

分级视频编码中宏块相关性快速模式决策

杨大伟¹, Baochun Hou², 赵春晖¹

YANG Da-wei¹, Baochun Hou², ZHAO Chun-hui¹

1. 哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001

1. College of Information and Communication, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

2. School of Electronic, Communication and Electrical Engineering, University of Hertfordshire, England, AL10 9AB

E-mail: yangdawei@hrbeu.edu.cn

YANG Da-wei, Baochun Hou, ZHAO Chun-hui. Fast mode decision of macroblock correlation within Scalable Video Coding. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(28): 24-26.

Abstract: To reduce the computation complexity of adaptive inter-layer prediction within spatial and temporal scalable video coding, a fast mode decision algorithm is proposed by exploiting the macroblock correlation of temporal level in enhancement layers. This algorithm recomposes a dynamic candidate mode group for the current macroblock from the used modes of co-located reference macroblocks which are sort-ordered by rate distortion cost in order to improve the encoding efficient. Experimental results on JSVM demonstrate that the proposed algorithm can achieve a reduction of 21.67% encoding time on average, with a negligible average PSNR loss of 0.014 8 dB and a 0.55% bit rate increasing.

Key words: Scalable Video Coding(SVC); adaptive inter-layer prediction; fast mode decision; macroblock correlation

摘要:为降低空时分级视频编码中自适应层间预测模式的计算复杂度,利用增强层中时域宏块相关性的特点,提出一种随时间等级变化的快速模式决策算法。该算法将参考宏块使用过的模式按照其率失真优化代价排序,选择其中代价较小的模式作为当前宏块的动态备选方案,从而有效地提高编码效率。在JSVM上的实验结果表明,同原有非优化决策算法相比,在PSNR平均降低0.014 8 dB、比特率增加0.55%的情况下,该优化算法使得平均编码时间减少21.67%。

关键词:分级视频编码;自适应层间预测;快速模式决策;宏块相关性

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.28.007 **文章编号:** 1002-8331(2009)28-0024-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP919.81

SVC(Scalable Video Coding, 分级视频编码)是JVT(Joint Video Team)在原有H.264/AVC^[1]的基本框架下发展出来的分级视频协议。通过分级技术的实现,能够让不同尺寸、不同速率以及不同质量的多媒体视频通过同一编码方案进行传输。这不仅可以满足不同显示设备的播放要求,更能够降低多播(multicast)传输给网络带来的数据量压力。

以往研究通过在SVC中引入自适应层间预测来提高图像质量,使得计算复杂度增加,编码时间冗长。这已成为困扰SVC应用的主要障碍之一。所以,提出一种快速有效的模式决策方案已成为亟待解决的问题。

文献[2]是在空时组合分级下,利用基本层的概率统计信息来提高层间模式决策的选择效率,但是空时分级不能保证全部增强层的图像均有基本帧与其一一对应,故而该算法具有一定局限性。He等人在文献[3]中针对单一空域分级情况,利用基本层已编码图像信息来指导增强层的快速模式决策算法。该文在空时组合分级的应用背景下,针对自适应层间预测所带来的编

码时间消耗过大的问题,利用增强层时域宏块的相关性,提出一种快速模式决策算法。经过仿真验证,能够有效地降低编码备选模式数量,减少计算次数,达到节约编码时间的目的。

1 自适应层间预测与宏块相关性

1.1 自适应层间预测

自适应层间预测是指,增强层的待编码图像需要在层内和层间分别进行模式搜索,将得到的最小代价模式确定为该宏块的最优模式匹配方案。

SVC空时分级自适应编码结构^[4]如图1所示,GOP(Group of Picture, 编码图片组)大小为8,第0帧和第8帧是关键帧,其余为层次化B帧。增强层的第2、4、6帧存在对应的基本帧,可以使用自适应层间预测模式编码,其余增强帧则只在增强层内进行双向帧间预测。

随着增强层尺寸变大和层数增多,自适应层间预测所带来的计算量也随之增加,使得编码效率大大降低^[5]。

基金项目:黑龙江省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Heilongjiang Province of China under Grant No.F200828)。

作者简介:杨大伟(1978-),男,博士研究生,主要研究领域为数字图像处理;Baochun Hou(1968-),男,英国Hertfordshire大学博士生导师,主要研究领域为数字图像处理和通信信号处理;赵春晖(1965-),男,博士生导师,主要研究领域为智能信息与图像处理、非线性信号处理和通信信号处理。

