

# H.264/AVC 中基于全零块的预测模式选择

周 韬, 张茂军, 刘少华, 熊志辉

(国防科技大学信息系统与管理学院, 长沙 410073)

**摘要:** 多种预测模式的采用是 H.264/AVC 的特点, 但带来了大量的计算。针对该问题, 将全零块检测技术推广应用于 H.264/AVC 视频编码中对多种预测模式的快速选择, 提出一种模式选择的快速算法。使用该算法, 通过一些简单的比较等操作, 就能跳过对某些预测模式的选择, 减少了 H.264/AVC 视频编码器的运算复杂度。

**关键词:** 视频编码; 全零块; 预测模式

## Prediction Mode Selection Based on All-zero Block in H.264/AVC

ZHOU Tao, ZHANG Mao-jun, LIU Shao-hua, XIONG Zhi-hui

(College of Information Systems and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

**【Abstract】** The usage of various prediction modes is the remarkable characteristic of H.264/AVC, however, it acquires heavy computation. Aiming at this problem, a fast mode decision algorithm is proposed for H.264/AVC encoding, which is on the basis of the application of all-zero blocks detection. By skipping some prediction modes after some comparisons, the algorithm can reduce the computational complexity of H.264/AVC encoding.

**【Key words】** video encoding; all-zero block; prediction mode

### 1 概述

H.264/AVC 视频编码国际标准是由 ITU 和 ISO/IEC 的专家共同组成的联合视频小组(Joint Video Team, JVT)发展和制定的, 与以往标准相比, 在相同编码质量时, H.264/AVC 可以节约大约 50% 的码率, 但是其编码效率的提高是以增加编码算法复杂度为代价的。

为提高编码视频质量和压缩效率, H.264/AVC 采用了多种预测模式(包括基于多种方向的帧内预测模式和多种块大小和形状的帧间预测模式)、 $4 \times 4$  整数变换、自适应算术编码等新的编码技术。以一个帧间编码亮度宏块为例, 其可选的预测模式有: 全部 7 种不同块尺寸的帧间预测模式( $16 \times 16$ ,  $16 \times 8$ ,  $8 \times 16$ ,  $8 \times 8$ ,  $8 \times 4$ ,  $4 \times 8$ ,  $4 \times 4$ )、全部的帧内预测模式(9 种  $4 \times 4$  的预测模式、4 种  $16 \times 16$  的预测模式)和跳过模式。多种预测模式的运用极大地提高了编码效率, 然而传统的模式选择方法采用率失真最优化方法(RDO)对所有的这些模式进行全搜索, 从中得到最优的模式, 其运算复杂度极大。根据文献[1]的统计, 多模式的块匹配运动估计占据了整个编码约 80% 的计算量, 巨大的运算量使得 H.264 的编码复杂度约是 H.263 的 4 倍~5 倍。

因此, 快速有效的预测模式选择方法是 H.264/AVC 视频编码研究中的热点。在这方面, 作为编码器优化常用方法的全零块检测技术提供了一种可能的算法选择。例如文献[2-3]分别进一步将全零块检测技术应用于 H.264/AVC 视频编码中对预测模式的快速选择, 减少了对多种模式不必要的遍历, 降低了 H.264/AVC 编码器的运算复杂度; 文献[4]则在文献[5]推导的全零块存在之充分条件的基础上, 进一步提出了一种预测模式选择的快速算法, 同时还考虑了编码宏块间的相关性, 在减少预测模式选择过程中所需庞大计算量的同时, 保

证了一定的编码准确性; 文献[6]提出一种结合全零块检测和纹理特征的快速帧内预测模式选择算法; 文献[7]利用模式预截断和精确的大小模式判决等算法, 提出了一种基于全零块检测的快速帧间模式选择方法, 可以在编码图像峰值信噪比(PSNR)和比特率性能几乎无下降的情况下节省一定的运算量; 文献[8]则在文献[9]所给阈值基础上, 将全零块检测算法简单应用于 H.264/AVC 中多种编码模式的选择, 在一定程度上降低了编码器的计算复杂性。

