR 和 CPDT 对视频序列进行转码, 所得到的转码图像质量差别很小, 用 FPDT 所得到的转码图像质量最差, 尤其对 Intra 帧, 转码后图像的峰值信噪比 (PSNR) 与转码前相比下降了很多, 并且转码后的视频质量波动很大。受 Intra 帧的影响, Inter 帧的 PSNR 值也降低了很多, 但是相对 Intra 帧而言, Inter 帧的转码质量波动不大。

为了保证 Intra 帧的转码质量, 同时提高转码速度, 本文提出了一种混合型像素域视频转码器 (mixture pixel domain transcoder, MPDT)。MPDT 选择 CPDT 结构对 Intra 帧进行转换编码, 而选择开环结构对 Inter 帧进行转换编码, 同时对 Inter 帧进行部分误差消除操作。

3 基于 H. 264 的混合型视频转码结构

对于 H. 264 视频码流,存在 3 种不同类型的视频帧,即 I 帧、P 帧和 B 帧。在 MPDT 结构中,先选择用 CPDT 结构对 Intra 帧进行转换编码,转码后可以得到无误差的 Intra 帧;然后选用开环结构对 Inter 帧进行转换编码,由于开环结构会带来漂移误差,所以必须对误差进行补偿,补偿方法为:对于 P 帧,它既参考了前面的 I 帧或者 P 帧,又将会作为后续的 P 帧或者 B 帧的参考帧,因此其必须进行误差补偿和误差累积操作;对于 B 帧,它不会作为后续帧的参考帧,由于它不可能传递漂移误差,所以无需进行误差累积操作,但是由于 B 帧参考了前面的 I 帧或者 P 帧,因此需要进行误差补偿操作。不过,因为 B 帧的漂移误差来自邻近的 P 帧,而且 P 帧都进行了误差补偿,所以如果 B 帧不进行误差补偿,则其转码后的图像质量损失不会很大。因此在本文提出的转码器结构中,B 帧将不进行误差补偿。

本文提出的 MPDT 转码器结构如图 4 所示。转码器按照如下方式进行操作:

(1) I 帧 在 MPDT 结构中,选择用 CPDT 结构对 Intra 帧进行转换编码,此时开关 SW_2 打开,开关 SW_1 , SW_3 和 SW_4 闭合,执行过程为:先对输入的源数据进行解码操作,并将所得解码结果放入 F_{n-1} 中,作为后续宏块的参考值;然后对于帧内预测宏块,由于其参考宏块的像素值在转码前后会存在漂移误差,所以要对 B_n 进行误差补偿操作,即 $B_n + T(MC(F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1}))$ (参考式(5)),所得补偿结果 \tilde{B}_n 经过 Q_2/IQ_2 及 IT 等操作后,放入 \tilde{F}_{n-1} 中,作为后续宏块的参考值;最后,还要计算该类型宏块转码前后像素的差值 $F_{n-1} - \tilde{F}_{n-1}$,并将其存放在 Error 缓冲区中,作为后续宏块进行误差补偿的参考值。通过这种方式进行转码,就可以得到无误差的 Intra 转码帧。I 帧转码结束后,需将 Error 缓冲区清空。

(2) P 帧 在用 MPDT 转码时,选择用开环结构对 Intra 帧进行转换编码操作。因为 P 帧将是后续帧的参考帧,所以 P 帧转码需要进行误差累积操作;又因为 P 帧参考了前面紧邻的非 B 帧(I 帧或者 P 帧),所以 P 帧在转码时,需要进行误差补偿。此时开关 SW_1 打开,开关 SW_2 , SW_3 和 SW_4 闭合,执行过程为:对经过反量化后的数据,一方面通过误差补偿操作来得到 \tilde{B}_n ;另一方面与经过 Q_2/IQ_2 操作后

的 \hat{B}_n 进行减法操作,再将所得结果经过 IT 操作,与 Error 缓冲区中所积累的参考帧误差相加,即得到当前转码宏块的漂移误差,并将其结果存入 Error 缓冲区中,作为后续宏块的误差补偿值。

