

基于方向测度的 H.264 快速帧内预测算法

李金红,张有会,王志巍,滑斌杰,程浩

LI Jin-hong,ZHANG You-hui,WANG Zhi-wei,HUA Bin-jie,CHENG Hao

河北师范大学 数学与信息科学学院,石家庄 050016

College of Mathematics and Information Science,Hebei Normal University,Shijiazhuang 050016,China

E-mail:jing831111@126.com

LI Jin-hong,ZHANG You-hui,WANG Zhi-wei,et al.Fast algorithm of intra prediction for H.264 based on direction measure.Computer Engineering and Applications,2010,46(2):156-159.

Abstract: H.264 provides several predicting modes and directions for intra prediction in the spatial region,and the optimal mode is selected by Rate Distortion Optimization(RDO) with high coding complexity.In order to solve this problem,a fast algorithm of intra prediction for H.264 based on direction measure is proposed.The algorithm utilizes direction measure to estimate the flatness and texture direction of a block,and precludes some less probable prediction modes to avoid unnecessary cost computations.Experimental results show that the proposed algorithm can averagely reduce encoding time by 60% with 0.05 dB PSNR loss and 1.27% bit rate increase on average.

Key words: H.264;intra prediction;direction measure;mode selection

摘 要: H.264 在空间域上从多个方向进行多种模式的帧内预测,并使用率失真优化算法选择最佳模式,使编码的复杂度大幅增加。为此,提出了一种基于方向测度的快速帧内预测算法。该算法使用方向测度来判断块的平坦程度和纹理方向,它可以预先排除可能性小的预测模式,避免了不必要的代价计算。实验结果表明,算法在保持信噪比平均降低 0.05 dB 和码率平均增加 1.27% 基础上,编码时间平均减少了 39.16%。

关键词: H.264 标准;帧内预测;方向测度;模式选择

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.02.047 **文章编号:**1002-8331(2010)02-0156-04 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391

1 引言

H.264 是 ISO/IEC MPEG(Moving Picture Experts Group)和 ITU-T(国际电信联盟)VCEG(Video Coding Experts Group)组成的联合视频专家组 JVT(Joint Video Team)制定的新一代视频编码标准^[1],并于 2003 年 5 月获得正式通过。同以往标准相比,H.264 采用了一系列的新技术:更精细像素运动估计和补偿,多参考帧技术,去块效应的环路滤波技术,加强的熵编码技术,小块的整数 DCT 变换等等。因此在相同的重建图像质量下,H.264 与以往标准相比节约了 50% 的码率^[2]。同时,它具有良好的网络亲和性,适用于交互(实时视频会议、视频电话等)和非交互(视频存储、视频流等)的应用环境。但新技术引入的同时也增加了 H.264 编码器的时间复杂度,影响了其在实时领域中的应用。

帧内预测是 H.264 采用的一项重要技术^[3],它充分利用图像的空间相关性,根据已编码相邻块的信息对当前块进行预测。为了达到高效的编码性能,H.264 使用 RDO(率失真优化,Rate Distortion Optimization)模型为每个宏块选择最佳编码模

式。但由于 H.264 所支持的帧内预测模式很多,为了确定一个宏块的帧内预测模式,需要计算 592 个率失真代价值^[4],编码复杂度很高。因此研究 RDO 模式下的帧内预测快速算法具有重要的应用价值。

2 H.264 帧内预测技术

为了提高帧内图像的编码效率,H.264 标准采用帧内预测技术^[5],它利用当前块上边和左边的像素对当前块进行预测(如图 1),只对实际值和预测值的差值进行编码,从而减少了编码的比特数。在 H.264 标准中,宏块尺寸仍然是 16×16,而基本处理单元相对于其他标准由 8×8 变为 4×4。因此亮度宏块支持两种宏块预测模式:Intra_4×4 和 Intra_16×16,而色度块仅支持 8×8。Intra_4×4 有 9 种预测模式,其中包括 8 种方向性预测模式(如图 2)和 1 种均值预测模式。Intra_16×16 有 4 种预测模式,色度 8×8 也有 4 种预测模式,预测模式与亮度 Intra_16×16 基本相同。

