

应用 J_{mode} 值单调性的快速 P 帧模式选择算法吴银花^{1,2}, 金龙旭^{1*}, 张 柯¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: yhwcn@msn.com;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 为了提高编码速度, 针对 H. 264/AVC 中运算量较大的 P 帧模式选择部分, 提出了一种新的快速选择算法。该算法依次通过 J_{mode} 值单调性检测、基于子块运动向量(MV)的水平与垂直方向选择, 这两个步骤逐步缩小候选帧间模式检测范围, 同时提出了基于最佳帧间模式的帧内模式选择方法, 选择性地检测帧内模式, 从而有效避免不必要的模式检测过程。实验结果表明, 相对 JM 中模式全搜索算法, 改进算法平均减小了约 63.80% 的编码时间, 而只带来了微小的编码性能损失。

关 键 词: 视频编码; H. 264/AVC; P 帧模式选择; J_{mode} 值单调性; 子块 MV

中图分类号: TN941.1; TP301.6

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132802.0266

Fast P-Frame Mode Decision Algorithm Using Monotonicity of J_{mode} WU Yin-hua^{1,2}, JIN Long-xu^{1*}, ZHANG Ke¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,

Changchun 130033, China, E-mail: yhwcn@msn.com;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to speed up video encoding, a new fast algorithm is proposed, on P-frame mode decision which has high complexity in H. 264/AVC. In the proposed algorithm, the check range of candidate inter modes are reduced gradually through the following two steps: the monotonicity check of J_{mode} and the selection of horizontal or vertical orientation based on sub-blocks' motion vector (MV). Meanwhile, an intra mode checking method based on the best inter mode is proposed, which check intra modes selectively. Thus, it is avoided effectively that checking unnecessary modes. The experiment results show that, compared with exhaustive mode decision algorithm in the JM, the proposed algorithm reduced the encoding time about by 63.80% on average, while brought negligible performance degradation.

Key words: video coding; H. 264/AVC; P-frame mode decision; monotonicity of J_{mode} ; sub-block's MV

1 引 言

随着人们对视频的要求不断提高, 有关视频的各项研究^[1-9], 如视频编码等, 得到了更多的重

视和更深入的发展。H. 264/AVC^[10]是目前应用最广泛的视频编码标准之一。该算法在 P 帧宏块编码过程中, 相比以往的标准^[11]采用了范围更广的块尺寸, 从 16×16 到 4×4 , 共 7 种。同时,

收稿日期: 2012-07-10; 修订日期: 2012-09-01

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划(No. 863-2-5-1-13B)

作者简介: 吴银花(1984—), 女, 吉林延吉人, 博士研究生, 主要研究方向为视频压缩与传输。

* 通信联系人, E-mail: jinlx@ciomp.ac.cn

还支持帧内模式和 SKIP 模式(块尺寸为 16×16 的一种特殊模式),从而有效提高了编码效率。但是为了得到最佳模式,需要检测上述的所有模式,而每个模式的检测过程又包括一系列复杂的计算过程,因此急剧增加了计算复杂度。

多年来出现了很多有关 P 帧模式选择的快速算法,通过尽量避免不必要的模式检测过程,降低运算量。X. Jing 等人^[12]提出的快速算法是根据当前宏块与前一帧中相同位置宏块之间的绝对误差和 SAD,判断是否只需进行大模式的检测,从而省略不必要的计算过程。J. Lee 等人^[13]首先根据 SKIP 模式的特性,提出了一种提早判断 SKIP 模式是否为最佳模式的算法。另外,通过比较最佳帧间模式下的 ABE(平均边界误差)和 AR(平均码率),提出了帧内模式选择省略策略。K. P. Lim 等人^[14]提出了一种根据纹理复杂度判断候选模式的算法。该算法首先进行帧内模式选择,之后基于 SOBEL 边缘检测算子判断宏块一致性,再根据帧内模式选择的结果,确定候选帧间模式检测范围,以减少编码时间。

本文提出了一种新的快速 P 帧模式选择算法,首先分别通过 J_{mode} 值单调性检测、水平与垂直方向选择过程,确定当前宏块最可能的候选帧间模式范围,接着根据求得的最佳帧间模式,选择性地检测帧内模式,从而有效避免了不必要的模式检测,节省了编码时间,而编码性能下降很小。

