

自适应搜索长度的 UMHexagonS 算法研究

柴俊华 应骏

(上海师范大学数理信息学院, 上海 200234)

摘要 提出了基于自适应搜索长度的 UMHexagonS 算法。UMHexagonS 算法是 H. 264 标准视频编码中的运动估计算法之一。经过理论和数据的分析后,发现其搜索长度的选择可以改进,于是提出了利用前若干搜索点的信息来选择合适搜索长度的自适应算法,使搜索算法避开了一部分多余的搜索点。实验结果表明,在保证 PSNR 和码率变化不大的前提下,可以有效地降低大约 15% 的运动估计时间。

关键词 UMHexagonS 算法 搜索长度 运动估计 H. 264

中图分类号: TN919.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)10-1849-04

Study on the Adaptive Search-range Algorithm of UMHexagonS

CHAI Jun-hua, YING Jun

(Mathematics & Science College, Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

Abstract The paper proposes the adaptive search-range algorithm of UMHexagonS, which is one of motion estimation algorithms for video encoding system on the H. 264 standard. Based on analyzing the search-range theoretically and experimentally, its search-range algorithm can be improved. Then, the adaptive algorithm, derived from the anterior search points, is created to reduce the redundant search points. The result shows that the adaptive algorithm can reduce the 15% period of motion estimation under the premise of little change on PSNR and Bit Rate.

Keywords UMHexagonS algorithm, search range, motion estimation, H. 264

1 引言

UMHexagonS 算法^[1,2]是 H. 264 标准所采纳的运动估计算法之一,全名为“非对称十字型多层次六边形格点搜索”。相比于全搜索算法,该算法在保持较好的率失真性能的同时,可以节约 90% 以上的运算量。

通过对 UMHexagonS 算法的研究,提出了一种自适应搜索长度的新算法。搜索长度在运动估计中表现为与搜索点的搜索范围密切相关,在具体 UMHexagonS 算法中又时常作为循环次数出现。通过对原算法中搜索长度的分析,又考虑到视频序列有运动平缓和运动激烈之分,发现根据不同情况来

改变搜索长度可以提高编码效率。对于一些运动状态不怎么激烈的视频序列,完全可以通过减小搜索长度,来减少不必要的搜索点,也就是减少了不必要的运算量,减少了运动估计时间,与此同时 PSNR (峰值信噪比)与码率的变化是不大的。

2 UMHexagonS 算法的搜索长度

在 H. 264 标准下的运动估计中,全搜索算法以运算量和时间作为代价,获得了最高的预测精度。UMHexagonS 算法,是多种搜索算法相结合的混合算法,保证了预测的有效性和健壮性,在 PSNR 和码率变化不大的情况下,相对于全搜索算法,它极大地

基金项目:上海市教委基金项目(06DZ007)

收稿日期:2008-07-11;改回日期:2008-07-23

第一作者简介:柴俊华(1985 ~),男,上海师范大学数理信息学院,通信与信息系统硕士研究生。主要研究方向为视频处理。

E-mail: vincent-cjh@126.com

降低了运算量。

搜索长度在 UMHexagonS 算法中几乎贯穿于搜索算法的每一步,因为搜索长度的取值直接关系着搜索的范围和搜索的点数。搜索长度的合理设定显然可以减少运动估计时间。

2.1 UMHexagonS 算法

JM^[3,4] 是 H. 264 标准官方测试代码。根据 JM13.2 代码描述,UMHexagonS 算法步骤如下:

- (1) 起始点预测;
- (2) 起始点小区域十字搜索,如图 1(c) 中央黑色圆点所示;
- (3) 非对称十字的小区域搜索,如图 1(a)

所示;

- (4) 5 × 5 方形搜索,如图 1(b) 所示;
- (5) 多层次六边形格点搜索,如图 1(c) 最外围白色方块所示;
- (6) 小六边形搜索,如图 1(c) 中间白色圆点所示;
- (7) 小区域十字搜索,如图 1(c) 中央黑色圆点所示。

UMHexagonS 算法依靠每个搜索步骤后的 SAD (绝对误差和) 指标或者 *min_cost* 参数门限来判断搜索精度,跳转到相应的搜索算法进行循环,或者提前终止算法。

