

H. 264/AVC 快速帧内预测模式选择算法

曾焕强 蔡灿辉

(华侨大学信息科学与工程学院, 泉州 362021)

摘要 H. 264 引入帧内预测并采用拉格朗日率失真优化(RDO)技术来选择最佳帧内预测模式, 提高I帧的编码效率, 但也大大增加了编码的计算复杂度。为了降低计算复杂度, 根据帧内预测算法特征提出了一种基于像素方向相关性的帧内预测模式快速选择算法。实验结果表明, 该算法在保证图像质量和比特率大致不变的前提下, 极大地降低了帧内预测编码的计算复杂度。

关键词 视频编码 H. 264/AVC 率失真优化 帧内预测 模式选择

中图法分类号: TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)02-0189-06

A Novel Fast Intra-prediction Mode Selection Algorithm for H. 264/AVC

ZENG Huan-qiang, CAI Can-hui

(Institute of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021)

Abstract H. 264 introduces intra-prediction coding and uses Lagrangian rate-distortion optimization(RDO) technique to decide the best intra-coding mode. Although the intra-prediction greatly improves the intra-coding efficiency, it enormously increases the computational complexity. In order to decrease the computational complexity of the algorithm, a fast algorithm for intra-prediction mode decision based on pixel's directional relativity is presented in this paper. Experimental results show that compared with the original intra-prediction coding scheme, the proposed algorithm reduces the computational complexity of intra-prediction coding dramatically with only trivial loss of PSNR and increment of bite-rate.

Keywords video coding, H. 264/AVC, rate-distortion optimization(RDO), intra-prediction, mode decision

1 引言

H. 264 是 ITU-T(国际电信联合会)的 VCEG (Video Code Expert Group) 和 ISO(国际标准化组织)的 MPEG(Motion Picture Expert Group)两个国际标准化组织的视频编码专家组成的 JVT(Joint Video Team)开发的新视频编码标准。该标准已于 2003 年 3 月正式通过 ITU-T 审定并在国际上颁布。与以往的视频编码标准相比, H. 264 具有更高的视频压缩比, 更好的图像质量和网络亲和性。因此, H. 264 标准可以广泛应用于数字视频存储、IPTV(internet protocol television)、数字卫星广播等场合。

H. 264 采用的仍是传统的基于块的混合编码方法, 它的性能提高在于采用了大量的新技术。这些技术包括 1/4 像素运动估计、更精确的帧内预测编码、 4×4 DCT 变换、权重预测、多参考帧以及 SP/SI 片、环路滤波、新的熵编码方法等^[1]。

帧内预测编码是 H. 264 的一个重要组成部分。它根据多数相邻像素具有类似性质的特点, 充分利用图像的空间相关性以进一步提高压缩效率, 对编码器整体性能的提高具有重要的作用。

为了获得较高的编码质量, H. 264 采用拉格朗日率失真优化(RDO)技术来选择最佳帧内预测模式^[2]。对于当前宏块, H. 264 通过遍历计算各种帧内预测模式组合的率失真(RD)值, 选择具有最小

基金项目:国家自然科学基金项目(60472106);福建省自然科学基金项目(A0410018)

收稿日期:2006-10-16; **改回日期:**2006-11-01

第一作者简介:曾焕强(1984 ~),男。现为华侨大学信息科学与工程学院硕士研究生。研究方向为图像处理与视频编码。E-mail: hagendasi003@163.com

RD 值的模式组合作为最佳帧内预测模式组合。由于 H.264 支持的帧内预测模式很多,一个宏块需要完成 $M8 \times (M4 \times 16 + M16) = 592$ 次帧内预测模式组合的 RD 计算,才能获得最佳帧内预测模式组合,所以计算复杂度很高。

由前面分析可知,减小帧内预测计算复杂度的方法可以分为两类,一是改进代价函数,二是缩小候选预测模式的范围。文献[3]提出了一种缩减预测模式选择范围的方法,该算法直接利用空间域的特征,根据边界方向直方图预先排除一些可能性小的预测模式,从而降低计算复杂度。该方法的缺点是需要增加额外的比特开支。文献[4]利用帧内预测模式最优模式和次优模式方向通常相邻的特点,提出一种帧内预测快速三步算法,仅选择可能性较大的帧内预测模式参与 RD 计算,从而降低计算复杂度,取得了优于文献[3]的效果。

考虑到最佳预测方向实际上就是块内平均亮度最小变化方向(下称块边缘方向),提出一种快速、有效的块边缘方向估计算法。该算法在保证图像质量和比特率大致不变的情况下,利用编码块内像素方向的相关性减少了 4×4 亮度块候选预测模式的数目和 RD 值的计算次数,从而降低帧内预测的计算复杂度,进一步提高了帧内预测模式选择的速度。