2 H. 264/AVC 中 P 帧模式选择

H. 264/AVC 中 P 帧模式选择方法主要分为 3 个部分:帧间模式选择、帧内模式选择、率失真优化模型。

2.1 帧间模式选择

H. 264/AVC 支持 7 种块划分模式(16×16 到 4×4),如图 1 所示。其中大模式(16×16 、 16×8 、 8×16)主要用于运动缓慢或细节较少的区域,而小模式(8×8 、 8×4 、 4×8 、 4×4)主要用于运动剧烈或细节较多的区域。图 2 是实际编码过程中 QCIF 序列 Suzie 的第 10 帧的块划分模式。

编码一个宏块时,需要对每种帧间模式的每个分割块都要进行运动估计。7 种块划分模式共形成了 41 个分割块,也就是需要进行 41 次运动估计。而对于每次运动估计,其运算量也相当大。

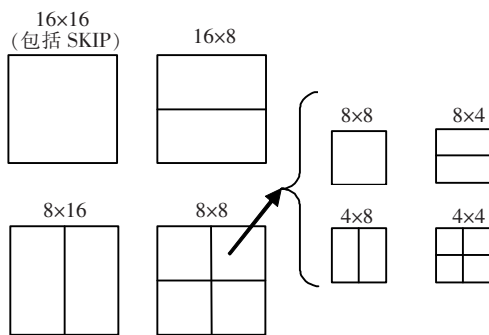


图 1 7 种块划分模式

Fig. 1 7 different block sizes

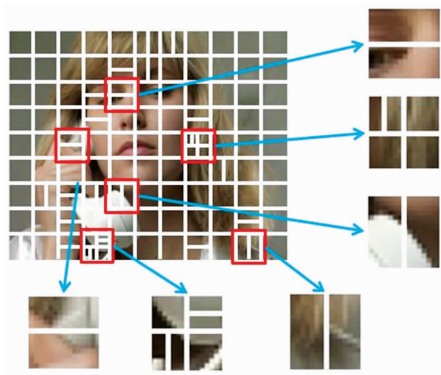


图 2 序列 Suzie 第 10 帧的块划分模式

Fig. 2 Block sizes chosen in the 10th frame of "Suzie"

2.2 帧内模式选择

除了上述的 7 种帧间模式外, H. 264/AVC 在 P 帧宏块编码中又考虑了帧内模式。即每个 P 帧宏块还要进行帧内模式预测:亮度块 13 种(9 种帧内 4×4 模式+4 种帧内 16×16 模式),色度块 4 种。

其中进行亮度块的帧内 4×4 模式时,对每个 4×4 块独立预测 9 种模式,而且亮度块与色度块采用的模式也互相独立,因此每个宏块共需要进行 $4 \times (9 \times 16 + 4) = 592$ 次帧内预测。

2.3 率失真优化模型

在选取最佳模式方面, H. 264/AVC 采用了基于拉格朗日优化算法的率失真优化模型,即根据公式(1),对每种模式(包括帧间和帧内模式)计算拉格朗日代价函数值 J_{mode} ,并选 J_{mode} 最小值对应的模式作为最佳模式。

$$J_{\text{mode}} = D + R \times \lambda_{\text{mode}} \quad (1)$$

其中, λ_{mode} 是拉格朗日参数, R 和 D 分别是当前宏块在对应模式下编码生成的比特数和失

真度。

而为了计算在每种模式下的 J_{mode} 值,要在每种模式下进行预测残差计算、DCT 变换和量化、DCT 反变换和反量化、熵编码等一系列复杂运算。这就大大增加了运算量,使得编码时间太长。

3 本文算法

本文应用文献[15]中基于错误表面单调性的预测方法,提出了一种新的快速 P 帧模式选择算法。

3.1 J_{mode} 值单调性检测

由式(1)可知, J_{mode} 值主要由失真度 D 和生成比特数 R 决定。因此,在进行最佳模式选择时,要同时考虑这两个关键因素。其中,失真度由当前原始宏块与预测宏块之间的残差决定,残差值越小,失真度越小;生成比特数是每个分割块的最佳 MV、采用模式、残差信息等通过熵编码生成的比特数总和。

