

文章编号 1004-924X(2005)02-0237-10

基于起点预测的自适应交叉-准菱形运动估计算法

梁 燕, 刘文耀

(天津大学 精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

摘要:提出一种可预测搜索起点的自适应交叉-准菱形搜索算法。根据序列图像中运动矢量的交叉-中心偏置分布特性和矢量间的时空相关性,设计了一种交叉-准菱形搜索模板,并融合搜索起点预测、半途中止准则和自适应搜索模式等技术,在保证搜索准确性的同时,大幅度提高了运动估计的速度。实验结果表明,算法对各种类型的运动序列都有很强的自适应性,其平均搜索速度是新三步法的 3.56 倍、四步法的 3.26 倍、菱形法的 2.71 倍,搜索准确性也优于经典的快速运动估计算法,尤其对于大运动序列,具有更明显的优势,提高了视频压缩中现有的运动估计算法的性能。

关键词:运动估计;块匹配;视频压缩;菱形搜索;交叉搜索

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Adaptive cross-quasi-diamond search algorithm based on initial search point estimation

LIANG Yan, LIU Wen-yao

*(College of Precision Instruments and Opto-electronic Engineering,
Tianjin University, Tianjin 300072, China)*

Abstract: A predictive adaptive cross-quasi-diamond search algorithm (PACQDSA) is presented. Based on the cross-center-biased motion vector distribution characteristic of the real-world sequences and high space-time correlation of adjacent blocks' motion vectors, a cross-quasi-diamond search pattern was designed, and some effective techniques were used, which are composed of the prediction of initial search point, half-stop criteria and adaptive search modes. Experiments show that the algorithm is able to fit for all types of video sequences adaptively in spite of the degree of the motions. Compared with other algorithms, it is 3.56 times faster than NTSS, 3.26 times faster than FSS and 2.71 times faster than DS in average. And it is better than the traditional fast motion estimation algorithms in terms of PSNR, especially for the sequences with large motion. Therefore, the algorithm improves the performance of existing motion estimation algorithms.

Key words: motion estimation; block matching; video compression; diamond search; cross search

1 引言

运动估计^[1-2]是视频图像编码中的一项关键技术,它的性能直接影响到帧间预测误差图像能量的大小,进而影响压缩效率,同时它的运算量还制约着整个压缩编码过程的速度。现有的运动估计算法有像素递归法、梯度法、块匹配法等,其中块匹配法以其简单实用、易于 VLSI 实现等优点,目前已被许多视频编码标准所采纳,如 MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4、ITU-T H. 261 和 H. 263 等。

在块匹配算法(BMA)中,最简单而且精确的是全搜索或称穷尽搜索法(FS),它在搜索窗内的每一个像素点处进行匹配计算以得到一个最优的运动矢量(MV),但 FS 法的运算量巨大,算法的实时性差,在很多场合无法应用。其后,学者们相继提出了一些快速运动估计算法,早期的有三步法(TSS)^[3]、交叉法(CSA)^[4]、二维对数法(TDL)^[5],后来又出现了新三步法(NT-SS)^[6]、四步法(FSS)^[7]、基于块的梯度下降法(BBGDS)^[8]、菱形法(DS)^[9-10]、六角形法(HEXBS)^[11]等,其中,菱形(DS)算法曾在 1999 年 10 月被 MPEG-4 标准采用并收入验证模型(VM),是目前公认的一种较好的搜索算法。上述方法大多是按照一定的搜索策略,通过在搜索窗内搜索少数的几个点来降低计算复杂度的,但它们的搜索准确性较之全搜索法普遍有所降低,尤其对于大运动的序列,搜索极易陷入局部最优值。这是因为几乎所有快速算法都基于以下 2 条假设:“现实世界的大部分运动矢量都是很小的”和“误差表面在整个窗口是单峰的”。