本文通过分析 H.264/AVC 中整数 DCT 变换与量化的原理, 提出了新的检测全零块的阈值, 并进一步将全零块检测技术推广应用于 H.264/AVC 视频编码中对多种预测模式的快速选择, 用是否检测到全零块作为是否跳过某些预测模式的依据。实验表明, 本文提出的基于全零块检测的预测模式选择快速算法能够加快 H.264/AVC 视频编码中对多种预测模式的选择速度, 极大地降低率失真优化算法的运算复杂度。

### 2 全零块检测

在 H.264/AVC 中, 采用了  $4 \times 4$  的 DCT 整数变换。对于  $4 \times 4$  的残差信号块  $f(u, v)$  ( $0 \leq u < 3, 0 \leq v < 3$ ) 和变换系数块  $T(x, y)$  ( $0 \leq x < 3, 0 \leq y < 3$ ), 其整数 DCT 变换的表达式为

$$T(x, y) = \sum_{u=0}^3 \sum_{v=0}^3 C(x, u) f(u, v) C(y, v) \quad (1)$$

其中,

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60773023, 60803101)

**作者简介:** 周 韬(1984 -), 男, 博士研究生, 主研方向: 多媒体信息系统, 虚拟现实技术; 张茂军, 教授、博士、博士生导师; 刘少华, 博士研究生; 熊志辉, 博士后

**收稿日期:** 2009-06-13      **E-mail:** 2001zt@gmail.com

$$C(m, n) = \left\langle \frac{2.5L(n)}{\sqrt{2}} \cos \frac{(2m+1)n\pi}{8} \right\rangle \quad (2)$$

$L(n) = 1/\sqrt{2}$  , 当  $n=0$  时 ;  $L(n) = 1$  , 当  $n \neq 0$  时。

量化系数  $QP$  每增加 6, 量化步长加倍, 并且有 0~51 共 52 个  $QP$  值可选, 量化后的变换系数  $T(x, y)_Q$  为

$$T(x, y)_Q = \text{sign}(T(x, y)) \times \langle T(x, y) \cdot M[q_{rem}][r] + f \rangle \gg \text{qbts} \quad (3)$$

其中,  $\text{qbts} = \text{floor}(15 + QP/6)$  ;  $q_{rem} = QP \% 6$  ;  $r = 2 - (x \% 2) - (y \% 2)$  ;  $f = (1 \ll \text{qbts}) / 6$  。  $M[q_{rem}][r]$  由如下的量化参数矩阵决定 :

$$\begin{bmatrix} 5243 & 8066 & 13107 \\ 4660 & 7490 & 11916 \\ 4194 & 6554 & 10082 \\ 3647 & 5825 & 9362 \\ 3355 & 5243 & 8192 \\ 2893 & 4559 & 7283 \end{bmatrix}$$

当  $|T(x, y)| < (2^{\text{qbts}} - f) / M[q_{rem}][r]$  时,  $T(x, y)_Q$  为零, 因此可以令最小量化步长满足 :

$$A(QP) = ((2^{\text{qbts}} - f) / M[q_{rem}][r]) \quad (4)$$

由于量化前后的变换系数都取整数, 对  $4 \times 4$  变换块中的任意一个变换系数  $T(x, y)$  , 当满足  $T(x, y) < A(QP)$  时,  $T(x, y)_Q$  为零, 此为全零块存在的充要条件。

当  $r=2$  时, 由式(1)和式(2), 有下式成立 :

$$|T(x, y)| = \sum_{u=0}^3 \sum_{v=0}^3 |f(u, v)| |C(x, u)C(y, v)| = SAD_{4 \times 4} \quad (5)$$

