

基于统计的 SVC 层间编码快速模式决策算法

张 昕, 赵德斌, 张永兵

(哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 可分级视频编码提供了较为灵活的编码方式, 但层间模式决策算法增加了编码器的计算复杂度。该文分析了基本层和增强层间模式分布的相关性, 设计一种层间编码快速模式决策算法。实验结果表明, 在 PSNR 平均仅降低 0.04 dB、码率减少 0.096% 的前提下, 该优化算法能使编码时间平均减少 50.34%。

关键词: 可分级视频编码; 模式决策; 相关性

Fast Mode Decision Algorithm for Layered Coding Based on Statistic in SVC

ZHANG Xin, ZHAO De-bin, ZHANG Yong-bing

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

【Abstract】 Scalable Video Coding(SVC) provides a more flexible encoding method, however, mode decision algorithm for layered coding increases in high computational complexity. This paper analyzes the mode-distribution correlation between the base layer and enhancement layers, and builds a fast mode decision algorithm for layered coding. Experimental results demonstrate that the proposed algorithm can achieve a reduction of 50.34% encoding time on average, with a negligible average PSNR loss of 0.04 dB and a 0.096% bit rate decrease.

【Key words】 Scalable Video Coding(SVC); mode decision; correlation

1 概述

SVC^[1]作为H.264/AVC的可分级扩展,是正在制定中的视频编码标准。它通过时域、空域和质量的分层机制,在比特流级上实现可分级性,具有很高的压缩效率。但是,层间模式决策算法极大增加了编码器的计算复杂度,阻碍了SVC的实际应用。因此,降低其计算复杂度是一个亟待解决的问题。

SVC的快速模式决策是一个较新的方向。文献[2]提出了一种针对空间增强层的低复杂度帧内预测方法。文献[3]提出了针对空域增强层的快速模式决策算法。本文通过统计分析空间可分级和精细质量可分级(FGS)基本层与增强层之间模式分布的相关性,设计出层间快速模式决策算法。该算法在几乎不损害编码质量的情况下,有效地降低了编码器的计算复杂度。

2 SVC 层间运动估计研究与模式选择

2.1 SVC 率失真优化模式选择与优化

在 SVC 的运动估计中,定义了 7 种帧间(Inter)预测模式、9 种帧内 Intra4×4 预测模式和 4 种帧内 Intra16×16 预测模式,以及 PCM 模式、SKIP 和 DIRECT 模式等。另外,鉴于空域可分级和质量可分级的分层结构, SVC 还引入了 3 种层间预测,即纹理预测、模式及运动信息预测和残差预测,分别对应 IntraBL 模式、BLSkip 模式和 Residual 预测。

为了选择率失真优化(RDO)意义上最好的编码模式, SVC 采用了拉格朗日率失真优化选择策略:

$$J = D(MODE | QP) + \lambda_{SSD} R(MODE | QP) \quad (1)$$

其中, $MODE$ 表示当前宏块的预测模式; J 表示在该模式下的率失真代价(RD cost); D 为运动估计匹配误差; R 为该模式下宏块头信息、运动信息和量化后 DCT 系数的编码比特

数; λ 为拉格朗日算子。拉格朗日率失真优化的模式选择策略通过搜索所有可能的模式,选择具有最小率失真代价的预测模式为当前宏块的最优模式。在 SVC 中,每个率失真代价的获得都需要进行整数 DCT 变换、量化、反量化、反变换和熵编码,这些都极大增加了编码器的计算复杂度。

2.2 本文层间快速模式决策算法的因素

SVC 视频序列的每个 GOP 由一个关键帧和若干非关键帧组成。关键帧采用 I 帧或 P 帧编码,非关键帧采用 B 帧编码。关键帧的编码质量对整个 GOP 的编码质量影响很大,因此,本文对关键帧仍采取 RDO 的全模式搜索策略,仅对非关键帧进行空间层和质量层的层间快速模式决策。

另外,SKIP 和 DIRECT 模式利用时间、空间相关性,运动矢量直接从已经编码的宏块信息中获得, IntraBL 和 BLSkip 模式利用层间的相关性,从基本层已编码过的宏块信息中获取纹理信息或者运动信息。这 4 种预测模式均不需要进行最优运动矢量的搜索和匹配,也不需要附加的运动矢量信息进行编码,因此,在保证编码质量的前提下有效地降低了编码的复杂度和码率。但是,对于 7 种帧间预测模式,每种模式都要进行运动矢量的整像素和亚像素的搜索,以及率失真优化计算,复杂度很大;对于 Intra4×4 和 Intra16×16 模式,文献[4]表明, H.264 中对于 P 帧和 B 帧而言,如果省去 Intra 模式, 4×4 亮度块的变换量化时间能够减少 40% 左右, 16×16 亮度块的变换量化时间能够减少 100%, 8×8 色度块的变换量化时间能够减少 30% 左右。因此,在本文的优化模式选择算

