

适于可伸缩视频编码的 DCT 核空间采样方法^{*})

苏曙光 余胜生 周敬利

(华中科技大学计算机学院 武汉 430074)

摘要 本文主要研究 MPEG 和 ITU 最新提出的可伸缩视频编码(SVC)草案中的空间可伸缩编码,提出一个新的基于 DCT 核的空间上/下采样方法。从计算复杂性、频率响应、实验数据方面与 SVC 的参考采样方法相比,该方法能有效改善空间可伸缩性能,而且 PSNR 提高 1~3dB。

关键词 可伸缩视频编码,空间可伸缩,DCT

A Spatial Sampling Method Based on DCT Applying to Scalable Video Coding

SU Shu-Guang YU Sheng-Sheng ZHOU Jing-Li

(Computer College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract The paper proposes for Scalable Video Coding (SVC) a new sampling method based on DCT. The method can improve the performance of spatial scalability and the PSNR by 1~3 dB compared with standard method of SVC.

Keywords Scalable video coding, Spatial scalability, DCT

1 SVC 和它的空间采样过滤器

2005 年 4 月第 72 届 MPEG 会议上,由 MPEG 和 ITU-U 联合组成的 JVT(Join Video Team)继 H. 264/AVC 的成功之作之后,继续起草了可伸缩视频编码(Scalable Video Coding, SVC)标准的草案。SVC 主要包括编码的时间伸缩,空间伸缩,质量伸缩等核心部分,其验证模型(SVC Verify Model, SVM)已经部分实现了该草案。

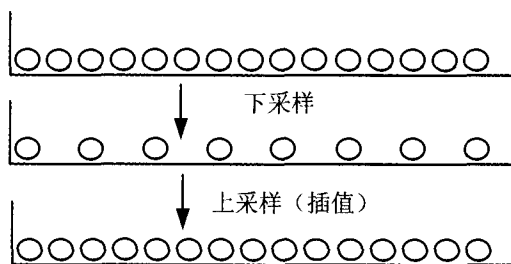


图 1 一维信号下采样和上采样

空间伸缩性简单而言就是改变视频的空间分辨率。图 1 显示了一维信号先被下采样然后被上采样(插值)近似回复的过程。基本层的分辨率最低(例如 QCIF),增强层的分辨较高(例如 CIF)。在 SVM 中,分别用固定的 13 阶线性过滤器(式 1)和 6 阶过滤器(式 2)对视频图像进行空间进行下采样和上采样,以实现空间可伸缩性。

$$F_{uu} = [2, 0, -4, -3, 5, 19, 26, 19, 5, -3, -4, 0, 2] \quad (1)$$

$$F_{down} = [1, -5, 20, 20, -5, 1] \quad (2)$$

2 基于 DCT 核的空间采样过滤器

从本质而言,分辨率的变换是一个上/下采样的过程。因此采样过滤器的好坏对空间伸缩的性能和 PSNR 影响很大,空间可伸缩视频编码的率失真性能直接依赖编码端和解码端

的上/下采样方法。针对 SVM 提供的参考采样方案,本文提出一种基于 DCT 核的新采样方案。由于 DCT 变换和最优 KL 变换相近,故在图像压缩中常用。该方案是前向 DCT 和后向 DCT 的有效结合。DCT 变换的定义如下:

$$DCT(k) = s(k) \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{\pi k(2n+1)}{2N}\right) \quad (3)$$

$$\text{其中 } s(0) = \frac{1}{\sqrt{N}}, s(k) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{N}} (k > 1)$$

这里是输入信号, N 是输入信号的采样长度。

对长度为 N 的一维信号进行下采样,其过程如下:先执行前向 DCT,并提取其 $N/2$ 个低频采样值。然后在低频采样值上执行后向 DCT,最终获取 $N/2$ 个下采样的信号值。

对图像二维信号而言,下采样过滤器是个二维的矩阵,定义如下:

$$DCTd(n1, n2) = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} p(k) \cdot \cos\left(\frac{\pi k(2n2+1)}{2N}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi k(2n1+1)}{N}\right) \quad (4)$$

$$\text{其中 } p(0) = \frac{1}{N}, p(k) = \frac{2}{N}, 1 \leq k, n1 \leq \frac{N}{2} - 1, 0 \leq n2 \leq N - 1$$