收稿日期: 2009-07-06

修回日期: 2009-08-10

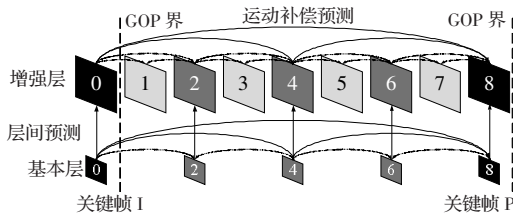


图1 SVC 时空分级视频结构示意图

1.2 时域宏块相关性

为获得当前待编码宏块与其相应参考宏块在时域上的相关性信息, 将宏块模式分为宏模式和子宏模式两类: $ListM = \{16 \times 16, 16 \times 8, 8 \times 16, 8 \times 8, Intra4 \times 4, Intra16 \times 16, IntraBL\}$, 及 $ListSubM = \{Direct, 8 \times 4, 4 \times 8, 4 \times 4\}$, 且 $ListSubM$ 仅当 $ListM$ 为模式 8×8 时有效。宏块中 SKIP 模式编码复杂度较小, 对编码效率的提高影响也较大, 故不做优化处理, 予以保留^[2]。

令 $ListM_0, ListSubM_0$ 为当前待编码宏块 M_0 的动态备选模式分组。 M_{ref0}, M_{ref1} 分别为 M_0 的前向、后向参考宏块。当参考宏块 M_{ref0} 和 M_{ref1} 所在帧编码完成后, 按照率失真 (Rate Distortion, RD) 代价从小到大排序各自的宏块和子宏块模式。 $ListM_{ref0}, ListSubM_{ref0}$ 为宏块 M_{ref0} 的已排序结果; $ListM_{ref1}, ListSubM_{ref1}$ 是宏块 M_{ref1} 的已排序结果。

从 $ListM_{ref0}$ 和 $ListM_{ref1}$ 选取率失真代价较小的前 N 个模式组成 $ListM_0$, N 是模式选取数量参数, $N \in [1, 7]$ 。当这 N 个模式中包含有帧间 8×8 模式时, 从 $ListSubM_{ref0}, ListSubM_{ref1}$ 中选取率失真代价较小的前 S 个模式组成 $ListSubM_0$, S 为子模式数量选取参数, $S \in [1, 4]$ 。其中, N 与 S 的关系满足公式(1):

$$S = \lfloor \alpha \cdot N + \beta \rfloor \tag{1}$$

这里, 操作符 $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整, α, β 是影响因子, 用来调整宏块和子宏块间模式选取数量的对应比例关系。当 $ListM_0, ListSubM_0$ 确定完毕后, 当前待编码宏块 M_0 开始进行运动估计计算。

图2中给出了4组图像序列 Bus, Football, Crew 和 Soccer 的时域宏块相关性。各测试序列均采用单层 65 帧, GOP 大小为 32 的条件下得到。由图中可见, 随着 N 的取值不断变大, 所有层次化 B 帧的 $ListM_0$ 中包含最优模式概率不断升高, 其概率公式为:

$$P = \frac{\sum_{n=0}^K L(n)}{K} \tag{2}$$

$$L(n) = \begin{cases} 1, & ListM_0 \text{ 包含最优模式} \\ 0, & ListM_0 \text{ 中不包含最优模式} \end{cases} \tag{3}$$

其中, K 为层次化 B 帧的宏块数量, 最优模式由穷举搜索计算得到。

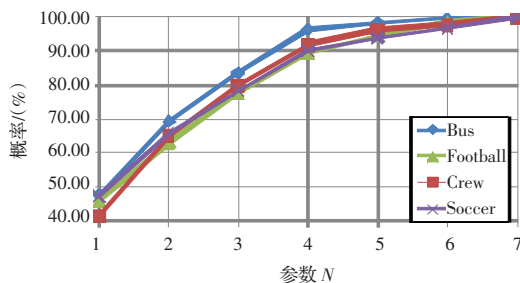


图2 时域宏块相关性

1.3 时间等级与宏块相关性

层次化 B 帧的时间等级结构如图3所示, 其中 GOP 为 16, 时间解析度为 4。在时间等级为 0 时, 只包含唯一一帧 B⁰ 帧 (第 8 帧), 它的运动估计需要依靠关键帧来完成, 对后续图像编码起着至关重要的作用, 所以该帧不采用快速决策优化, 以避免整个 GOP 整体质量因此而大幅下降。

