

# 一种适于 H. 264/AVC 标准的自适应定向菱形快速搜索算法

吕 品<sup>1)</sup> 王晓阳<sup>2)</sup> 李 磊<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国科学院软件研究所,北京 100081) <sup>2)</sup>(电子科技大学多媒体与 HDTV 技术实验室,成都 610054)

**摘 要** 基于传统菱形搜索和运动矢量预测算法,在最优匹配点基础上引入次优匹配点和基于图像运动幅度的自适应匹配门限等要素,提出了一种自适应定向菱形快速搜索法。该方法能够快速确定搜索方向和范围,快速逼近全局最优匹配点。实验结果表明,该算法在不降低搜索精度的情况下,搜索时间比传统菱形搜索法减少 40%,而且更加适用于新的视频压缩编码标准 H. 264/AVC。

**关键词** 运动匹配 菱形搜索 自适应门限 定向

**中图法分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2005)12-1575-09

## A Fast Searching Algorithm of Adaptive Directional Diamond for H. 264/AVC Standard

LV Pin<sup>1)</sup>, WANG Xiao-yang<sup>2)</sup>, LI Lei<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081)

<sup>2)</sup>(Multimedia & HDTV Laboratory, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

**Abstract** A new fast searching algorithm of adaptive directional diamond is developed for H. 264/AVC based on the traditional diamond searching algorithm and the prediction of the motion vector through combining some elements including hypo-optimal compensation point and adaptive compensation threshold with the optimal compensation point. As a result, the searching direction is fixed and the global optimal compensation point can be reached quickly. Experimental results show that the searching time cost of the new algorithm decreases 40% as compared with the traditional diamond searching algorithm under the condition that the searching precision does not deteriorate, and it suits for the new video compression standard H. 264/AVC better.

**Keywords** motion matching, diamond searching, adaptive threshold, directional

## 1 引 言

在视频编码过程中,相邻两帧之间往往存在很大的时间相关性,在编码端产生时间冗余(temporal redundancy)。通过某种方法消除这种相关性能够大大地提高编码效率。出于实现方法简便性考虑,基于块的运动匹配被很多视频编码标准所采纳,例如 MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4、H. 261、H. 263 等。

基于块的运动匹配算法的思想是首先将编码帧

图像分成  $M \times N$  的块,然后在一定匹配准则下,在参考帧中一定搜索范围内寻找与当前编码块最匹配的块,进而只对编码块和最佳匹配块之间的残差和两者之间的运动矢量进行编码,从而达到提高编码效率的目的。基于此种思想的最简单有效的搜索方法是全搜索算法(full search, FS),即逐个匹配搜索范围内以每点为中心的待匹配块,找到满足匹配准则的最佳匹配块。这种算法虽然实现简单,但搜索次数过多、搜索时间过长,使得搜索效率极低,从而成为影响编码效率的一个瓶颈。为了解决这一问题,

收稿日期:2004-07-14;改回日期:2005-04-18

第一作者简介:吕品(1982~),男,2004年于电子科技大学获信息工程工学学士和英语语言文学学士学位,现为中国科学院软件研究所硕士研究生。主要研究方向为数字视频技术,虚拟现实与系统仿真技术。E-mail: lupinyy@263.net

在充分考虑了搜索精度的前提下,产生了许多快速搜索算法,比较有代表性的算法有三步法(TSS)<sup>[1]</sup>,2维对数搜索法(TDL)<sup>[2]</sup>,四步法(FSS)<sup>[3]</sup>,以及被认为是搜索效率和精度都相对很好的菱形搜索法(DS)<sup>[4]</sup>。

以上这些算法虽然大幅度地缩短了搜索时间,但都存在搜索的方向性不显著的缺点。基于全向性的搜索,容易搜索到冗余点,不能快速逼近最佳匹配点,从而影响搜索效率的提高。新一代视频编码标

准 H. 264/AVC<sup>[5]</sup> 在运动矢量搜索中采用了多级可变形块匹配方法,块大小可从  $16 \times 16$  逐级变化到  $4 \times 4$  (图 1),从而提高了运动预测的准确性。针对这一特点,通过在传统菱形搜索法的基础上引入定向搜索,基于图像运动幅度的自适应门限控制和运动矢量预测等要素,提出了一种适用于 H. 264/AVC 标准的自适应定向菱形快速搜索算法(adaptive directional diamond searching, ADDS)。这一快速算法同样也适用于现有视频编码标准。

