

# 基于 H. 264 的多模式自适应环路滤波算法<sup>\*</sup>

路文 高新波 曾凯 邓勤耕

(西安电子科技大学工程学院 西安 710071)

**摘要** 传统基于块的视频编码系统在码率相对较低的视频编码时总会产生块效应现象。本文在详细分析了 H. 264 环路滤波的基础之上,提出了一种基于多模式的快速环路滤波算法。该算法根据 H. 264 中特有的编码信息,将图像块边界分为五种不同的滤波模式,针对每种模式的特点采用相应的滤波技术,并且利用图像的空间相关性提出了一种快速的边缘强度判别方法。实验结果表明,该算法降低了滤波过程的复杂度,在保持图像客观质量不变或略有降低的同时更好地降低了块效应,大大提高了图像的主观质量。

**关键词** H. 264, 去块滤波, 边缘强度

## H. 264-based Adaptive In-loop Filter Algorithm with Multi-modes

LU Wen GAO Xin-bo ZENG Kai DENG Qin-geng

(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract** Traditional block-based video coders suffer from annoying blocking artifacts when they are applied in low bit-rate coding cases. Based on the particular analysis of H. 264 in-loop filter, a fast in-loop filter algorithm with multi-modes is proposed in this paper. According to the peculiar coding information in H. 264, block boundaries are divided into five filter modes and a corresponding filter technology is adopted for every mode. A fast boundary strength judgment adequately exploiting the spatial correlation in an image is proposed. Experimental results show that the proposed method reduces the complexity of filter, removes more blocking artifacts in condition of maintaining the objective image quality, and greatly improves the subjective image quality.

**Keywords** H. 264, Deblocking filter, Boundary strength

## 1 引言

H. 264 是 ITU-T 与 ISO/IEC 联合开发的以高效的压缩性能和优良的网络亲和性为目标的新一代视频压缩标准<sup>[1]</sup>。它与现今国际上大多数的视频压缩标准一样,例如 H. 261, H. 263, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, 都是采用基于块的离散余弦变换与量化相结合的混合编码技术。基于分块的离散余弦变换具有压缩率高,计算复杂度低,易于实现等优点,但是在低码率的情况下,重构的图像中会出现严重的块效应现象,且比特率越低时块效应越严重,图像的视觉效果也就越差。由于带宽的限制,现今低码率视频传输仍占有相当大的比重,且作为视频终端的接受者,人们更加注重图像的主观感受。在低码率的情况下,低码率和块效应之间存在着比较突出的矛盾,因此,为了改善视频编码图像的质量必须解决低码率下的块效应现象。

视频编码中去块效应的方法主要分成两类:后滤波和环路滤波。后滤波独立于编解码的核心部分,只对图像的显示结果进行处理;而环路滤波被嵌入到编码环和解码环之中,用于对重构帧进行滤波。由于环路滤波器相对于后处理滤波器具有保证解码端接收的编码图像有一定的质量水平、无需为重构帧开辟额外的缓存空间、提高预测精度和降低解码端复杂度等优点,其也因此成为当前研究的热点。H. 264 是第一个将环路去块滤波作为协议一部分的视频压缩标准<sup>[2]</sup>,这也

是 H. 264 之所以在相对码率较低的情况下能获得如此之高的压缩性能的一个很重要的原因。

H. 264 的环路去块滤波是通过滤波强度和编码模式之间的相关性进行选择性的滤波的。使用滤波后的帧做参考,虚假的块边界将不会被累积到后面的帧中,后续帧不需要对这些并不存在的高频分量进行补偿和编码。如此一来便提高了预测效果,同时也降低了后续帧的编码比特率。但是如果当前帧的客观质量不好则这种误差是会经过运动补偿传递给下一帧,造成误差累积,这样对于视频的压缩性能和最终视频图像的主观质量都有很大的影响,所以需要在滤波后主观视觉效果和对后续帧的预测效果上进行一个优化选择。

鉴于此,本文在详细分析了 H. 264 环路滤波的基础之上,针对 H. 264 中模式划分的问题,提出了一种基于模式选择的环路滤波算法,根据滤波模式自适应地选择编码器偏移量,并且利用图像的空间相关性对边界强度进行快速判别。本算法在降低滤波过程复杂度的同时有效地去除了块效应,大大提高了图像的主观质量。

