

## H. 264 帧内预测快速算法

宋彬<sup>1</sup>, 周宁兆<sup>1</sup>, 常义林<sup>1</sup>, 罗忠<sup>2</sup>

(1. 西安电子科技大学 综合业务网理论与关键技术国家重点实验室 陕西 西安 710071;  
2. 华为科技技术公司 广东 深圳 518129)

**摘要:** 在研究 H. 264 帧内预测算法的基础上, 提出一种新颖实用的自适应帧内预测快速算法. 首先, 利用前一帧和当前帧对应位置宏块的帧内预测模式进行预测, 从而减少当前宏块的预测模式数量, 降低编码复杂度; 然后根据量化因子, 自适应地插入使用各种帧内预测模式的修正帧, 并改变候选预测块的数量来保证帧内预测快速算法的准确性. 实验结果表明, 在码率增加小于 3%, 恢复图像平均峰值信噪比下降不到 0.04 dB 的情况下, 使用帧内预测快速算法, 编码速度可提高 22% ~ 35%, 满足实时视频通信的要求. 该算法与 H. 264 标准兼容, 可用于实际视频通信产品.

**关键词:** 视频通信; H. 264 帧内预测; 空间/时间相关性; 量化因子

**中图分类号:** TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-240X(2006)01-0015-04

## A novel fast intra prediction algorithm in H. 264/AVC

SONG Bin<sup>1</sup>, ZHOU Ning-zhao<sup>1</sup>, CHANG Yi-lin<sup>1</sup>, LUO Zhong<sup>2</sup>

(1. State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China;  
2. HuaWei Tech. Co. Ltd., Shenzhen 518129, China)

**Abstract:** According to the intra prediction in H. 264/AVC, a novel self-adaptive fast algorithm for intra prediction is proposed. First, the computational complexity of intra prediction is decreased based on the spatial/temporal correlation of the video sequence. Then, by using the quantization parameter, we adaptively change two key parameters to guarantee the precision of the fast intra prediction method. Simulation results show that intra macroblock encoding of H. 264/AVC is obviously speeded up using the proposed technique. Furthermore, this algorithm is compatible with H. 264/AVC, and can be used in practice.

**Key Words:** video communication; H. 264/AVC; intra prediction; spatial/temporal correlation; quantization parameter

视频编码专家组(VCEG)与运动图像专家组(MPEG)合作成立了联合视频小组(JVT),于2003年5月完成新的视频编码标准H. 264(MPEG-4标准的第10部分)<sup>[1]</sup>. H. 264应用视频编码理论的最新研究成果,与以往的各种视频标准相比,在相同恢复视频质量下,编码效率提高了一倍以上.由于高效的编码效率和良好的网络适配性<sup>[2,3]</sup>,H. 264可广泛应用于无线和IP网络上的视频业务及相关视频产品,有着非常广泛的市场应用前景.

H. 264标准中帧内预测算法充分利用图像的空间相关性,使用帧内块周围的像素值进行预测,提高了编码效率.然而,高效的帧内预测算法也增加了编码器的运算复杂度.这是因为在H. 264标准中,无论是预测帧(P帧或B帧)还是帧内帧(I帧),编码时对每一个宏块都要作帧内预测,预测模式包括:对亮度信号既要作4×4预测(9种模式)还要作16×16预测(4种模式),还有4种8×8色度预测模式.因此,为了满足实时

收稿日期 2005-03-24

基金项目:国家自然科学基金(60172030),陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2004F07),综合业务网理论与关键技术国家重点实验室资助课题,华为公司基金资助项目

作者简介:宋彬(1973-),男,副教授,博士.

视频通信的要求,必须使用快速算法来降低帧内预测的运算复杂度<sup>[4]</sup>.

笔者首先给出 H. 264 标准的帧内预测算法,然后利用图像序列空间/时间上的相关性和量化因子,提出了一种新颖实用的自适应帧内预测快速算法.在保证 H. 264 的编码效率和编码性能前提下,自适应快速算法大大降低了帧内预测的运算复杂度,可用于实时视频通信产品中.