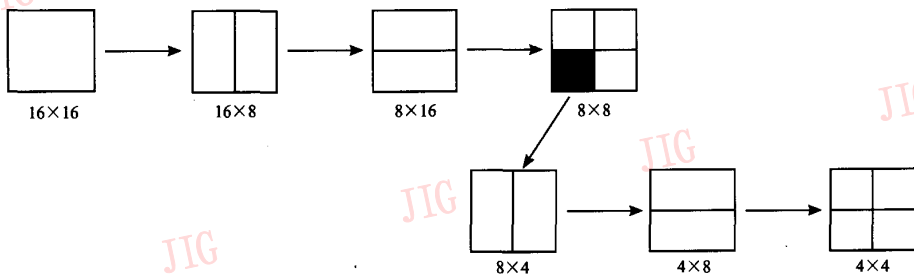


图 1 H. 264/AVC 标准中的多级可变形块匹配

Fig. 1 Multi-level macroblock partitions for the compensation in H. 264/AVC

## 2 自适应定向菱形搜索法(ADDS)

新的视频编码标准 H. 264/AVC 引入了可变形块匹配,支持匹配块的自适应变化,图像变化平缓运动缓慢的区域采用大尺寸匹配块;图像细节较多且运动剧烈的块采用小尺寸匹配块。从而从整体上提高了运动预测的准确性。传统菱形搜索法一成不变的大小模板的转换不能适应这一新特点的要求,搜索的方向性不显著,搜索力度也不能随匹配块大小的变化而变化,使搜索缺乏弹性,容易造成搜索冗余。针对这些问题,提出了自适应定向菱形搜索法,其搜索力度和方向随匹配块大小和图像运动幅度的变化而变化,从而大大减少了需搜索的匹配块个数,大幅度提高了搜索效率。

### 2.1 算法原理

大量实验统计分析表明,运动矢量具有中心偏移特性,运动矢量大量分布在以搜索原点为中心,半径为 4 个像素的范围内<sup>[6]</sup>,并且考虑到 H. 264/AVC 标准中运动估计的整数搜索范围扩大到  $[-16, +16]$  的情况,ADDS 搜索算法将传统菱形算法的大、小菱形模板扩展为大、中、小模板(LDSP、MDSP、SDSP)(图 2)。3 种模板的搜索步长分别为 4、2、1

个像素。大模板的引入一方面可以避免搜索初始便陷入局部最优点,另一方面可以在搜索大运动块时快速增大搜索范围。大模板点数少可以快速确定范围,但考虑到前两个模板搜索点间距较大,为了确保搜索精度,小模板在原有菱形小模板基础上增加了斜角上 4 个搜索点,作为最后一步的精确搜索。

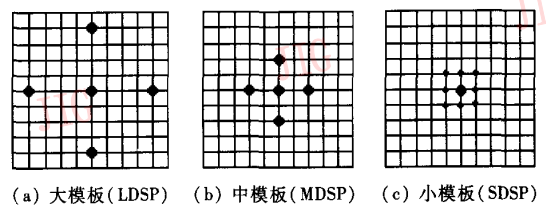


图 2 ADDS 算法中的搜索模板

Fig. 2 The searching template in ADDS algorithm

新算法引入 3 个基于图像运动幅度的自适应匹配门限,分别为退出门限  $T_{quit}$ , 搜索方向界定门限  $T_{Bstep}$ , 搜索范围界定门限  $T_{Sstep}$ 。退出门限用于判定当前最优匹配点是否已经是全局最优匹配点;搜索方向界定门限用于判定是否将搜索范围继续做大步长地方向性拓展;搜索范围界定门限于判定下一步搜索范围与当前最优和次优匹配点之间的位置关系。

传统的搜索方法每步循环只寻找最优匹配点,然

后再以最优匹配点为中心点进行下一步循环匹配,因此每步循环是双向搜索的,方向性不显著,不可避免地会搜索到冗余点。ADDS 搜索算法引入了次优匹配点的概念,通过最优和次优两点以及 3 个门限的配合使用快速确定搜索方向和界定搜索范围,从而通过搜索最少的次数快速定向逼近全局最优匹配点。