为了解决搜索速度和搜索准确性之间的矛盾,本文提出一种可预测搜索起点的自适应交叉-准菱形运动估计算法(PAC-

QDSA)。基于视频图像运动矢量的交叉-中心偏置分布特性^[12],设计了一种交叉-准菱形搜索模板(CQDSP),有效地加快了搜索速度。同时为了提高搜索性能,避免结果陷入局部最优值,根据运动矢量的时空相关性,该算法首先通过预测搜索起点使当前块的运动矢量尽可能接近真实的运动矢量,其次依据不同的运动类型,自适应地选择搜索模式,最后通过高效的半途中止准则使搜索过程适时停止,在保证准确性的同时,避免了冗余搜索。

2 基本的交叉-准菱形搜索算法

一般来说,实际获取的视频序列图像的运动矢量分布具有一定的规律。实验中,利用全搜索法对 13 幅标准的视频图像进行运动估计,图像块大小为 16×16 ,搜索窗尺寸为 ± 7 。这些图像中既包括“Akiyo”、“Miss America”、“Container”这样的慢速运动序列,又有“Stefan”、“Football”这样的高速运动序列,还有带有镜头缩放的大运动序列“Table Tennis”,和具有镜头平移的固定物体序列“Flower Garden”等等。图像格式包括 SIF、CIF、QCIF。运动矢量概率分布的统计实验结果如表 1 所示。

由表 1 可见,视频图像序列的运动矢量分布一般具有如下特性:

(1) 约有 81.81% 的运动矢量是位于以原点为中心的 5×5 正方形搜索窗口内,即半径为 2 的窗口内。特别是有 45.44% 的运动矢量是零矢量。这说明绝大部分的图像块是静止或准静止的,运动矢量分布具有中心偏置特性。

(2) 运动矢量的概率分布是以(0,0)点为中心递减的。

(3) 运动矢量分布在水平和垂直方向的概率要比分布在相同半径下的其他方向

表 1 平均的运动矢量概率分布(搜索窗 ± 7)Tab.1 Average motion vector probability distribution for search window ± 7

半径 (垂直) Radius $ \rho $ (vert.)	半径(水平) Radius $ \rho $ (hor.)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0.454 4	0.157 1	0.043 7	0.037 5	0.008 6	0.006 8	0.004 0	0.007 1
1	0.079 4	0.027 6	0.020 4	0.013 7	0.009 0	0.007 5	0.003 0	0.001 8
2	0.013 0	0.014 1	0.008 4	0.009 2	0.003 0	0.001 1	0.001 1	0.002 1
3	0.007 3	0.004 3	0.002 2	0.003 4	0.001 6	0.000 5	0.000 7	0.001 7
4	0.004 6	0.002 0	0.001 4	0.001 2	0.001 3	0.000 4	0.000 6	0.001 2
5	0.001 8	0.001 0	0.000 5	0.001 9	0.000 6	0.000 3	0.000 4	0.001 7
6	0.007 0	0.000 7	0.001 0	0.001 0	0.001 7	0.000 3	0.000 9	0.000 8
7	0.002 6	0.001 2	0.000 7	0.001 9	0.000 8	0.000 3	0.000 6	0.002 3

大。例如,约有 74.76%的运动矢量是分布在半径为 2 的水平 and 垂直方向上,而总共只有 7.05%的运动矢量分布在相同半径的其他方向上。这说明矢量分布具有交叉偏置特性。

综上所述,运动矢量的概率分布具有交叉-中心偏置分布特性。依据该特性,设计了交叉-准菱形搜索模板,并提出了基本的搜索策略。

图 1 显示了交叉-准菱形算法所采用的搜索模板形式。为了充分利用运动矢量分布的交叉偏置特性,本算法采用了如图 1(a)和(b)所示的大交叉模板 LCSP(Large Cross Search Pattern)和小交叉模板 SCSP(Small Cross Search Pattern)。同时为了利用中心偏置特性,将 LCSP 和 SCSP 复合成为双交叉模板 DCSP(Double-Cross Search Pattern),以增加对中心区域的搜索能力。此外,算法采用如图 1(d)到(g)的准菱形模板,来弥补对其他方向的搜索不足。这样,每次只需新搜索距离上一次获得的最小误差点最近的两个检测点,比菱形法减少了 2 个检测点。