### 1 H. 264 的帧内预测

为了提高帧内宏块的编码效率,H. 264 利用相邻宏块的空间相关性来进行帧内预测编码:对于亮度分量,H. 264 对包含空间细节信息较多的宏块采用 4×4 预测,而对图像变化较平坦的区域采用 16×16 的预测模式;对于色度分量,使用 8×8 的预测模式.

#### 1.1 4×4 亮度预测模式

H. 264 把 16×16 的宏块划分成 16 个 4×4 的子块,每个子块使用与其相邻的上面和左面已经编码并重建后的像素点来预测,如图 1 所示,子块中  $a, b, \dots, p$  等像素的预测值通过相邻  $A, B, \dots, M$  等像素值计算得到.

$M$	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$	$F$	$G$	$H$
$I$	$a$	$b$	$c$	$d$				
$J$	$e$	$f$	$g$	$h$				
$K$	$i$	$j$	$k$	$l$				
$L$	$m$	$n$	$o$	$p$				

图 1 子块像素点的位置分布

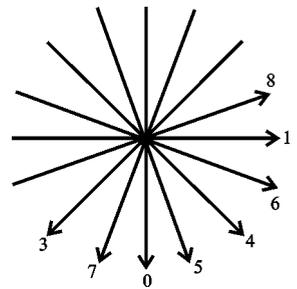


图 2 4×4 亮度预测模式

H. 264 中 4×4 亮度预测根据不同的预测方向共有 9 种预测模式,如图 2 所示.在帧内预测过程中,即使编码块上边或左边像素点不可用,亮度 4×4 帧内预测的 DC 预测(模式 2)、垂直预测(模式 0)和水平预测(模式 1)总是有效(用像素值 128 来代替这些不可用像素点),而其他模式仅当所有需要使用的预测像素值都可用情况下才有效,如果其中  $E, F, G, H$  不可用,可用  $D$  的像素值来代替.编码器按照这 9 种预测模式依次计算出预测子块的像素值,并与当前编码子块的像素值对应相减,依据最小 SAD(绝对误差和)准则,判决最优的帧内预测模式.

#### 1.2 16×16 亮度预测模式和 8×8 色度预测模式

在图像变化比较平坦的区域,整个宏块的亮度分量作为一个整体来预测,共有 4 种不同的预测模式: Mode\_0(垂直预测)、Mode\_1(水平预测)、Mode\_2(DC 预测)和 Mode\_3(平面预测).

色度分量以 8×8 块为单位预测,它与 16×16 亮度预测类似,也有 4 种预测模式,只是预测模式的顺序不同: Mode\_0(DC 预测)、Mode\_1(水平预测)、Mode\_2(垂直预测)和 Mode\_3(平面预测).相同位置的两个色度块  $C_b, C_r$  具有相同的最佳预测模式.

## 2 自适应帧内预测快速算法

实现快速帧内预测算法的关键是尽可能减少每个宏块帧内预测模式的数量,但又不能降低预测的准确度.笔者提出的快速算法的主要思想是:利用前一帧和当前帧对应位置宏块的帧内预测模式进行预测,从而减少当前宏块的预测模式数量,降低编码复杂度,如图 3 所示.

图 3 给出了第  $N$  帧中的块  $M_0^n$ (可以是亮度 4×4 块、亮度 16×16 块或色度 8×8 块)帧内预测模式的选择过程:通过第  $N-1$  帧的块  $M_0^{n-1}, M_1^{n-1}, \dots, M_8^{n-1}$  和第  $N$  帧的块  $M_1^n, M_2^n, M_3^n$  的最佳预测模式来进行预测.这样,对第  $N$  帧的  $M_0^n$  所作的帧内预测模式要远少于 9 种或 4 种,从而提高了帧内预测的速度.为了方便后面叙述,将  $M_0^{n-1}, M_1^{n-1}, M_2^{n-1}, M_3^{n-1}, M_4^{n-1}, M_5^{n-1}, M_6^{n-1}, M_7^{n-1}, M_8^{n-1}$  和  $M_1^n, M_2^n, M_3^n$  称为  $M_0^n$  的预测块.