由于相邻宏块的运动矢量有很大的空间相关性,因此新算法取当前待匹配块的左方、正上方、右上方 3 个已经匹配完毕块的运动矢量中值为当前块预测运动矢量<sup>[7]</sup>,即  $MV_{pred} = \text{Median}(MV1, MV2, MV3)$  (图 3),计算预测运动矢量对应匹配点的匹配误差,通过和零运动矢量对应匹配点的匹配误差进行比较,确定最佳起始搜索点。

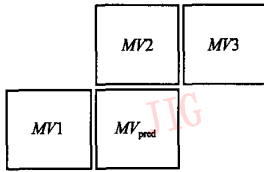


图 3 宏块运动矢量预测关系

Fig. 3 The motion prediction relationship among macroblocks

## 2.2 算法分析

### 2.2.1 定向搜索分析

ADDS 算法的定向搜索特性主要体现在:

(1)通过运动矢量预测使起始搜索点尽可能处于最佳匹配点附近,搜索初始方向性显著。

(2)最优点和次优点的判断可以快速界定搜索方向。定义最优点匹配误差为  $E_{OptMAD}$ ,次优点匹配误差为  $E_{SoptMAD}$ ,两者之间差值为  $D = E_{SoptMAD} - E_{OptMAD}$ 。最优点和次优点的位置关系有 4 种情况,各对应不同的搜索方向,分析如下(图 4~图 9 中大正方形代表当前最优点,小正方形代表当前次优点,大菱形代表当前搜索过程中的其他点,小菱形代表最后一步搜索过程中的搜索点):

**情况 1** 当前最优点位于大模板中心点,当前次优点位于其他 4 点。这种情况将搜索方向界定在大模板覆盖的搜索范围内。

如果  $D > T_{Step}$ ,说明全局最优点在中心点附近,转入小模板搜索(图 4(a));

如果  $D \leq T_{Step}$ ,说明全局最优点很可能落在最优点和次优点之间的区域内,转入搜索两点连线中点为中心点的中模板,再转入小模板搜索,最终确定全局最优点(图 4(b));

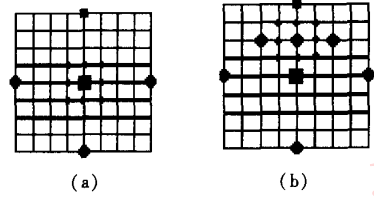


图 4 情况 1

Fig. 4 Instance 1

**情况 2** 当前次优点位于大模板中心点,当前最优点位于其他 4 点之一。这种情况表明全局最优匹配点可能位于最优点附近或远离当前最优点,并将搜索方向界定在正交方向上。

如果  $E_{OptMAD} \leq T_{Bstep}$ ,说明当前最优点在全局最优点附近;

如果  $D \leq T_{Step}$ ,说明全局最优点很可能落在最优点和次优点之间的区域内,转入搜索两点连线中点为中心点的中模板,再转入小模板搜索,最终确定全局最优点(图 5(a)),否则说明全局最优点落在当前最优点附近,转入小模板精确定位(图 5(b));

如果  $E_{OptMAD} > T_{Bstep}$ ,说明当前最优点距离全局最优点很远,需要快速增大搜索范围,这时以当前最优点为中心点进行大模板搜索(图 5(c))。

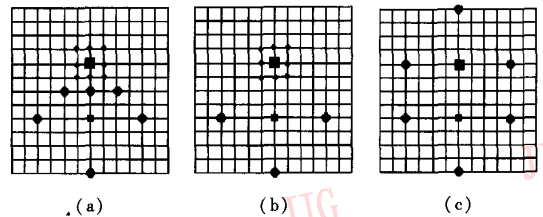


图 5 情况 2

Fig. 5 Instance 2

**情况 3** 当前最优、次优均处于中心点外其他 4 点。这种情况将搜索方向界定在 45°方向上。

如果  $E_{OptMAD} \leq T_{Bstep}$ ,当  $D \leq T_{Step}$ 说明全局最优点在两点之间的区域内,转入搜索两点连线中点为中心点的中模板,再转入小模板(图 6(a)),否则,说明全局最优点在当前最优点附近,转入小模板(图 6(b));

