

面向硬件的分层 HEVC 运动估计算法

胡 沥, 何卫锋

(上海交通大学 微电子学院, 上海 200240)

摘 要: 运动估计是 HEVC 中计算复杂度最高的部分之一, 为了提高 HEVC 压缩 UHD 视频时的编码效率, 本文采用在运动估计算法第一层结合中心全搜索和周边降采样搜索, 同时在第二层使用六边形快速搜索优化第一层搜索结果的方法. 将提出算法的代码加入到最新的 HEVC 仿真模型(HM 15.0)之后, 针对 UHD 视频序列的仿真测试显示提出算法在减少全搜索运动估计算法 97.8% 的运算量的同时图像 BD-rate 只损失了 0.77%, 说明了提出的算法能够实现高效的编码效果.

关键词: 运动估计; 算法; HEVC; 面向硬件

中图分类号: TN919.81

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)07-0023-04

Hardware-Oriented Hierarchical Motion Estimation Algorithm for HEVC

HU Li, HE Wei-feng

(School of Microelectronics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Motion estimation is one of the most computational complex parts of HEVC. In order to improve the coding efficiency of HEVC compressing UHD video, this paper adopts the method of combining central full search and peripheral downsampling search into the first layer, and a hexagon fast search in the second layer to optimize the first layer search results. After describing the proposed algorithm in the latest HEVC software model (HM 15.0), the simulation test for the UHD video sequence shows that the proposed method can reduce the computational complexity of the full search motion estimation algorithm by 97.8%, while the BD-rate loss is only 0.77%, which shows that the proposed algorithm can achieve efficient encoding.

Key words: motion estimation; algorithm; HEVC; hardware-oriented

1 引言

HEVC 使用了包括预测单元四叉树划分等许多最新的编码技术, 使它的编码效率相对于上一代标准 H. 264 有了非常大的提高^[1-2]. 同时, 随着信息技术的飞速发展, 消费者对于 4k 甚至 8k 分辨率视频内容的需求不断增加. 因此, 在这些高分辨率视频编码时, HEVC 的计算复杂度进一步提高, 这对算法和硬件设计提出巨大的挑战.

运动估计是 HEVC 中计算复杂度最高的部分之一. 传统的全搜索算法由于数据流规整确定, 十分适合硬件实现而常常被采用, 但是在应用于 UHD

甚至更高分辨率视频编码时, 由于搜索范围的急剧增大, 全搜索算法的计算复杂度已经难以硬件实现.

在这种情况下, 许多基于全搜索算法的面向硬件的算法被提出. 文献[3]提出了一种多层运动估计算法, 该算法采用部分失真方案来减少每个搜索点所涉及的计算. 此外, 文献[4]提出了一种使用小块运动向量预测大块的运动估计算法方案. 在 2014 年, X. Ye 等^[5]提出了一种面向硬件的整数运动估计算法, 以并行调度方案同时处理各种预测单元. 然而, 该算法的架构设计遇到了大带宽需求的困难.

本文中, 提出的算法在全搜索基础上, 边缘搜索区域采用降采样搜索的方法极大的减少搜索点数

目,降低计算复杂度,同时在中心搜索区域进行全搜索提高图像质量.此外,算法第二层的六边形快速搜索算法进一步优化了运动估计结果.

2 运动向量分布的分析

大搜索范围是运动估计电路的当前趋势,尤其是在超高清应用中.全搜索算法是一种硬件友好的算法,在 VLSI 设计中具有许多优点.然而,全搜索算法的计算复杂度随着搜索范围的增大而急剧增加.为了设计具有大搜索范围的硬件友好运动估计算法,我们首先分析 UHD 视频测试序列中的运动向量的分布.

表 1 显示了我们的测试平台,基于该平台,对 UHD 视频序列的运动向量的分布进行计数.图 1 显示了序列 Wood^[6]的分布结果.其中, z 轴数据是运动向量分布的百分比的自然对数.