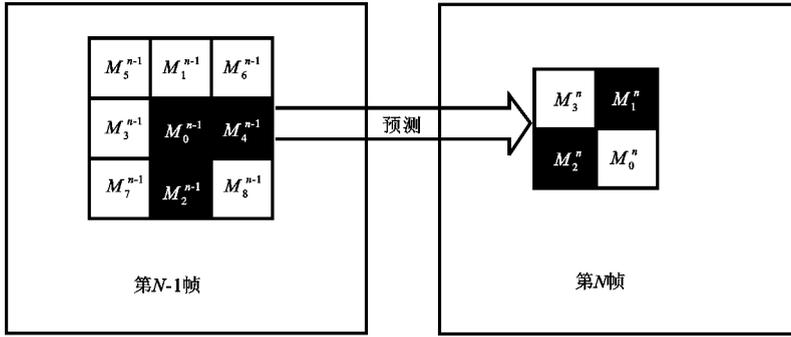


图 3 帧内预测模式的选择过程

### 2.1 亮度 4 × 4 预测

由于序列图像的相邻帧之间存在很大的相关性(时间相关),而且当前帧相邻宏块间也存在相关性(空间相关),因此对当前帧的一个 4 × 4 块  $M_0^n$  的最佳预测模式与前一帧对应的 4 × 4 块  $M_0^{n-1}$ 、相邻块  $M_1^{n-1}$ 、 $M_2^{n-1}$ 、 $M_3^{n-1}$ 、 $M_4^{n-1}$ 、 $M_5^{n-1}$ 、 $M_6^{n-1}$ 、 $M_7^{n-1}$ 、 $M_8^{n-1}$  以及当前帧相邻块  $M_1^n$ 、 $M_2^n$  和  $M_3^n$  共 12 个块的最佳预测模式进行统计比较,并给出它们与  $M_0^n$  的相关性,如表 1 所示。这里的相关性是指预测块的最佳预测模式与  $M_0^n$  最佳预测模式的相同概率。

表 1 预测块与  $M_0^n$  相关性比较

图像序列	$M_0^{n-1}$	$M_1^{n-1}$	$M_2^{n-1}$	$M_3^{n-1}$	$M_4^{n-1}$	$M_5^{n-1}$	$M_6^{n-1}$	$M_7^{n-1}$	$M_8^{n-1}$	$M_1^n$	$M_2^n$	$M_3^n$
foreman	0.549	0.339	0.349	0.356	0.384	0.297	0.277	0.270	0.327	0.421	0.464	0.349
claire	0.749	0.546	0.557	0.497	0.520	0.406	0.428	0.417	0.438	0.624	0.584	0.450
news	0.801	0.465	0.477	0.475	0.485	0.359	0.367	0.369	0.376	0.496	0.518	0.373

由表 1 可看出,  $M_0^n$  的最佳预测模式与  $M_0^{n-1}$  的相关性最大,其次是  $M_1^n$ 、 $M_2^n$ ,再次是  $M_1^{n-1}$ 、 $M_2^{n-1}$ 、 $M_3^{n-1}$ 、 $M_4^{n-1}$ ,相关性较小的是  $M_5^{n-1}$ 、 $M_6^{n-1}$ 、 $M_7^{n-1}$ 、 $M_8^{n-1}$  和  $M_3^n$ 。为了利用图像在空间和时间上的相关性,减少帧内预测模式的数量,笔者选取下面 5 个块的最佳帧内模式来预测  $M_0^n$  的帧内预测模式(见图 3 中阴影宏块):