基本的交叉-准菱形搜索算法的搜索过程如下:

step1. 以搜索窗口的中心为起始点,

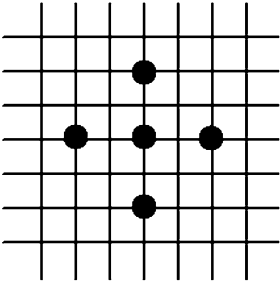
采用双交叉模板 DCSP 在 9 个点处进行匹配计算,然后判断找出最小块误差 MBD (Minimum Block Distortion)点。若 MBD 点位于 DCSP 的中心,说明图像块是静止的,则搜索过程结束,进行 step5,这称作一步中止技术;若 MBD 点位于大交叉模板的 4 个顶点处,说明图像块的运动较大,则进行 step2;若 MBD 点位于小交叉模板的 4 个顶点处,说明图像块的运动较小,则进行 step3;

step2. 使用准菱形模板,在距离上一步获得的 MBD 点最近的 2 点处进行匹配计算,找出新的 MBD 点,并继续进行 step4;

step3. 以上一步获得的 MBD 点为中心,用小交叉模板 SCSP 进行搜索,若 MBD 点位于 SCSP 的中心,进行 step5;否则,重复执行 step3;

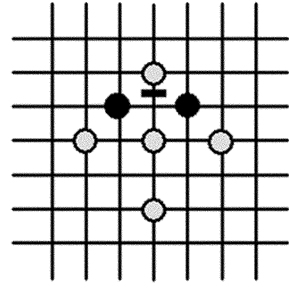
step4. 以上一步获得的 MBD 点为中心,用大交叉模板 LCSP 进行搜索,若 MBD 点位于 LCSP 的中心,则进行 step3;若 MBD 点位于 4 个顶点处,进行 step2;

step5. 将最终的 MBD 点作为最佳匹配点,得到该图像块的运动矢量。



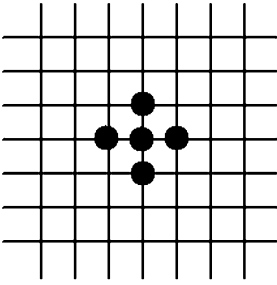
(a)大交叉模板 LCSP

(a)Large cross search pattern(LCSP)



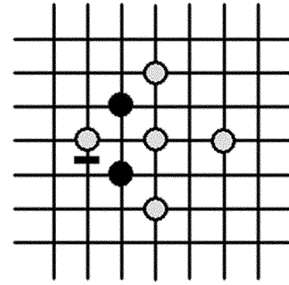
(e)准菱形模板 2

(e)Quasi-diamond search pattern 2



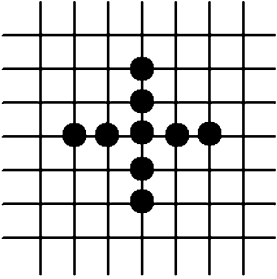
(b)小交叉模板 SCSP

(b)Small cross search pattern(SCSP)



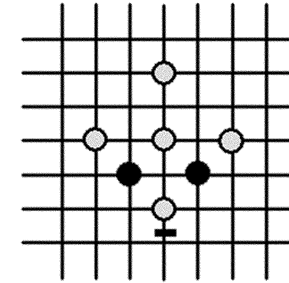
(f)准菱形模板 3

(f)Quasi-diamond search pattern 3



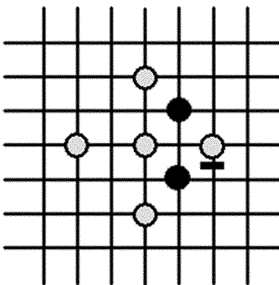
(c)双交叉模板 DCSP

(c)Double-cross search pattern(DCSP)



(g)准菱形模板 4

(g)Quasi-diamond search pattern 4



(d)准菱形模板 1

(d)Quasi-diamond search pattern 1

图 1 搜索模板形式

(d)~(g)中带下划线的灰点是上一步搜索得到的最小误差点,黑点表示待检测点

Fig. 1 Some search patterns used in CQDSP
(d)~(g) the gray point with under line represents the MBD point in the previous step, the black points represent the checking points.