$DCTd(n1, n2)$ 是 DCT 下采样矩阵,它是个 $N/2 \times N$ 的矩阵。二维下采样可以分成 2 个一维采样过程来完成,先执行行(水平)采样,然后执行列(垂直)采样。

对一个长度为 N 的一维信号进行上采样,其过程如下:先执行前向 DCT,并在高频区域扩展 N 个 0。然后对 $2N$ 个频域信号执行后向 DCT,最终获取扩展一倍的上采样插值的信号。

对图像二维信号而言,上采样过滤器也是个二维矩阵式:

$$DCTu(n1, n2) = \sum_{k=0}^{N-1} p(k) \cdot \cos\left(\frac{\pi k(2n2+1)}{2N}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi k(2n1+1)}{4N}\right) \quad (5)$$

^{*}) 国家高技术研究发展计划(863 计划)2002AA11901010。苏曙光 博士生,研究方向:计算机网络技术, MPEG-4, H. 264 视频编解码和图像处理;余胜生 教授,博士生导师,研究方向:计算机网络、存储系统及结构、多媒体技术;周敬利 教授,博士生导师,研究方向:多媒体网络及传输、网络存储技术及系统、计算机高速接口通信技术。

其中 $p(0) = \frac{1}{N}, p(k) = \frac{2}{N}, 1 \leq k, n_2 \leq N-1, 0 \leq n_1 \leq 2N-1$

$DCTu(n_1, n_2)$ 是 DCT 上采样矩阵, 是个 $2N \times N$ 矩阵。二维上采样也可以分成 2 个一维上采样过程来完成, 先执行列(垂直)采样, 然后执行行(水平)采样。

尽管上/下采样的核来自 DCT 浮点运算, 但是它们也能够用 16 位整数操作来实现。尽管下采样矩阵的大小和上采样矩阵的大小不一样, 但是它们的计算过程是一样的, 因而它们的计算复杂性也是一样的。表 1 显示了 SVM 和 DCT 核的上/下采样方法的复杂性, 表中加法的数目包含最后四舍五入操作的数目。

表 1 SVM 和 DCT 核两种方法的复杂性

每像素	乘法	加法
SVM	1.5	4.5
DCT 核	2.34	8.66

从表 1 中可以看出, 基于 DCT 核的计算复杂性要高于 SVM 的参考方法, 前者大约为后者的 1.6 倍。尽管复杂性有所增加, 但是还是在同一个数量级上, 而且加上编译器的优化, 硬件速度的提高, 这个差异基本上可以接受。

3 DCT 核和 SVM 采样过滤器的频率特性

文中提出的上/下采样过滤器是通过逐块逐块的方式执行的。因此可以使用多率滤波器组来获取本文提出方法的频响特性。图 2 显示了 DCT 核上采样过滤器和 SVM 上采样过滤器的频响特性。图 2 中 DCT 核上采样 ($N=8$) 在 $\omega\pi/2$ 处有一个狭窄的过渡(transition)区域。如果我们使用更大的 N 值, 尽管计算复杂性提高了, 但是其频率响应特性还能够得到进一步改善。

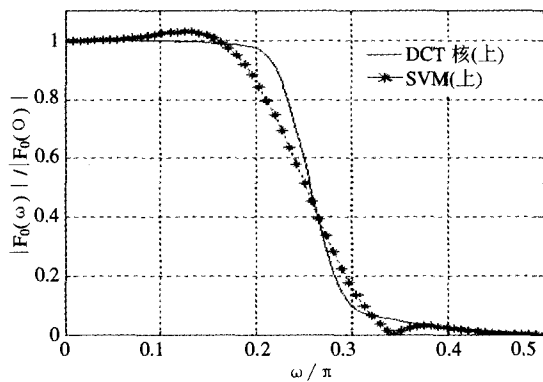


图 2 DCT 核和 SVM 上采样过滤器频响特性

4 DCT 核上/下采样的试验结果

在 SVM 中我们实现了本文的上/下采样方法。为了公平对比, 试验中 DCT 核被转换到 16 位整数类型。使用 City 和 Harbour 2 个 704×576 (4CIF) 视频序列, 帧率 30Hz。使用 SVM 和 DCT 核的方法分别下采样到 352×288 (CIF) 作为基本层编码, 然后再分别使用该方法上采样到 4CIF 作为增强层编码。尽管 SVC 中并没有实现码率控制, 但是我们还是试着在基本层设置几乎相同的码率。GOP 长度为 1, 所有的帧编码为帧内帧。为了满足基本层同样码率的试验条件, 两种采样方法的 QP 设置如表 2。表 2 中(高)、(中)表示基本层高码率和低码率的情形。