2 H.264/AVC 帧内预测编码技术

2.1 帧内预测算法

H.264 利用相邻像素的相关性在空间域进行帧内预测编码以提高编码效率。它分别对亮度分量和色度分量进行帧内预测,共支持 9 种 Intra_4×4 和 4 种 Intra_16×16 帧内亮度预测模式,以及 4 种帧内色度预测模式^[5]。

对于 4×4 亮度块, H.264 利用其上方和左方已编码并重构好的像素按照图 1 所列 9 种预测模式进行帧内预测编码。Intra_4×4 适用于具有较多细节图像的帧内预测。

H.264 还为 16×16 亮度块提供 4 种帧内预测模式,分别为垂直预测模式、水平预测模式、直流预测模式和平面预测模式。Intra_16×16 适用于平滑图像的帧内预测。

色度块的帧内预测模式与 16×16 亮度块的帧内预测模式相似,也有 4 种:模式 0——直流(DC)预测;模式 1——水平预测;模式 2——垂直预测;模

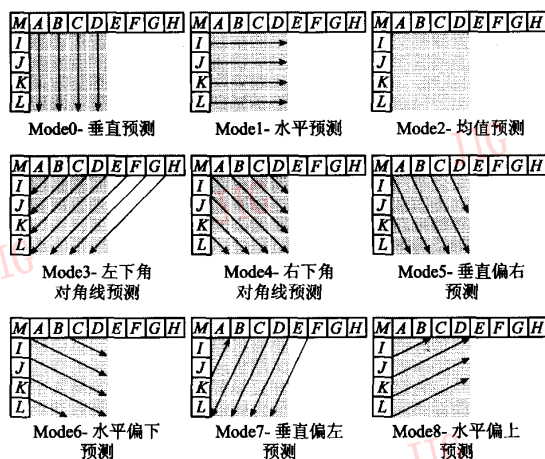


图 1 Intra_4×4 的 9 种预测模式

Fig. 1 9 prediction modes of Intra_4×4

式 3——平面(plane)预测。

2.2 帧内预测模式选择算法

H.264 采用拉格朗日率失真优化技术选出最佳帧内预测模式,对一个宏块进行帧内预测的具体过程如下^[6,7]:

(1) 对于 8×8 色度块选择一种帧内色度预测模式建立相应的帧内预测块。

(2) 按遍历的方法分别计算 4 种 Intra_16×16 帧内预测模式的代价 ($Rd_{cost16 \times 16}$), 选择具有最小代价 ($Rd_{cost16 \times 16}$) 的模式作为 16×16 亮度块的最佳帧内预测模式,进而获得该宏块在 16×16 亮度块帧内预测模式下的率失真开销 (Rd_{costMB})。

(3) 对于 4×4 亮度块选择一种 Intra_4×4 帧内预测模式建立相应的帧内预测块。

(4) 用拉格朗日率失真函数计算该预测模式下的代价 ($Rd_{cost4 \times 4}$)。

(5) 重复第 3、4 步,遍历所有 9 种 4×4 亮度块帧内预测模式,选择具有最小代价 ($Rd_{cost4 \times 4}$) 的模式作为 4×4 亮度块的最佳帧内预测模式。

(6) 对当前宏块中 16 个 4×4 亮度块重复第 3 步至第 5 步,获得每一个 4×4 亮度块的最佳帧内预测模式和相应的代价 $Rd_{cost4 \times 4}$,进而获得该宏块在 4×4 亮度块帧内预测模式下的率失真开销 (Rd_{costMB})。

(7) 选择第 2 步和第 6 步中具有较小的宏块率失真开销 (Rd_{costMB}) 的模式作为该色度下的最优模式组合。

(8) 重复第 1 步至第 7 步,遍历所有 8×8 色度块帧内预测模式下的最优模式组合,选择具有最小

RdcostMB 的模式组合作为该宏块的最佳帧内预测模式组合。

3 Intra_4×4 快速帧内模式选择算法

Intra_4×4 帧内预测方法用于对图像细节部分进行编码。它的基本思路是从不同方向计算、比较块中各个像素之间的亮度差值,即梯度值,选择具有最小预测误差的方向作为最佳预测方向。

一般来讲,每一个块的最佳预测方向与块内平均亮度最小变化方向(块边缘方向)是一致的。因此,如果能够快速、合理地估计块边缘方向,就可以根据估计的块边缘方向来选择候选预测模式,降低计算复杂度。