## 2 H. 264 标准中的去块滤波系统

H. 264 标准针对人眼生理视觉特性以及由于分块细小造成宏块内部也存在着块效应的现象,引入了环路去块滤波的概念。环路去块滤波主要有两个目的:提高预测效果和提高主观效果。H. 264 标准中的整数变换是基于  $4 \times 4$  大小的

<sup>\*</sup> 项目资助:新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0948);Intel 中国研究中心(ICRC)资助。路文 博士研究生,主要研究领域为视频编码和视频处理;高新波 教授,博士,主要研究领域为视频信号处理、智能信息处理和模式识别;曾凯 硕士研究生,主要研究领域为视频编码和视频处理;邓勤耕 硕士研究生,主要研究领域为视频编码和视频处理。

块,环路去块滤波系统在滤波的时候也是以  $4 \times 4$  大小的块为单元,按光栅扫描顺序对解码后的每个宏块进行滤波。在一个宏块中对块边界按先垂直后水平,先亮度后色度的顺序分别处理。

### 2.1 模式划分

H. 264 的环路去块滤波方法能够在图像块边界级、像素级、条带(slice)级对滤波器进行自适应的调节。在图像块边界级上,H. 264 的去块效应滤波系统对位于  $16 \times 16$  亮度块的每个块边界像素点都定义了一个块边缘强度(Boundary Strength)。根据表 1(设 P 块和 Q 块为相邻的  $4 \times 4$  块)从上到下依次判断,直到满足一个条件为止。其中,色度块的块边缘强度与相应的亮度块边缘强度一致。根据强度的不同,将滤波器分为两大类:BS=4 对应于强去块滤波模式,BS=1~3 对应于标准去块滤波模式。BS=0 是一个特殊类别,它表明此块的边缘不需要滤波。

表 1 滤波强度参数与编码模式的关系

图像块模式和条件	BS
P 块或 Q 块为帧内模式且其边缘为宏块边缘	4
P 块或 Q 块为帧内模式	3
P 块或 Q 块的残差变换系数不全为零	2
方块运动差值大于等于 1 个两度采样间隔	1
P 块和 Q 块的参考帧不同	1
其他	0

在像素级上,块效应的产生是由于运动补偿和量化误差造成的,但是在视频图像序列中还存在着物体的真实边界,为了区分虚假边界和真实边界,需要分析每个需要滤波的边界两边的像素值,图 1 列出了相邻 P 块和 Q 块间垂直与水平边界两边的各 4 个像素。

对于 BS 值为非 0 的边界,在 H. 264 的去块滤波中定义了一组与量化系数相关的阈值( $\alpha$  和  $\beta$ ),只有当下面 3 个式子都成立时,才对此像素级的边界进行滤波:

$$|p_0 - q_0| < \alpha (Index_A) \ \& \ |p_1 - p_0| < \beta (Index_B) \ \& \ |q_1 - q_0| < \beta (Index_B) \quad (1)$$

$\alpha$  和  $\beta$  都是由查表得来的门限参数,这个表是根据量化步长和编码器所选择的偏移量来确定的。 $\alpha$  表示块间的边界门限, $\beta$  表示块内的边界门限。

在条带(slice)级上,编码器可以选择两个偏移量( $offset_A$  和  $offset_B$ )来调节滤波器中的  $\alpha$  和  $\beta$  值,相对于 0 偏移增加或减少滤波强度。利用传递非 0 偏移控制去块滤波的性能,使编码器设计者可以优化编码的视频质量,获得比默认表(当偏移为 0 时)效果好的图像。

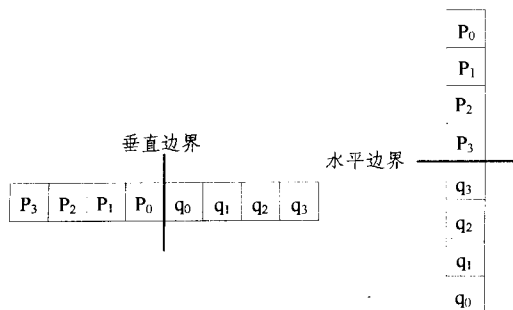


图 1 垂直和水平边界两侧的像素

### 2.2 不同模式下的滤波运算

对于 BS 不等于 0,且像素边界级自适应判断需要滤波的边界,进行滤波。根据 BS 的值,分为两种滤波方式,标准滤波模式(BS=1~3)和强滤波模式(BS=4)。