表 1 HEVC 仿真模型(HM)测试平台	
HM 版本	15.0
搜索区域	$[-64,64]$
CU 大小/划分深度	64/4
帧数	30
搜索算法	全搜索

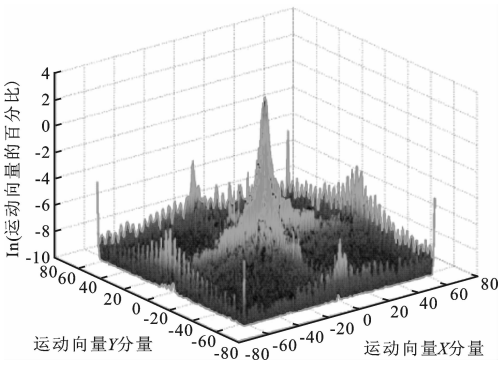


图 1 UHD 视频 Wood 的运动向量分布

通过统计图 1 中的运动向量分布,得到了表 2 中的不同搜索区域大小内运动向量的分布百分比.从表 2 可以看到,即使搜索区域为 $[-64,64]$,超过 99%的运动向量都集中在 $[-16,16]$ 的中心区域内.因此,我们提出了一种将中心区域全搜索和周边区域降采样搜索结合的运动估计算法来平衡计算复杂度和图像质量损失.

表 2 不同搜索区域大小内运动向量分布				
搜索区域	$[-2,2]$	$[-4,4]$	$[-8,8]$	$[-16,16]$
百分比/%	71.1	95.6	98.4	99.1

3 提出的运动估计算法

3.1 分层搜索策略

图 2 显示了我们提出的分层搜索策略.在图 2 中,每个黑色实心点表示搜索范围内的搜索点,箭头线表示我们定义的搜索模式,并且坐标轴上的 SR 表示搜索半径.具有蛇形搜索模式的全搜索算法如图 2(a)所示.为了减少全搜索算法中的搜索点数,降采样搜索方案如图 2(b)所示.基于相同的搜索模式,降采样搜索方案可以跳过搜索区域中的许多搜索点(如图中空心点所示),直观和有效地减少计算复杂性.

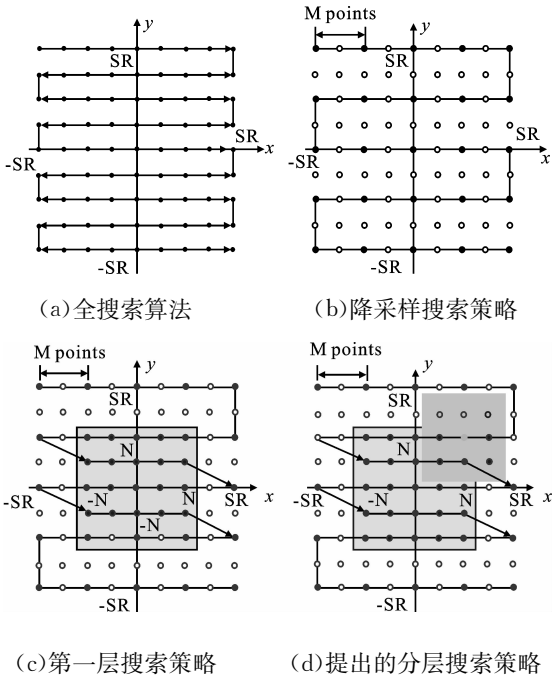


图 2 提出的运动估计算法策略

然而,根据第 2 节的分析,降采样搜索并不适合于搜索范围的核心区域.因此,我们提出了将核心区域全搜索和外围区域降采样搜索结合的第一层搜索策略,如图 2(c)所示.最后,完整的分层搜索方案如图 2(d)所示,其中红色实心点是指第一层搜索的运动向量结果.在第二层中,在围绕该点重新定义的搜索范围内,采用六边形快速搜索方案来得到更优的运动向量结果.

3.2 运动估计算法流程

基于上述搜索策略,我们提出了本文的运动估计算法.算法的流程图如图 3 所示,该算法分为第一层和第二层运动估计.在第一层中,算法首先检查当前搜索点是否属于核心区域或周边区域.然后,基于蛇形搜索模式来执行块差值(SAD)计算.在核心

区域和周边区域中,全搜索方案和降采样搜索方案分别执行.最后,生成核心区域和周边区域中的运动向量结果.