此时若  $SAD_{4 \times 4}$  满足下式, 则  $T(x, y)_Q$  一定为零 :

$$SAD_{4 \times 4} < ((2^{\text{qbts}} - f) / M[q_{rem}][2]) = T_2 \quad (6)$$

即式(6)为  $r=2$  时, 量化后的变换系数为零的充分条件。

同理可得当  $r=1$  和  $r=0$  时,  $T(x, y)_Q$  为零的充分条件分别如式(7)和式(8)所示 :

$$SAD_{4 \times 4} < \frac{1}{2} \times ((2^{\text{qbts}} - f) / M[q_{rem}][1]) = T_1 \quad (7)$$

$$SAD_{4 \times 4} < \frac{1}{4} \times ((2^{\text{qbts}} - f) / M[q_{rem}][0]) = T_0 \quad (8)$$

显然如果式(6)~式(8)同时成立的话,  $4 \times 4$  块中的所有变换系数  $T(x, y)_Q$  必定为零, 据此就得到一个检测全零块的充分条件如下 :

$$SAD_{4 \times 4} < T_0 \quad (9)$$

由于式(9)推导过程过于宽泛, 无法准确逼近检测全零块的阈值上限, 实验表明在实际编码过程中存在不少并不满足式(9)的全零块, 因此有必要找一个比  $T_0$  更大的阈值, 减少对全零块的漏判。

通过考察 “Forman”, “Mother”, “Stefan”, “Akiyo”, “Silent”, “News”, “Table Tennis”, “Garden”, “Bus”, “Mobile calendar”, “Claire”, “Container”, “Coastguard”, “Highway”, “Grandma”, “Hall” 等大量具有不同运动特征的视频在 H.264/AVC 编码中整数 DCT 变换系数的分布特性, 发现了一个很有规律的现象。

将  $4 \times 4$  块中的 16 个量化后的变换系数分成 2 组, 其中一组由  $T(0, 1)_Q$  和  $T(1, 0)_Q$  组成(记为  $G1$ ), 另一组由其余系数组成(记为  $G2$ ), 并将  $SAD_{4 \times 4} < T_2$  时的所有编码块记为  $ZQB$ 。

表 1 统计了对于测试视频中所有的  $ZQB$ , 其标号为  $G2$  的这 14 个变换系数全为零(记为  $G2=0$ )的可能性。

表 1 ZQB 中  $G2$  系数全为零的可能性

序列	$G2=0$ (%)	序列	$G2=0$ (%)
Forman	99.1	Bus	99.2
Mother	99.4	Mobile calendar	99.2
Akiyo	99.7	Claire	99.4
Silent	99.1	Container	99.3
News	99.4	Coastguard	98.5
Table Tennis	99.0	Highway	98.2
Garden	99.1	Grandma	99.6

从表 1 中不难看出, 当  $SAD_{4 \times 4} < T_2$  时, 其中的 14 个变换系数( $G2$ )有超过 98% 的可能性全为零。因此记至少有 14 个变换系数为零的编码块为准全零块, 并将  $T_2$  作为检测这种全零块的阈值, 当  $SAD_{4 \times 4} < T_2$  时就认为  $G2$  中的所有系数一定为零。

而根据前面的讨论, 知道当  $SAD_{4 \times 4} < T_1$  时,  $G1$  中的 2 个系数都为零, 显然此时  $G2$  中的所有系数也极有可能为零。因此可以将检测全零块的阈值直接设为  $T_1$ , 并通过测试大量具有不同运动特征的视频发现, 这样处理并不会造成对全零块的误判, 即满足  $SAD_{4 \times 4} < T_1$  的所有  $4 \times 4$  块, 一定都是全零块。

### 3 基于全零块检测的模式选择快速算法

根据全零块检测技术的原理, 当某一预测模式下, 编码块的  $SAD$  值小于检测全零块的阈值时, 残差信号块经过整数 DCT 变化和量化后, 所有的系数都为零, 在此情况下根据 RDO 方法确定的率失真代价往往很小。基于这点, 考虑将全零块检测技术推广用于 H.264/AVC 中对多种预测模式的选择, 当某种预测模式下,  $SAD$  的值小于检测全零块的阈值时, 则认为该预测模式很有可能就是广义上的率失真最优模式。