基于这种思想,提出两个模式选择准则,选择出符合条件的候选预测模式,再对这些候选预测模式采用 SATD (sum of absolute hadamard transformed difference) 阈值排除法^[7],挑选出最终的候选预测模式,从而缩小了候选预测模式范围,大大降低了帧内预测的计算复杂度。

3.1 模式选择准则一

在 H.264 中,4×4 亮度块共有 8 种基于方向的预测模式,如图 2 所示。因此,对于 4×4 亮度块,本文提出 8 个简单的梯度估计公式以估计块边缘方向,从而选择出符合该边缘方向的候选预测模式,降低计算复杂度。

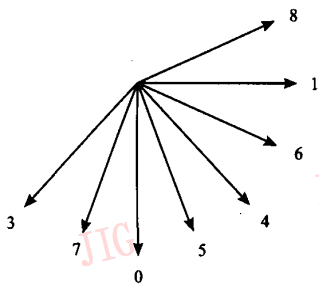


图 2 4×4 亮度块 8 个预测模式方向图
Fig.2 8 directions of 4×4 luma prediction modes

首先根据表 1 所列公式计算出除 DC 预测模式以外的其他 8 种预测模式的 cost, 然后进行排序, 选择其中具有最小和次小 cost 的两种预测模式作为候选预测模式。因为 DC 预测模式没有方向, 并且成为最佳预测模式的可能性较大, 所以列为每次候选预测模式的必选项。其中表 1 所列公式中 a、b 等元

素如图 3 所示, a、b、⋯、p 为 4×4 亮度块中 16 个待预测的像素点。

表 1 候选预测模式 cost 计算公式
Tab.1 The cost formula of candidate prediction modes

模式号	预测模式名	损耗公式
0	垂直	$cost = a - m + b - n + c - o + d - p $
1	水平	$cost = a - d + e - h + i - l + m - p $
3	左下角对角线	$cost = c - i + d - m + h - n $
4	右下角对角线	$cost = b - l + a - p + e - o $
5	垂直偏右	$cost = a - n + b - o + c - p $
6	水平偏下	$cost = a - h + e - l + i - p $
7	垂直偏左	$cost = b - m + c - n + d - o $
8	水平偏上	$cost = e - d + i - h + m - l $

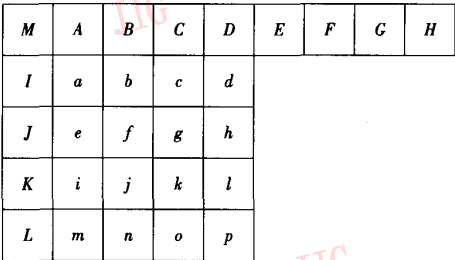


图 3 4×4 亮度块及其周围像素
Fig.3 4×4 luma block and its neighboring pixels

3.2 模式选择准则二

首先根据图 4 对 4×4 亮度块进行分割, 得到 A、B、C、D 4 个 2×2 块, 并根据式(1)对这 4 小块求和, 把相应的和也记为 A、B、C、D。其中 P(x, y) (0≤x≤3, 0≤y≤3) 表示当前 4×4 亮度块中点(x, y)的像素值。

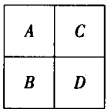


图 4 4×4 块分割
Fig.4 Division of 4×4 block

$$\left\{ \begin{aligned} A &= \sum_{y=0}^1 \sum_{x=0}^1 P(x, y) \\ B &= \sum_{y=0}^1 \sum_{x=2}^3 P(x, y) \\ C &= \sum_{y=2}^3 \sum_{x=0}^1 P(x, y) \\ D &= \sum_{y=2}^3 \sum_{x=2}^3 P(x, y) \end{aligned} \right. \quad (1)$$

为了估计当前的块边缘方向,引入两个边缘特征参数:

$$\begin{cases} F_v = \left| \frac{(A+C) - (B+D)}{S} \right| \\ F_h = \left| \frac{(A+B) - (C+D)}{S} \right| \end{cases} \quad (2)$$

其中,

$$S = \begin{cases} 8 & Q_p < 20 \\ 16 & 20 \leq Q_p < 30 \\ 32 & 30 \leq Q_p < 40 \\ 64 & Q_p \geq 40 \end{cases} \quad (3)$$

由量化步长决定。最后根据 F_v 和 F_h 来估计该亮度块的边缘方向,选择候选预测模式(表 2)。因为 DC 预测模式没有方向,并且成为最佳预测模式的可能性较大,所以列为每次候选预测模式的必选项。