3 可预测起点的自适应交叉-准菱形搜索算法(PACQDSA)

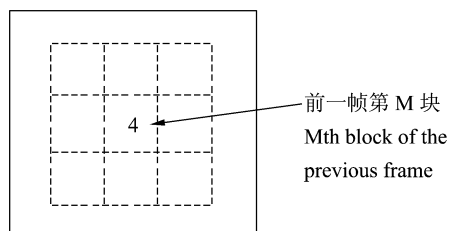
由于采用了准菱形模板搜索和一步中止技术,基本的交叉-准菱形算法在搜索速度上较之菱形法有了一定提高。但由于没有利用运动矢量分布的时空相关性,其性能仍难尽人意。下面,从搜索起点预测、高效的搜索中止准则、自适应确定搜索模式等方面对基本算法进行性能改进。

3.1 搜索起点预测

快速搜索算法均是基于“误差表面在搜索窗口内是单峰的”这个假设,但现实视频序列的运动有时并不遵循它。如果搜索过程的起始点距离最优匹配点足够近,可以认为在最优匹配点周围的一个小范围内,这个假设总是成立的。由于运动物体的整体性和视频运动的连续性,相邻的运动矢量以及前后帧对应位置处的运动矢量必然具有时间和空间上的相关性。利用这种相关性,可以对搜索起点进行预测。

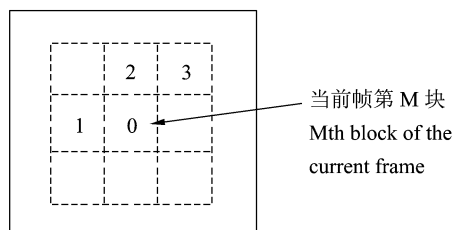
可用于起点预测的运动块包括同一帧空间位置上的相邻块(左边和上边已编码的块)和前一帧相邻位置的图像块(3×3 邻域内的已编码块)。文献[13]阐述了各相邻块的预测效果,表明当前块的运动矢量与其左边、上边、右上边以及参考帧相同位置块的运动矢量相关性较大,而与其他块的相关性较小。因此,本文选用这 4 个相邻块运动矢量的对应点和原点(即零矢量)作为起点预测的候选点,候选点的分布如图 2 所示。

在图 2 中,当前块和 4 个时空相邻块的运动矢量分别为 \mathbf{V}_0 、 \mathbf{V}_1 、 \mathbf{V}_2 、 \mathbf{V}_3 、 \mathbf{V}_4 ,其中 \mathbf{V}_0 是零运动矢量。分别计算这 5 个运动矢量所指的块对应的块失真度(Block Distortion Measure),度量 BDM 大小的指标采用绝对误差和 SAD。经计算得到的块失真度



(a) 第 N-1 帧

(a) N-1th frame



(b) 第 N 帧

(b) The Nth frame

图 2 搜索起点的预测

Fig. 2 Prediction of initial search point

分别设为 SAD_0 、 SAD_1 、 SAD_2 、 SAD_3 、 SAD_4 ,则搜索起点 V_s 为:

$$V_s = \text{Arg} \{ \min(SAD_0, SAD_1, SAD_2, SAD_3, SAD_4) \}, \quad (1)$$

即具有最小 SAD 值的运动矢量即为当前块预测的初始运动矢量,该运动矢量所指的位置即为搜索起始点。

根据当前块的位置不同,图 2 中的某些相邻块有可能是不存在的,预测起点时采用其存在的相邻块组合。例如,第 1 个 P 帧中的各块均不存在时间相邻块 4,边缘块可能不存在 1~3 块中的 1 块或几块。极限情况下,第 1 个 P 帧的第 1 块的 4 个时空相邻块都不存在,此时原点即为搜索起点。