对于细节较多、或属于运动剧烈区域的宏块来说,当采用小尺寸分割模式时,虽然分割块的最佳 MV、采用模式等生成的比特数相对大一些,但残差值相对很小,因而失真度很小,残差信息生成的比特数也很小。在这种情况下,与大尺寸分割模式相比,一般在小尺寸分割模式下 J_{mode} 值更小,因此采用小尺寸分割模式。尤其在细节多到一定程度、或运动剧烈到一定程度时,随着分割块尺寸的减小, J_{mode} 值单调减小。

相反,对于细节较少、或属于运动平坦区域的宏块来说,与小尺寸分割模式相比,一般在尺寸分割模式下 J_{mode} 值更小,因此采用大尺寸分割模式。尤其在细节少到一定程度、或运动平坦到一定程度时,随着分割块尺寸的减小, J_{mode} 值单调增加。

由上述描述可知,在一定程度下,宏块的 J_{mode} 值随着分割块尺寸的变化呈现单调性。因此,反过来说,如果宏块的 J_{mode} 值随着分割块尺寸的变化呈现单调性,则说明该宏块的运动强度或包含的细节达到了一定程度,从而只需检测大模式或小模式。 J_{mode} 值的单调性检测方法^[15]如下:

首先求出当前宏块在块划分模式 16×16 、 8×8 、 4×4 下的 J_{mode} 值,分别记为 J_{16} 、 J_8 、 J_4 。如果满足 $J_{16} \leq J_8 \leq J_4$ 或 $J_{16} > J_8 > J_4$,则认为当前

宏块具有 J_{mode} 值单调性。至于剩余的 16×8 、 8×16 、 8×4 、 4×8 模式是否需要进行检测,是根据当前宏块的 J_{mode} 值单调性决定,如表 1 所示。

表 1 J_{mode} 值单调性与对应的剩余模式

Table 1 Monotonicity of J_{mode} & corresponding remaining modes

J_{mode} 值单调性	需要检测的剩余模式
$J_{16} \leq J_8 \leq J_4$	16×8 、 8×16 模式
$J_{16} > J_8 > J_4$	8×4 、 4×8 模式
其他	16×8 、 8×16 、 8×4 、 4×8 模式

3.2 水平与垂直方向选择

如 3.1 中所述,对 P 帧宏块进行 J_{mode} 值单调性检测后,还需要继续检测剩余的 2 种或 4 种模式。而这些剩余模式检测过程所占用的运算量也相当大,因此本文利用相邻分割块的最佳 MV 之间关系,提出了一种水平(16×8 , 8×4)与垂直(8×16 , 4×8)方向选择方法,进一步缩小候选模式检测范围。

下面以 16×8 、 8×16 模式为例介绍该方法。在进行 J_{mode} 值单调性检测的过程中,已在 8×8 模式(4 个子宏块均采用 8×8 模式)下对宏块进行了运动估计,该模式下 4 个 8×8 块的最佳 MV 如图 3 所示。

MV _{X,LU} MV _{Y,LU}	MV _{X,RU} MV _{Y,RU}
MV _{X,LD} MV _{Y,LD}	MV _{X,RD} MV _{Y,RD}

图 3 8×8 模式下 4 个子宏块的最佳 MV

Fig. 3 Best MVs of 4 sub-macroblocks in 8×8 mode

若相邻的两个 8×8 块的最佳 MV 之差足够小,则可合并这两个 8×8 块。一般在可合并的情况下,合并后 J_{mode} 值减小。这是因为若两个块的最佳 MV 之差足够小,说明这两个块具有几乎相同的最佳 MV,所以合并后失真度和残差信息生成的比特数的增加很小,而分割块的最佳 MV、采用模式等生成的比特数减小很多。而且,一般相邻 8×8 块的最佳 MV 之差越小,合并的可能性