(3) B 帧 尽管 B 帧参考了前面紧邻的 I 帧或者 P 帧,但是由于 B 帧不作为后续帧的参考帧,所以即使 B 帧不进行误差补偿,其漂移误差也不会影响其他视频帧;并且,由于对 B 帧的参考帧进行了误差补偿操作,即使对 B 帧不进行误差补偿,其转码后的图像质量损失也不会很大。故对 B 帧进行转码操作时,开关 SW_1 , SW_2 , SW_3 和 SW_4 均打开。

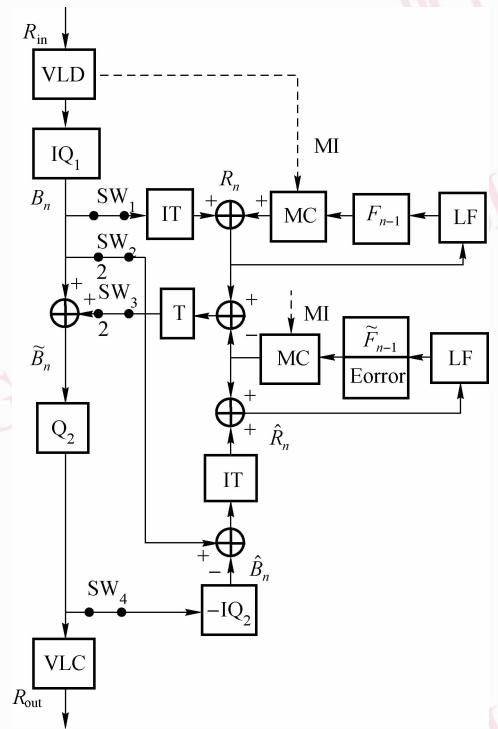


图 4 混合型像素域视频转码器结构

Fig. 4 Architecture of mixture pixel domain transcoder

为了尽可能获得高质量的转码图像,可以在码率控制的基础上,选择合适的二次量化参数,以便保证在降低码率的同时,获得较好的转码图像质量。关于码率控制及二次量化参数的选取,可以参考文献[14]、[15]。

4 实验结果及分析

要验证视频转码方法的有效性,需要从转码速度以及转码后的图像质量两方面来进行比较。为此,分别对 3 种不同结构的视频转码器,即 CPDT, FPDT 以及本文提出的 MPDT 进行了实验。实验中

所用的硬件平台是 P4 2.4G CPU,256MB 的内存,软件环境为 Windows XP,Visual c ++ 6.0, JM10.0^[16]。实验中采用了 News,Stefan 和 Football 3 组视频测试序列,其中 News 和 Stefan 的格式为 CIF 格式, Football 的格式为 QCIF 格式。3 组视频序列的长度均为 90 帧,帧率为 30 fps,帧顺序为 IBPBP...IBPBP...且每隔 30 帧为一个 Intra 帧。

实验时,首先用 JM10.0 软件对 News,Stefan 和 Football 视频序列进行编码,分别生成 8 Mbps,10 Mbps 和 6 Mbps 的 H.264 视频流,它们是实验中使用的原始视频流。在转码实验中,每段视频流都将进行 5 次不同的转码,每次转码都采用固定的量化参数(QP)(其中 News 和 Stefan 序列采用的 QP 值分别是 24,26,28,30 和 32;而 Football 序列所用的 QP 值分别是 20,22,24,26 和 28)。表 1~表 3 给出了转码后视频图像的平均 PSNR 值、转码时间以及 PSNR 值和时间提高和下降的平均百分比,用率失真(rate-distortion, RD)曲线表示的转码质量如图 5~图 7 所示。为了公平起见,在用 CPDT 和 FPDT 转码中,B 帧都没有进行误差补偿。