3.2 搜索中止准则

由表 1 发现,有 45.44% 的运动矢量是零矢量,这说明很大部分的图像块是静止的。在第 2 节中的基本交叉-准菱形算法中

采用了一步中止技术,但对零矢量还需要至少搜索 9 个点。如果能够找到一个合适的阈值,使得在搜索开始前,若零矢量的 SAD 值小于该阈值,则直接中止搜索过程,那将大幅度降低算法的计算时间,称其为提前中止技术。

采用固定的阈值,不具有普适性。因此,本算法采用如下的方法自适应地确定提前中止阈值 TH_0 ,从而提高了算法的鲁棒性^[14]。

(1) 如果 4 个相邻块的运动矢量均是零矢量,则以它们相应的 SAD 值的最大值作为阈值 TH_0 ,因为这时当前块的运动矢量为零矢量的概率较大;

(2) 如果 4 个相邻块的运动矢量中存在零矢量,但不全为零矢量,则以零矢量对应块的 SAD 值的最小值作为阈值 TH_0 ,因为当前块的运动矢量为零矢量的概率变小了;

(3) 如果 4 个相邻块的运动矢量均不为零,则以前一帧相同位置块的 SAD 值作为阈值 TH_0 ;

(4) 对于第 1 个 P 帧,初始阈值 TH_0 等于 $MB_SIZE \times 2$ (MB_SIZE 表示图像块大小,例如:对于 16×16 的块, $TH_0 = 512$);

(5) 为了保证算法的搜索准确性,限制阈值的上限为 $\max(TH_0) = MB_SIZE \times 4$ (例如:对于 16×16 的块, $\max(TH_0) = 1024$);

(6) 边缘块的处理方法:对于第 1 行的第 1 列的图像块,以前一帧相同位置块的 SAD 值作为阈值 TH_0 ;对于第 1 行的非第 1 列,以左边和前一帧相同位置块的 SAD 值的最小值作为阈值 TH_0 ;对于第 1 列的非第 1 行,以上边、右上边和前一帧相同位置块的 SAD 值的最小值作为阈值 TH_0 ;对于最后一列的非第 1 行,以左边、上边和前一帧相同位置块的 SAD 值的最小值作为

阈值 TH_0 。

上述方法不受视频运动类型的影响,具有较强的自适应性,避免了冗余的搜索,以较小的搜索代价获得了较好的搜索准确性。

3.3 自适应确定搜索模式

图像中不同区域的运动剧烈程度往往不同,如背景区域一般是静止或准静止的,而前景中的人物、车辆等的运动幅度则相对大些。如果对不同的运动块均采用从大尺度模板到小尺度模板的搜索模式,则难以使算法发挥最大的效率。本文算法首先对图像块的运动进行预测分类,然后针对不同的运动类型选择不同的搜索模式。

为了对图像块进行运动分类,定义运动矢量长度(MVL)的概念:

$$MVL = |V_x| + |V_y|, \quad (2)$$

其中, V_x 是运动矢量的 x 方向分量, V_y 是运动矢量的 y 方向分量。依据式(2),计算 4 个时空相邻块的运动矢量长度分别为 MVL_1 、 MVL_2 、 MVL_3 、 MVL_4 ,则预测当前块 m 的运动矢量长度为:

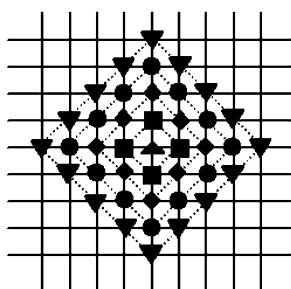
$$MVL_m = \max(MVL_1, MVL_2, MVL_3, MVL_4), \quad (3)$$

这样定义运动矢量长度是与算法中的交叉-准菱形模板相对应的,如图 3 所示,具有相同运动矢量长度的点组成一个菱形。

本文算法根据当前块预测的运动矢量长度,将运动类型分为大、中、小 3 种形式,然后为不同的运动选择不同的搜索模式。具体的运动分类准则为:

(1) 如果预测的当前块 m 的运动矢量长度 $MVL_m \leq 1$,称为小运动类型,说明图像块的运动为静态或准静态,只需在预测后的搜索起点附近作小步长的密集搜索,选择搜索模式 $SchMode=1$,即用小交叉模板 SCSP 连续搜索,直到 MBD 点位于 SCSP 的中心为止;

(2) 如果预测的当前块 m 的运动矢量



- ▲ MVL=0 的点 point of MVL=0
- MVL=1 的点 point of MVL=1
- ◆ MVL=2 的点 point of MVL=2
- MVL=3 的点 point of MVL=3
- ▼ MVL=4 的点 point of MVL=4

图 3 MVL=0,1,2,3,4 的点的分布

Fig. 3 Location of points of MVL equal to 0,1,2,3,4

长度 $1 < MVL_m \leq 4$, 称为中等运动类型, 选择搜索模式 SchMode=2, 即采用第 2 节所述的基本交叉-准菱形搜索算法;

(3) 如果预测的当前块 m 的运动矢量长度 $MVL_m > 4$, 称为大运动类型, 说明该图像块的运动幅度可能较大, 应该采用大步长搜索, 否则结果容易陷入局部最优值, 因此选择搜索模式 SchMode=3, 即首先采用大交叉-准菱形搜索, 直到 MBD 点位于大交叉模板 LCSP 的中心时, 改用小交叉模板 SCSP 进行局部精细定位。

对于一帧图像中第 1 行第 1 列的图像块, 只存在一个相邻块, 当第 1 个 P 帧时则没有相邻块可以参考, 因此对该块用搜索模式 2; 对于其他位于第 1 行、第 1 列或最后一列的边缘图像块, 使用存在的相邻块组合, 计算出运动矢量长度 MVL_m , 然后选择相应的搜索模式。

4 实验结果

为了验证算法在搜索速度和搜索准确性两方面的性能, 采用 2 个指标进行衡量: 平均每块的搜索点数和平均峰值信噪比

PSNR。实验选用 8 幅有代表性的标准 QCIF/SIF 序列图像 (前 100 帧), 其中 Akiyo 和 Container 是空间细节不丰富、运动变化小的 A 类视频; Coastguard 和 News 是空间细节比较丰富、运动变化小或空间细节不丰富、运动变化中等的 B 类视频; Stefan、Football 和 Table Tennis 是空间细节很丰富、运动变化中等或空间细节比较丰富、运动变化大的 C 类视频; Flower Garden 是空间细节很丰富、带有镜头平移的视频。运动估计的宏块大小为 16×16 , 搜索范围为 15×15 , 即 ± 7 个像素点, 匹配准则为 SAD。对于上述 8 幅图像, 本文算法与全搜索法 FS、三步法 TSS、新三步法 NTSS、四步法 FSS、菱形法 DS、六角形法 HEXBS 的比较实验结果见表 2 和表 3。为了比较各种算法对每帧的效果, 图 4 显示了 Table Tennis 序列 (26~60 帧) 在每块的平均搜索点数 [图 4(a)] 和平均 PSNR [图 4(b)] 两方面的逐帧比较效果。

从表 2 可以看出: 本文算法无论对于哪种运动类型的视频, 在搜索速度上都有很大的优势 (以搜索点数衡量)。在上述实验条件下, 本文算法的平均搜索速度是 FS 的 39.79 倍, TSS 的 4.42 倍, NTSS 的 3.56 倍, FSS 的 3.26 倍, HEXBS 的 2.18 倍, DS 的 2.71 倍。

从表 3 可以看出: (1) 对于运动缓慢的 A 类视频, 各种快速算法的搜索准确性均较高, 除了 HEXBS 对 Akiyo 序列的平均 PSNR 降低了 0.03 dB 之外, 其他算法的平均 PSNR 与 FS 相当; (2) 对于中等运动的 B 类视频, 本文算法与 DS 等快速算法的搜索准确性相当, 有时甚至更好一些; (3) 对于运动剧烈的 C 类视频, 本文算法在搜索准确性上具有明显优势, 这是因为本文算法采用了起点搜索技术, 使得初始搜索点