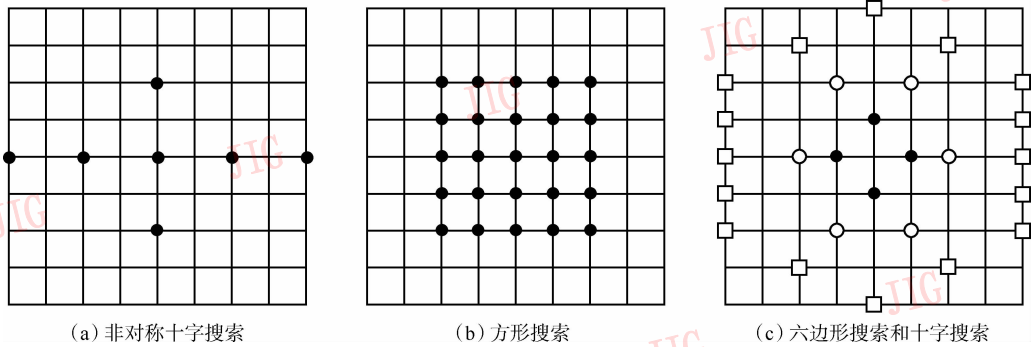


图 1 UMHexagonS 算法搜索模板

Fig.1 Search templates of UMHexagonS

2.2 搜索长度

搜索长度 *search_range* 在 UMHexagonS 算法步骤中除了可以控制搜索候选搜索点的范围外,还频繁地以循环条件的阈值出现,主要内容如下所示:

- (1) 非对称十字搜索中,两个循环分别以 *search_range* 与 *search_range/2* 作为循环条件的阈值;
- (2) 多层次六边形格点搜索中,以 *search_range/4* 作为循环条件的阈值;
- (3) 小六边形搜索中,以 *search_range* 作为循环条件的阈值;
- (4) 小区域十字搜索中,也以 *search_range* 作为循环条件的阈值。

可见,搜索长度的合理设定对 UMHexagonS 算法运算量与时间的影响是存在的。

文献[5]使用了提前终止搜索的想法来减少运动估计时间。首先,引入了预测代价变量 *pred_cost*,通过判断是否满足阈值条件: $min_mcost < pred_cost \times percent$ 来提前终止搜索。此外,文献[5]还对多层次六边形格点搜索的流程进行了改进来适合判断条件的使用,其中对 *search_range* 也进行了设定。其

改进的流程图如图 2 所示。

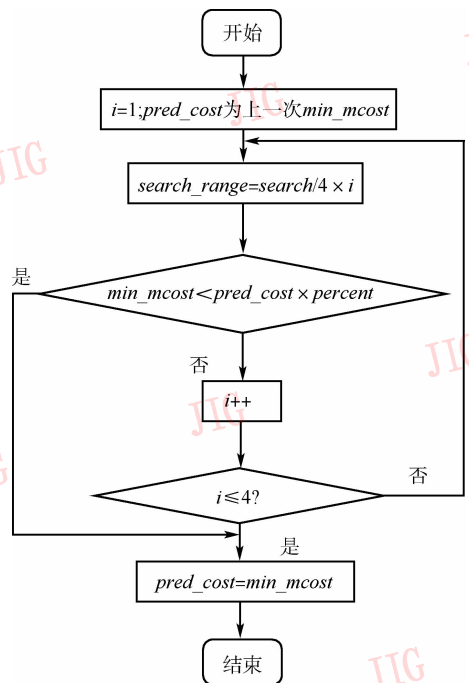


图 2 改进的多层次六边形格点搜索流程图

Fig.2 Flowchart of improved multi-hexagon-grid search

根据文献[5]的论述和改进的流程结构,本文在 JM13.2 模型上对该算法进行了重现, *percent* 取值为 0.7, 获得数据如表 1 所示。之后, 去掉了流程中的提前终止判断条件, 保留了有关搜索长度的改变, 结果见表 2。实验中, 选择场景运动快慢鲜明的三个视频序列 akiyo、foreman 和 mobile, 对它们的前 50 帧进行了编码, 仅使用 I 帧和 P 帧。评价标准有 Y、U、V 三分量的 PSNR, 运动估计时间 ME Time, 码率 Bit Rate。实验数据中的正负百分比是针对原算法实验数据计算得来的。