基于由第一层算法生成的运动向量结果,首先定义第二层算法的搜索范围.然后,执行六边形快速算法以获得第二层算法的运动向量结果.最后,基于这三个运动向量生成最终的运动向量结果.

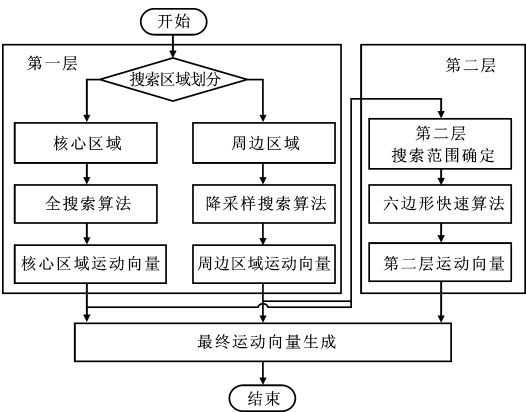


图 3 提出算法的流程图

3.3 提出算法的计算复杂度模型

由于算法中的降采样间隔、核心区域、以及第二层搜索范围可以改变大小,所提出的运动估计算法是参数可配置的.因此,我们构建了一个数学模型来评估算法在不同参数配置下的计算复杂度.

基于图 2(d),我们将降采样间隔定义为 M ,将核心区域大小定义为 N .此外,第一层算法中的搜索范围是 SR ,第二层中是 M .

我们使用搜索点 SP 的数量来描述算法的计算复杂度,如公式(1)所示.

$$SP_{M,N} = (\frac{2 \times SR}{M} + 1)^2 + (2 \times N + 1)^2 \quad (1)$$

4 实验结果和分析

为了分析提出的算法的编码效率和计算复杂性,我们将算法进行代码实现并集成到最新的 HEVC 软件模型(HM 15.0)中.表 3 显示了我们的测试平台的参数.我们使用 SJTU 4K 视频序列数据^[6]作为我们的测试序列集.该序列集包括根据空间信息和时间信息分为不同类型的 15 个 UHD 测试视频序列.我们选择不同类型的 BundNightscape, CampfireParty, Runners 和 Wood 的四个测试序列,在我们的测试平台中进行测试.

表 3 仿真平台参数

HM 版本	15.0
搜索区域	$[-64,64]$
CU 大小/划分深度	64/4
GOP 大小	4
量化参数 (QP)	22, 27, 32, 37
视频帧数	30
降采样间隔: M	2, 4, 8, 16
核心区域大小: N	0, 2, 4, 8, 16

4.1 第一层算法的参数分析

基于我们的测试平台,不同 M 和 N 的 BD-rate^[7] 损失如表 5 所示.当 $N = 16$ 和 $M = 2$ 时, BD-rate 损失为最小值 0.05%.同时,当 $N = 0$ 和 $M = 16$ 时, BD-rate 损失为最大值 5.99%.

为了比较所提出的算法在不同 M 和 N 下的计算复杂度和 BD-rate 损失,我们将式(1)和表 4 的数据结合到图 4 中表示,图中 y 轴是 SP 或 BD-rate 的以 10 为底的对数.在左图中,随着从蓝色到红色的颜色转变,计算复杂性增加.在右图中,红色表示较高的 BD-rate 损失.

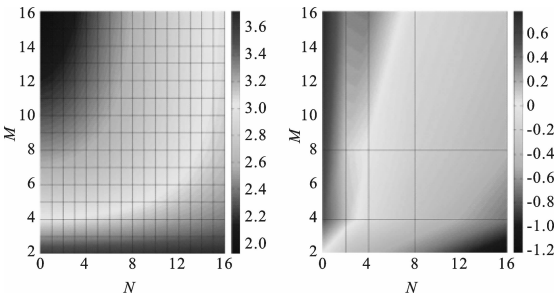


图 4 不同 M 和 N 参数配置下的算法复杂度和 BD-rate 损失

图 4 中的灰色区域中参数组合由于计算复杂度太高或图像质量太差而不能选用.因此,两图的白色区域交集的点是可以平衡计算复杂度和图像质量的最佳选择.这个区域中只有两种参数组合, $(8,8)$ 和 $(8,16)$.当 $N = 8$ 和 $M = 8$ 时,相对于全搜索算法,计算量减少 96.5%,BD-rate 损失为 0.61%.同时,当 $N = 8$ 和 $M = 16$ 时,计算量减少了 97.8%,BD-rate 损失 0.77%.