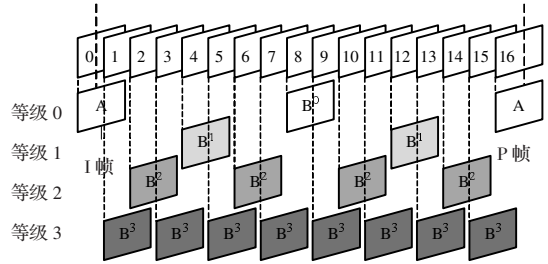


图3 层次化 B 帧的结构原理

从图3中可见, 随着时间等级不断升高, B 帧在时域上的距离也越近, 使得对应宏块间的相关性逐渐加强。如果参考宏块选取数量 N 的取值可以随之变化: 在相关性较强时, N 取值较大; 在相关性较弱时, N 取值较小, 那么既提高了算法的灵活性, 也有效地降低了计算复杂度。

2 快速模式决策算法

2.1 时间等级参数的设定

为保证模式选取数量 N 能够随时间等级升高而变化, 定义时间等级参数 k_i :

$$k_{i+1} = a_i \cdot k_i, a_i < 1 \tag{4}$$

其中, $k_0 = 7, i \in [0, 4]$ 。则对应于不同时间等级下, N 的取值应为:

$$N = \lfloor k_i \rfloor, i \in [0, 5] \tag{5}$$

此处, i 为编码序列的时间等级。任一宏块编码时, 将从对应的参考宏块中选取 N 个模式组成 $ListM_0, ListSubM_0$ 。

2.2 快速算法流程

该算法针对增强层的层次化 B 帧操作, 包括两个阶段:

第一个阶段, 记录已编码帧的全部模式并按照率失真代价从小到大排序, 其结果存储于各宏块的 $ListM(i, j, k), ListSubM(i, j, k)$ 中, i, j, k 分别为第 i 层、第 j 帧的第 k 个宏块;

第二个阶段, 通过参数 N 从 $ListM(i, j, k)$ 和 $ListSubM(i, j, k)$ 中选取指定数量的参考模式, 为当前宏块重新组成备选模式组 $ListM_0$ 和 $ListSubM_0$, 当前宏块只使用限定的备选模式组来完成运动估计。

图4给出参考宏块选取算法流程图, 图5是模式决策算法流程图, 其中 LIST_0 和 LIST_1 分别为前向参考帧和后向参考帧。

3 仿真分析

在 SVC 标准参考模型 JSVM 9.1 上加入该快速算法模块, 从编码比特率、图像质量和编码速度 3 个方面与原始程序进行比较, 以检验算法的有效性。该算法的实验平台为: P4 2.8 GHz CPU 计算机, 1 GB 内存, Windows XP 操作系统。测试条件如表 1 所示, 仿真结果由表 2 给出, 所有输入序列均使用 JVT 提供的标准测试序列。时间等级参数为 $k_0=7, k_1=6, k_2=5, k_3=4, k_4=3, k_5=2$, 实验中其他参数详见文献[1]。基本层图像尺寸大小为

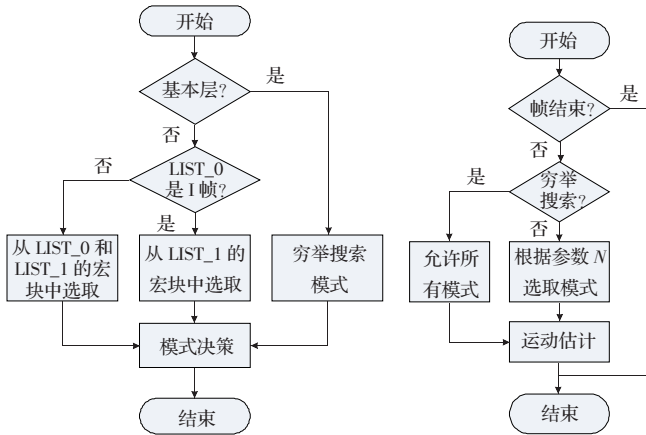


图4 参考宏块选取算法流程图 图5 模式决策算法流程图

QCIF, 增强层分别为 CIF 和 4CIF, 其 QP 值分别为 28、32 和 38。

表1 测试条件

序列	帧数	GOP	层数
Bus	65	32	2
Football	65	16	2
Foreman	65	32	2
Mobile	65	32	2
City	65	64	3
Crew	65	16	3
Harbour	65	64	3
Soccer	65	32	3