在边缘强度相对较小的情况下,BS=1~3,采用标准滤波模式,使用一个 4 抽头的线性滤波器。输入为  $p_0, p_1, q_0, q_1$ ,加权滤波修改边缘相邻的  $p_0$  和  $q_0$  值,而后根据 QP 的值再对  $p_0$  和  $q_0$  进行限幅操作。此外如果门限  $\beta$  判断出块内部存在虚假边界,则对  $p_1$  和  $q_1$  做相应的滤波调整<sup>[3]</sup>。

在块边缘强度较大的帧内编码情况下(BS=4),去块滤波系统使用强滤波模式进行处理。与边缘强度小于 3 的情况比较,强滤波时需要修改的像素值更多。根据条件和 QP 的值,采用三抽头、四抽头或者五抽头滤波器对  $p_2, p_1, p_0, q_2, q_1$  和  $q_0$  进行滤波<sup>[3]</sup>。

### 3 优化 H. 264 去块滤波的理论分析

去块滤波最重要的一个任务就是要去除图像中的块效应,以此来提高图像的主观质量。但是人眼的视觉特性<sup>[4]</sup>对平滑区域的方块效应非常敏感,而对于在图像的边缘和纹理区域的方块效应却难以觉察,且块效应的边界所处的局部背景亮度越大块效应可见度越低。因此,考虑到人眼对于块效应的掩盖性,对于去块滤波的关键在于对于不同程度的块效应采用不同的适合这种情况下的滤波策略。而 H. 264 是一个相对完善的视频编解码系统,相对于只是单一的静止图像而言,这里有很丰富的信息可以利用,如果能很好地分析这些信息对去块滤波的影响将可以最大限度地降低视频图像中的块效应现象。

以下从帧内预测编码宏块、帧间预测编码宏块、特殊块效应现象和编码器偏移量四个方面对 H. 264 的环路滤波系统分析,提出改进优化的建议。

#### a) 帧内预测编码宏块分析

帧内编码时,由于帧内预测所涉及的参考像素相对较少,产生的残差通常比帧间编码要大,并且如果当前的边界刚好又是宏块的边界时块边界的不连续性更大,所以采用最强的滤波方式,这点无可厚非,但是对于不在宏块边界的帧内宏块(BS=3)采用统一的普通滤波方式就有点不妥当。这是因为,帧内宏块预测时是分两种情况的<sup>[5]</sup>:  $4 \times 4$  的帧内预测和  $16 \times 16$  的帧内预测。 $16 \times 16$  帧内预测经常使用在比较平坦的区域,鉴于人眼对平坦的区域比较敏感,对于这种模式可以考虑使用低通性能比较强的滤波器,以产生更好的去块效果。而对于  $4 \times 4$  帧内预测经常用在相对较复杂的区域,为了保持此区域图像的细节特征,则应使用比较弱的滤波器。

#### b) 帧间预测编码宏块分析

对于帧间编码的宏块,帧间预测相对比较准确,残差较小,所以边缘强度也较小,可以采用比较弱的普通滤波。类似于帧内编码宏块的分析,在帧间宏块编码时有 7 种划分方式<sup>[5]</sup>。根据率失真优化准选择代价最小的编码模式,静止区域或运动简单的区域多采用匹配块较大的帧间模式编码,而运动复杂的区域多采用匹配块较小的帧间模式编码。同时对应不同的图像特征也应采取不同的处理方式。同样考虑到人眼的主观特性,根据 DCT 系数量化后非零系数百分比所代表的区域特征进一步区分不同特征区域的滤波程度。