4.2 第二层算法分析

表 5 展示了当 $N = 8$ 和 $M = 8$ 时,在第二层中使用全搜索算法和六边形快速算法的 BD-rate 损失.与六边形快速算法相比,第二层算法如果采用全搜索算法,算法复杂度增加提高了 10 倍,而平均只有 0.05%BD-rate 提高.因此,我们决定采用六边形快速算法作为第二层运动估计算法.

表 4 不同 M 和 N 参数组合下的 BD-rate 损失

降采样间隔		M=2					M=4				
核心区域大小		N=0	N=2	N=4	N=8	N=16	N=0	N=2	N=4	N=8	N=16
测试序列		BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)
Runners/%		2.65	1.06	0.67	0.32	0.02	4.04	3.95	1.65	0.88	0.12
Wood/%		0.69	0.09	0.19	0.24	0.08	7.3	0.07	0.4	0.17	0.15
BundNightscope/%		0.23	0.38	0.3	0.21	0.09	0.61	1.1	0.85	0.56	0.39
CampfireParty/%		0.51	0.22	0.21	0.13	0.08	1.22	0.44	0.32	0.27	0.14
平均值/%		1.02	0.44	0.34	0.22	0.06	3.29	1.39	0.8	0.47	0.2
降采样间隔		M=8					M=16				
核心区域大小		N=0	N=2	N=4	N=8	N=16	N=0	N=2	N=4	N=8	N=16
测试序列		BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)
Runners/%		6.04	3.25	2.19	1.43	0.64	8.39	5.61	3.95	1.65	0.74
Wood/%		7.61	0.18	0.21	0.05	0.11	11.97	0.15	0.13	0.39	0.42
BundNightscope/%		1.07	1.03	1.01	0.73	0.45	2.09	2.3	1.6	0.78	0.63
CampfireParty/%		1.85	0.55	0.51	0.23	0.13	1.51	0.55	0.47	0.29	0.15
平均值/%		4.14	1.25	0.98	0.61	0.33	5.99	2.15	2.28	0.77	0.48

表 5 不同第二层算法在 M=8,N=8 时 BD-rate 损失

第二层算法	全搜索算法	六边形快速算法
测试序列	BD-rate(Y)	BD-rate(Y)
Runners/%	1.38	1.43
Wood/%	0.06	0.05
BundNightscope/%	0.59	0.73
CampfireParty/%	0.21	0.23
平均值/%	0.56	0.61

4.3 相关算法性能比较

在文献[5]中,提出的多层算法减少了全搜索算法 90.2%的计算,而 BD-rate 下降 2.3%。在文献[3]中,提出的块匹配算法只有全搜索算法的 0.1%的计算量,然而,BD-rate 损失达到了极高的 35.8%。与之相比,我们提出的算法可以减少全搜索算法 97.8%的计算,并且在 UHD 测试序列下仅有 0.77%的 BD-rate 损失。

因此,与其他类似的运动估计算法相比,所提出的运动估计算法能够更好的平衡 BD-rate 损失和计算复杂度。

5 结束语

在本文中,我们提出了一种适用于 UHD 应用的面向硬件的分层 HEVC 运动估计算法。与全搜索算法相比,我们的算法的复杂度通过降采样搜索策略大大减少,而图像质量由于核心区域全搜索和六边形快速搜索的采用而略微降低,保持了全搜索算

法的数据流特点使得我们的算法能够更好的用于硬件实现。此外,我们的算法是参数可配置的,这意味着它可以用于许多不同的应用场景,以平衡硬件成本和图像质量。

通过 UHD 序列的测试,当第一层的搜索范围为[-64,64],降采样间隔为 16,核心区域大小为 8 时,与全搜索算法相比,提出算法的计算复杂度降低了 97.8%,而 BD-rate 仅下降 0.77%。

参考文献:

[1] Sullivan G J, Ohm J, Han W, et al. Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1649-1668.

