

文章编号: 1006-4710(2012)03-0335-05

基于 H. 264/AVC 的一种快速运动估计算法

张志刚, 季翠丽

(西安理工大学 印刷包装工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: H. 264/AVC 编码采用可变块尺寸运动估计, 具有更好的压缩性能, 但计算复杂度急剧增加, 限制了其应用范围。笔者将 MVFAST 算法思想引入 H. 264/AVC, 利用相邻块的相关性和模式应用概率, 加快分割模式选择速度, 并选定初始运动矢量, 根据其运动类型选用不同的搜索模板进行块匹配, 大大减少了运动估计的运算量。实验结果表明, 在不影响图像质量和输出码率的前提下, 该算法显著减少了运动估计时间, 有效提高了编码速度。

关键词: 视频编码; H. 264/AVC; 运动估计; 搜索模板

中图分类号: TP37

文献标志码: A

A Fast Motion Estimation Algorithm for H. 264/AVC

ZHANG Zhigang, JI Cuili

(Faculty of Printing and Packaging Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: H. 264/AVC has better performance of compression because of using motion estimation of variable block size, but it also enlarge computational complexity, which restricts the application range of H. 264/AVC. An ameliorative algorithm named MMVFAST (Multi-Motion Vector Field Adaptive Search Technology) is proposed through the improvement on MVFAST in this paper, the selection of block pattern can be sped up by use of the coherence of contiguous blocks and the applied probability of block modes, which can also confirm original motion-vectors, and then, different search pattern is used for block-matching according to the motion type of current block. Accordingly, this algorithm can simplify the computation of motion estimation greatly. Experimental results show that this algorithm can retrench time of motion estimation and improve speed of encoding observably in the pre-requisite of the fact that the image quality and output rate keep invariant.

Key words: video coding; H. 264/AVC; motion estimation; search templates

H. 264/AVC^[1] 是联合视频组 JVT (Joint Video Team) 制定的新一代数字视频编码标准, 在帧间编码中采用了可变块尺寸、亚像素、多参考帧等新算法, 具有更好的编码效果和压缩性能, 但同时计算复杂度也急剧增加, 严重影响了编码速度, 使其在实时视频传输、嵌入式应用等方面受到很大限制。

帧间预测是视频编码的重点, 而运动估计是其核心技术, 据统计在 H. 264/AVC 编码中运动估计约占全部计算量的 70%, 运动估计算法至关重要。目前运动估计主要采用块匹配算法, 如 FS 算法^[2]、

TSS 算法^[3]、DS 算法^[4]、HEXBS 算法^[5]、MVFAST 算法^[6]、UMHexagonS 算法^[7]、EPZS 算法^[8] 等, 这些算法各有特点: FS 算法简单可靠, 可找到全局最优点, 但其计算量非常大, 搜索时间最长, 实用性差; DS、HEXBS、MVFAST 等算法搜索速度较快, 但易于陷入局部最优点, 图像质量有所降低, 而且主要针对固定尺寸块运动估计, 不适于采用可变块尺寸的 H. 264/AVC。

针对这些问题, 本文对 MVFAST 算法进行了改进, 并应用于 H. 264/AVC 编码, 提出一种改进的多

收稿日期: 2012-05-15

基金项目: 陕西省教育厅科学研究计划项目(2010JK731)。

作者简介: 张志刚(1970-), 男, 河南巩义人, 副教授, 研究方向为模式识别及智能信息系统。E-mail: zzg@xaut.edu.cn。

模板运动矢量场自适应运动估计算法(Multi-Motion Vector Field Adaptive Search Technology, MMVFA-ST),大大降低了运动估计的计算复杂度,显著提高了编码速度。