文献[10]对多段视频序列在 H.264/AVC 编码中最终选择的预测模式做了简单的统计: 每一种预测模式在视频编码过程中并不是平均分配的, 而是有递减的趋势。对 P 帧来说, 实际编码中最终选择 SKIP 模式与  $16 \times 16$  模式的可能性要大于其他模式, 而选择帧内模式的可能性更是非常小; 而对 B 帧来说, 实际编码中选择除 Direct 与  $16 \times 16$  以外模式的可能性都非常小。因此在实现基于全零块检测的预测模式的快速选择时, 可以先检测被选择几率较大的模式下是否存在全零块。

此外第 2 节提出的检测全零块的阈值是针对  $4 \times 4$  块的, 因此有必要针对不同的预测模式对阈值做出一定的调整。具体为: 对于 SKIP 模式、 $16 \times 16$  模式等对宏块划分比较简单的模式, 直接将检测全零块的阈值扩大  $K$  倍, 其中  $K$  为该模式下子块包含的  $4 \times 4$  块的个数; 而对于  $8 \times 8$  模式等对宏块划分比较精细的模式, 则需逐一检查子块中每一个  $4 \times 4$  块是否都满足全零块存在的条件。这样处理既能提高运算速度, 又能保持图像的细节信息。

根据以上的分析, 提出了一种新的适用于 H.264/AVC 视频编码的、基于全零块检测的预测模式选择快速算法。以 P 帧为例(对于 B 帧和 I 帧, 只需根据其支持的不同宏块模式对以下的算法略为调整即可, 比如处理 B 帧时, 先将第(1)步对 SKIP 模式的检查换成针对 DIRECT 模式的检查, 等等), 对于每一个宏块快速确定其预测模式, 具体步骤如下:

(1) 求出  $16 \times 16$  模式下的运动向量, 同时对于 SKIP 模式(此时的  $SAD$  值即为宏块本身各像素绝对值之和)和  $16 \times 16$  模式分别检查式(10)是否成立, 只要该式对任意一个模式成立, 则停止该步的检查, 并令  $SSE=1$ ,  $SES=1$ ,  $SEE=1$ ,  $SIX=1$ ,

$SIF=1$ 。

$$SAD_{16 \times 16} < 16T_1 \quad (10)$$

(2)如果  $SSE=1$  或  $SES=1$ ，则转入第(6)步，否则分别求出  $16 \times 8$  模式与  $8 \times 16$  模式下的运动向量，同时对于  $16 \times 8$  模式与  $8 \times 16$  模式分别检查其对应子块是否满足式(11)，只要该式对任意一个模式下的 2 个子块都成立，则停止该步的检查，并令  $SEE=1$ ,  $SIX=1$ ,  $SIF=1$ 。

$$SAD_{M \times N} < 8T_1 \quad (11)$$

其中， $M \times N$  对应子块的大小。

(3)如果  $SEE=1$ ，则转入第(6)步；否则令  $TF=0$ 。

(4)将以下针对  $8 \times 8$  模式的处理重复 4 次：

1)分别求出  $8 \times 8$  模式、 $8 \times 4$  模式和  $4 \times 8$  模式的运动向量，同时对于  $8 \times 8$  模式、 $8 \times 4$  模式与  $4 \times 8$  模式分别检查其对应子块中所有的  $4 \times 4$  块是否满足式(12)，只要该式对任意一个模式对应子块中所有的  $4 \times 4$  块都成立，则停止检查，并令  $SFF=1$ 。

$$SAD_{4 \times 4} < T_2 \quad (12)$$

2)如果  $SFF=1$ ，令  $TF=TF+1$ ，并转入 4)。

3)求出  $4 \times 4$  模式的运动向量，并检查该模式下是否所有的  $4 \times 4$  块都有式(12)成立，如果是，则令  $TF=TF+1$ 。