越大,合并块的 J_{mode} 值越小。

本文用 hor_mv_diff 和 ver_mv_diff 分别表示当前宏块在水平方向上相邻的 8×8 块之间最佳 MV 之差和垂直方向上相邻的 8×8 块之间最佳 MV 之差,如式(2)、(3)所示。

$$\begin{aligned} \text{hor_mv_diff} = & |MV_{X,LU} - MV_{X,RU}| + \\ & |MV_{Y,LU} - MV_{Y,RU}| + |MV_{X,LD} - MV_{X,RD}| + \\ & |MV_{Y,LD} - MV_{Y,RD}| \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{ver_mv_diff} = & |MV_{X,LU} - MV_{X,LD}| + \\ & |MV_{Y,LU} - MV_{Y,LD}| + |MV_{X,RU} - MV_{X,RD}| + \\ & |MV_{Y,RU} - MV_{Y,RD}| \end{aligned} \quad (3)$$

如果 hor_mv_diff 和 ver_mv_diff 都足够小,则可以合并成 16×16 模式(该模式已检测),从而跳过 16×8 、 8×16 模式的检测。如果只有 hor_mv_diff 足够小,则可以合并成 16×8 模式,因此只需检测 16×8 模式,跳过 8×16 模式的检测。如果只有 ver_mv_diff 足够小,则正好相反。

另外,如果 hor_mv_diff 足够小于 ver_mv_diff,则可预测为合并成 16×8 模式的可能性明显大于合并成 8×16 模式的可能性,也就是该宏块在 16×8 模式下的 J_{mode} 值明显小于在 8×16 模式下的 J_{mode} 值,因此在这两种模式中只需检测 16×8 模式;反之亦然。

具体的判断过程如下:

根据大量实验,当 hor_mv_diff 和 ver_mv_diff 都小于 2 时,认为足够小,可合并成 16×16 ,跳过 16×8 、 8×16 模式。

根据大量实验,当一个方向上的最佳 MV 之差小于另一个方向上最佳 MV 之差的 1/2 时,可认为前者足够小于后者。因此当 hor_mv_diff \leq ver_mv_diff 时,如果 hor_mv_diff $<$ ver_mv_diff/2,则只检测 16×8 模式;否则,如果 hor_mv_diff $<$ 5,则认为 hor_mv_diff 足够小,只检测 16×8 模式;否则,两种模式都检测。当 hor_mv_diff $>$ ver_mv_diff 时,正好相反。

同样,对于每个子宏块在 8×4 、 4×8 模式之间的选择过程也采用该方法。早在进行 J_{mode} 值单调性检测过程中,已经对 4×4 模式(4 个子宏块均采用 4×4 模式)进行了运动估计。因此,子宏块在 8×4 、 4×8 模式之间的选择是根据该子宏块中 4 个 4×4 块在 4×4 模式下的最佳 MV 进行。

3.3 P 帧宏块的帧内模式选择

P 帧宏块采用帧内模式的可能性极低,但不

可彻底忽略,因此可以选择性地进行检测。本文中提出的方法是根据已求得的最佳帧间模式,决定需要检测的帧内模式。如果最佳帧间模式(7 种模式之一)为大模式,则表明宏块的一致性相对较高,因此只检测帧内 16×16 模式;相反,如果最佳帧间模式为小模式,则表明宏块的一致性相对较低,因此只检测帧内 4×4 模式。

为了验证该方法的可行性,本文对 9 个不同测试序列(News、Foreman、Container、Carphone、Akiyo、Suzie、Grandma、Mobile、Salesman,以下实验中均采用这 9 个测试序列)进行了测试,统计分析了 P 帧宏块的最佳帧间模式分别为大模式和小模式时,最终采用帧内 16×16 模式或帧内 4×4 模式为最佳模式的比率。表 2 中数据是以上两种比率在 9 个序列中的平均值。

表 2 在对应最佳帧间模式下采用帧内模式比率
Table 2 Ratio of intra mode adopted under the corresponding best inter mode