表 1 News 视频序列用不同转码器所得转码结果比较

Tab.1 Performance comparison of different transcoders for News sequence

QP 值	转码器	比特率(Mbps)	PSNR 值(dB)	时间(s)
	CPDT	6.216	39.627	3.249
24	FPDT	5.866	35.043	2.437
	MPDT	6.011	38.989	2.462
	CPDT	4.485	38.893	3.023
26	FPDT	4.343	33.609	2.267
	MPDT	4.423	38.254	2.288
	CPDT	3.183	37.731	2.862
28	FPDT	2.984	31.922	2.198
	MPDT	3.116	36.783	2.216
	CPDT	2.266	36.437	2.715
30	FPDT	2.071	30.089	2.036
	MPDT	2.104	35.082	2.055
	CPDT	1.796	35.169	2.534
32	FPDT	1.437	26.906	1.901
	MPDT	1.585	33.278	1.918
	平均增减比率(CPDT-MPDT)(%)		3.085	26.495
平均增减比率(MPDT-FPDT)(%)		13.772	0.911	

表 2 Stefan 视频序列用不同转码器所得转码结果比较

Tab.2 Performance comparison of different transcoders for Stefan sequence

QP 值	转码器	比特率(Mbps)	PSNR 值(dB)	时间(s)
24	CPDT	7.363	35.021	3.819
	FPDT	6.912	29.816	2.864
	MPDT	7.179	33.975	2.892
26	CPDT	5.485	34.382	3.651
	FPDT	5.402	28.718	2.738
	MPDT	5.431	33.082	2.765
28	CPDT	3.923	32.881	3.582
	FPDT	3.799	26.307	2.694
	MPDT	3.882	31.414	2.714
30	CPDT	2.821	31.449	3.307
	FPDT	2.764	23.792	2.480
	MPDT	2.709	29.509	2.505
32	CPDT	2.432	30.846	3.214
	FPDT	2.279	22.365	2.411
	MPDT	2.348	28.672	2.435
平均增减比率(CPDT-MPDT)(%)		-5.167	-24.017	
平均增减比率(MPDT-FPDT)(%)		16.612	0.933	

表 3 Football 视频序列用不同转码器所得转码结果比较

Tab.3 Performance comparison of different transcoders for Football sequence

QP 值	转码器	比特率(Mbps)	PSNR 值(dB)	时间(s)
	CPDT	4.849	39.827	2.195
24	FPDT	4.602	32.528	1.646
	MPDT	4.757	38.018	1.670
	CPDT	3.262	38.901	2.084
26	FPDT	3.043	30.721	1.582
	MPDT	3.212	37.095	1.597
	CPDT	1.735	36.182	1.908
28	FPDT	1.421	27.211	1.412
	MPDT	1.684	34.127	1.566
	CPDT	1.074	33.284	1.743
30	FPDT	0.704	23.035	1.326
	MPDT	0.987	30.482	1.339
	CPDT	0.678	30.615	1.667
32	FPDT	0.432	19.544	1.347
	MPDT	0.573	27.706	1.354
	平均增减比率(CPDT-MPDT)(%)		-7.068	-23.412
平均增减比率(MPDT-FPDT)(%)		24.156	1.047	