#### c) 特殊块效应现象

在某些情况下,正好位于块边缘处的物体的真实边界因为块效应的影响而被加强更突出,这些加强的边缘有时会

令人眼看起来不舒服,因此在这种情况下应在保留图像边缘的基础上,削弱块效应带来的不良影响。H. 264 在滤波时只考虑到了两个块之间的边缘(包括水平和垂直的方向),但是在四个块交界处有可能会产生非水平且非垂直的不连续现象,表现在图像上就为一些不自然的亮点,因此对于四个块的交界处也应给予相应的处理。

d) 编码器偏移量分析

在 H. 264 系统编码前,对于滤波部分需要预先设定好编码器的偏移量,编码器的偏移量是用来控制滤波门限<sup>[6]</sup>。当偏移量取正值时,门限升高(进入滤波系统的像素增多),比较适用于低分辨率的平坦区域,如简单背景或人脸区域,可以移除由于亚、半像素运动估计、模式选择或冗余编码带来的块效应;当偏移量取负值时,门限相应降低(滤波像素减少),可以保持空间小细节的锐度,特别适用于高分辨率的视频内容。

4 基于多模式的快速环路滤波算法

4.1 多模式滤波

根据上一节中的有关分析,提出基于多模式的滤波算法,此算法在 H. 264 去块滤波边缘强度判别树基础之上,改进了 H. 264 去块滤波系统<sup>[7]</sup>中的一些不足之处,并加入新的判别条件,如图 2 所示(图中的虚线部分为新加入的条件):

a) 强滤波模式

P 块或 Q 块为帧内编码且其边缘为宏块边缘,对 P 块和 Q 块之间的边界进行强滤波模式,此模式与 H. 264 去块滤波系统中 BS=4 采用相同的滤波策略。

b) 中间滤波模式

针对帧内编码宏块的情况,将 16×16 大小像素的宏块与 4×4 大小像素的块分别予以处理。但如果将 16×16 的帧内预测的宏块直接归入到 BS=4 的强滤波中,又有可能过滤波导致图像变模糊,因此基于此原因引入中间模式。中间模式(BS=5)的引入是为了解决粗模式划分的问题,为了防止在平坦区域中的过模糊或者是在复杂区域中的欠滤波,中间模式在其两者之间提供了一个平衡。

对于中间模式,采用一维滤波器修改  $p_0, q_0$  的值,  $p_0$  和  $q_0$  的修改方法如下所示:

$$p'_0 = p_0 + d \tag{2}$$

$$q'_0 = q_0 + d \tag{3}$$

$$\text{其中: } d = (p_1 - 3p_0 + 3q_0 - q_1) / 8 \tag{4}$$

为了保证滤波以后保留图像细节,图像边缘细节不被破坏,需要对边缘滤波进行约束和限制。把  $d$  值约束在小于等于于某一个值的范围内。

$$d_1 = \begin{cases} d, & |d| \leq \text{Int}(QP/4 + 0.5) \\ \text{Int}(QP/4 + 0.5), & |d| > \text{Int}(QP/4 + 0.5) \end{cases} \tag{5}$$

考虑以上的约束限制,实际的滤波器改变为:

$$p'_0 = p_0 + d_1 \tag{6}$$

$$q'_0 = q_1 + d_1 \tag{7}$$

c) 标准滤波模式

考虑到人眼特性和算法复杂度的关系,在帧内编码宏块中,8×8 帧内预测模式以及其各种子模式的宏块集合多适用于运动复杂的区域,对于此情况不做滤波处理,且如果非零变换系数所占的百分比超过 50%,代表此区域的纹理非常丰富,人眼对其不太敏感,对此情况也直接跳过不做滤波处理。