4)检查宏块中是否还有未处理的  $8 \times 8$  块，如有，则转入 1)。

(5)检查  $TF$ ，如果  $TF=4$ ，则令  $SIX=1$ ,  $SIF=1$ 。

(6)计算 SKIP 模式及各帧间预测模式的率失真代价，其中， $SSE$ ,  $SES$ ,  $SEE$  分别决定是否跳过对  $16 \times 8$  模式、 $8 \times 16$  模式、 $8 \times 8$  模式率失真代价的计算(例如当  $SSE=1$  时，跳过  $16 \times 8$  模式的计算)，并按率失真最小原则求出最优模式，记为  $M1$ ，同时保存最小的率失真代价，记为  $f1$ 。

(7)如果  $SIF=1$ ，则令  $f2$  为无穷大；否则根据 RDO 方法，从 9 种 INTRA  $4 \times 4$  模式中选择率失真代价最小的模式(在此过程中如果对于任何一种模式下的 16 个  $4 \times 4$  块都有式(12)成立，则停止对其他模式的选择，并将该模式的率失真代价记为最小)，将 INTRA  $4 \times 4$  模式下最小的率失真代价存入  $f2$ 。

(8)如果  $SIX=1$ ，令  $f3$  为无穷大，否则从 4 种 INTRA  $16 \times 16$  模式中选择具有最小率失真代价的模式(在此过程中如果对于任何一种模式有式(10)成立，则停止对其他模式的选择，并将该模式的率失真代价记为最小)，将 INTRA  $16 \times 16$  下的最小的率失真代价存入  $f3$ 。

(9)比较  $f1$ ,  $f2$ ,  $f3$ ，找出其中最小值所对应的预测模式，即认为找到了广义上的率失真最优模式。

注意到式(10)将基于变换系数分布特性提出的检测全零块阈值  $T_1$  直接扩大了 16 倍，由于统计实验表明使用  $T_1$  不会造成对全零块的误判，这样处理既可以避免重复计算阈值带来的冗余计算，又不会影响到预测模式选择的准确性。与式(10)类似，式(11)将  $T_1$  直接扩大 8 倍，在保证准确性的同时，减少了冗余计算。

而式(12)中采用的检测  $4 \times 4$  的全零块的阈值是不需要任何额外运算的  $T_2$ 。虽然该式并不满足全零块存在的充分条件，但第 2 节的分析表明，满足该式的  $4 \times 4$  块中至少有 14 个变换系数可直接判断为零。因此，这里将检测全零块的条件略为放松，用编码块中绝大部分系数为零而不是所有系数为零作为终止选择某些预测模式的依据，可以在基本不影

响准确性的情况下加快预测模式选择的速度。

## 4 实验比较

将第 3 节提出的基于全零块检测的模式选择快速算法(记为 ZMD)在 JM11.0 上实现，对 4 个 QCIF 序列(176×144)：Forman, Stefan, Mother, Akiyo 进行 300 帧编码，其中量化参数(QP)分别选取 18, 24, 30, 36, 42, 48。此外为了更直观地比较算法的有效性，设置参考帧数目为 1，编码帧结构为 IPPP，同时在整数 DCT 变换和量化等操作中不使用全零块检测技术。

文献[3]中算法(记为 AMD)原理和结构都与本文所提 ZMD 算法类似，且快速选择预测模式的效率较高，故被选为最近的同类研究成果与本文算法进行比较。首先定义算法所能节省的编码时间  $\Delta T$  (%)为

$$\Delta T = \frac{T_{org} - T}{T_{org}} \times 100\% \quad (13)$$

其中， $T_{org}$  表示 H.264/AVC 中采用原始的模式选择遍历算法所需编码时间； $T$  表示采用基于全零块检测的模式选择快速算法所需编码时间。

$\Delta P = P_{org} - P$  则表明了图像质量下降的程度，其中， $P$  和  $P_{org}$  表示分别采用原始算法或基于全零块检测的快速算法时编码图像的 PSNR 值。