[2] Bossen F, Bross B, Suhring K, et al. HEVC complexity and implementation analysis[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2012, 22(12): 1685-1696.

[3] Paramkusam A V, Reddy V S K. A novel block-matching motion estimation algorithm based on multilayer concept[C]// Multimedia and Expo (ICME), 2014 IEEE International Conference on. Okayama University, Japan, 2014.

[4] Kim S, Park C, Chun H, et al. A novel fast and low-complexity Motion Estimation for UHD HEVC[J]. Picture Coding Symposium (PCS), 2013, 18(6): 105-108.

6 结束语

本文提出了基于 K-means 均值和蝙蝠混合优化的云计算虚拟调度算法,利用 K-means 聚类对蝙蝠种群数据进行初始化,提高初始样本数据解的质量,利用 Powell 局部搜索算法对当前最优解进行局部搜索,提高收敛速度和精度,利用改进蝙蝠算法对虚拟机进行分配时,与 K-means 均值调度算法相比,不仅降低了物量节点的数量还提高了系统资源综合利用率,达到了最优化目标.

参考文献:

[1] Lin W, Qi D. Research on resource self-organizing model for cloud computing[C]// Internet Technology and Applications, 2010 International Conference on. Wuhan, China, IEEE, 2010; 1-5.

[2] Bawa R K, Sharma G. Modified min-min heuristic for job scheduling based on QoS in Grid environment[C]// IEEE International Conference on Information Management in the Knowledge Economy. India, Chandigarh, 2013; 166-171.

[3] Chen H K, Wang F, He L N, et al. User-priority min-min scheduling algorithm for load balancing in cloud computing [C]// 2013 National Conference on Parallel Computing Technologies. India, Bangalore, 2013; 1-8.

[4] 庄威, 桂小林, 林建材, 等. 云环境下基于多属性层次分

析的虚拟机部署与调度策略[J]. 西安交通大学学报, 2013, 47(2): 28-32.

[5] 袁爱平, 万灿军. 云环境下基于改进遗传算法的虚拟机调度策略[J]. 计算机应用, 2014, 34(2): 357-359.

[6] 肖鹏, 刘洞波, 屈喜龙. 云计算中基于能耗比例模型的虚拟机调度算法[J]. 电子学报, 2015, 43(2): 305-310.

[7] 李煜, 马良. 新型全局优化蝙蝠算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(9): 225-228.

[8] 金伟健, 王春枝. 基于蝙蝠算法的云计算资源分配研究[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(4): 1184-1187.

[9] 全雪皎, 孟凡荣, 王志晓. 对 k-mean 初始聚类中心的优化[J]. 计算机工程与设计, 2011, 31(8): 165-167.

[10] Yang X S. Nature inspired meta-heuristic algorithms [M]. 2nd ed. UK: Luniver Press, 2010; 97-104.

[11] 李乔, 郑啸. 云计算研究现状综述[J]. 计算机科学, 2011, 38(4): 32-37.

[12] 徐文忠, 彭志平, 左敬龙. 基于遗传算法的云计算资源调度策略研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(5): 1653-1656.

[13] 李煜, 马良. 新型全局优化蝙蝠算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(9): 225-227.

[14] 冯辉宗, 彭丹, 袁荣棣. 基于 PSO-SVM 的发动机故障诊断研究[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(2): 355-357.

作者简介:

乔良男, (1980-), 博士, 讲师. 研究方向为数据挖掘、云集计算任务调度、物联网. E-mail: qiaoliang80@sina.com.

(上接第 26 页)

[5] Ye X, Ding D, Yu L. A hardware-oriented ime algorithm and its implementation for hevc[C]// Visual Communications and Image Processing Conference. [s. l], 2014.

[6] Song L, Tang X, Zhang W, et al. The sjtu 4k video sequence dataset[C]// 2013 Fifth International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). [s. l], 2013; 34-35.

[7] Bjontegaard G. Calculation of average PSNR differ-

ences between RD-curves[D]. Austin, Texas, USA, 2001, VCEG M33.

作者简介:

胡沥男, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为数字电路设计与实现. E-mail: 188001970103@163.com.

何卫锋男, (1976-), 副研究员. 研究方向为 SoC 设计与系统集成.