

多搜索中心的运动估计快速算法

谷会涛,陈书明,孙书为,陈胜刚

(国防科学技术大学计算机学院,湖南长沙 410073)

摘要: 块大小可变的运动估计方法能提高视频编码性能,但也增加了计算时间.为了加快运动估计计算,本文提出了一种基于多搜索中心预测和搜索范围动态调整的快速算法.多搜索中心预测方法对当前宏块时间和空间上相邻块的运动向量进行分析,得出多个预测向量作为运动估计的搜索中心.相比传统预测方法,多搜索中心预测最高可提高约 14.6% 的预测精度.依据预测运动向量的数目和大小,本文算法对搜索范围进行动态调整,进一步降低了计算复杂度.实验结果显示,相比 H.264 参考软件中的快速全搜索算法,UMHS 算法和 EPZS 算法,本文算法分别节省约 96.22%,59.50% 和 39.06% 的计算时间,且具有相近的率失真性能.

关键词: 快速运动估计;多搜索中心;搜索范围动态调整;块大小可变;H.264/AVC

中图分类号: TP302.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 03-0695-05

Fast Motion Estimation Algorithm Based on Multi-Search Centers

GU Hui-tao, CHEN Shu-ming, SUN Shu-wei, CHEN Sheng-gang

(National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: Variable size block motion estimation can improve encoding performance, but increases the computational time. A fast motion estimation algorithm based on multi-search centers prediction and dynamic search range adjustment was proposed to speed up the computation. The multi-search centers prediction analyzes motion vectors of spatial and temporal adjacent blocks and results multiple predictive motion vectors which are used as search centers. Compared with the traditional motion vector prediction, the proposed prediction method can improve up to 14.6% prediction accuracy. According to the count and magnitude of the predictive search centers, the search range is dynamically adjusted to further reduce the computational complexity. Experimental results show that the proposed algorithm can reduce about 96.22%, 59.50%, and 39.06% computational time separately compared with the fast full search algorithm, UMHS algorithm, and EPZS algorithm in H.264 reference software, while keeping similar rate-distortion performance.

Key words: fast motion estimation; multi-search centers; dynamic search range adjustment; variable size block; H.264/AVC

1 引言

H.264/AVC 采用块大小可变运动估计 ME (Motion Estimation)^[1], 提升了编码的率失真性能, 也增大计算的复杂度^[2]. 为了降低 ME 的运算复杂度, 研究者提出多种快速 ME 技术^[3~7], 包括: (1) 特殊搜索模式^[3]; (2) 运动向量 MV (Motion Vector) 预测^[4]; (3) 搜索范围 SR (Search Range) 动态调整^[5]; (4) 基于阈值的搜索停止技术^[6]; (5) 块失真重用; (6) 帧间模式选择^[7]等.

然而, ME 的运算复杂度的和率失真性能是难以平衡的两个因素. 文献[3~5]中的快速 ME 算法降低了计算复杂度, 但引起了率失真性能的明显下降. 而 H.264 的参考软件 JM (Joint Model)^[8]中的快速全搜索算法 FFS

(Fast Full Search), UMHS (hybrid Unsymmetrical-cross Multi-Hexagongrid Search)^[9], EPZS (Enhanced Predictive Zonal Search)^[10]算法和文献[6]提出的算法具有了较好的率失真性能, 但计算复杂度依然很大.

针对具有较好率失真性能的 ME 算法计算复杂度太大的问题, 本文提出了一种多搜索中心 ME 快速算法 MSCA (Multi-Search Centers Algorithm). MSCA 通过精确的 MV 预测方法, 缩小了搜索范围, 从而有效降低了 ME 运算复杂度, 同时保持了较好的率失真性能.