- (1) 前一帧对应的 4 × 4 块  $M_0^{n-1}$  及其相邻右块  $M_4^{n-1}$  和相邻下块  $M_2^{n-1}$ ;
- (2) 当前帧的相邻上块  $M_1^n$  和当前帧的相邻左块  $M_2^n$ 。

另外,笔者选择的 5 个块的最佳预测模式中存在相同模式,因此  $M_0^n$  的帧内预测模式将少于 5 种。表 2 给出使用该算法后,预测的准确度和平均预测模式个数。

表 2 预测准确度和平均预测模式个数的比较(  $Q_p=28$  )

图像序列 (QCIF)	预测准确度			图像序列 (QCIF)	平均预测模式个数		
	亮度 4 × 4	亮度 16 × 16	色度 8 × 8		亮度 4 × 4	亮度 16 × 16	色度 8 × 8
foreman	85.7%	93.2%	88.8%	foreman	2.79	2.59	2.58
claire	94.3%	95.2%	94.4%	claire	2.27	2.47	2.52
news	93.5%	97.4%	95.2%	news	2.54	2.44	2.52

### 2.2 亮度 16 × 16 预测和 8 × 8 色度预测

与亮度 4 × 4 预测相比,亮度 16 × 16 预测和色度 8 × 8 预测的预测模式个数减少了一半多,所以亮度 16 × 16 预测和色度 8 × 8 预测只需使用  $M_0^{n-1}$ 、 $M_1^n$  和  $M_2^n$  块的最佳预测模式作为候选预测模式进行帧内预测。帧内预测的准确度及平均预测模式个数如表 2 所示。

由表 2 可看出,帧内预测快速算法(FIPA)在预测准确度非常高的情况下,平均预测模式个数与未使用快速算法相比减少了很多,特别是亮度 4 × 4 预测,预测模式个数由原来的 9 种减少为 2 种左右。

另外,在进行帧内预测时,不能对所有的编码帧都使用上述快速算法。为了保证帧内预测的准确性,笔者使用以下算法:

- (1) 对第一帧图像不能使用帧内预测快速算法,必须将 4 × 4 预测和 16 × 16 预测的所有模式都完全运行一遍,以便后续帧的预测更加准确。

(2) 由于快速算法的预测不能保证完全准确,导致接下来的编码帧存在预测误差.为了保证快速算法的准确性,需要每隔  $N$  帧插入一个  $F_{ecc}$  帧,对  $F_{ecc}$  使用各种帧内预测模式来彻底去除帧内预测误差.

### 2.3 基于量化因子的自适应快速算法

笔者提出的 FIPA 算法受 H.264 量化因子( $Q_p$ )的影响,特别当  $Q_p$  较大时,影响更为明显.具体表现为:当  $Q_p$  较小时,使用快速算法后 PSNR 下降较少,码流增加不多,而当  $Q_p$  较大时,由于图像信息丢失较多,不同预测模式重建出来的块差值变化较大,从而使用快速算法后 PSNR 下降较多,码流明显增加.

为了减少  $Q_p$  对 FIPA 算法的影响,笔者在 FIPA 算法的基础上,采用自适应帧内预测快速算法(AFIPA),即通过自适应改变  $N$  值的大小和候选预测块的数量,来减少  $Q_p$  对 FIPA 算法性能的影响.

1) 根据  $Q_p$  选择  $N$  值.当  $Q_p$  增大时, FIPA 算法性能变差,此时可减小  $N$  值来提高预测的准确度,而当  $Q_p$  减小时,可增大  $N$  值进一步提高编码速度.根据 H.264 率控制算法<sup>[5]</sup>和对大量标准图像序列进行编码统计后,使用下式来选择  $N$  值:

$$N = N_0 \cdot \lambda(Q_p) \quad (1)$$

式中  $\lambda(Q_p) = 0.25 \times 2^{-(Q_p-12)/6}$ ,  $N_0$  为  $Q_p$  等于 0<sup>[1]</sup> 时  $N$  的取值,  $Q_p$  为量化因子.