为了进一步提高滤波算法的精度,对于原先边缘强度为 BS=1~3 的边界,每一种边缘强度都相应的赋予一个独立的

滤波算子。对于 BS=3 的边缘强度仍采用 H. 264 去块滤波系统中的滤波方法。

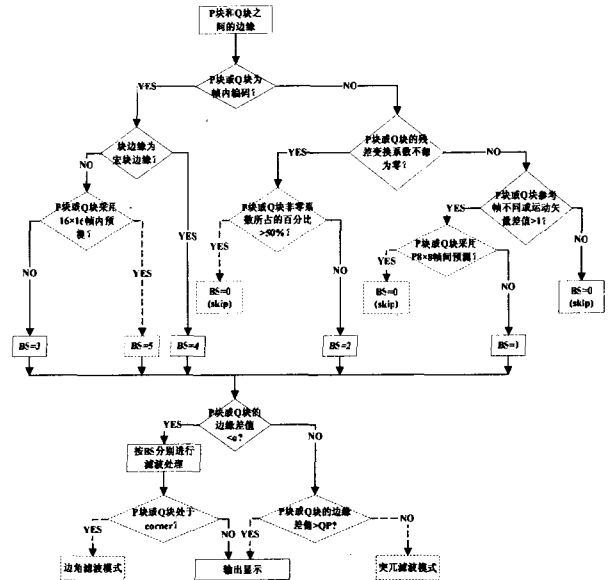


图 2 改进的去块算法流程图

针对边缘强度等级为 1 和 2 的情况,将相邻的两个像素一个减去一个小量,另一个加上一个小量,以达到平滑的效果。如表 2 所示。

表 2 边缘强度为等级 1 和 2 的滤波方法

BS=1		BS=2	
$q_0$	$\Delta = \frac{(q_0 - p_0) \times 3 + (q_1 - p_1) + 4}{8}$	$\Delta = \frac{(q_0 - p_0) \times 3 + (q_1 - p_1) + 4}{8}$	
	$q_0 - \Delta$		$q_0 - \Delta$
$q_1$	$\Delta = \frac{(q_1 - p_0) \times 3 + (p_0 - q_2) + 4}{8}$	$\Delta = \frac{(p_0 - q_1) + (p_1 - q_0) + 4}{8}$	
	$q_1 - \Delta$		$q_1 + \Delta$
$p_0$	$\Delta = \frac{(q_0 - p_0) \times 3 + (q_1 - p_1) + 4}{8}$	$\Delta = \frac{(q_0 - p_0) \times 3 + (q_1 - p_1) + 4}{8}$	
	$p_0 + \Delta$		$p_0 + \Delta$
$p_1$	$\Delta = \frac{(p_0 - p_1) \times 3 + (p_2 - q_0) + 4}{8}$	$\Delta = \frac{(p_0 - q_1) + (p_1 - q_0) + 4}{8}$	
	$p_1 + \Delta$		$p_1 - \Delta$

本算法中的标准滤波模式相比 H. 264 去块滤波系统中的标准滤波减少了滤波像素,降低了算法复杂度,且能够更好地保持图像的细节锐度。

d) 突兀滤波模式

突兀模式一个非常特殊的模式,针对图像中物体真实边界被块效应加强的现象作滤波处理,不仅可以提高图像的主观质量而且可以更进一步地滤除边界的块效应。在这种模式中包含了物体的真实边界,因此只是简单地缩小相邻像素之间的差值,滤波方式如下所示:

$$p'_0 = p_0 + (q_0 - p_0) \ggg 2 \tag{8}$$

$$q'_0 = q_0 - (q_0 - p_0) \ggg 2 \tag{9}$$

e) 边角滤波模式

对于四个块的交界处有可能产生的非垂直且非水平的块效应现象,如图 3 所示,采用方向加权滤波策略<sup>[8]</sup>,滤波方式如下:

$$\text{if } (|A - C| > QP \ \&\& \ |B - D| \leq QP)$$

if  $(|D_2+B_1|/2-A) \geq 2 \times (|B_2+D_1|/2-C)$  then  
 $A=(B+6A+D) >> 3$   
 else if  $(|B_2+D_1|/2-C) \geq 2 \times (|D_2+B_1|/2-A)$   
 then  
 $C=(B+6A+D) >> 3$   
 if  $(|B-D| > QP \& \& |A-C| \leq QP)$   
 if  $(|C_2+A_1|/2-B) \geq 2 \times (|A_2+C_1|/2-D)$  then  
 $B=(A+6B+C) >> 3$   
 else if  $(|A_2+C_1|/2-D) \geq 2 \times (|C_2+A_1|/2-B)$   
 then  
 $D=(A+6B+C) >> 3$  (10)