最佳帧间模式	帧内 16×16	帧内 4×4
大模式	0.31 %	0.26 %
小模式	0.16 %	0.92 %

由表 2 可知,当最佳帧间模式为大模式时,采用帧内 16×16 模式和帧内 4×4 模式时的平均比例分别为 0.31% 和 0.26%,即帧内 16×16 模式时的比例相对大一些;当最佳帧间模式为小模式时,采用帧内 16×16 模式和帧内 4×4 模式时的平均比率分别为 0.16% 和 0.92%,即大部分为帧内 4×4 模式。根据本文提出的方法,对于帧间模式为大模式的情况,平均错误率是采用帧内 4×4 模式为最佳模式的平均比率,即 0.26%(虽然此时帧内 16×16 模式时的比例和帧内 4×4 时的比率相差不大,但由于在该情况采用帧内模式为最佳模式的总比例平均很小,因此错误率很小);对于帧间模式为小模式的情况,平均错误率是采用帧内 16×16 模式为最佳模式的平均比率,即 0.16%。两种情况下错误率都很小,因此证明了该方法可行。

3.4 本文算法描述

根据 3.1~3.3 中的描述,本文提出的快速 P 帧模式选择算法具体步骤如下:

步骤 1:分别计算当前宏块在 skip 和 16×16

模式下的 J_{mode} 值,取其中较小值设为 J_{16} 。

步骤 2:计算当前宏块在 8×8 和 4×4 模式下的 J_{mode} 值,分别记为 J_8 和 J_4 。在 J_{16} 、 J_8 和 J_4 中,最小值设为 J_{min} ,把对应的模式设为 Best-mode。

步骤 3:如果 $J_{16} \leq J_8 \leq J_4$,则设 IF_SMALL=0,进入步骤 4;否则,如果 $J_{16} > J_8 > J_4$,则设 Block=0,进入步骤 5;否则,设 IF_SMALL=1,并进入步骤 4。

步骤 4:计算基于 8×8 模式的 hor_mv_diff 和 ver_mv_diff。根据 3.2 中的判断方法,检测 16×8 、 8×16 模式,并更新 J_{min} 和 Bestmode。如果 IF_SMALL 等于 1,则设 Block=0,并进入步骤 5;否则,进入步骤 7。

步骤 5:对于当前子宏块,计算基于 4×4 模式的 hor_mv_diff 和 ver_mv_diff。根据 3.2 中的判断方法,检测 8×4 、 4×8 模式。把检测结果和 4×4 、 8×8 模式比较,确定该子宏块的最佳模式。

步骤 6:如果 Block 等于 3,则根据在步骤 5 更新的 4 个子宏块的最佳模式,计算当前宏块在小模式下的 J_{mode} 值,并更新 J_{min} 和 Bestmode,进入步骤 7;否则,Block 加 1,回到步骤 5 检测下一个子宏块。

步骤 7:如果 Bestmode ≤ 3 ,即为大模式,则检测帧内 16×16 模式;否则,检测帧内 4×4 模式,并根据检测结果更新 J_{min} 和 Bestmode。此时的 Bestmode 就是当前宏块的最佳模式。

4 实验结果及分析

为了验证本文提出的快速 P 帧模式选择算法,本文首先在 H.264/AVC 参考软件 JM8.6 上实现了该算法,并通过具有不同运动剧烈程度、不同纹理复杂度的 9 个测试序列进行测试,统计分析了本文改进算法相对 JM 中模式全搜索算法,在信噪比、编码时间、输出码率上的变化。这是因为视频编码性能主要体现在信噪比、编码时间、输出码率这 3 个方面,其中信噪比越高、编码时间越短、输出码率越小,编码性能越好。

实验中采用 IPPP 图像编码结构,帧率为 30 fps,1 个参考帧,使能哈达马变换,搜索范围为 ± 16 ,开启 RDO,熵编码采用 CAVLC,对每个序列分别在 4 个固定量化参数(QP=28、32、36、40)下各编码 100 帧。实验结果如表 3 所示。

表 3 本文算法与模式全搜索算法比较

Table 3 Comparisons of the proposed algorithm and the exhaustive mode decision algorithm

序列	BDBR/%	BDPSNR/dB	ΔT /%
News	0.80	-0.045	-66.11
Foreman	1.32	-0.070	-59.86
Container	0.13	0.002	-68.53
Carphone	1.12	-0.051	-61.76
Akiyo	-0.65	0.038	-66.61
Suzie	1.31	-0.057	-61.53
Grandma	-0.65	0.025	-66.58
Mobile	-0.22	0.009	-57.94
Salesman	0.56	-0.031	-65.27
平均	0.41	-0.020	-63.80