2 基于多搜索中心的 MV 预测

基于对相邻块 MV 的分析, 本文提出了一种多搜索中心预测方法, 能有效提高 MV 的预测精度. 多中心

预测首先将相邻块的 MV 形成列表 MV_List , 然后将 MV_List 中相同或相似的 MV 形成 MV 组 MV_Group , 最后每个 MV_Group 生成一个代表该组运动特性的预测向量 PMV (Prediction Motion Vector).

对当前块 CMB (Current Macro Block) 进行 MV 预测, 理想情况是 MV_List 中包含所有空间相邻子块的 MV , 如图 1 中编号 1-10 和 21-30 的 20 个 4×4 块的 MV . 但由于宏块按光栅扫描顺序编码, 编码 CMB 时, 只有左侧、上部、右上和左上侧的相邻宏块已完成编码 (依次标记为 A 、 B 、 C 和 D), 而编号 21-30 的相邻子块的 MV 值未知. 为了提高 MV 预测精度, 本文采用相邻宏块 C 中的子块 11-13 的 MV 替代子块 21-25 的 MV , 用空间相邻宏块 C' 中 14-17 号子块的 MV 替代 26-30 号子块的 MV .

MV_List 中包含的 MV 属于相邻子块, 运动趋势常相等或相近. 本文定义 MV 阈值 MV_{th} 来区分不同的 MV , 如果两个 MV 满足式 1, 则认为这两个 MV 运动趋势不同 ($MV_1 \neq MV_2$), 否则认为两个 MV 接近 ($MV_1 \approx MV_2$). MV_{th} 的取值对 ME 的影响将在第 4 节进行讨论.

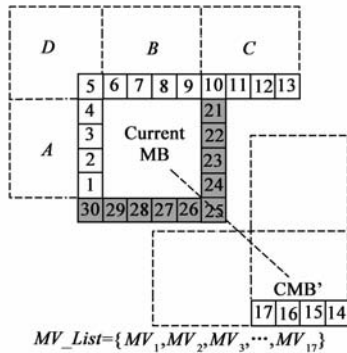


图1 参考 MV 列表

$$|MV_{x_1} - MV_{x_2}| \geq MV_{th} \quad \text{or} \quad |MV_{y_1} - MV_{y_2}| \geq MV_{th} \quad (1)$$

将 MV 按相似度进行分组, 一种有效的方法是将 MV 按 X 分量和 Y 分量排序, 再用阈值 MV_{th} 进行分组. 由于具有相同运动趋势的块在空间上一般是连续的, 相邻 MV 相同的概率较大, 据此本文提出了一种简化的 MV 分组方法. MV 按图 1 标示的序号顺序排列, 分组按式 2 进行, MV_List 中第一个值 MV_1 归于第一个组 MV_Group_1 . 之后 MV_List 中的 MV 按编号从小到大依次按式 2 分组. 假设 MV_{i-1} 属于 MV_Group_j , 如果 MV_i 与 MV_{i-1} 相似, 则 MV_i 也归入 MV_Group_j , 否则 MV_i 归入下一个 MV 组 MV_Group_{j+1} .

$$MV_i \in \begin{cases} MV_Group_1 & (i=1) \\ MV_Group_j & \left(\begin{array}{l} i > 1, MV_{i-1} \in MV_Group_j, \\ MV_i \approx MV_{i-1} \end{array} \right) \\ MV_Group_{j+1} & \left(\begin{array}{l} i > 1, MV_{i-1} \in MV_Group_j, \\ MV_i \neq MV_{i-1} \end{array} \right) \end{cases} \quad (2)$$

同一 MV_Group 中的 MV 值相近, 本文用一个 PMV 值来代表一组 MV 的运动趋势. PMV 采用求平均值的方法计算.

法计算.

3 多搜索中心的快速运动估计算法

基于多搜索中心预测方法, 本文提出了 $MSCA$ 算法, 包括三步: 多搜索中心预测, SR 动态调整和 ME 搜索过程. 多搜索中心预测计算 CMB 的多个搜索中心. SR 动态调整依据 CMB 的 PMV 的数目和大小预测其运动剧烈程度, 从而动态选择 CMB 的 SR . ME 搜索以每个 PMV 为搜索中心, 按快速全搜索方法进行匹配计算.