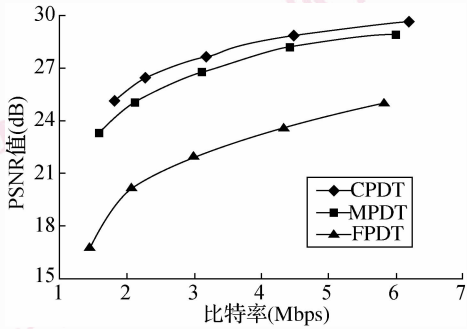


图 5 News 视频序列用不同转码器所得 RD 结果比较

Fig. 5 Comparison of RD performance for different transcoder on News sequence

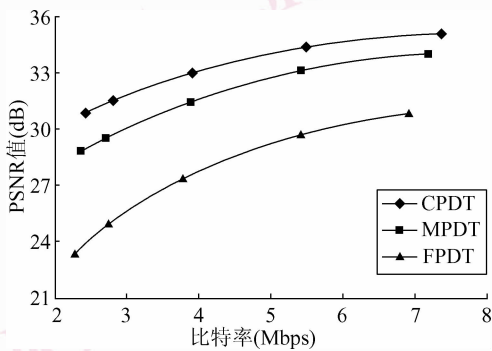


图 6 Stefan 视频序列用不同转码器所得 RD 结果比较

Fig. 6 Comparison of RD performance for different transcoder on Stefan sequence

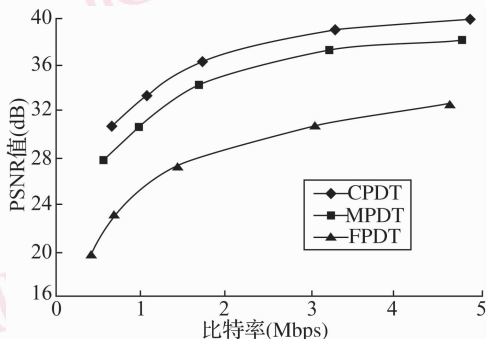


图 7 Football 视频序列用不同转码器所得 RD 结果比较

Fig. 7 Comparison of RD performance for different transcoder on Football sequence

从表 1 ~ 表 3 可以看出,随着 QP 值的增加,可使转码输出比特率降低,同时也使转码后所得到的图像质量下降,转码所花时间减少。这是因为当 QP

值变大时,越来越多的整数变换系数量化后的结果落入零量化区域,致使输出比特率降低,但是由于量化过程带入的量化误差会增加,所以转码图像质量下降。同时,随着零系数的增加,使 VLD, IQ 及 IT 变换的处理时间降低,转码所花时间减少。同时,从表 1 ~ 表 3 所列的转码时间值可以看出,MPDT 比 CPDT 平均节约了约 24% 的时间,比 FPDT 平均多花约 1% 的时间,即 MPDT 在转码速度上远远超过了 CPDT,略微低于 FPDT。表 4 和表 5 给出了 News 视频序列,当第 2 次的 QP 值等于 28 时,用 CPDT 和 FPDT 进行转码时各个模块所占的时间开销。

从表 4 和 5 可以看出,FPDT 与 CPDT 相比,节约了 25% 左右的时间,这一点与本文实验结果相符合。FPDT 与 CPDT 相比较,转码速度提高的主要原因是由于省略了一次 IT 操作、一次 MC 操作和一次 LF 操作的缘故。对于 MPDT,由于其对 Inter 帧采用的是 FPDT 转码结构,所以在对 Inter 帧进行转码操作时,可以节约 25% 左右的时间,尽管 MPDT 对 Intra 帧采用的是 CPDT 转码结构,但是由于视频序列中 Intra 帧数目较少(只占整个视频序列的 1/30),所以 MPDT 的转码速度与 FPDT 的转码速度接近,而远远高于 CPDT。

图 5 ~ 图 7 给出了用不同方法进行转码时,转码结果的 PSNR 比较。从图 5 ~ 图 7 可以看出,MPDT 转码得到的图像质量略微低于 CPDT 的转码结果,但是远远高于 FPDT,因为 MPDT 对 Intra 帧进行转码是采用 CPDT 转码结构,所以 Intra 帧质量几乎没有误差,后面的 B 帧和 P 帧质量也得到相应的提高,特别是当视频序列中的场景变化较大时,MPDT 的优点尤其明显,如对 Football 视频序列,用 MPDT 进行转码所得到的视频帧的 PSNR 值比 FPDT 的转码结果增加了近 9 dB。

表 4 CPDT 结构中各个模块所占的时间开销
Tab. 4 Time consumer for every model in CPDT

模 块	占用时间 (ms)	所占比例 (%)
变换、量化	3.74	11.76
反量化、反变换	7.72	24.27
编码 (UVLC)	3.60	11.32
环路滤波	10.92	34.34
其他	5.82	18.31

表 5 FPDT 结构中各个模块所占的时间开销
Tab. 5 Time consumer for every model in FPDT

模 块	占用时间 (ms)	所占比例 (%)
变换、量化	3.74	15.32
反量化、反变换	5.80	23.75
编码 (UVLC)	3.60	14.74
环路滤波	5.46	22.36
其他	5.82	23.83