在判决一个宏块的帧内预测模式时,校验模型给出了一种

作者简介:李金红(1983-),女,硕士研究生,主要研究领域为图像处理、视频编码技术;张有会(1955-),男,教授,主要研究领域为图像处理、视频编码技术;王志巍(1960-),男,副教授,主要研究领域为图像处理、视频编码技术;滑斌杰(1974-),男,硕士研究生,主要研究领域为图像处理、视频编码技术;程浩(1983-),男,硕士研究生,主要研究领域为图像处理、视频编码技术。

收稿日期:2008-07-24 **修回日期:**2008-10-21

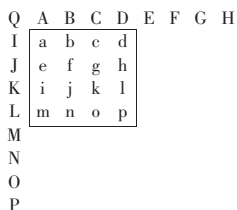


图1 子块预测像素

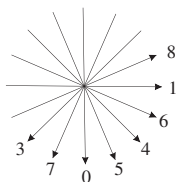


图2 Intra_4x4 预测方向

全搜索算法,它以色度模式为外循环,然后依次扫描亮度块的所有模式进行帧内预测模式选择,模式搜索总数为: $M8 \times (M4 \times 16 + M16)$,共 592 个。其中 $M8=4$ 、 $M4=9$ 、 $M16=4$,分别代表 8×8 色度块、Intra_4x4 和 Intra_16x16 预测模式的个数。这意味着为了得到一个宏块的最佳模式,需要计算 592 个不同模式的率失真真代价值,这种方法编码质量最高,但运算量却大幅增加。

3 方向测度的定义

纹理的方向性是纹理图像的一个重要特征。一幅纹理图像的方向性是指其灰度在一定方向上的变化所呈现的一致性、均匀性,从视觉上看似近似条纹状。依据此特征,文献[6]提出了一种新纹理统计特征——方向测度。方向测度能够提取纹理图像的二阶和高阶统计特性,且计算量小,运算结构简单。

一阶方向测度的定义如下:

设 (i,j) 是 $N \times N$ 图像中的任意一点,图 3 是以其为中心的 5×5 窗口。假设一幅纹理图像在垂直方向上具有一定的方向性,那么其在垂直方向上相邻像素间灰度变化从平均意义上要比其他方向小。为了测量这种相邻像素的灰度变化,文献[6]提出了 8 个统计量 $h(i), i=1,2,3,\dots,8$,将其称之为——一阶方向测度。在此仅列出了 $h(1), h(2)$ 的表达式(如式(1)),其他表达式可类似得到。

$$h(1) = \sum_{i,j=1}^N |f(i,j+1) - f(i,j)| \quad (1)$$

$$h(2) = \sum_{i,j=1}^N |f(i-1,j+2) - f(i,j)|$$

其中 $f(i,j)$ 表示 (i,j) 点的灰度值。

上述 8 个一阶方向测度直接代表了纹理的方向特性。对于一幅纹理图像,如果方向测度 $h(5)$ 的取值比其他 7 个值小得多,则说明它是一幅垂直方向性的纹理。由此可见,可以用一幅纹理图像方向测度的相对取值来反映其所具有的方向性,方向测度最小值对应的方向一般即为图像的纹理方向;对于两幅纹理图像,如果一幅纹理图像方向测度的取值均比另一幅小,则说明前者在各个方向上相邻像素灰度的变化要比后者小,即前者与后者相比具有相同的灰度或者近似相同的灰度。因此,方向测度还可以用来衡量图像的平坦程度,即各个方向测度都很小的图像一般比较平坦,反之则说明图像细节较多。

由式(1)可知,一阶方向测度是由一阶差分计算产生的。类似地可以将式(1)中的一阶差分推广到高阶差分,得到的方向测度称之为高阶方向测度。式(2)给出了图 4 所示 5×5 窗口的

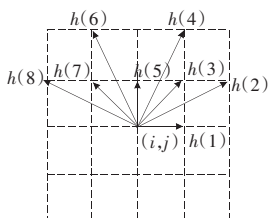


图3 一阶方向测度的 5×5 窗口

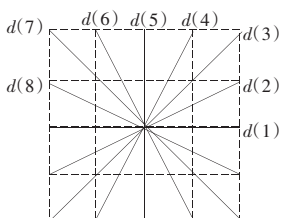


图4 高阶方向测度的 5×5 窗口

8 个高阶方向测度中 $d(1)$ 的表达式。

$$d(1) = \sum_{i,j=1}^N |f(i,j+2) - 4f(i,j+1) + 6f(i,j) - 4f(i,j-1) + f(i,j-2)| \quad (2)$$