本文根据文献[16]中的计算方法,分别用 BDPSNR 和 BDBR 衡量两种算法在信噪比和输出码率上的差异。该计算方法是根据 4 个不同 QP 值下信噪比和输出码率值,拟合 R-D 曲线,并假设在两种算法下所有测量点具有相同输出码率或相同信噪比,分别计算 BDPSNR 和 BDBR,给出了全局范围内两种算法的性能差异。表 3 中, ΔT 表示编码时间的变化率,如公式(4)所示,其中 T_{pro} 和 T_{JM} 分别表示在本文算法和模式全搜索算法下的编码时间。

$$\Delta T = \frac{T_{pro} - T_{JM}}{T_{JM}} \times 100\% \quad (4)$$

表 3 中实验结果表明,相对 JM 中的模式全搜索算法,本文提出的快速运动估计算法平均减少了 63.80% 的编码时间,最大 68.53% (Container 序列),最小 57.94% (Mobile 序列),明显提高了编码速度。在编码性能方面,信噪比平均下降了 0.020 dB,或输出码率平均等效增加了 0.41%。信噪比在最坏情况下下降了 0.070 dB,输出码率在最坏情况下增加了 1.32%,几乎可以忽略。

表 4 是在不同 QP 下各个序列的 ΔT 值。可以看出,随着 QP 的增加,速度提高比率有小幅上升。另外,本文算法对于运动缓慢的序列速度提高比率,相比运动剧烈的序列大一些,如当 QP=28 时,运动较缓慢的 News 序列、Akiyo 序列,编码速度分别提高了 65.58%、65.42%,而运动较

剧烈的 Mobile 序列、Foreman 序列,编码速度分别提高了 50.83%、55.55%,但差距并不明显。而且随着 QP 的增加,该差距逐渐减小。以 News 序列和 Mobile 序列为例,当 QP=28 时,这两个序列的编码速度提高比率相差 14.75%;当 QP=32 时,相差 9.97%;当 QP 分别为 36、40 时,相差分别为 4.93%和 3.06%。

图 4、图 5 分别是 News 序列和 Mobile 序列

表 4 不同 QP 下的 ΔT

Table 4 ΔT with different QPs

序列	QP=28/ %	QP=32/ %	QP=36/ %	QP=40/ %
News	-65.58	-66.10	-66.60	-66.19
Foreman	-55.55	-59.37	-61.66	-62.87
Container	-68.56	-68.86	-68.50	-68.20
Carphone	-57.05	-61.29	-64.01	-64.68
Akiyo	-65.42	-67.26	-66.95	-66.80
Suzie	-59.00	-61.62	-62.92	-62.58
Grandma	-66.26	-66.59	-66.76	-66.70
Mobile	-50.83	-56.13	-61.66	-63.13
Salesman	-64.43	-65.37	-65.66	-65.65
平均	-61.41	-63.62	-64.97	-65.20

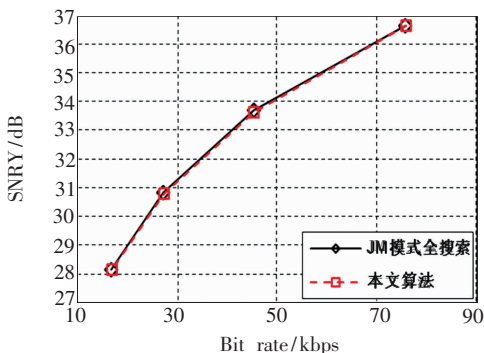


图 4 News 序列 R-D 性能曲线

Fig. 4 R-D curve for “News”

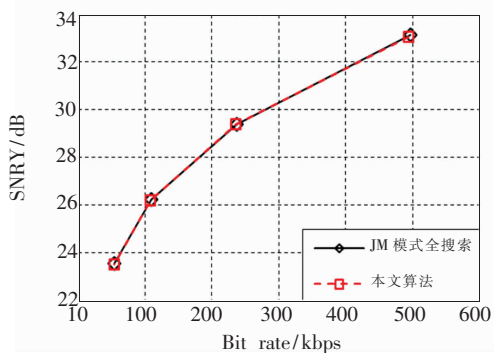


图 5 Mobile 序列 R-D 性能曲线

Fig. 5 R-D curve for “Mobile”