表 1 重现的实验数据

Tab. 1 The returned experimental data

单位: %

	Y	U	V	ME Time	Bit Rate
akiyo	0	0	0	-0.376	0
foreman	-0.081	+0.639	0	-13.703	+0.134
mobile	0	+0.056	0	-23.692	+0.059

表 2 仅有搜索长度作用的实验数据

Tab. 2 Experimental data affected only by search-range

单位: %

	Y	U	V	ME Time	Bit Rate
akiyo	0	0	0	-1.093	0
foreman	-0.081	-0.025	0	-13.963	+0.134
mobile	0	+0.056	0	-22.681	+0.059

通过表 2 与表 1 的对比, 发现在文献[5]的方法中, 搜索长度的改变对整个运动估计时间 (ME Time) 的降低起着至关重要的作用。

3 自适应搜索长度算法

通过对搜索长度的分析, 可以发现它对于 UMHexagonS 算法的运算量起着很重要的影响, 表 2 的实验结果就充分说明了这一点。文献[5]的改进方案仅是针对多层次六边形格点搜索的, 为了更为有效地利用搜索长度来降低运动估计时间, 提出了自适应搜索长度算法。

3.1 自适应新算法

新算法核心思想是根据之前若干最小的搜索点与预测点的距离差异来确定搜索长度。定义公式如下:

$$\text{diff}[n] = \max(|\text{last}_x - \text{pred}_x|, |\text{last}_y - \text{pred}_y|) \quad (1)$$

$$\sum_{n=i}^N \text{diff}[n] < (N - i + 1) \times \text{search_range} / K_1 \quad (2)$$

$$\text{search_range} = \text{search_range} / K_1 \quad (3)$$

$$\sum_{n=i}^N \text{diff}[n] > (N - i + 1) \times \text{search_range} \times K_2 \quad (4)$$

$$\text{search_range} = \text{search_range} \times K_2 \quad (5)$$

其中, 式(1)中的数组 *diff* 存放了之前若干搜索点与预测点之间的距离, *last_x* 与 *last_y* 是上一次的最小搜索点的横、纵坐标值, *pred_x* 与 *pred_y* 是预测点的横、纵坐标值。式(2)~(5)中的 *search_range* 是搜索长度, *K₁*、*K₂* 是控制搜索长度的系数。

式(1)表示了某一个最小搜索点与预测点距离的差值计算。式(2)是一个判断条件, 通过前 (*N - i + 1*) 个最小搜索点与预测点距离差值之和来与 (*N - i + 1*) 倍的 *search_range*/*K₁* 比较, 满足条件便执行式(3)来缩短搜索长度。而式(4)、(5)用来增长搜索长度。

3.2 对 UMHexagonS 算法的影响

通过第 2.2 节对搜索长度的分析, 可以发现搜索长度的缩短可以明显减少 UMHexagonS 算法搜索循环中的循环次数, 于是有效地减少了运动估计时间。

研究了 UMHexagonS 算法的步骤, 将自适应搜索长度算法放置于更早的步骤 (如步骤 2: 起始点小区域十字搜索), 在理论上可以取得比文献[5]更好的效果。原因在于:

(1) 每一步搜索一个像素 (SEARCH_ONE_PIXEL) 的运算因为搜索长度的减小可以减少候选搜索点数;

(2) 多层次六边形格点搜索之前的非对称十字搜索的两次循环可以减少循环次数;

(3) 对于暂时的场景运动激烈, 自适应新算法还可以增加搜索长度, 来保证运动估计的质量。

4 实验结果与分析

实验选用了 JM13.2 版本的 H.264 标准官方测试代码。测试序列采用了场景运动快慢鲜明的 3 个视频序列 akiyo、foreman 和 mobile, 对它们的前 50 帧进行了编码, 仅使用 I 帧和 P 帧, *search_range* 为默认值 32, 量化参数 QP 取 28。评价标准有 Y、U、V 三