表 1 多搜索中心预测精度

MV 范围	MSCA			
	[0,2]	[0,4]	[0,8]	[0,16]
akiyo	99.91%	99.98%	100.00%	100.00%
mobile	98.57%	99.37%	99.96%	100.00%
coastguard	96.90%	98.38%	99.33%	99.97%
foreman	94.55%	97.24%	98.75%	99.69%
stefan	91.33%	94.24%	96.59%	98.58%
football	78.91%	87.48%	94.11%	98.78%
average	93.36%	96.12%	98.12%	99.50%

SR 动态调整可在保持编码性能的同时, 缩小 SR , 降低运算复杂度. 表 1 给出了多搜索中心预测技术对 6 个视频序列进行 MV 预测的精确度统计. 从表中可以看出, 平均约 96% 的 MV 与搜索中心的最小距离不超过 4. 而对于运动平缓的视频序列, 如 *akiyo* 和 *mobile* 等, 绝大部分 MV 与搜索中心的距离不超过 2. 基于这种情况, 本文采用式 3 所示的动态 SR 技术, 当 PMV 个数为 1, 且 PMV_x 和 PMV_y 的绝对值不超过 1 时, 认为该宏块运动平缓, SR 取 2. 否则认为运动剧烈, SR 取 4.

$$SR = \begin{cases} 2 & (Num_PMV = 1, |PMV_x| \leq 1, |PMV_y| \leq 1) \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

4 MV 阈值分析

为了分析 MV_{th} 值对编码性能的影响, 本文用 $MSCA$ 对 4 个序列进行了测试. 图 2 给出了实验结果. 编码时间和 $PSNR$ 使用左侧纵坐标, 码率使用右侧纵坐标. 由图中可以看出, MV_{th} 值对 ME 计算时间和码率影响较大, 对 $PSNR$ 影响较小. 随着 MV_{th} 值逐渐变大, 各测试序列的 ME 时间明显减小. 这是由于 PMV 数目随 MV_{th} 变大而逐渐减少, 降低了计算复杂度. 而码率随 MV_{th} 值的变化因测试序列而不同. 对于运动平缓的序列, 如 *mobile*, 码率随 MV_{th} 值的变化不大. 而对于运动比较剧烈的序列, 如 *stefan* 和 *football*, 码率随 MV_{th} 值变大逐渐变大. MV_{th} 的选取需要权衡 ME 时间和码率两个因素. 从图中可以看出当 $MV_{th} = 3$, 码率的增加并不明显, 并且可以节省大量的 ME 运算时间. 因此本文取 $MV_{th} = 3$.