1 块分割模式

H. 264/AVC 采用可变尺寸块运动估计,更符合视频实际运动,使编码性能和图像质量得到大幅提高。H. 264/AVC 共有 7 种尺寸的块分割模式供选择(见图 1)。

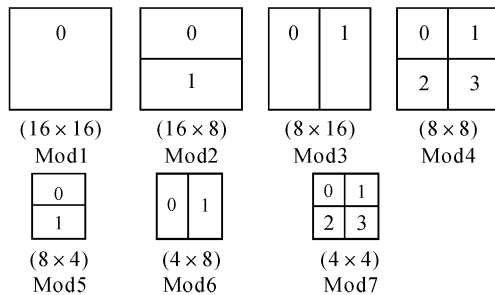


图1 H.264/AVC 块分割模式

Fig. 1 The block partitions of H. 264/AVC

块分割模式选择的原则是:背景部分(静止状态)或简单运动宏块宜采用大尺寸模式(Mod1);运动复杂、细节较多的宏块宜采用小尺寸模式(Mod5~7);其他情况可采用中尺寸模式(Mod2~4)。大量实验表明,各分割模式的应用概率如下:Mod1 约占 50%, Mod2~3 约为 20%, Mod4 约为 20%, Mod5~7 约占 10%。

为确定当前块的分割模式,H. 264/AVC 一般采用率失真优化的方法:计算当前块在每种分割模式的率失真代价(RD),选择 RD 最小的为最佳模式。RD 定义如下:

$$RD(s, c, \text{Mod}i | QP, \lambda_{\text{Mod}}) = SSD(s, c, \text{Mod}i | QP) + \lambda_{\text{Mod}} R(s, c, \text{Mod}i | QP) \quad (1)$$

式中, QP 为量化参数, λ_{Mod} 为 Lagrangian 因子, $\text{Mod}i$ 指分割模式($i = 1, 2, \dots, 7$)。SSD 为重建信号 c 和源信号 s 的差值均方和, R 为编码块比特数。

可见,这种方法需要遍历计算每种模式的 RD, 运算量非常大,需要寻求更快捷的算法。在实际视频中,当前块与相邻块有很大相关性^[9],如图 2 所示, E 为当前块, A, B, C (已编码) 分别为左、上、右上相邻块, O 为前一帧对应块, E 与 O, A, B, C 的分割模式非常相似。本文利用这种相关性,结合各模式的应用概率进行快速模式选择,算法流程见图 3。其中,阈值 T 取 O, A, B, C 分割模式 RD 的均值,显然这样可大大减少 RD 计算次数,提高处理速度。

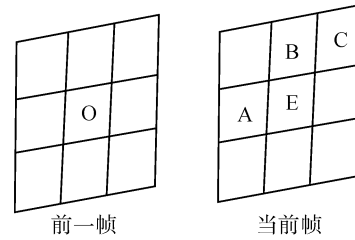


图2 相邻块

Fig. 2 Contiguous blocks

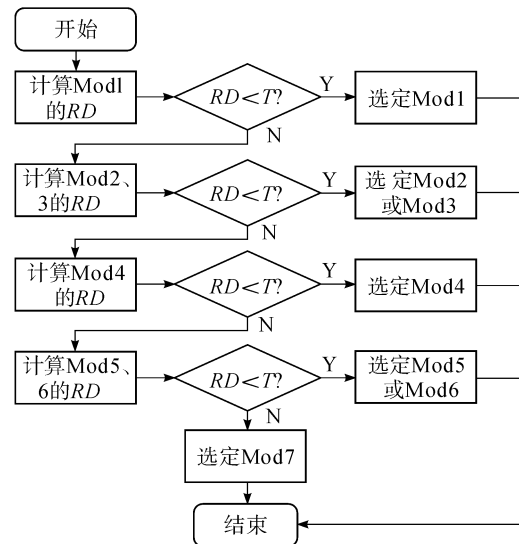


图3 模式选择流程图

Fig. 3 Flow chart of pattern selection

2 运动估计算法

当前块模式确定后,需按照一定匹配准则,在特定搜索窗范围内寻找与其最为相似的块作为匹配块,然后将运动矢量(匹配块与当前块的相对位移)和匹配块与当前块残差值进行编码,从而完成编码过程,这个过程便是运动估计,它决定了视频编码的速度。

2.1 块匹配准则

目前常用的块匹配准则有平均绝对误差(MAD)、绝对误差和(SAD)、均方误差(MSE)等,其中 SAD 运算简单、快速,本文选用 SAD 准则,其定义如下:

$$SAD(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |f_k(m, n) - f_{k-1}(m + i, n + j)| \quad (2)$$