分量的 PSNR, 运动估计时间 ME Time, 码率 Bit Rate。实验数据中的正负百分比是针对原算法实验数据计算得来的。

评价标准中的 PSNR 的计算公式为

PSNR =

$$10 \times \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \times \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i,j) - I'(i,j)]^2}$$

其中, $I(i,j)$ 为原始图像, $I'(i,j)$ 是处理后的图像。

实验中, 将自适应搜索长度算法放在了 UMHexagonS 算法的第 2 步, 即起始点小区域十字搜索。为了分析数据, 系数 K_1 采用了定值分别为 2、4、8、16, 系数 K_2 取 2。(实际应用中, 可以取 $K_1 = 2^i, i = 1, 2, 3, 4$, 通过判断式(2)多次判断成立与否, 来确定系数 K_1 。系数 K_2 的设定同 K_1 。)

表 3 自适应算法的实验数据

Tab.3 Experimental data using adaptive algorithm

单位:%

	Y	U	V	ME Time	Bit Rate	
	akiyo	-0.052	0	+0.024	+0.373	-0.671
$K_1 = 2$	foreman	-0.081	-0.098	+0.119	-8.116	-0.089
	mobile	+0.029	-0.028	+0.029	-16.515	+0.108
	akiyo	-0.052	+0.025	+0.048	-2.326	-0.850
$K_1 = 4$	foreman	-0.054	-0.098	0	-13.332	-0.223
	mobile	+0.058	0	+0.029	-25.925	+0.156
	akiyo	0	0	0	-3.000	0
$K_1 = 8$	foreman	0	-0.098	-0.048	-13.270	-0.223
	mobile	+0.058	-0.028	+0.057	-30.761	+0.071
	akiyo	-0.077	+0.122	0	-3.492	-1.029
$K_1 = 16$	foreman	-0.027	-0.197	-0.024	-10.190	+0.033
	mobile	+0.087	-0.028	0	-25.699	+0.134

实验结果表明, 新算法对于 Y、U、V 分量和 Bit Rate 的影响不大, 但对 ME Time 的减少很显著。对于实验中的测试视频序列, $K_1 = 16$ 时 akiyo 效果最佳, $K_1 = 4$ 时 foreman 效果最佳, $K_1 = 8$ 时 mobile 效果最佳, 运动时间平均降低了 15% 左右。

实验数据中, 对于不同视频序列的运动估计时间的减少幅度是不同的, 主要原因在于视频场景运动的激烈程度不同所造成的。视频序列 akiyo 是运动场景相对平缓的序列, 搜索长度肯定是缩短幅度最大的, 似乎效果应该最显著, 但由于 akiyo 运动场景的平缓导致了在很早的时候就通过 SAD 指标判断条件跳过了一系列的搜索算法, 也就是说, 许多可以通过搜索长度来降低运算量的搜索算法根本就没有执行, 就导致了运动估计时间下降的幅度是有限的。反而, 场景运动相对激烈的 mobile 序列由于 SAD 指标与 min_cost 参数门限判断一直不符合跳转条件, 因此执行了几乎所有的搜索算法, 显然搜索长度的影响就显著, 运动时间也就下降得多。

5 结论

分析了 UMHexagonS 算法中的搜索长度, 从理论和实验数据中证实了搜索长度对于降低 UMHexagonS 算法运动估计时间 (ME Time) 的重要意义, 由此提出了自适应搜索长度算法, 并给出了公式。实验表明, 该算法在保证 Y、U、V 的 PSNR 和 Bit Rate 变化不大的同时, 能够降低 15% 左右的运动估计时间。

参考文献 (References)

- 1 JVT-F017, Fast Integer Pel and Fractional Pel Motion Estimation for JVT[S].
- 2 JVT-P021, Improved and Simplified Fast Motion Estimation for JM [S].
- 3 JVT-0079, Text Description of Joint Model Reference Encoding Methods and Decoding Concealment Methods[S].
- 4 JVT-Q042, Revised H.264/MPEG-4 AVS Reference Software Manual[S].
- 5 Zheng Zhen-dong, Wang Pei, Ying Jun. H.264 motion estimation algorithm in JM model and its improvement program[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(10):1798 ~ 1801. [郑振东, 王沛, 应骏. H.264JM 模型中运动估计算法及改进方案[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(10):1798 ~ 1801.]