最后定义算法对编码比特率的影响  $\Delta B$  (%)为

$$\Delta B = \frac{|B_{org} - B|}{B_{org}} \times 100\% \quad (14)$$

其中， $B_{org}$  表示 H.264/AVC 编码时采用原始算法的比特率； $B$  表示采用基于全零块检测的快速算法的比特率。

从表 2~表 5 可以看出，AMD 算法和本文提出的 ZMD 算法都能在保持图像质量和编码比特率基本不变的情况下大幅降低编码复杂度。

表 2 Forman 序列实验结果

QP	ZMD 算法			AMD 算法		
	$\Delta T$ / (%)	$\Delta P$ / dB	$\Delta B$ / (%)	$\Delta T$ / (%)	$\Delta P$ / dB	$\Delta B$ / (%)
18	14.2	0.06	0.01	10.8	0.07	0.01
24	22.4	0.08	0.24	19.8	0.08	0.24
30	34.7	0.07	0.48	30.5	0.08	0.47
36	43.6	0.09	0.48	41.1	0.09	0.11
42	52.1	0.07	0.64	50.3	0.07	0.21
48	55.2	0.06	0.71	54.1	0.06	0.42

表 3 Stefan 序列实验结果

QP	ZMD 算法			AMD 算法		
	$\Delta T$ / (%)	$\Delta P$ / dB	$\Delta B$ / (%)	$\Delta T$ / (%)	$\Delta P$ / dB	$\Delta B$ / (%)
18	13.3	0.08	0.01	10.6	0.08	0.01
24	16.8	0.10	0.24	13.2	0.11	0.24
30	19.7	0.08	0.28	16.1	0.10	0.15
36	26.9	0.09	0.15	24.1	0.11	0.24
42	34.1	0.12	0.72	30.8	0.11	0.81
48	42.9	0.07	0.34	38.2	0.09	0.34

**表 4 Mother 序列实验结果**

QP	ZMD 算法			AMD 算法		
	$\Delta T /(\%)$	$\Delta P /dB$	$\Delta B /(\%)$	$\Delta T /(\%)$	$\Delta P /dB$	$\Delta B /(\%)$
18	22.7	0.04	0.03	19.1	0.05	0.04
24	26.9	0.05	0.09	22.2	0.05	0.08
30	32.7	0.08	0.11	26.1	0.10	0.05
36	48.5	0.06	0.26	39.5	0.07	0.17
42	53.8	0.05	0.27	43.8	0.05	0.27
48	59.4	0.04	0.31	50.0	0.04	0.27

**表 5 Akiyo 序列实验结果**

QP	ZMD 算法			AMD 算法		
	$\Delta T /(\%)$	$\Delta P /dB$	$\Delta B /(\%)$	$\Delta T /(\%)$	$\Delta P /dB$	$\Delta B /(\%)$
18	32.7	0.01	0.02	26.9	0.01	0.01
24	46.4	0.01	0.17	38.7	0.01	0.09
30	58.6	0.01	0.21	49.2	0.01	0.20
36	62.2	0.00	0.18	52.2	0.02	0.18
42	69.3	0.00	0.22	58.3	0.02	0.18
48	75.6	0.01	0.17	65.1	0.01	0.19

与原始算法相比, AMD 算法最多能节省约 65%的编码时间, 而 ZMD 算法最多能节省 75%的编码时间, 且节省时间的程度随 QP 的增加而明显加大。这表明将全零块检测推广应用于预测模式的快速选择的方法是切实有效的。同时通过比较具有不同运动特征的视频序列在不同 QP 值下的实验结果, 发现对于运动较剧烈的视频(如 Forman, Stefan), 在 QP 取值较小的情况下, ZMD 算法相对于 AMD 算法所能节省的运算时间有限, 但是对于运动较少的视频(如 Mother, Akiyo), 或 QP 取值较大时, ZMD 算法相对 AMD 算法的优势则非常明显, 这使得 ZMD 算法比较适合监控视频压缩等场合。

**5 结束语**

快速有效的预测模式选择方法一直是 H.264/AVC 视频编码研究中的热点。本文通过分析 H.264/AVC 中整数 DCT 变

(上接第 231 页)

综合以上实验数据, 不难看出, 本文所提出的 ADSR 算法在加入 FFS 和 UMHexagonS 后能在很好保持重建图像质量的同时显著减少运动估计的运算量, 从而减少整个编码过程所需的时间。