式中, (i, j) 为运动矢量, f_k 和 f_{k-1} 分别为当前帧和参考帧的像素值,块大小为 $M \times N$,当 SAD 值最小时找到最佳匹配块,则对应的 (i, j) 为最佳运动矢量。

若记 (MX_A, MY_A) 为块 A 的运动矢量,定义:

$$M(A) = |MX_A| + |MY_A| \quad (3)$$

则 $M(A)$ 反映了块 A 的运动幅度。

对 E , 定义:

$$D(E) = \max(M(A), M(B), M(C)) \quad (4)$$

若 A, B, C 不存在时, 其运动矢量用 $(0, 0)$ 代替。那么 $D(E)$ 可反映出 E 的运动幅度, 这里定义: 当 $D(E) \leq 1$ 时, 认为 E 是小运动; 当 $1 < D(E) \leq 2$ 时, 认为 E 是中运动; 当 $D(E) > 2$ 时, 认为 E 是大运动。

2.2 搜索策略

在块匹配时, 搜索起始点和搜索模板的选择直接影响运动估计的速度。MVFAST 是一种综合性能优异的运动估计算法, 采用大菱形和小菱形搜索模板(见图 4), 利用相邻块的相关性对当前块运动类型进行预测, 使搜索过程适时终止, 对静止块和小运动块的搜索极为高效。

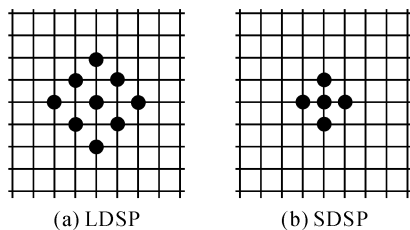


图 4 MVFAST 搜索模板

Fig. 4 Search patterns of MVFAST

在借鉴 MVFAST 思想的基础上, 本文选用了 5 种搜索模板: 水平大六边形 (HLHSP)、垂直大六边形 (VLHSP)、水平扁六边形 (HHSP)、垂直扁六边形 (VHSP) 和小正方形 (QSP), 如图 5 所示。

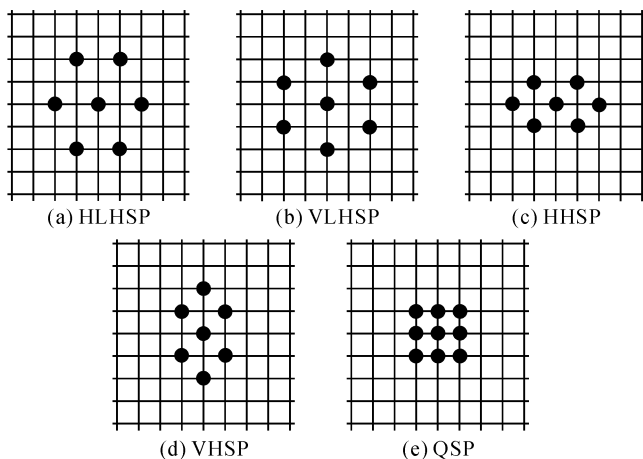


图 5 本文搜索模板

Fig. 5 Search patterns of this paper

从图 5 可看出: HLHSP 和 VLHSP 比 LDSP 更接近于圆, 各方向搜索速度相同, 更适合大运动类型; HHSP 和 VHSP 具有方向性, 分别适用于水平和垂直方向的中运动类型; QSP 比 SDSP 的搜索更细致, 适合小运动类型。与 MVFAST 相比, 本文算法扩充了对大运动和中运动类型块的处理, 适应性