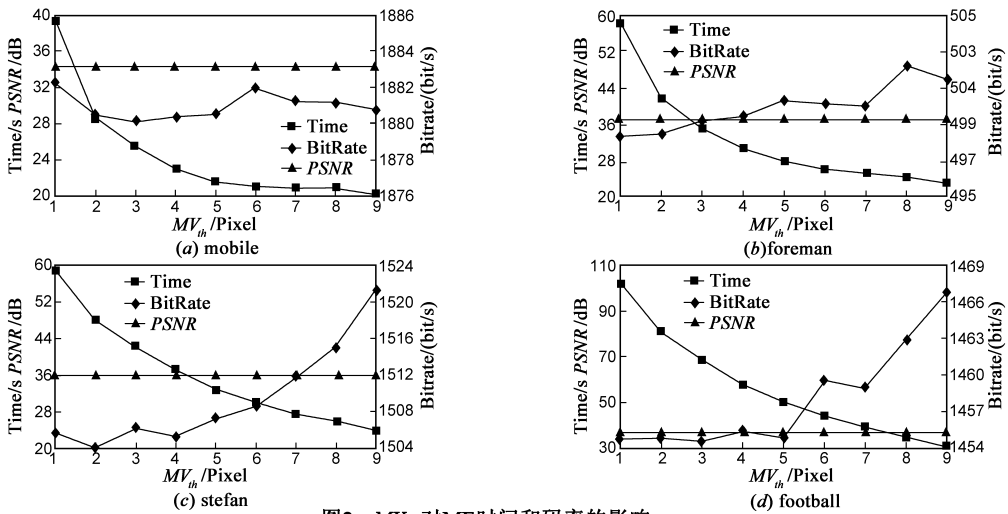


图2 MV_{th} 对ME时间和码率的影响

5 实验结果和分析

5.1 实验环境

为了验证 MSCA 的性能, 本文将其同文献[6]算法, FFS, UMHS 和 EPZS 算法进行比较. 比较包括 3 个方面: 峰值信噪比 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), 码率 BR (Bitrate) 和 ME 执行时间. 本文采用了 6 个 CIF/SIF 格式的视频序列进行测试, 表 2 列出了详细的编码参数. MSCA 的最大 SR 为 4, 其他算法 SR 为 32.

表 2 编码控制参数

参数名	值
Sequence type	IPPP
QP	16/20/24/28/32/36/40
FrameRate	30
SearchRange	4 or 32
NumberReferenceFrames	1
RDOptimization	Off
SymbolMode	CAVLC

5.2 多搜索中心预测方法准确度分析

为了对多搜索中心预测方法的精度进行分析, 我们将所有 4×4 块的 MV 值进行记录, MV 值由 JM 中的全搜索算法^[8]求得, SR = 32. 本文将 FFS 的预测方法和多搜索中心预测计算出的每个宏块的 PMV 值同该宏块的 4×4 块 MV 值进行比较, 图 3 给出了统计结果. 从图中可以看出, SR = 2 和 SR = 4 时, 多搜索中心方法的预测精度高于 FFS 的预测方法, 分别平均提高了约 6.04% 和 5.03%. 视频序列运动越剧烈, 多搜索中心预测方法提高的精度越多. 最大值出现在 SR = 2 时, 对视频序列 football, 多搜索中心预测提高了约 14.6% 的预测精度.

5.3 MSCA 算法性能分析

图 4 给出了 FFS 和 MSCA 算法的率失真曲线. 对于

多数测试序列, 这两种算法的率失真曲线几乎重合. 这说明 MSCA 的率失真性能与 FFS 非常接近. 而对于 stefan 和 football 序列, MSCA 的码率小于 FFS, 因此 MSCA 的率失真性能更优.