表 2 每块的平均搜索点数比较结果

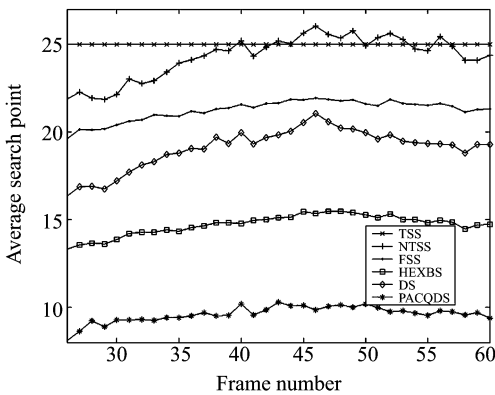
Tab. 2 Average search points per block comparison

BMA	Akiyo	Container	Coastguard	News	Stefan	Football	Tennis	Garden
FS	225	225	225	225	225	225	225	225
TSS	25	25	25	25	25	25	25	25
NTSS	17.03	17.05	19.75	17.19	24.11	21.95	20.69	23.24
FSS	17.00	17.02	17.83	17.06	19.80	19.42	19.07	20.20
HEXBS	11.00	11.02	11.76	11.06	13.90	13.21	12.81	14.06
DS	13.01	13.03	14.31	13.11	17.97	17.05	16.04	18.05
PACQDS	3.45	2.59	5.71	3.40	7.70	8.24	6.35	7.80

表 3 平均 PSNR 的比较结果

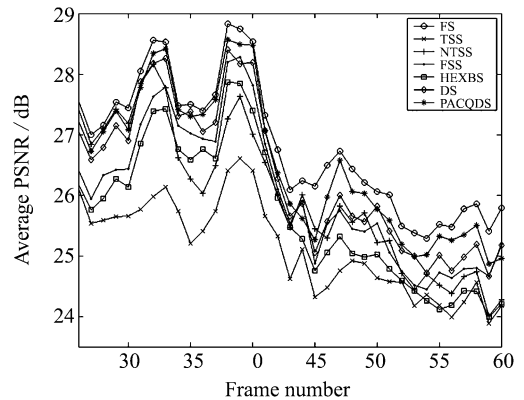
Tab. 3 Average PSNR comparison

BMA	Akiyo	Container	Coastguard	News	Stefan	Football	Tennis	Garden
FS	44.16	43.67	30.93	37.01	24.10	22.45	29.09	24.05
TSS	44.16	43.67	30.80	36.98	23.77	22.05	28.13	23.23
NTSS	44.16	43.67	30.90	36.99	23.73	22.13	28.49	23.84
FSS	44.16	43.67	30.81	36.97	23.33	21.97	28.44	23.63
HEXBS	44.13	43.67	30.75	36.96	23.20	21.72	28.18	23.39
DS	44.16	43.67	30.86	36.99	23.34	21.93	28.59	23.85
PACQDS	44.16	43.67	30.87	36.98	23.98	22.14	28.72	23.98



(a) 每块的平均搜索点数对比

(a) Average search points per block comparison



(b) 平均 PSNR 对比

(b) Average PSNR comparison

图 4 不同算法对“Table Tennis”序列的搜索性能对比

Fig. 4 Performance comparison of different algorithms using “Table Tennis” sequence

距离最优点较近,降低了算法陷入局部最优的可能性,相比其他的快速搜索算法,本文算法的平均 PSNR 比 TSS 提高了 0.41 dB,比 NTSS 提高了 0.16 dB,比 FSS