在表 2 中, $\Delta PSNR$ 是快速算法的峰值信噪比与原始算法的差值, $\Delta Bitrate$ 和 $\Delta Time$ 是编码器采用快速算法的比特率和时间占用原始算法的百分比。从表中分析得出, 该文的快速算法在平均峰值信噪比为 0.014 8 dB 和平均比特率增加 0.55% 的情况下, 使得平均编码时间减少 21.67%, 并且随着空间层的增加, 编码效率提高也相对较明显。

表2 图像质量、比特率和时间比较

序列	$\Delta PSNR/dB$	$\Delta Bitrate/(%)$	$\Delta Time/(%)$
Bus	-0.012 3	0.50	-16.45
Football	-0.011 7	0.38	-12.23
Foreman	-0.023 6	0.02	-23.54
Mobile	-0.012 5	0.09	-10.56
City	-0.002 2	0.08	-41.46
Crew	-0.035 3	2.76	-13.41
Harbour	-0.010 3	0.44	-29.46
Soccer	-0.010 6	0.14	-26.22
平均	-0.014 8	0.55	-21.67

图 6 和图 7 分别是 Bus 和 Soccer 序列的率失真代价曲线图。可以看出, 该文算法在较大码率范围内和比特率增加不高

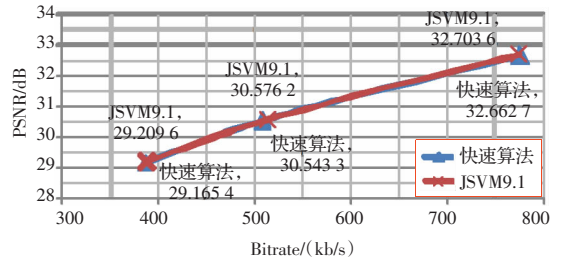


图6 Bus 序列的 RD 曲线

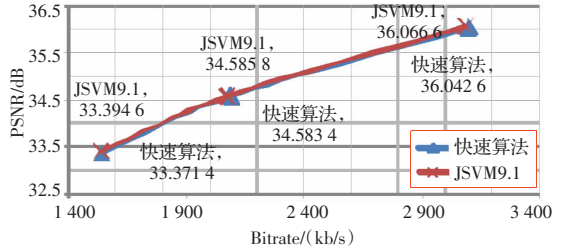


图7 Soccer 序列的 RD 曲线

的情况下, 保证 PSNR 降低极少, 并且有效地缩减了编码时间, 进一步证明了该算法的有效性。

4 结语

对 SVC 空时分级自适应层间预测模式下的时域宏块相关性进行了详细的分析, 提出了一种适用于 SVC 增强层的快速模式决策算法。该算法极大地缩减了当前待编码宏块的备选模式, 简化了复杂的模式搜索过程, 在不损害编码质量的情况下, 有效地降低了编码的计算复杂度。

参考文献:

- [1] Segall C A, Sullivan G J. Spatial scalability within the H.264/AVC scalable video coding extension[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(9): 1121-1135.
- [2] 张昕, 赵德斌, 张永兵. 基于统计的 SVC 层间编码快速模式决策算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(11): 222-224.
- [3] Li He, Li Z G, Wen Chang-yun. Fast mode decision for spatial scalable video coding[C]// IEEE International Symposium on Circuits and System, 2006: 3005-3008.
- [4] Schwarz H, Marpe D, Wiegand T. Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(9): 1103-1120.
- [5] Liang Y, He Z, Ahmad. Analysis and design of power constrained video encoder[C]// IEEE Symposium on Emerging Technologies, China, 2004, 1(1): 57-60.

(上接 23 页)

- [10] Sun Z, Ge S S. Analysis and synthesis of switched linear control systems[J]. Automatica, 2005, 41(2): 181-195.
- [11] 郑大钟. 线性系统理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [12] 韩正之. 线性系统的(A, B)特征子空间与大系统分散控制[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [13] 杨磊, 李俊民. 一类线性切换系统的能控性和能观测性的充要条件[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(5): 588-590.

- [14] Wang Yi-jing, Xie Guang-ming, Wang Long. Reachability of switched discrete-time systems under constrained switching[C]// Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control, Mad, Hawaii USA, 2003: 5765-5770.
- [15] 朱茹. 切换系统的分析与综合[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [16] Ge S S, Sun Z, Lee T H. Reachability and controllability of switched linear discrete-time systems[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2001, 46(9): 1437-1441.