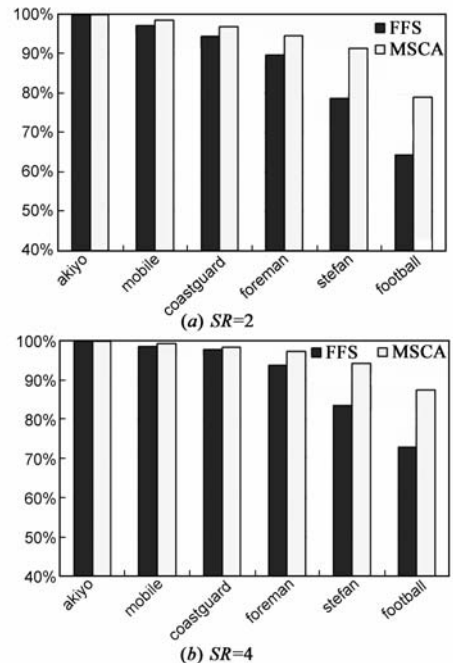


图3 MV 预测准确度比较

表 3 和表 4 给出了 $QP = 28$ 时, MSCA 与 FFS, UMHS 和 EPZS 和文献[6]中算法详细的码率和 PSNR 比较. $\Delta PSNR$ 表示 MSCA 与其它算法的 PSNR 差值. ΔBR 表示 MSCA 比其它算法增加的码率百分比. 正的 $\Delta PSNR$ 值和负的 ΔBR 值表示 MSCA 率失真性能更好. 从表中可以发现相比 FFS, MSCA 的 PSNR 性能略差, 平均损失 0.01dB, 但 BR 略占优势, 平均节省 0.61%. 而相比 UMHS 和 EPZS, MSCA 的 PSNR 分别平均提高了 0.02dB 和 0.002dB, 但相应的分别增加了 0.22% 和 0.26% 的码

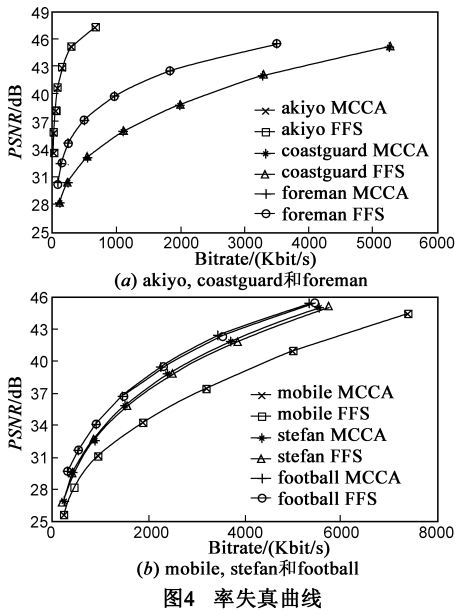


图4 率失真曲线

率.性能比较说明 MSCA 的率失真性能同 FFS, UMHS 和 EPZS 相当.文献[6]中算法的 PSNR 和 BR 性能都略差于 MSCA.

表3 PSNR 比较, $QP = 28, SR = 4$ or 32

(dB)	MSCA	FFS	UMHS	EPZS	文献[6]
	PSNR	$\Delta PSNR$	$\Delta PSNR$	$\Delta PSNR$	$\Delta PSNR$
akiyo	40.59	-0.02	0.04	0.01	-
mobile	34.25	0.00	0.01	0.00	0.02
coastguard	35.98	-0.01	0.01	0.00	0.00
foreman	37.15	0.00	0.03	0.01	0.04
stefan	35.80	-0.02	0.00	-0.01	0.01
football	36.77	-0.01	0.03	0.00	-
average		-0.010	0.020	0.002	0.018

表4 Bitrate 比较, $QP = 28, SR = 4$ or 32

(Kbit/s)	MSCA	FFS	UMHS	EPZS	文献[6]
	BR	ΔBR	ΔBR	ΔBR	ΔBR
akiyo	85.63	-0.56%	-0.37%	-0.16%	-
mobile	1880.16	-0.73%	0.03%	-0.09%	-0.94%
coastguard	1126.61	0.07%	0.42%	0.05%	0.49%
foreman	499.20	0.46%	0.54%	0.39%	-0.09%
stefan	1506.20	-1.25%	0.06%	0.62%	-1.37%
football	1454.55	-1.66%	0.66%	0.74%	-
average		-0.61%	0.22%	0.26%	-0.48%

表5给出了各算法的执行时间, ΔT 表示 MSCA 算法比其它算法节省的 ME 执行时间百分比.从表中可以发现,相比 FFS, MSCA 平均节省了约 96.22% 的运算时间.相比 UMHS 和 EPZS 算法, MSCA 可以分别平均节省约 59.50% 和 39.06% 的计算时间.而相比率失真性能较低的文献[6]算法, MSCA 算法可以节省约 93.50% 的计算时间.