作者简介: 张 昕(1983 -),男,硕士,主研方向:图像与视频压缩;赵德斌,教授、博士生导师;张永兵,博士研究生

收稿日期: 2007-06-30 **E-mail:** xzhang@vilab.hit.edu.cn

法中，考虑到编码时间和编码性能的权衡，保留 SKIP, DIRECT, IntraBL 和 BLSkip 模式，而缩减 Inter 模式和 Intra 模式的搜索。

3 SVC 层间模式相关性统计和算法设计

3.1 空域可分级

空间可分级可以看作是在水平和垂直方向的多分辨率(如 QCIF, CIF 和 4CIF)。基本层为低分辨率层，增强层为高分辨率层。根据层间运动估计技术，当前宏块可以通过上一层相应宏块的信息来预测。

在对 Foreman, Mobile, Bus, Football 这 4 个测试序列前 97 帧中非关键帧实验统计中, Intra16×16 模式和 PCM 模式几乎没有出现过，只有在基本层是 Intra4×4 模式时，增强层才出现的较多的 Intra4×4 模式。因此，根据基本层的模式是否是 Intra4×4 来判断是否对增强层进行 Intra4×4 的模式决策。对于 Inter 模式，在多数情况下，增强层的宏块采用与基本层的对应宏块相同的分块模式或者较细致的分块模式。对于 Skipped 模式和 BLSkip 模式，增强层出现的几率很大，对编码效率的提高影响也很大，并且其搜索过程的时间复杂度较小，给予保留。

根据以上的统计规律，本文设计出空间增强层的模式决策算法：如果当前帧是关键帧，采取模式全搜索策略。对于非关键帧，如果基本层对应宏块是 Intra16×16 模式，增强层只进行 Intra16×16 模式的 RDO 判断，如果基本层对应模块是 Intra4×4 模式，增强层只进行 Intra4×4 模式的 RDO 判断；如果基本层对应宏块为帧间预测，先进行 Skip, BLSkip 和 Inter8×8 模式的 RDO 判断，再做进一步判断：如果基本层宏块模式 Inter16×8 则增强层对 Inter16×8 模式进行 RDO 判断，如果基本层宏块模式是 Inter8×16，则增强层对 Inter8×16 模式进行 RDO 判断，如果基本层宏块模式是 Inter16×16，则增强层对 Inter16×16、Inter16×8 和 Inter8×16 模式都进行 RDO 判断。最终统一选择最优预测模式。

3.2 质量可分级

SVC 中质量可分级是通过变换后的系数进行渐近编码来实现的。SVC 中相邻两层之间的量化系数差值为 6。用重新量化的方法来近似实现位平面编码，是精细颗粒可分级(FGS)的一种实现方式。

对 Foreman, Mobile, Bus, Football 这 4 个测试序列前 97 帧中非关键帧统计了 FGS 基本层与增强层的模式分布之间的关系，如表 1 所示。

表 1 FGS 基本层与增强层的模式分布之间的关系

	BLSkip	Skipped	Inter16×16	Inter16×8	Inter8×16	Inter8×8
BLSkip	20 327	86 747	1 381	200	140	92
Skipped	697	9 017	59 600	23 638	23 535	36 003
Inter16×16	1	7 738	755	341	172	93
Inter16×8	0	1 927	1 423	259	83	46
Inter8×16	0	1 924	1 471	96	184	102
Inter8×8	117	2 831	1 340	542	489	378
Residual	45	1 127	2 034	788	732	582

表 1 的每一列代表基本层宏块为某个模式时，增强层对应宏块的各个模式的分布情况(Residual 仅包括 Inter 模式的残差预测)。可以发现，如果基本层是 BLSkip 模式，增强层几乎只可能是 BLSkip 模式或者 Skip 模式；如果基本层是 Skipped 模式，则增强层除了 BLSkip 模式和 Skip 模式，还有很大可能是 Inter16×16 或者 Inter8×8 模式；如果基本层是 Inter16×16 模式，则增强层出现 Inter16×8 或者 Inter8×16 模式的概率比较大。因此，本文设计 FGS 层的模式决策算法如图 1 所示。