提高了 0.36 dB,比 HEXBS 提高了 0.58 dB,比 DS 提高了 0.28 dB。

综合两表数据,可以得出以下结论:本文算法在小运动、中等运动和大运动或是

镜头平移、缩放的情况下,均能在搜索速度和 PSNR 两方面保持优异的性能,具有很强的自适应性和鲁棒性。

5 结 论

本文基于对视频图像运动矢量的交叉—中心偏置分布特性的分析,设计了一种交叉—准菱形搜索模板。同时根据运动矢量的时空相关性,采用了搜索起点预测、自

适应选择搜索模式,半途中止准则等技术,使算法的性能得到进一步提高。实验结果证明,本文算法无论在搜索准确性还是搜索速度方面,均优于以往的快速搜索算法,且具有很强的自适应性和鲁棒性。由于块匹配法固有的缺陷,对物体边缘、纹理等区域的估计性能较差,今后的工作中可以将特征识别方法与块匹配法相结合,增强块匹配法对特征区域的搜索性能。

参考文献:

- [1] 孙辉,赵红颖,熊经武,等. 基于光流模型的图像运动估计方法[J]. 光学精密工程,2002,10(5): 443-447.
SUN H, ZHAO H Y, XIONG J W, *et al.* Method of estimating image motion based on the optical flow model[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(5): 443-447. (in Chinese)
- [2] 何斌,郝志航. AC 预测改进图像编码计算机实时仿真[J]. 光学精密工程,1999,7(6):104-107.
HE B, HAO Z H. Computer real-time simulation of improved image coding of AC prediction [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1999, 7(6): 104-107. (in Chinese)
- [3] KOGA T, IINUMA K, HIRANO A, *et al.* Motion-compensated interframe coding for video conferencing[C]. *Proceedings of Nat. Telecommun. Conf, New Orleans, LA*, 1981: G5. 3. 1-5. 3. 5.
- [4] GHANBARI M. The cross-search algorithm for motion estimation[J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1990, 38(7): 950-953.
- [5] JAIN J, JAIN A. Displacement measurement and its application in interframe image coding[J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1981, 29(12): 1799-1808.
- [6] LI R, ZENG B, LIOU M L. A new three-step search algorithm for block motion estimation[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1994, 4(4): 438-442.
- [7] PO L M, MA W CH. A novel four-step search algorithm for fast block motion estimation[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, 6(3): 313-317.
- [8] LIU L K, FEIG E. A block-based gradient descent search algorithm for block motion estimation in video coding[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, 6(4): 419-422.
- [9] THAM J Y, RANGANATH S, RANGANATH M, *et al.* A novel unrestricted center-biased diamond search algorithm for block motion estimation[J]. *IEEE Transactions on Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1998, 8(4): 369-377.
- [10] ZHU SH, MA K K. A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, 9(2): 287-290.
- [11] ZHU C, LIN X, CHAU L P. Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, 12(5): 349-355.

- [12] CHEUNG CH H, PO L M. 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.
- [13] 李炜, 周兵, 李波. 运动矢量场自适应搜索算法[J]. *计算机学报*, 2003, 26(2): 168-173.
LI W, ZHOU B, LI B. A fast motion estimation algorithm using adaptive motion vector field search[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2003, 26(2): 168-173. (in Chinese)
- [14] ZHENG W, AHMAD I, LIOU M L. Adaptive motion search with elastic diamond for MPEG-4 video coding[C]. *Proceedings of International Conference on Image Processing, Thessaloniki Greece*, 2001: 377-380.

作者简介: 梁燕(1977—), 女, 黑龙江呼玛人, 博士研究生, 主要研究方向为视频压缩编码、图像处理; E-mail: yan_liang@eyou.com
刘文耀(1944—), 男, 黑龙江人, 教授、博士生导师, 主要研究方向为光电信息图像处理。

1998(创新前)、2000(创新一年)和 2003(创新四年) 《光学 精密工程》引用数据比较表

《光学 精密工程》	年度	1998	2000	2003
创 数 据 前 比 和 创 新 指 标 后	影响因子	0.175	0.237	0.583
	总被引频次	93	122	385
	即年指标	0.036	0.094	0.089
	他引总引比	0.21	0.443	0.53
	海外作者论文比	0.03	0.00	0.03
	地区分布数	10	15	18
	基金和资助论文比例	0.28	0.20	0.63
	指标综合加权评分	15	43	82.71