高阶方向测度能够提取到更多的纹理特征,比一阶方向测度具有更高的识别率,就计算量而言,由于乘法运算可以用移位运算来实现,故并不比一阶方向测度复杂很多。

4 快速帧内预测算法

H.264 帧内预测采用全搜索算法,它没有考虑到宏块本身的纹理特性,而是穷举各种预测模式从中选择最优者,使算法复杂度大幅增加。自然场景图像中的前景和背景通常具有一定的纹理特性,按其方向性可以划分为水平纹理、垂直纹理和倾斜纹理等。将图像分割成宏块后,各个宏块所具有的纹理方向特性会更加明显。如果能够依据宏块的这种纹理特性来预先排除一些可能性小的预测模式,将大大简化整个算法的预测过程。考虑到色度块的模式选择过程比较简单,在此仅研究亮度块模式选择的快速算法。

由第 3 章的分析可知,方向测度可以提取纹理图像方向特性:

(1)各个方向测度都很小的图像一般比较平坦,反之则说明图像细节较多。在 H.264 中,Intra_4x4 模式适合非平坦宏块的预测,Intra_16x16 模式适合平坦块的预测。因此可以考虑用宏块方向测度均值的大小来预测宏块是否平坦,从而确定宏块的预测模式。

(2)方向测度最小值对应的方向一般即为图像的纹理方向。H.264 的 Intra_4x4 模式有 9 个预测方向,因此可以用当前 4×4 块的方向测度来预先确定其最有可能的预测方向,从而排除一些可能性小的预测方向来减少方向选择的计算量。

基于以上分析,从以下两个方面对 H.264 亮度块的帧内预测算法进行简化:

(1)宏块预测模式判定:用当前宏块的方向测度均值来判定宏块为平坦块或非平坦块,从而判定预测模式为 Intra_16x16 模式或 Intra_4x4 模式;如果是 Intra_16x16 模式,采用标准算法进行预测模式选择;

(2)Intra_4x4 预测模式选择:根据当前 4×4 子块的方向测度,直接排除不可能的预测模式。

4.1 宏块预测模式判定

宏块方向测度均值的相对大小可以用来预测宏块是否平坦,从而确定宏块的预测模式。该算法采用基于高阶方向测度的双阈值法来进行宏块预测模式的判定。

对于一个 16×16 大小的宏块,定义其水平和垂直两个方向的高阶方向测度为 $Hdir$ 和 $Vdir$,并计算其均值 $AVGdir$,具体计算公式如下:

$$Hdir = \sum_{i,j=3,6,9,12} [f(i-2,j) - 4f(i-1,j) + 6f(i,j) - 4f(i+1,j) + f(i+2,j)]$$

$$Vdir = \sum_{i,j=3,6,9,12} [f(i,j-2) - 4f(i,j-1) + 6f(i,j) - 4f(i,j+1) + f(i,j+2)]$$

$$AVGdir = \frac{Vdir + Hdir}{2}$$

其中 $f(i,j)$ 代表宏块中像素 (i,j) 的灰度值。为了减少计算量,在此对宏块进行抽样来计算方向测度,因此上式中 i 和 j 取值均为 3、6、9、12。具体程序实现时,乘法运算用移位运算来实现

以进一步减少计算量。

表1是对QCIF格式(176×144)的Mobile(纹理复杂)、Claire(平坦)和Container(中等)视频序列采用H.264标准全搜索算法编码其前100帧图像的统计数据。其中AVGDir16表示采用Intra_16×16模式的所有宏块AVGdir的平均值,AVGDir4表示采用Intra_4×4模式的所有宏块AVGdir的平均值。

表1 方向测度均值的统计数据

序列	Container	Claire	Mobile	平均值
AVGDir16	171	134	834	380
AVGDir4	839	307	1179	776

由表1的统计数据可以看出,宏块不同预测模式的高阶方向测度有较明显的差别:当宏块的方向测度均值相对较小时,预测模式一般为Intra_16×16,反之一般为Intra_4×4。因此可以依据宏块的方向测度均值设定阈值对宏块预测模式进行预判。该文采用双阈值法,具体过程如下:

(1)预先设定2个阈值:上限 α 和下限 β 。

(2)计算当前宏块的高阶方向测度均值AVGdir,并将其与 α, β 进行比较。

如果 $AVGdir > \alpha$,则认为该宏块细节较多,采用Intra_4×4预测模式;

如果 $AVGdir < \beta$,则认为该宏块较平坦,采用Intra_16×16预测模式;

如果 $\beta < AVGdir < \alpha$,宏块的预测模式不能提前判定。

阈值的大小会直接影响可提前判定预测模式的宏块数和误判的宏块数,而这两个指标是相互矛盾的。经过多次实验,该算法中 $\alpha=388, \beta=50$,表2给出了此阈值下对QCIF格式的Mobile、Claire和Container视频序列采用H.264标准的全搜索算法编码其前100帧图像的统计数据。由此可以看出,可提前预测的宏块比例平均为61%,而误判的宏块比例却仅为2.42%,这说明此阈值的取值在加快算法速度的同时,能较好地保持图像质量。

表2 关于方向测度阈值的统计数据

序列	Container	Claire	Mobile	平均值
误判率	1.4%	5%	0.88%	2.42%
可预判率	52%	36%	96%	61%

4.2 快速Intra_4×4预测模式选择

据统计采用Intra_4×4预测模式的宏块至少占帧内宏块的70%^[7],因此加快4×4子块的模式选择过程是降低整个算法时间复杂度的关键所在。考虑到4×4子块比较小,采用一阶方向测度来对其预测模式进行判定。

对于一个4×4块,定义其垂直、水平和主次对角线上(即图2中的方向0,1,3,4)的4个一阶方向测度分别为dir0,dir1,dir3,dir4(如式(3)),并计算出其最小值和次小值Min、LessMin。

$$\begin{aligned} dir0 &= \sum_{i,j=0}^2 |f(i,j+1) - f(i,j)| & dir1 &= \sum_{i,j=0}^2 |f(i+1,j) - f(i,j)| \\ dir3 &= \sum_{i,j=1}^2 |f(i-1,j+1) - f(i,j)| & dir4 &= \sum_{i,j=0}^2 |f(i+1,j+1) - f(i,j)| \end{aligned} \quad (3)$$

由第3章可知,最小测度对应的方向一般就是块的纹理方向。因此当 $Min=dir0$ 时,则Min对应的预测方向0即为当前块的最优预测方向,同理LessMin对应的预测方向即为次优预测方向。由文献[4]的研究表明:帧内预测的各个模式之间有很强的相关性,最优模式和次优模式之间有类似的预测方向,即它们在预测方向图(图2)中是相邻的。因此当 $Min=dir0$ 时,Less-

Min最可能取值为dir4或dir3。并且当 $Min=dir0, LessMin=dir4$ 最后的预测方向很可能从0,4,5中产生。依据此特性,该算法用Min和LessMin排除一些可能性小的预测方向,来减少候选预测模式的数量,具体方法如表3所示。

表3 Intra_4×4候选模式确定

(Min, LessMin)	候选预测模式
(dir0, dir4)或(dir4, dir0)	0, 4, 5, 2
(dir0, dir3)或(dir3, dir0)	0, 3, 7, 2
(dir1, dir4)或(dir4, dir1)	1, 4, 6, 2
(dir1, dir3)或(dir3, dir1)	1, 3, 8, 2
其他情况	所有9个预测模式

在确定候选预测模式时,考虑到模式2的特殊性,在此均把模式2列为候选模式。

4.3 快速算法实现步骤

该算法采用基于宏块高阶方向测度均值的双阈值法来预先判定宏块预测模式,然后对Intra_4×4预测模式采用一阶方向测度来排除可能性小的预测模式,具体实现步骤如下:

(1)预先设定2个阈值:上限 α 和下限 β 。

(2)计算当前宏块高阶方向测度Vdir, Hdir的均值AVGdir,并将其与 α, β 进行比较:

①如果 $AVGdir > \alpha$,则认为该宏块细节较多,进行快速Intra_4×4模式选择。

②如果 $AVGdir < \beta$,则认为该宏块较平坦,采用H.264标准算法进行Intra_16×16模式选择。

③如果 $\beta < AVGdir < \alpha$,宏块预测模式不能提前预判。首先采用H.264标准算法进行Intra_16×16模式选择,然后进行快速Intra_4×4模式选择来确定宏块的最优模式。

其中,快速Intra_4×4模式选择具体过程为:计算4×4子块的方向测度dir0, dir1, dir3, dir4,并求得其最小值Min和次小值LessMin,然后根据表3确定当前子块的候选预测模式,进行快速模式选择。

5 实验结果

为了验证该算法的性能,将算法用于H.264 JM13.2参考软件中进行测试。测试环境如下:

编码参数:视频格式为QCIF;帧率为30;GOP结构只有I帧;编码帧数为100帧;RDO开启;CAVLC开启;量化参数QP=28;阈值 $\alpha=388, \beta=50$ 。

测试平台: Intel Pentium 4 CPU 2.40 GHz,内存512 MB, OS为Window XP。

对不同种类的标准测试序列进行实验得出全搜索算法与该文快速算法的对比性能,如表4所示。其中 $\Delta Time$ 代表编码

表4 该算法与标准算法性能比较

测试序列	$\Delta PSNR_Y$	ΔBR	$\Delta Time$
Akiyo	-0.01	+1.65	-36.02
Mobile	-0.06	+0.59	-43.66
Coastguard	-0.06	+0.20	-43.21
Foreman	-0.05	+1.13	-38.18
Carphone	-0.05	+1.21	-38.07
News	-0.06	+1.47	-37.57
Claire	-0.06	+3.20	-38.51
Container	-0.05	+0.69	-38.06
平均值	-0.05	+1.27	-39.16

时间的节省情况; $\Delta PSNR_Y$ 代表峰值信噪比减少百分比; ΔBR 代表码率的变化幅度。“-”表示比原来降低,“+”表示增加。结果获取采用对各个视频序列进行大量测试取平均值的方法。各项指标的平均值为:时间减少 39.16%; $PSNR_Y$ 降低 0.05 dB;码率增加 1.27%。

6 结论

利用高阶方向测度,结合双阈值法,取代 H.264 原有的宏块模式判定方法,对于特征明显的宏块,直接从两种预测模式(Intra_16×16 和 Intra_4×4)中选取一种,从而避免对每一个宏块都进行两种模式的预测。对于那些特征不是很明显的宏块,则用标准算法进行判断,以保证用最佳的模式来编码。并且对于 Intra_4×4 模式进一步利用一阶方向测度来排除可能性小的预测模式。既提高了编码速度,又将码率的增加和信噪比的损失控制在极小的范围内。

选用双阈值法进行宏块模式判定时,阈值大小将会直接影响编码性能。纹理复杂度不同的视频其高阶方向测度取值差别很大,在下一步工作中将考虑采用自适应阈值取值法来代替该

文的固定取值法,以进一步优化算法。

参考文献:

- [1] ITU-T Recommendation H.264 & ISO/IEC 14496-10(MPEG-4)AVC. Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services:(version 1:2003,version 2:2004)version 3[S].2005.
- [2] Wiegand T,Sullivan G,Bjontegaar G,et al.Overview of the H.264/AVC video coding standard[J].IEEE Trans Circuits and Syst for Video Technology,2003,13(7):560-576.
- [3] Halbach T.Performance comparison:H.26L intra coding vs.JPEG2000:ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6[C]//JVT 4th Meeting Klagenfurt,Austria,July 2002.
- [4] Pan Feng,Lin Xiao.Fast mode decision for intra prediction[S].JVT of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG,JVT-G013,2003-03.
- [5] Joint Video Team.Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification[S].JVT-G050,2003.
- [6] 于晓晗,袁保宗.方向测度及其在纹理识别中的应用[J].自动化学报,1990,16(3):347-351.
- [7] 孟庆磊.一种面向 H.264/AVC 的快速帧内预测选择算法[J].北京航空航天大学学报,2007,33(2):319-323.
- [8] 杨景涛,吴立德.带聚类的 Hilbert R-建树算法[J].模式识别与人工智能,2001,14(1):9-13.
- [9] Kamel L,Faloutsos C.On packing R-Trees[C]//Proc 2nd International Conference Information and Knowledge Management,Arlington VA,1993:490-499.
- [10] Berchtold S,Keim D A,Kriegel H P.The X-tree:An index structure for high-dimensional data[C]//Proceedings of the 22th International Conference on Very Large Data Bases,1996:28-39.
- [11] Wang Zheng-dao,Yang Xiao-fan.Blind channel estimation for UWB communications employing pulse position modulation[J].IEEE Signal Processing Letters,2005,12(7):520-523.
- [12] Haykin S.Adaptive filter theory[M].4th ed.[S.l.]:Prentice Hall,2002.
- [13] 罗鹏飞,张文明.随机信号分析与处理[M].北京:清华大学出版社,2006:220-222.
- [14] Cichocki A,Amari Shun-ichi.自适应盲信号与图像处理[M].吴正国,唐劲松,章林柯,等译.北京:电子工业出版社,2005:56-59.
- [15] Melsa P J W,Younce R C,Rohrs C E.Impulse response shortening for discrete multitone transceivers[J].IEEE Trans Commun,1996,44:1662-1672.
- [16] Mendel J M,Bob John R I.Type-2 fuzzy sets made simple[J].IEEE Transactions on Fuzzy Systems,2002,10(2).
- [17] Mendel J M.Type-2 fuzzy sets and systems:An overview[J].IEEE Computational Intelligence Magazine,2007.
- [18] 林佑生,石教英.基于 HVS 的彩色图像边缘检测算子[J].计算机图象图形学报,2005(1).
- [19] Petrou M,Bosdogianni P.Image processing the fundamentals[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [20] 杨勇,黄淑英.一种改进的 Pal 和 King 模糊边缘检测算法[J].仪器仪表学报,2008(9).
- [21] Liang L R,Looney C G.Competitive fuzzy edge detection[J].Applied Soft Computing,2003,3:123-137.
- [22] Mendel J M.Uncertain rule-based fuzzy logic systems:Introduction and new directions[M].[S.l.]:Prentice Hall,2001.
- [23] 袁和金,张艳宁,周涛,等.红外图像的一种 Type II 模糊增强算法[J].计算机工程与应用,2007,43(16):33-36.
- [24] 林梅,舒宁,赵长胜.一种新的基于连通成分的边缘评价方法[J].国土资源遥感,2003(3):37-40.

(上接 108 页)

- [2] 王生生,刘大有,曹斌,等.一种高维空间数据的子空间聚类算法[J].计算机应用,2005,25(11):2615-2617.
- [3] 杨志荣,李磊.用 SOM 聚类实现多级高维点数据索引[J].计算机研究与发展,2003,40(1):100-106.
- [4] 栾丽华,吉根林.树型空间索引及其在聚类中的应用研究[J].计算机工程与应用,2005,41(19):166-169.

(上接 134 页)

- [5] Wang Zheng-dao,Yang Xiao-fan.Blind channel estimation for UWB communications employing pulse position modulation[J].IEEE Signal Processing Letters,2005,12(7):520-523.
- [6] Haykin S.Adaptive filter theory[M].4th ed.[S.l.]:Prentice Hall,2002.
- [7] 罗鹏飞,张文明.随机信号分析与处理[M].北京:清华大学出版社,

(上接 140 页)

从表 1~表 3 可以看出,相对于文献[6]的 PalKing 边缘检测算法,该文算法的 C/B 的值均比其小。

5 结束语

针对传统 PalKing 模糊边缘检测算法的缺陷,提出了一种基于区间二型模糊集的彩色遥感图像边缘检测算法。该方法通过引入二型模糊,克服了以往算法在构造模糊特征映射时的盲目性。相对于传统 PalKing 模糊边缘检测算法,通过双阈值进行模糊映射,从而避免了单一阈值在进行边缘检测中所造成的误分。通过实验和分析,所提出来的算法能较好地检测出彩色遥感图像边缘,因此是一种实用有效的彩色遥感图像边缘检测方法。

参考文献:

- [1] 王雪晶,张健,魏仲慧,等.基于遥感相机模型的遥感图像彩色校正[J].红外与毫米波学报,2002(12).