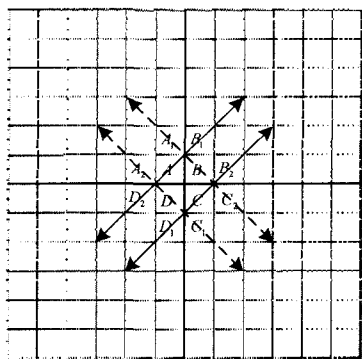


图3 A,B,C,D是在边界模式中需要滤波的像素点

#### 4.2 编码器偏移量的自适应选择

根据上一节的分析,针对不同特征的区域选择相应的编码器偏移量,根据不同的模式分析自适应选择编码器偏移量,此方法可以优化当只采用默认表(当偏移为0时)时的图像质量,有利于提高图像的主观感受度。在强滤波模式下,相对于默认表增加  $offset_A$  和  $offset_B$ ,加强滤波程度;中间模式使用默认表,保持  $offset_A$  和  $offset_B$  不变;针对标准滤波模式,为了更好地保持图像细节信息,减少编码器偏移量  $offset_A$  和  $offset_B$ 。

#### 4.3 边缘强度的快速判别法

由于属于同一区域块的相邻列或行的模式和编码条件具有极高的相关性,因此只要计算出同样相邻块内的第一列(图4中实线所示)像素点的BS,其余三列(图4中虚线所示)像素点的BS可以直接取值第一列的BS。同样地,对于宏块的垂直边界采用相同的判断方法。相比于H.264中的滤波器,边缘强度判断次数减少了接近3/4,在很大程度上降低了滤波过程的复杂度。

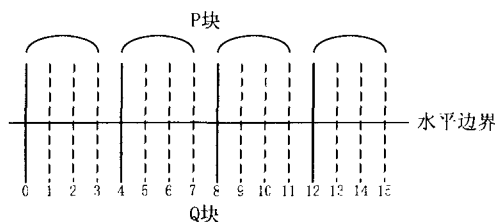


图4 水平边界滤波快速BS判别

### 5 实验结果及分析

在H.264的软件参考模型JM86平台上,将本文提出的算法与H.264标准中的环路滤波进行比较。选取标准的测

试序列作为实验数据,每个序列使用100帧,分为两个分辨率。在测试条件中,运动估计和运动补偿可以使用所有大小的块划分,不选取码率控制策略,其中利用QP来控制编码码流,QP的范围从0~51,运动向量搜索精度为1/4像素,编码视频帧结构为IPP,其他参数采用平台默认设置。

#### 5.1 评价标准

评价图像的质量通常有主观和客观两种。目前描述图像的客观质量主要还是用峰值信噪比(PSNR)这个指标,但是客观质量与真实的主观感受并不总是一致的<sup>[9]</sup>,实际上PSNR的描述具有很大的局限性。它主要体现了重建图像与原图像之间的整体差异,逐个像素考察重建图像与原图像是否相同,而消除块效应的目的并不是完全让重建图像的像素值恢复到与原图像相同,只是要让重建图像内部相邻像素间的偏移分布逼近原图像内部相邻像素间的偏移分布,消除视觉上带给人的不良感受。如果用PSNR来衡量块效应,它不能很好地反映图像处理对重建图像带来的损伤,对于块效应这种数字图像处理特有的损伤它很难描述,通常是研究人员根据个人的主观评价来确定块效应明显与否。

针对上述情况,近些年来也提出了一些专门用于衡量块效应的评价标准。例如斜率均方差<sup>[10]</sup>(MSDS; the mean squared difference of slopes),它是利用图像的均方误差来反映图像质量的好坏。Zhou wang提出了很多图像的客观评价标准,针对块效应问题它提出了一种盲估算方法<sup>[11]</sup>,这种方法不需要原始图像的数据,是一种无参考的评价标准。基本思想是将带块效应的图像模拟成一个不带块效应的图像被叠加了一个纯的块效应噪声,其目的就是在频域内利用功率谱估计检测和估算块效应噪声的功率。但是在频域内估计有一个缺点就是对于每一幅图像都要进行多次FFT变换,计算代价高且占用存储空间。针对此问题,2002年,Zhou wang又提出了一种低复杂度内存有效的空域评价方法<sup>[12]</sup>。此方法也是一种无参考的评价标准,因为即使没有原始图像数据,人眼也很容易区分压缩之后图像的质量的好坏,其具体思想是利用梯度信息估计图像的块效应以及活动性并对他们进行加权,得到图像的客观质量估计值S。根据文章中的实验结果显示,此方法能很好地和人眼的主观效果相匹配。