在本文算法和 JM 中模式全搜索算法下的 R-D 性能曲线图。可以看出,在不同序列中两种算法的 R-D 性能曲线均非常相近,几乎重叠。因此,进一步证明了本文算法与模式全搜索算法具有几乎相同的编码性能。

整体来说,本文提出的 P 帧宏块模式快速选择算法,在运算复杂度上相比 JM 中的模式全搜索算法有明显下降,而在编码质量和编码效率方面几乎保持一致,算法性能比较好。

5 结 论

为了提高编码速度,本文针对 H. 264/AVC 中运算量较大的 P 帧模式选择部分,提出了快速算法。对于帧间模式,先后通过 J_{mode} 值单调性检测、基于子块 MV 的水平与垂直方向选择,缩小候选模式检测范围,对于帧内模式,引入了基于最佳帧间模式的帧内模式选择方法,从而尽可能只检测可能性较高的模式,而避免不必要的模式检测。实验结果表明,与 JM 中模式全搜索算法相比,本文算法编码速度平均提高了约 63.80%,而编码性能基本保持不变。本文的下一步工作是把改进算法移植到 DSP 系统中,并针对硬件结构进行代码优化。

参 考 文 献:

[1] 程作霖,郑天津,刘云川,等. 微投影视频信号的 USB 传输系统设计 [J]. 液晶与显示, 2012, 27(1):81-86.
 [2] 张秋林,夏靖波,邱婧,等. 基于 ARM 和 FPGA 的双路远程视频监控系统设计 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(6): 780-784.
 [3] 田雨露,杨刚,王波,等. 基于块的背景重构算法研究及应用 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(5):693-697.
 [4] 祝世平,陈菊嫻. 基于预搜索的高效双目形视频编码 [J]. 光学精密工程, 2012, 20(3): 675-684.
 [5] 易盟,郭宝龙,严春满. 结合优化梯度滤波与投影不变的航拍视频配准 [J]. 光学精密工程, 2012, 20(3):

651-660.

- [6] 熊文彬, 蒋泉, 曲建军, 等. 基于 FPGA 实现的视频显示系统 [J]. 液晶与显示 2011, 26(1): 92-95.
- [7] 张涛, 乔彦峰, 李雪雷, 等. 基于 64 位操作系统的超高速视频存储系统 [J]. 液晶与显示 2011, 26(4): 505-509.
- [8] 张倩, 胡健生. RGB 格式数据向 BT. 656 视频标准转换的关键技术 [J]. 液晶与显示 2011, 26(5): 640-645.
- [9] 王鸣浩, 王志, 吴小霞. 基于 SOPC 的高帧频数字图像采集显示系统 [J]. 液晶与显示 2011, 26(5): 650-654.
- [10] Wiegand T, Sullivan G J. Overview of the H. 264/AVC video coding standard [J]. *IEEE Trans. CSVT.*, 2003, 13(7): 560-576.
- [11] 钟玉琢, 王琪, 贺玉文. 基于对象的多媒体数据压缩编码国际标准-MPEG-4 及其校验模型 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [12] Jing X, Chau L P. An efficient Inter mode decision approach for H. 264 video coding [C]//*IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, Taipei; IEEE ICME, 2004: 1111-1114.
- [13] Lee J, Jeon B. Fast mode decision for H. 264 [C]//*IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, Taipei; IEEE ICME, 2004: 1131-1134.
- [14] Lim K P, Wu S, Wu D J, *et al.* Fast Inter Mode Selection (JVT-I020) [C]//*Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG 9th Meeting*, San Diego, USA; JVT of ISO/IEC MPEG & ITU-VCEG, 2003.
- [15] Yin P, Tourapis H-Y C, Tourapis A M. Fast Mode Decision and Motion Estimation for JVT/H. 264 [C]//*IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Barcelona, Spain; IEEE ICIP, 2003: 853-856.
- [16] Bjontegaard G. Calculation of Average PSNR Differences between RD-curves (VCEG-M33) [C]//*ITU-Telecommunications Standardization Sector, 13th Meeting*, Texas, USA; ITU-T Standardization Sector, 2001.