如果  $E_{OptMAD} > T_{Bstep}$ ,说明全局最优点距离当前最优点较远,应用当前最优点和次优点构造大模板进行 45°方向上的大步长搜索(图 6(c))。

**情况 4** 当前最优和次优成对角分布的情况,认为此时搜索到了次优奇点,转入以当前最优点为

中心点进行大模板搜索(图 7)。

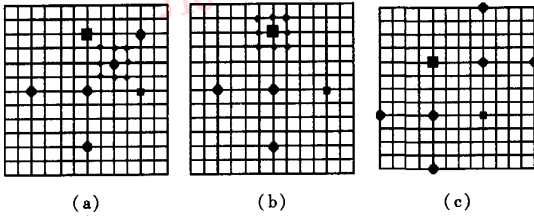


图 6 情况 3  
Fig. 6 Instance 3

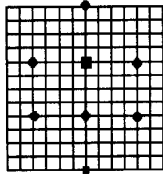


图 7 情况 4  
Fig. 7 Instance 4

图 5(a)说明了在情况 2 时,大、中模板的转换使搜索方向由原来的 4 个变为了 1 个,搜索范围也随之变为了原来的四分之一。图 5(c)和图 6(c)说明了无论在正交还是 45°方向上 ADDS 法均可以快速增大搜索范围,特别是 45°方向上一次增大一倍于原来的搜索范围,而 DS 法在此方向一次只能将原有搜索范围加大 50%。配合搜索范围界定门限的使用,即使在搜索大运动矢量时也能快速逼近全局最优点,又不致由于步长过大而跳出全局最优点搜索范围。由于引入了退出门限,当大、中模板的当前最优点的匹配误差小于退出门限时即结束搜索,避免进入小模板的全向搜索,以减少搜索到冗余点的可能。

### 2.2.2 搜索次数分析

判断一种搜索算法优劣的重要标准是看其是否能通过搜索较少的次数而找到与全搜索算法一致的最佳匹配点。因此尽量减少不必要的搜索点,快速逼近最佳匹配点是提高搜索效率和搜索精度的必由之路。

实际中大多数运动图像的运动都较小,特别是当图像具有静止背景时,匹配块的运动矢量几乎为 0,这意味着第 1 步的搜索原点就是全局最优点。还有一种情况,当摄像机做平动时,图像的运动矢量趋于一致,当前待匹配块的预测起始点往往也就是全局最优匹配点。而传统菱形搜索法遵循大小模板之

间的固定模式转换,对于这两种情况至少要搜索 13 次才能确定全局最优点,显然这时搜索到了大量冗余点。针对 DS 法的这一缺点,ADDS 算法通过引入退出门限,大多数情况下仅需要搜索一次便能确定全局最优,大大提高了搜索效率。

针对运动矢量在  $[-2, +2]$  范围的小运动,尽管最后小模板的搜索范围是中心点周围 8 个像素点,次数显得较多,但 ADDS 搜索法还是能够达到与传统 DS 法相同的搜索次数。并且由于退出门限的引入,在很大程度上减少了小模板的使用次数,使在这种情况下 ADDS 算法比传统 DS 算法在搜索次数上还是有了一定程度的减少。例如,假设全局最优匹配点的坐标为  $[-2, 0]$ ,图 8 显示的传统菱形搜索法需要搜索 18 次,而 ADDS 算法最多只需要搜索 16 次,最少只需搜索 8 次就能找到全局最优匹配点。

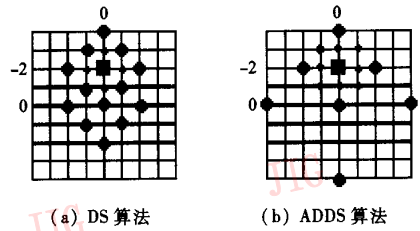


图 8 两种算法小运动范围内搜索次数比较  
Fig. 8 The searching times comparison between DS & ADDS in small range

传统 DS 算法还有一个很大的缺点是当匹配大运动块时,特别是运动矢量超出了  $[-2, +2]$  范围时,收敛速度很慢,不能快速逼近全局最优点,导致搜索到大量冗余点。如图 9 所示,假设网格左侧  $[-2, -6]$  处小正方形是全局最优点,ADDS 算法只需使用 2 次大模板,1 次中模板,以及在最坏情况下再使用 1 次小模板,最多搜索 19 次,最少只需搜索 11 次便能结束搜索。相反,传统 DS 算法需要使用