**5 结束语**

本文在以前 H.264 动态搜索范围算法的基础上, 将其与后续的固定模式快速运动估计算法相结合, 提出一种自适应的动态搜索范围运动估计算法(ADSR), 该算法通过精确的预测最佳匹配点位置以及对当前编码块纹理特点的估计, 使搜索范围能在尽可能覆盖最佳匹配点的同时尽可能小地减小搜索范围, 能在基本保持重建图像质量的同时显著减少运动估计的运算量。

实验表明, 当将该 ADSR 算法与 UMHexagonS 和 FFS 算法结合时, 能在基本保持重建图像质量的同时, 分别将运动估计时间减少 22.13%~29.6%, 76.57%~80.5%, 由此提高整个编码过程的速度。

在以后的工作中, 将继续在固定模式快速运动估计算法、分块模式的快速抉择、多帧参考中参考帧的选择等方面进行

换与量化的原理, 将全零块检测技术应用于 H.264/AVC 视频编码中对多种预测模式的快速选择, 提出一种模式选择的快速算法。实验表明, 本文算法能够减少对多种模式不必要的遍历, 降低 H.264/AVC 编码器的运算复杂度, 尤其适合监控视频压缩等应用场合。

**参考文献**

- [1] Joint Video Team. ITU-T Rec.H.264/IEC 14496-10 AVC-2003 Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification[S]. 2003.
- [2] Kim Y H, Yoo J W, Lee S W, et al. Adaptive Mode Decision for H.264 Encoder[J]. Electronics Letters, 2004, 40(19): 1172-1173.
- [3] Kim Y, Choe Y, Choi Y. Fast Mode Decision Algorithm for H.264 Using AZCB Prediction[C]//Proc. of IEEE ICCE'06. San Diego, USA: [s. n.], 2006.
- [4] Wang Hanli, Kwong S, Kok C W. An Efficient Mode Decision Algorithm for H.264/AVC Encoding Optimization[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2007, 9(4): 882-888.
- [5] Wan Hanli, Kwong S, Kok C W. Efficient Prediction Algorithm of Integer DCT Coefficients for H.264/AVC Optimization[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(4): 547-552.
- [6] 沈礼权, 张兆扬, 刘志, 等. 一种结合全零块检测和纹理特征的快速帧内预测模式选择算法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2007, 39(1): 134-139.
- [7] 林巍峤, 方向忠, 黄修超, 等. 一种快速的 H.264 帧内模式选择算法[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(1): 1-6.
- [8] 王嵩, 刘济林, 薛全, 等. H.264/AVC 中基于全零块检测的运动估计快速算法[J]. 电路与系统学报, 2005, 10(1): 10-14.
- [9] 王嵩, 薛全, 张颖. 基于 H.264/AVC 整数 DCT 变换的全零块检测方法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(19): 75-77.
- [10] Miguel C, Calafate T, Malumbers M P. Evaluation of the H.264 Coder Internal Report[D]. Valencia, Spain: Universidad Politcnica de Valencia, 2003.

编辑 任吉慧

研究, 更加有效地减少运动估计的运算量。

**参考文献**

- [1] 李翔, 吴国威. 一种适用于 H.264 的基于自适应搜索范围的快速运动估计算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(4): 471-476.
- [2] Hong M C, Park Y M. Dynamic Search Range Decision for Motion Estimation[R]. Joint Video Team of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, Tech. Rep.: VCEG-N33, 2001.
- [3] Hong M C, Oh H H. Range Decision for Motion Estimation of VCEG-N33[R]. Joint Video Team of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, Tech. Rep.: JVT-B022, 2002.
- [4] Hong M C, Kim C W, Rhie S W. Further Improvement of Motion Search Range[R]. Joint Video Team of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, Tech. Rep.: JVT-C065, 2002.
- [5] Chen Zhibo, Xu Jianfeng, He Yun. Fast Integer-Pel and Fractional-Pel Motion Estimation for H.264/AVC[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2000, 17(2): 264-290.

编辑 任吉慧