因为对于去块滤波而言,主观质量是非常重要的,但又考虑到环路滤波中的重建图像是要为后续图像作参考预测的,因此结合具有主观感知度<sup>[13]</sup>的S和PSNR作为本章实验结果的评价标准,S越高,表明视频图像的块效应现象越小、主观感受越好。

#### 5.2 主观结果及分析

主观质量的提高是衡量一个去块滤波算法性能的重要指标。实验中,对于测试序列分别采用不去块滤波处理、采用H.264的环路滤波处理和本章所提出的改进滤波算法,并将其进行比较,这里各列出一个QCIF格式序列和一个CIF格式序列的主观结果。

算法的主观效果如图5和图6所示,图5(a)和6(a)为原始的视频图像;图5(b)和6(b)为没有经过去块滤波处理的图像,可以看到在图像中有很明显的块效应现象,这严重影响了人们的主观感受;图5(c)、6(c)和图5(d)、6(d)分别列出了经过H.264的环路去块滤波算法和本章提出的滤波算法处理之后的效果图,两图相比可以看出改进之后的算法重建图像的主观性能确实得到了提高。在mumdaughter序列中,用改进算法重建的图像保留了更多的背景油画细节信息,如图5

中的方框所示区域;从 football 序列中,可以明显看到图像的块效应现象更进一步地被消除了,在改进算法重建图像中,运动员的后背和腿部的块效应比 H. 264 算法明显要小,见图 6。可见,本文提出的算法无论是在块效应的减弱,还是细节的保留上都有优势。

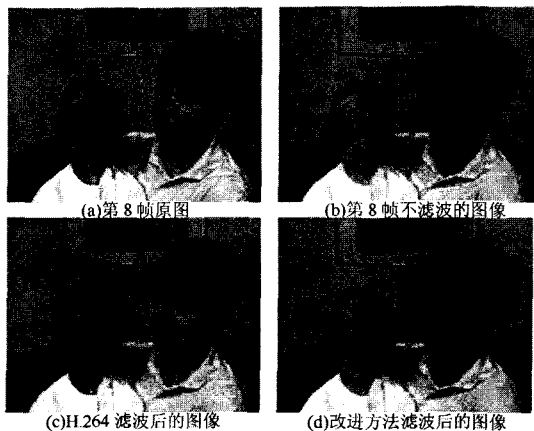


图 5 mumdaughter 滤波结果(QCIF,Frame-rate=10HZ)



图 6 football 滤波结果(CIF,Frame-rate=15HZ)

### 5.3 客观结果及分析

表 3 三种算法应用于 QCIF 和 CIF 格式的测试序列实验结果

Format	Sequence	H. 264 No filter		H. 264 loop filter		Proposed filter	
		YPSNR	S	YPSNR	S	YPSNR	S
QCIF	news	33.564	7.961	33.702	8.207	33.657	8.412
	mobile	28.567	8.462	28.638	8.508	28.557	8.670
	mumdaughter	33.985	9.404	34.090	10.489	33.972	10.856
	miss	36.305	8.224	36.390	9.005	36.305	9.462
	salesman	29.76	7.406	29.828	8.816	29.725	9.148
Average		32.436	8.291	32.530	9.005	32.443	9.310
CIF	football	32.664	6.807	32.809	8.537	32.703	9.149
	mother	34.310	8.914	34.445	10.394	34.340	10.932
	salesman	29.432	6.454	29.541	7.537	29.445	7.813
	foreman	31.752	9.611	32.007	9.939	31.835	10.658
	akiyo	33.745	6.723	34.141	8.712	34.071	8.841
Average		32.381	7.702	32.589	9.024	32.479	9.479

实验中我们比较了三种算法在 QCIF 和 CIF 两种格式下针对不同测试序列的客观性能结果,如表 3 所示。其中,H. 264 No filter 表示未采用去块滤波技术得到的 YPSNR 值和