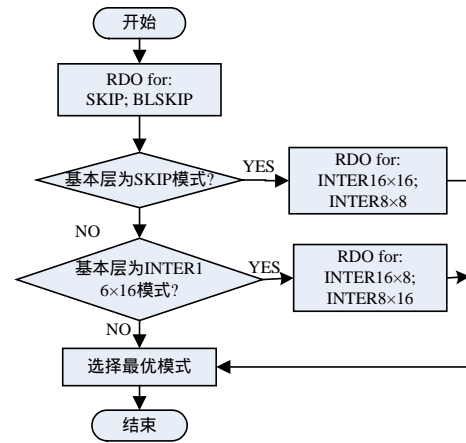


图 1 质量可分级的算法流程

3.3 残差预测统计和优化

SVC 在层间预测中，采用了残差预测的技术。本文统计了残差分布与采用残差预测之间的关系，并且利用统计规律来设定残差预测的阈值。对于一个像素点，使用 $R_v(i, j)$, $R_{cb}(i, j)$ 和 $R_c(i, j)$ 表示已编码的亮度块和色度块的残差信息。已编码宏块残差信息和(SPR)的计算由式(2)给出：

$$SPR = \sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^{15} |R_v(i, j)| + \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 |R_{cb}(i, j)| + \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 |R_c(i, j)| \quad (2)$$

$$ratio(x, y) = \frac{\text{num of residual}}{\text{num of MB}} \quad (3)$$

在式(3)中, $Ratio(x, y)$ 表示当基本层宏块 SPR 分布为 x 至 y (大于 x 小于等于 y) 时，增强层对应宏块把 Inter 模式的残差预测作为最优模式的宏块数占总宏块数的比值。对于 Foreman, Mobile, Bus, Football 这 4 个测试序列前 97 帧中非关键帧，统计了基本层 SPR 分布与增强层对应宏块是否采用残差预测做为最终的最优模式的关系，如表 2 所示。

表 2 层间 SPR 与残差预测的关系

(x,y)	ratio(%)
(0,5)	3.57
(5,40)	7.99
(40,70)	6.24
(70,100)	10.12
(100,130)	5.40
(130,+)	9.05

本文在进行残差的模式优化时考虑 2 个方面的条件：

(1)如果基本层的残差信息比较少(SPR 分布小于等于 5)，则进行残差预测后，性能的提高有限，应该放弃残差预测。

(2)如果在某一残差分布的范围内，比如 SPR 分布是 40~70，增强层经过 RDO 的模式决策，最优模式采用残差预测的概率比较小，此时也应该放弃残差预测。

由上面分析可知，SPR 分布为 0~5 时，符合条件(1)；分布为 40~70 时符合条件(2)；分布为 5~40 时，对于条件(1)和条件(2)均有很程度的符合。因此，本文把进行残差估计的阈值设为残差信息 θ 大于等于 70，当 θ 小于 70 时，则放弃 Inter 模式的残差预测。

4 实验结果及讨论

在 SVC 的参考软件 JSVM6.7 的基础上加入本文上面的快速模式决策算法后，分别从图象质量、压缩效率和编码速度 3 个方面与原始程序相比较，以检验算法的有效性。

实验的计算机平台为：P4 2.66 GHz CPU，512 MB 内存，Windows XP 操作系统。测试条件如表 3 所示，实验结果由表 4 给出。

表3 测试条件

序列	QP	分辨率	帧率	FGS层数	GOP	帧数	编码选项	编码器
Foreman,	基本层	基本	基本层				搜索范围:	
Mobile,	35,	QCIF,	15Hz, 增	2	8	32	32; 前后参	JSVM6.7
Bus,	增强层	增强层	增强层				考帧数: 各1	编码平台
Football,	33	CIF	30Hz				帧	

表4 编码信噪比、比特率和时间的比较

序列	PSNR/dB	PSNRU/dB	PSNRV/dB	比特率/(%)	编码时间/(%)
Foreman	-0.043	-0.008	-0.010	-0.216	59.61
Crew	-0.040	-0.022	-0.049	+0.108	54.76
Bus	-0.042	-0.006	-0.013	+0.089	42.97
Mobile	-0.026	-0.011	+0.005	-0.074	50.56
Football	-0.049	-0.051	-0.034	-0.003	40.39
Average	-0.040	-0.020	-0.020	-0.096	49.66