表 2 SVM 和 DCT 核两种方法的基本层 QP 设置

视频序列	DCT 核 (QP)	SVM (QP)
City (高码率)	2	0
City (中码率)	23	21
Harbour (高码率)	3	0
Harbour (中码率)	21.5	20

图 3 和图 4 显示高码率情形下基本层使用两种采样方法的(码率-PSNR)曲线。图 2 中“DCT 核”代表用 DCT 核分别进行下采样和上采样; “SVM”代表用 SVM 参考方法分别进行下采样和上采样。

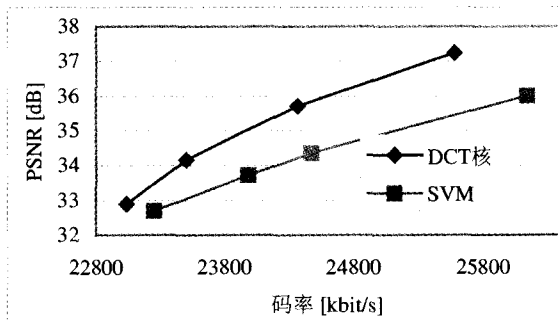


图 3 高码率时“码率-PSNR”曲线(City@30Hz)

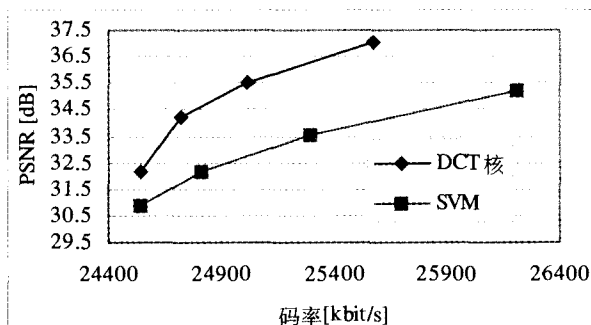


图 4 高码率时“码率-PSNR”曲线(Harbor@30Hz)

从图 3 和 4 可以看到, DCT 核采样过滤器的性能要优于 SVM 方法。PSNR 的提高最大达到 1~3dB。

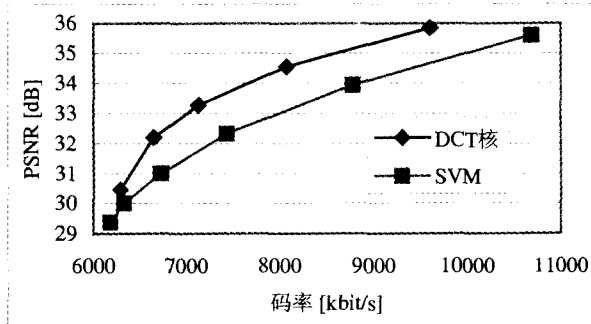


图 5 中码率时“码率-PSNR”曲线(City@30Hz)

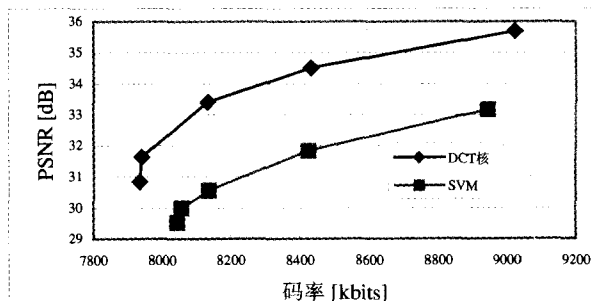


图 6 中码率时“码率-PSNR”曲线(Harbor@30Hz)

图 5 和 6 显示中码率情形下基本层使用两种采样方法的(码率-PSNR)曲线。图 5 和 6 中“DCT 核”代表用 DCT 核分别进行下采样和上采样;“SVM”代表用 SVM 参考方法分别进行下采样和上采样。

从图 5 和 6 可以看到,在中码率情形下,基于 DCT 核的采样过滤器的性能仍然要优于 SVM 方法。PSNR 的提高是 1.5dB(City)和 2.5dB (Harbour)。

结论 本文提出了一种用于改善 SVC 空间伸缩性的基于 DCT 核的上/下采样过滤器。试验表明,尽管该方法较 SVM 参考方法的计算复杂性略有增加,但是其低频响应特性和码率-PSNR 性能都得到了较大的改善,有助于实现更好的 SVC 空间伸缩性。