表 2 候选预测模式判断表

Tab. 2 The decision table of candidate prediction modes

Case	F_v 和 F_h 关系	边缘方向	候选预测模式
1	$ F_v = F_h = 0$	没有明显边缘	2
2	$ F_h = 0$ 且 $ F_v > 0$	垂直边缘	0, 2
3	$ F_v = 0$ 且 $ F_h > 0$	水平边缘	1, 2
4	$ F_v = F_h > 0$ 且 $F_v/F_h > 0$	左下角对角线	2, 3
5	$ F_v = F_h > 0$ 且 $F_v/F_h < 0$	右下角对角线	4, 2
6	$ F_v > F_h > 0$	垂直区域边缘	0, 2, 3, 4, 5, 7
7	$ F_h > F_v > 0$	水平区域边缘	1, 2, 3, 4, 6, 8

3.3 SATD 阈值排除法

考虑到 SATD 与拉格朗日率失真函数具有很强的相关性,即具有最小 SATD 值的帧内预测模式成为最佳帧内预测模式的可能性较大,并且 SATD 具有较低的计算复杂度。为了进一步降低计算复杂度,本文以 SATD 作为判断准则,提出 SATD 阈值排除法对模式选择准则一和模式选择准则二选择出来的候选模式进行二次筛选。即分别计算出模式选择准则一和模式选择准则二所选出的候选预测模式的 SATD 值,然后与阈值 T 进行比较,排除 SATD 值大于 T 的候选预测模式,留下 SATD 值小于等于 T 的预测模式作为最终候选预测模式。在 H. 264 中, SATD 定义如下:

$$SATD = \sum_i^N \sum_j^N |c_{ij}| \quad (4)$$

其中, c_{ij} 是当前块与预测块差值的哈达玛变换的第 (i, j) 个元素。

本文把阈值 T 设为所有模式选择准则一和模式选择准则二所选出的候选预测模式的 SATD 值的平均值,这样可以根据亮度块复杂程度自适应调整大小,能够较好地适应于各种类型视频序列的编码。

3.4 快速帧内模式选择算法描述

本文所提出的快速算法着重对 4×4 亮度块的帧内预测模式选择算法进行改进。快速算法对一个宏块中的 4×4 亮度块进行帧内预测的具体过程如下:

(1) 对当前 4×4 亮度块根据模式选择准则一和模式选择准则二选出候选预测模式。

(2) 对第 1 步所选出的候选预测模式,用 SATD 阈值排除法进行再次筛选,得出最终候选预测模式。

(3) 选择一个最终候选预测模式产生预测块。

(4) 用拉格朗日率失真函数计算该帧内预测模式的代价 ($Rdcost_{4 \times 4}$)。

(5) 重复第 3 步、第 4 步直至所有候选预测模式计算完毕,选择具有最小代价 ($Rdcost_{4 \times 4}$) 的模式作为 4×4 亮度块最佳帧内预测模式。

(6) 对当前宏块中 16 个 4×4 亮度块重复第 1 步 ~ 第 5 步,获得每一个 4×4 亮度块的最佳帧内预测模式和相应的代价 ($Rdcost_{4 \times 4}$),进而获得该宏块在 4×4 亮度块帧内预测模式下的率失真开销 ($Rdcost_{MB}$)。

在快速算法中, 16×16 亮度块和 8×8 色度块的帧内预测编码方法与原全搜索算法相同。实验结果表明(表 3),快速算法在保持 PSNR 和比特率基本不变的前提下,有效地减少了 4×4 块候选预测模式数,从而减少了 RD 的计算次数,使得计算量大大减少,提高了编码速度。

表 3 候选预测模式数对比表

Tab. 3 Comparison of the number of candidate prediction modes

原算法 4×4 块帧内预测模式数	新算法 4×4 块帧内预测模式数
9 个	1 ~ 4 个, 对于大部分块是 2 个

4 实验结果

实验平台为 Intel Pentium M1.6G、512M 内存、

操作系统为 Microsoft XP,所采用的测试软件为 JVT 所提供的 JM10.2^[8],在全 I 帧格式下,编码长度为 100 帧、使用哈达玛变换、RDO 技术,CABAC 熵编码, $Q_p=24,28,32$ 时,分别对多个不同类型的 QCIF 格式和 CIF 格式的测试序列进行仿真。

表 4、表 5 给出了本文所提出的快速算法与参考代码中全搜索算法的结果比较。表 6 则给出了本文所提出的快速算法与文献[4]的结果比较。其中 CHG_T 表示序列编码时间的变化,CHG_B 表示序列码率的变化,CHG_PSNR 表示峰值信噪比的变化,“+”表示增加,“-”表示减少。