表5 ME 时间比较, $QP = 28, SR = 4$ or 32

秒(s)	MSCA	FFS	UMHS	EPZS	文献[6]
	Time	ΔT	ΔT	ΔT	ΔT
akiyo	19.886	-98.68%	-55.17%	-60.41%	-
mobile	38.508	-97.41%	-75.04%	-59.53%	-95.14%
coastguard	47.047	-96.90%	-69.40%	-50.50%	-93.49%
foreman	51.690	-96.58%	-61.32%	-39.69%	-94.33%
stefan	60.972	-95.17%	-52.04%	-20.23%	-91.04%
football	97.395	-92.60%	-44.04%	-4.02%	-
average		-96.22%	-59.50%	-39.06%	-93.50%

6 总结

本文提出了一种基于多搜索中心的 ME 快速算法 MSCA.本文算法采用多搜索中心的方法对 CMB 的时间和空间相邻块的运动向量进行分析,使得 MV 预测更加精确.同时依据 CMB 的运动剧烈程度,动态调整搜索范围. MSCA 算法在保持了好的率失真性能的同时,有效缩短了 ME 运算时间.实验结果显示,相比 FFS, UMHS 和 EPZS 算法, MSCA 分别节省约 96.22%, 59.50% 和 39.06% 的计算时间.

参考文献

- [1] Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H. 264 | ISO/IEC 14496-10 AVC) [S]. May 2003.
- [2] A Puria, X M Chen, A Luthrac. Video coding using the H. 264/MPEG-4 AVC compression standard [J]. Signal Processing: Image Communication, 2004, 19(9): 793 - 849.
- [3] C H Cheung, L M Po. A novel cross-diamond search algorithm for fast block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 2002, 12(12): 1168 - 1177.
- [4] 宋建斌,李波,李炜,马丽.基于模式和时空相关性的运动估计快速算法[J].电子学报, 2007, 35(10): 1823 - 1827.
Song J B, Li B, Li W, Ma L. A fast motion estimation algorithm based on mode and spatiotemporal correlation [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(10): 1823 - 1827. (in Chinese)
- [5] Liu Z Y, Zhou J W, S Goto, T Ikenaga. Motion estimation optimization for H.264/AVC using source image edge features [J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 2009, 19(8): 1095 - 1105.
- [6] Esam A, A Quaralleh, Chang T S. Fast variable block size motion estimation by adaptive early termination [J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 2006, 16(8): 1021 - 1026.
- [7] 宋彬,常义林,李春林. H. 264 帧间预测模式的快速选择算法[J].电子学报, 2007, 35(4): 697 - 700.
Song B, Chang Y L, Li C L. Novel fast selecting inter predic-

tion mode algorithm based H.264 [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(4): 697 - 700. (in Chinese)

- [8] JM, Joint Model [CP/OL]. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/>, 2007-08-07.
- [9] Z B Chen, P Zhou, Y He. Fast integer pel and fractional pel motion estimation for JVT [A]. JVT-F017 6th Meeting [C]. Japan, 2002. 5 - 13.
- [10] A M Tourapis, O C Au. Enhanced predictive zonal search for single and multiple frame motion estimation [A]. Visual Communications and Image Processing 2002 [C]. San Jose, 2002. 1069 - 1079.
- [11] Humaira Nisar, Tae-Sun Choi. Efficient block motion estimation using sector based approach [A]. 2007 The International Conference on Image Processing [C]. San Antonio, 2007. 489 - 492.

作者简介



谷会涛 男, 1980 年生于河北藁城, 2006 年毕业于国防科技大学计算机学院, 获工学硕士学位, 现为国防科技大学计算机学院博士生, 主要研究方向为视频编解码算法和高性能微处理器设计.

E-mail: guhuitao@163.com

陈书明 1961 年生于安徽六安, 1993 年毕业于国防科技大学计算机系, 获工学博士学位, 现为国防科技大学计算机学院教授, 博士生导师. 主要研究方向为高性能微处理器设计和超深亚微米 VLSI 设计理论与技术.

E-mail: smchen@nudt.edu.cn