在表4中, PSNR和比特率统计数值均为最高质量层的数值, 时间(%)是编码器采用优化算法时的编码时间占采用原始算法编码时间的百分比。根据实验结果可以看出, 采用本文的算法后在PSNR平均降低小于0.04 dB, 比特率减少0.096%的前提下, 平均节约50.34%的编码时间。由于本文偏重于保留Skip和BLSkip模式, 减少了宏块编码运动信息的码流, 使比特率也有微小的下降, 进一步说明了本文提出的算法具有可行性和有效性。

图2和图3分别是Mobile和Football序列的R-D曲线。从图中可以看出, 本文的算法能够在较大的码率范围和码率不增加的情况下, 保证PSNR降低极少, 并且有效地缩减了编码时间。

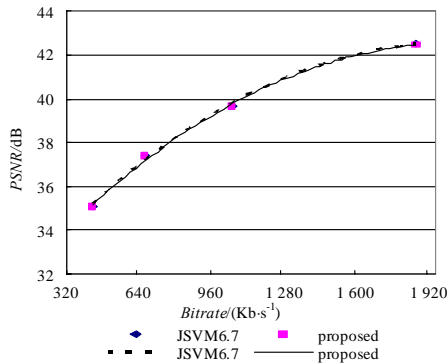


图2 Crew的R-D曲线

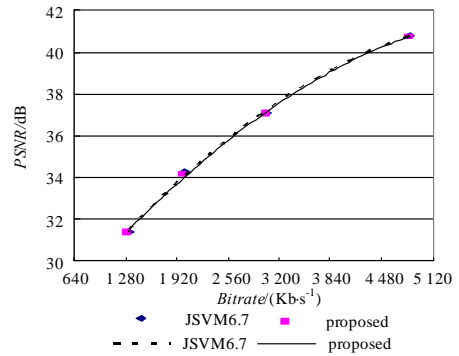


图3 Football的R-D曲线

5 结束语

本文对SVC中的空间可分级和精细质量可分级基本层与增强层之间模式的相关性进行了统计与分析, 设计出一种SVC的层间快速模式决策算法。该算法省去了一些不必要的模式搜索, 简化了复杂的RDO计算过程, 在不损害编码质量的情况下, 降低了编码的计算复杂度。实验结果表明, 在PSNR平均仅降低0.04 dB、比特率减少0.096%的前提下, 该优化算法能使运动估计编码速度平均提高50%以上。

参考文献

- [1] Wiegand T, Sullivan G, Reichel J, et al. Scalable Video Coding-joint Draft 6[S]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 & ITU-T SG16 Q.6, JVT-S201. 2006.
- [2] Yang Ling. Low Complexity Intra Prediction for Enhancement Layer[S]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 & ITU-T SG16 Q.6, JVT-Q084. 2005.
- [3] Li He, Wen Changyun. Fast Mode Decision Algorithm for Inter-frame Coding in Fully Scalable Video Coding[J]. IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., 2006, 16(7): 889-895.
- [4] Chen Yun, Wang Zhiying, Guo Jianjun, et al. Research on Intra Modes for Inter-frame Coding in H.264[J]. Computer Supported Cooperative Work Design, 2005, 2(2): 740-744.

(上接第216页)

4 结束语

本文针对复杂网络中的社区结构及其发现算法在大型BBS论坛的热点发现方面的应用进行研究, 得到了下列主要结果:

(1)提出了极大社区的概念以及基于极大社区的一套热点发现方法;

(2)通过实证研究发现, 极大社区在热点主题方面具有很强的代表性, 并且在几何结构方面也表现出与原有网络的高度相似性。

下一步研究工作将考虑在更广泛的范围内验证本文的结论, 如对更多的BBS论坛进行实证分析等。期望进一步的研究能够推动复杂网络在具体领域中的实质性应用。

参考文献

- [1] Newman M E J, Girvan M. Finding and Evaluating Community Structure in Networks[J]. Physical Review E, 2004, 69(2): 26-113.
- [2] Donetti L, Munoz M A. Detecting Network Communities: a new Systematic and Efficient Algorithm[Z]. (2004-10-12). <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0404652>.
- [3] Newman M E J. Detecting Community Structure in Networks[J]. Eur. Phys. J. B., 2004, 38(2): 321-330.
- [4] Fiedler M. Algebraic Connectivity of Graphs[J]. Czech Math J., 1973, 23(98): 298-305.
- [5] Pothen A, Simon H. Partitioning Sparse Matrices with Eigenvectors of Graphs[J]. SIAM J. Matrix Anal. Appl., 1990, 11(3): 430-452.