表 4 QCIF 格式视频序列的实验结果

Tab.4 Experimental results on QCIF test sequences

Q_p	测试序列	CHG_T (%)	CHG_B (%)	CHG_PSNR (dB)
28	foreman	-45.2	+2.8	-0.02
	carphone	-45.1	+3.1	-0.01
	akiyo	-45.1	+2.9	-0.02
	container	-46.2	+1.9	-0.03
	hall_objects	-46.2	+2.9	-0.01
	salesman	-45.5	+2.1	-0.08
	news	-44.8	+2.8	-0.01
	mother&daughter	-44.0	+2.8	-0.05

表 5 CIF 格式视频序列的实验结果

Tab.5 Experimental results on CIF test sequences

Q_p	测试序列	CHG_T (%)	CHG_B (%)	CHG_PSNR (dB)
28	foreman	-45.3	+3.1	-0.01
	akiyo	-44.6	+3.3	0.00
	container	-45.8	+1.9	-0.04
	mobile	-45.0	+1.4	-0.11
	stefan	-45.2	+1.9	-0.10
	football	-45.8	+2.1	-0.05
	coastguard	-46.6	+3.6	-0.06
	news	-45.5	+3.7	-0.01
	silent	-44.8	+2.6	-0.04

实验结果表明,本算法在保持 PSNR 和比特率大致不变的前提下,编码速度比原全搜索模式决策

算法提高了 45% 左右,比文献[4]所提出的模式决策算法的编码速度则提高了约十个百分点。

表 6 本文所提出的快速算法与文献[4]的实验结果对比表

Tab.6 Experimental results on CIF test sequences by the proposed algorithm and reference[4]

Q_p	测试序列	方法	CHG_T (%)	CHG_B (%)	CHG_PSNR (dB)
24	container	文献[4]	-31.7	+0.6	-0.01
		本文	-42.1	+1.2	-0.05
	news	文献[4]	-30.9	+0.8	-0.02
		本文	-42.5	+1.9	-0.03
28	container	文献[4]	-32.3	+0.8	-0.01
		本文	-46.2	+1.9	-0.03
	news	文献[4]	-31.1	+1.1	-0.02
		本文	-44.8	+2.8	-0.01
32	container	文献[4]	-32.9	+1.0	-0.01
		本文	-41.2	+3.0	-0.02
	news	文献[4]	-31.1	+1.3	-0.02
		本文	-41.1	+3.9	-0.04

5 结 论

重点分析了 H. 264/AVC 标准中帧内预测算法技术细节,并针对 H. 264 参考代码中帧内预测模式选择算法计算复杂度较大的弊端,提出了一种基于块内像素方向相关性的快速帧内预测模式选择算法。快速算法强调了 DC 预测模式的重要性,并结合两个模式选择准则和 SATD 阈值排除法预先对候选模式进行筛选,从而加速了帧内预测模式中最耗时的 4×4 亮度块模式抉择过程。实验结果表明快速算法效果显著,可大幅度降低帧内预测编码的计算复杂度。

参考文献 (References)

1 Thomas Wiegand, Gray J Sullivan, Gisle Bjonte, *et al.* Overview of the H. 264/AVC Video Coding Standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13 (7): 560 ~ 576.

2 Till Halbach. Performance comparison: H. 26L intra coding vs. JPEG2000[R]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6, JVT-D039, Klagenfurt, Austria Joint Video Team, 2002.

3 PAN F, Lin X, Susanto R. Fast Mode Decision for Intra Prediction

- [A]. In: JVT 7th Meeting[C], Pattaya, Thailand, 2003: 1147 ~ 1150.
- 4 Cheng C C, Chang T S. Fast three step intra prediction algorithm for 4×4 blocks in H.264[A]. In: International Symposium on Circuits and Systems[C], Kobe, Japan, 2005, 2:1509 ~ 1512.
- 5 Iain E G Richardson. H.264/MPEG 4 Part 10 White Paper: Intra Prediction[DB/OL]. <http://www.vcodex.com/h264.html>, 2003-04.
- 6 Wiegand T, Schwarz H, Joch A, *et al.* Rate constrained coder control and comparison of video coding standards [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7):688 ~ 703.
- 7 PEI Shi-bao, LI Hou-qiang, YU Neng-hai. A Fast Intra-Frame Prediction Mode Selection Algorithm of H.264/AVC[J]. Computer Engineering and Application, 2005, 25(8): 1908 ~ 1910. [裴世保, 李厚强, 俞能海. H.264/AVC 帧内预测模式选择算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, 25(8):1908 ~ 1910.]
- 8 Joint Video Team, Reference Software JM10.2 [CP/OL]. <http://ftp3.itu.ch/av-arch/>, 2006-04.