参考文献

- 1 Reichel J, Wien M, Schwarz H. Scalable Video Model 3.0, ISO/IEC JTC1/ SC29/ WG11 N6716, Oct. 2004
- 2 SVM 3.0 Software. ISO/IEC JTC1/ SC29/ WG11 N6717, Oct. 2004.
- 3 Benzler U. Spatial scalable video coding using a combined subband-DCT approach. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technology, 2000, 10(10): 1080~1087
- 4 Mokry R, Anastassiou D. Minimal error drift in frequency scalability for motion-compensated DCT coding. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Tech., 1994, 4(10): 392~406

(上接第 41 页)

户机来对外发出请求,同时记录了每个路由节点的负载状态。

其次,通过使用 Web Application Stress 工具,使用 5 台客

表 1 采用均衡策略下的路由节点负载状况

Parameters IP	Sampling time	System flow	CPU Utilization	Memory used Whole memory
192.168.1.1	10:58am	7kbps	10%	16952k/255272k
	11:00am	8kbps	12%	17203k/255272k
192.168.1.2	10:58am	5kbps	9%	15802k/255272k
	11:00am	7kbps	8%	16001k/255272k
192.168.1.3	10:58am	9kbps	10%	17129k/255272k
	11:00am	8kbps	13%	17618k/255272k

表 1 是在 10:58am 和 11:00am 两次从 3 个路由节点上进行采样的数据。3 台路由节点采用同样的硬件配置,所以根据负载均衡算法,3 个节点的负载情况应该相似。而上述表格中的试验结果证明了上述的观点。

较,我们记录了未采用负载均衡算法的路由节点 192.168.1.1 的状态。从表 2 和表 1 可以看出,通过使用负载均衡算法,CPU 的平均占用率从 18% 降至 12%。所以,我们的负载均衡算法可以有效的降低单个节点上负载。

进一步,为了对采用和未采用负载均衡算法的情况做比

表 2 未采用均衡策略下的路由节点负载状况

Parameters IP	Sampling time	System flow	CPU Utilization	Memory used Whole memory
192.168.1.1	11:20am	12kbps	19%	20142k/255272k
	11:22am	10kbps	17%	19248k/255272k

对客户机而言,服务质量也得到了改善。表 3 中,TTFB 表示客户机收到第一个字节的时间。TTLB 表示客户机收到最后一个字节的时间。

表 3 WAS 客户机数据

Parameters State	TTEB		Avg	
	Client A	Client A	Client A	Client A
With balance	428.31ms	389.42ms	477.31ms	355.7ms
Without balance	793.55ms	578.33ms	956.12ms	763.13ms

从表 3 可以看出,通过使用我们的算法,客户机的 TTFB 和 TTLB 都减少了,这表明客户机将得到更短的响应时间。

结论 通过使用分布式结构,路由器可以提供并行处理的能力,避免了单点故障。在 DR 中,负载均衡分配。结合心跳和检测点的故障检测机制,我们提供了一个新型的分布式路由器。仿真试验结果证明该模型的可行性。

参考文献

- 1 Shfaq A, Arif G. Semi-distributed load balancing for massively

- parallel multicomputer systems. IEEE Transactions on Software Engineering, 1991, 17(10): 987~1004
- 2 Baumgartner K M, Wah B W, Gammon: a load balancing strategy local computer systems with multi-access networks. IEEE Transactions on Computers, 1989, 38(8): 1098~1109
- 3 Hac A. Load balancing in distributed systems; A summary. Performance Evaluation Review, 1989, 16(2-4): 17~19
- 4 Ferguson D, Yemini Y, Nikolaou C. Microeconomic algorithms for load balancing in distributed computer systems. In: Proc. of the 8th Int'l Conf. on Distributed Computing Systems, 1988. 491~499
- 5 Plank J S, Li K, Puening M A. Diskless Checkpointings. IEEE Trans. Parallel and Distributed System, ~9(10)
- 6 Banerjee P, Abraham J A. Fault-secure algorithms for multiple processor systems. In: Proc. of the 11th Int'l Symp on Computer Architecture, 1984. 279~287
- 7 Edmonds J, Karp R M. Theoretical improvements in algorithmic efficiency for network flow algorithms. Journal of the ACM, 1972, 19(2): 248~264