5 结 论

在研究码率缩减的视频转码技术时,大多选用串联和开环两种转码结构,它们在转码速度和转码后的图像质量上各有优缺点。本文提出了一种混合型的视频转码结构,在转码速度和转码后图像质量两者间有了更好的折中。用该转码器转码时,首先,选择串联结构对 Intra 帧进行转换编码,并选择开环结构对 Inter 帧进行转换编码,同时对 Inter 帧进行部分误差消除操作。这样,进行转换编码操作后,就可以得到无误差的 Intra 帧;对于 Inter 帧,转码后的图像质量的损失虽大于串联结构转码器所得转码结果,但是因为进行了消除误差漂移的操作,这一损失可以控制在可接受的最小范围之内。实验结果表明,混合型的视频转码器能够以跟传统开环结构转码器差不多的速度进行转码,而且转码后的图像质量远好于开环结构的转码结果,且较串联结构的转码结果最多不到 1 dB 的下降。此外,如果有选择地设定再量化参数,则能调整转码后的图像质量,这就使得本文提出的视频转码器能够更好地应用在更多的场合和领域。

下一步的研究方向是实现 DCT 域的转码,以进一步减少转换编码的复杂度。

参考文献 (References)

- Vetro Anthony, Christopoulos Chailaos, Sun Hui-fang. Video transcoding architectures and techniques: An overview [J]. IEEE Signal Processing, 2003, 10(8): 18-29.
- Xin Jun, Lin Chia-wen, Sun Ming-ting. Digital video transcoding [J]. Proceedings of the IEEE (Advances in Video Coding and Delivery), 2005, 93(1): 84-97.

- Ahmad I, Wei X, Sun Y, et al. Video transcoding: An overview of various techniques and research issues [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005, 7(5): 793-804.
- Sun H, Kwok W, Zdepski J W. Architectures for MPEG compressed bit stream Scaling [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(2): 191-199.
- Yuan Lu-jun, Gao Wen. Study and Application for Video Transcoding Technology [D]. Beijing, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, April, 2005. [袁禄军, 高文. 视频转码技术的研究及应用 [D]. 北京, 中国科学院计算技术研究所, 2005 年 4 月.]
- Yin P, Vetro A, Liu B, et al. Drift compensation for reduced spatial resolution transcoding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(11): 1009-1020.
- Xiao You-neng, Xue Xiang-yang, Zeng Wei. An overview of video transcoding technology [J]. Communication Journal, 2002, 23(8): 72-80. [肖有能, 薛向阳, 曾玮. 视频转码技术回顾 [J]. 通信学报, 2002, 23(8): 72-80.]
- Nakajima Y, Hori H, Kanoh T. Rate conversion of MPEG coded video by re-quantization process [A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing [C], Washington, DC, USA, 1995, 3: 408-411.
- Lei Zhi-jun, Georganas N. Video Transcoding Techniques for Wireless Video Communications [D]. University of Ottawa, Ottawa, Canada, 2004.
- Lefol Damien, Bull Dave, Canagarajah Nishan. Performance evaluation of transcoding algorithms for H. 264 [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2006, 52(1): 215-222.
- Liu Feng. Video Codec Technology and Standard [M]. Beijing: Publication of Beijing Post and Electrical Communication, July, 2005. [刘峰. 视频图像编码技术及国际标准 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005 年 7 月.]
- Joint Video Team of ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16/Q. 6. Draft ITU-T Recommendation H. 264 and Final Draft International Standard 14496-10 Advanced Video Coding [S]. Geneva, Switzerland, May 2003.
- Youn J, Sun M T, Xin J. Video transcoder architectures for bit rate scaling of H. 263 bit streams [J]. ACM Multimedia, 1999, 16(144): 377-383.
- Shen Bo. Perfect requantization for video transcoding [J]. Multimedia Tools and Application, 2007, 35(2): 163-173.
- Shen Bo. Optimal requantization-based rate adaptation for H. 264 [A]. In: Proceedings of International Conference on Multimedia and Expo [C], Toronto, Canada, 2006: 317-320.
- Joint Video Team (JVT) of ISO / ICE MPEG and ITU-TVCEG. JVT Reference Software Version JM10.0 [EB/OL]. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/>.