S 值;H. 264 Loo Pfilter 表示使用 H. 264 标准中的环路滤波技术后得到的结果;Proposed filter 表示采用本文所提出的基于多模式的环路滤波算法所获得的实验结果。

从表 3 中可以看出,经过两种滤波算法后,YPSNR 值较未滤波的并没有太大的提升,但是根据 5.2 节中的主观效果图可以看出,未滤波和滤波后的图像在视觉上确有很大的差异,这正体现了 PSNR 的局限性<sup>[14]</sup>。改进算法的 YPSNR 值比 H. 264 环路滤波的 YPSNR 值下降了平均 0.1dB,但是人眼很难区分出这两者客观质量的差别。YPSNR 下降的幅度并不是很大,此点可以在一定程度上保证视频序列的预测精度。H. 264 中滤波后的 S 值比未滤波的提高了 1.0 左右,本章算法又在 H. 264 环路滤波的基础之上进一步提升了 S 值,实验结果提高了将近 0.4,说明经过此改进滤波算法后的块效应现象进一步得到改善,图像主观感受更加理想,这也与 5.2 节的主观质量结果相符。

总之,从实验结果可以看出,在基于多模式的滤波策略中,PSNR 的下降程度是很低的,这种改进在低代价系统中是可以接受的,该算法无需修改视频编码标准的码流语法,且消除块效应附加的计算量并不大,因此便于在实际应用中推广。

**结束语** 在详细分析了 H. 264 去块滤波系统的基础上,本文提出了一种基于多模式的快速环路滤波算法。该算法根据图像编码宏块的模式和条件进行边界分析,利用图像的空间相关性对边界强度进行快速判别,针对不同的边界模式采用不同的滤波策略,并且根据模式划分自适应地选择编码器的偏移量。结果表明,该算法降低了滤波过程的复杂度,在保持图像客观质量不变或略有提高除了更多的块效应现象,大大提高了图像的主观质量。如何更为有效地利用视频序列的时间、空间相关性进行内容预分析将是下一步研究的重点。

### 参考文献

- [1] ITU-T Rec. H. 264/ISO/IEC 11496-10: Advanced video coding, Final Committee Draft, Document JVT-E022, September 2002
- [2] Wiegand T, Sullivan G, Bjontegaard G, et al. Overview of the H. 264 /AVC Video Coding Standard, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 560-576
- [3] List P, Joch A, Lainema J, et al. Adaptive Deblocking Filter. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 614-619
- [4] Richardson I E G. Video Codec Design - Developing Image and Video Compression Systems, JOHN WILEY & SONS, LTD
- [5] Richardson I E G. H. 264 and MPEG4 Video Compression Video Coding for Next-generation Multimedia, John Wiley & Sons, 2004
- [6] Zhong Y, Ricardson I, Miller A, et al. Perceptual quality of H. 264/AVC de-blocking filter // IEE International Conference on Visual Information Engineering, April 2005: 379-384
- [7] Lam K. Reduced Complexity Deblocking Filter for H. 264 Video Coding // Proc. IEEE Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers, 2005: 1372-1374
- [8] Tai S C, Chen Y R, Chen C Y, et al. Low complexity deblocking method for DCT coded video signals // IEE Proc. -Vis. Image Signal Process. 2006, 153(1): 46-56
- [9] Zhong Y, Richardson I, Sahraie A, et al. Qualitative and quantitative assessment in video compression // 12th European Conference on Eye Movements, Dundee, Scotland, August 2003
- [10] Lakhani G, Zhong N. Derivation of prediction equations for blocking effect reduction. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(3): 415-418
- [11] Wang Z, Bovik A C, Evans B L. Blind measurement of blocking artifacts in images // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, September 2000(3): 981-984
- [12] Wang Z, Sheikh H R, Bovik A C. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, September 2002(1): 477-480
- [13] Wang Z, Sheikh H R, Bovik A C. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images // IEEE International Conference on Image Processing, 2002(1): 477-480
- [14] Girod B. What's wrong with mean-squared error // Watson, A. B, ed. Digital images and human vision (MIT Press), 1993: 207-220