更强。

2.3 算法流程

本文将 MVFAST 算法的思想引入 H. 264/AVC 编码中, 提出 MMVFAST 算法, 算法流程如图 6 所示。

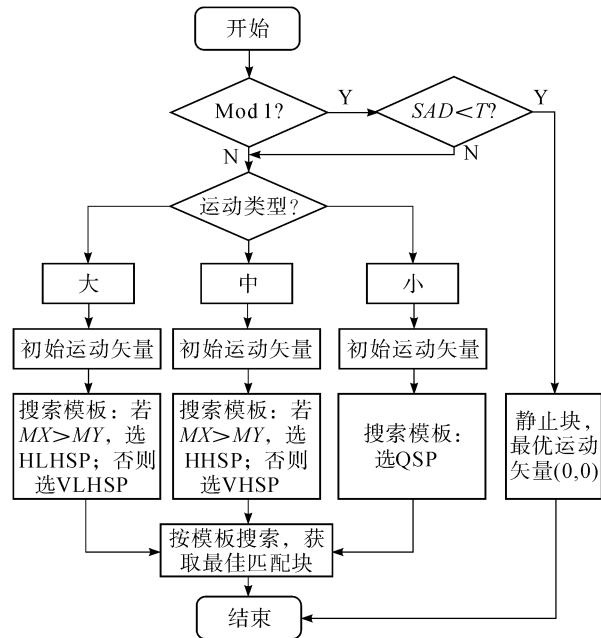


图 6 运动估计流程图

Fig. 6 Flow chart of motion estimation

1) 静止块判定。由于静止块采用的是 Mod1 模式, 因此有必要先对 Mod1 模式的块进行判别: 计算运动矢量 $(0, 0)$ 处的 SAD 值 $SAD(0, 0)$, 若 $SAD(0, 0) < T$, 则认为是静止块, $(0, 0)$ 即为最优运动矢量, 终止搜索; 若 $SAD(0, 0) \geq T$, 认为是运动块, 继续处理。大量实验表明, 对于 Mod1 (16×16) 模式, 当 $T = 512$ 时, 误判概率最小。

2) 运动块判定。对于 Mod1 运动块以及其它模式的块, 选取其相邻已编码块 (A, B, C) 的运动矢量, 计算 $D(E)$ 值, 并判断其运动类型。

3) 确定初始运动矢量, 即起始搜索点。对中、小运动类型块, 最优运动矢量位于 $(0, 0)$ 附近, 直接选 $(0, 0)$ 为初始运动矢量; 对大运动类型块, 选取相邻块 A, B, C 中 SAD 最小值对应的运动矢量为初始运动矢量。

4) 选定搜索模板。根据不同运动类型, 分别选取不同的搜索模板, 获取最优运动矢量, 找到最佳匹配块。

可以看出, 对于静止块, 仅需计算一次即可完成搜索; 对于运动块, 根据不同类型采用不同搜索模板, 简化了搜索起始点和搜索模板的选择过程, 减少了计算量, 提高了运动估计速度。

3 实验及结果分析

3.1 实验平台

本文算法在 H. 264/AVC 参考软件 JM8.6 平台下实现,硬件平台: Intel Core 2.0GHz CPU, 1G 内存; 参数设置: 采用 H. 264/AVC 的 Baseline Profile 编码, 选用 5 个参考帧, 30 帧/s, GOP 结构为 IPPPI, 选用 8 个典型视频测试序列(5 个 QCIF 格式, 3 个 CIF 格式), 其中 Akiyo、Suzie 为背景相对静止的小运动类型, Forman、News 为背景变化较大的运动类型, Mobile、Tempete 为纹理较复杂且多运动目标的中小运动, Football、Coastguard 为大运动类型。

实验中, 主要用以下指标评价算法性能: 重建图像质量($\Delta PSNR$)、输出码率(ΔBR)、运动估计时间

差($\Delta Time$), 分别定义如下:

$$\Delta PSNR = PSNR_I - PSNR_{JM} \tag{5}$$

$$\Delta BR = \frac{BR_I - BR_{JM}}{BR_{JM}} \times 100(\%) \tag{6}$$

$$\Delta Time = \frac{Time_I - Time_{JM}}{Time_{JM}} \times 100(\%) \tag{7}$$

式中, 下标为 I 部分表示本文算法数据, 下标为 JM 部分表示 JM 参考算法数据。

为了保证可比性, 实验时仅对运动估计部分选取不同算法, 其他参数保持不变。

3.2 实验数据分析

本文算法分别与具有代表性的 FS 和 UMHegonS 算法进行了实验对比, 表 1、2 中, “-”表示本文算法相对减少, “+”表示相对增加。

表 1 本文算法与 FS 算法比较
Tab. 1 The algorithm of this paper compare with FS algorithm

测试序列	$\Delta PSNR/dB$			$\Delta BR/\%$	$\Delta Time$	
	Y	U	V		ME/%	Total/%
Akiyo	+0.01	+0.30	-0.1	-0.12	-94.48	-62.98
Suzie	-0.02	+0.02	+0.01	-0.07	-91.77	-60.84
News	-0.02	-0.05	-0.03	+0.17	-94.18	-63.21
Forman	-0.02	-0.02	+0.04	+0.86	-89.56	-58.15
Mobile	0	+0.01	+0.02	-0.19	-91.82	-56.33
Coastguard	-0.01	-0.01	-0.05	+0.15	-89.38	-56.24
Tempete	0	-0.01	-0.03	+0.18	-91.32	-57.08
Football	-0.02	-0.08	-0.02	+5.85	-85.00	-53.49
平均				+0.86	-90.94	-58.54

FS 算法的搜索精度最高, 图像重建质量最好。从表 1 可以看出: 本文算法与 FS 算法相比, 图像质量(PSNR 平均下降 0.01/dB)和码率(平均增加

0.86%)基本不变, 运动估计时间大幅降低(平均减少 90.94%), 总体编码速度显著加快(编码时间平均减少 58.54%)。

表 2 本文算法与 UMHegonS 算法比较
Tab. 2 The algorithm of this paper compare with UMHegonS algorithm

测试序列	$\Delta PSNR/dB$			$\Delta BR/\%$	$\Delta Time$	
	Y	U	V		ME/%	Total/%
Akiyo	0	+0.02	+0.02	-0.66	-71.52	-20.22
Suzie	-0.01	+0.02	+0.04	+0.26	-62.18	-18.82
News	-0.01	-0.03	-0.01	+0.50	-70.77	-19.06
Forman	-0.01	-0.01	+0.03	+0.90	-59.96	-16.70
Mobile	0	+0.01	+0.01	-0.29	-69.14	-18.57
Coastguard	-0.01	-0.01	-0.05	+0.22	-66.73	-21.00
Tempete	0	-0.01	-0.02	+0.30	-67.62	-20.13
Football	0	-0.03	+0.02	+5.93	-58.78	-20.13
平均				+0.90	-65.84	-19.33

UMHegonS 算法的搜索精度和速度都比较好,

从表 2 数据可以看出: 本文算法与 UMHegonS 算法

相比, PSNR 平均下降 0.005/dB, 码率平均增加了 0.90%, 图像重建质量和码率基本一致, 而运动估计时间明显减少(平均减少 65.84%), 总体编码速度有所加快(编码时间平均减少 19.33%)。

4 结 论

本文将 MVFAST 算法思想引入 H. 264/AVC, 提出一种改进的多模板运动矢量场自适应运动估计算法。实验结果表明, 对不同运动细节和运动速度的视频, 在图像质量和输出码率基本不变的前提下, 本文算法能显著降低运动估计计算复杂度, 有效提高编码速度。

参考文献:

- [1] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [2] Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG. Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification [R]. JVT-G050, Pattaya, 2003.
- [3] 郭宝龙, 倪伟, 闫允一. 通信中的视频信号处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [4] Cheung Chun-Ho, Po Lai-Man. A novel cross-diamond search algorithm for fast block motion estimation[J]. IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, 2002, 12(12): 1168-1177.
- [5] Zhu Ce, Lin Xiao, Chau Lap-Pui. Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(2): 287-290.
- [6] Hosur P I, Ma Kai-Kuang. Motion Vector Field Adaptive Fast Motion Estimation; Second International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS'99) [C]. Singapore: [s. n.], 1999.
- [7] Ma Kai-Kuang, Hosur P I. Performance report of motion vector field adaptive search technique (MVFAST) [R]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M5851, 2000.
- [8] Chen Zhibo, Zhou Peng, He Yun. Fast integer pel and fractional pel motion estimation for JVT; In Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITUT VCEG, JVT-F017 [C]. Awaji, Island, Japan, 2002.
- [9] Tourapis A M, Cheong H Y, Topiwala P. Fast ME in the JM reference software; Proc of the 16th Meeting for JVT-P026, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG [C]. Poznan, Poland: [s. n.], 2005.
- [10] Kan Chang, Bo Yang, Wenhao Zhang. Novel Fast Mode Decision Algorithm for P-Slices in H. 264/AVC; International Conference on Information Assurance and Security [C]. IEEE, 2009.

(责任编辑 王卫勋)