2) 根据  $Q_p$  选择预测块.当  $Q_p$  较小时, FIPA 算法对编码效率和性能影响不大,这时可再减少几个预测块,进一步提高编码速度,而当  $Q_p$  较大时, FIPA 算法对输出码流和恢复图像峰值信噪比(PSNR)影响较大,就要在 FIPA 算法的基础上再增加几个预测块.笔者将预测块  $M_0^{n-1} M_1^{n-1} M_2^{n-1} M_3^{n-1} M_4^{n-1} M_1^n M_2^n$  进行分组,  $M_0^{n-1} M_1^n M_2^n$  分为一组记作  $F_1$ ,  $M_2^{n-1}$  和  $M_4^{n-1}$  分为一组记作  $F_2$ ,  $M_3^{n-1}$  和  $M_1^{n-1}$  分为一组记作  $F_3$ .表 3 给出根据  $Q_p$  选择预测块的方法.

表 3 不同  $Q_p$  下预测块的选择方法

预测模式	$Q_p < \beta_1$	$\beta_1 \leq Q_p \leq \beta_2$	$Q_p > \beta_2$
亮度 $4 \times 4$	$F_1$	$F_1 + F_2$	$F_1 + F_2 + F_3$
亮度 $16 \times 16$ 和色度 $8 \times 8$	$F_1$	$F_1$	$F_1 + F_2$

## 3 实验结果与结论

使用 3 个具有代表性的 QCIF( $176 \times 144$ ,  $Y:U:V$  是 4:1:1)标准图像序列进行研究,一个是低速运动的视频序列“claire”,另一个是快速运动的视频序列“foreman”,还有一个是介于两者之间的视频序列“news”.实验平台是 PIV 2 GHz 计算机和自主开发的 H.264 软件编解码器(对程序代码使用 SIMD 技术进行优化),下面实验中测出的时间均以此开发平台上的时间为准.用亮度信号平均 PSNR 和编码输出的比特率作为衡量快速算法性能的测度.

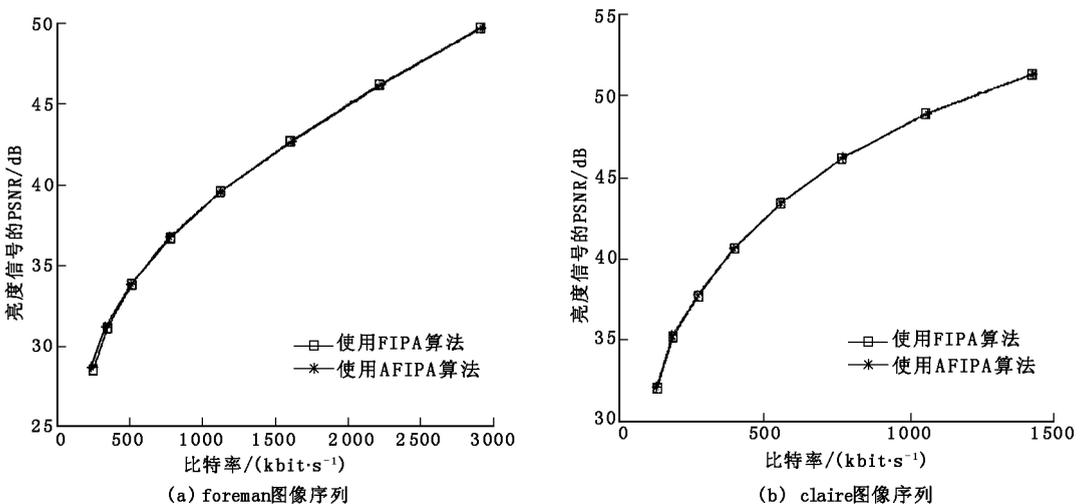


图 4 FIPA 算法与 AFIPA 算法的性能比较