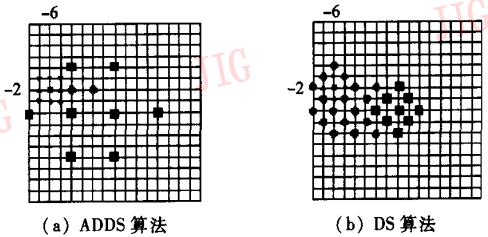


图 9 两种算法大运动范围内搜索次数比较  
Fig. 9 The searching times comparison between DS & ADDS in large range

5 次大模板,1 次小模板,共计搜索 32 次才能确定全局最佳匹配点。由此可以看出,ADDS 算法在处理大运动匹配块时能够减少相当大的搜索冗余,而且这种减少随着图像运动幅度的增大而变的越来越明显。

2.2.3 基于图像运动幅度的自适应门限分析

ADDS 搜索算法引入了 3 个门限,对于运动情况不同的图像序列,搜索门限的设定应是不同的,以适应不同情况的要求。较大的退出门限会减少搜索次数,但同时也会降低搜索精度,反之亦然。较小的方向界定门限容易使搜索范围增大得过快从而跳出最佳搜索区域,反之又会减弱快速收敛性。另外,范围界定门限的不同也会影响搜索的次数和精度。同时考虑到 H.264 标准中引入了可变形块匹配这一方法,不同的块大小和形状也应对应不同的搜索门限,从而提高搜索的精度。针对以上两方面问题,提出基于图像运动幅度的门限自适应调整。共分为两级,宏块(16×16)间门限自适应调整和宏块内部门限分级自适应调整。

H.264/AVC 的可变形块匹配是从 16×16 宏块逐级变到 4×4 子宏块的,因此基于块的运动匹配仍然是从宏块开始的。当前待编码宏块的门限选择取决于其左方和正上方宏块的匹配误差、门限和运动矢量的均值。如果邻近两块匹配误差小于可接受的值,则认为邻近块门限设置正确,当前待匹配块的门限应与最邻近已匹配块保持一致(通常选取左侧邻块,若不满足,选择正上方邻块);否则认为邻近块门限设置错误,应结合相邻两块的运动矢量大小的均值予以调整。自适应调整分为 4 级,若均值在 [-2, +2] 范围内,认为此时门限设置阻碍了大步长搜索;应调整门限使搜索力度设为最强,即很容易实现大步长搜索;若均值介于 [-2, +2] 和 [-4, +4] 范围之间,调整门限使搜索力度设为较强;若均值介于 [-4, +4] 和 [-8, +8] 之间,调整门限使搜索力度设为较弱;若均值大于 [-8, +8],认为此时门限设置使搜索范围增大过快,应调整门限使搜索力度设为最弱,放慢搜索步长(表 1)。通过这种方法调整门限使搜索力度随图像运动幅度自适应变化,在大量减少搜索冗余的基础上最大限度地保证了搜索精度,这称之为宏块间门限的自适应调整。

对于运动剧烈或细节较多的宏块,H.264 标准支持将宏块逐级拆分进行块匹配。针对这一特点,

表 1 匹配门限自适应调整表

Tab.1 Compensation threshold adaptive adjusting

| MV 均值        | 搜索力度 | 门限设置 |
|--------------|------|------|
| 0 ~ +/-2     | 最强   | 最小   |
| +/-2 ~ +/-4  | 较强   | 较小   |
| +/-4 ~ +/-8  | 较弱   | 较大   |
| +/-8 ~ +/-16 | 最弱   | 最大   |

引入了宏块内部门限分级自适应调整的方法。具体为将可变形的块分为 4 类:第 1 类 16×8、8×16 子宏块;第 2 类 8×8 的子宏块;第 3 类 8×4、4×8 子宏块;第 4 类 4×4 的子宏块。当 16×16 的宏块匹配误差不能满足要求时,认为此时的门限设置有误,需要调整,调整方法如 16×16 宏块。然后进入第 1 类块形状匹配,如果匹配误差仍然不能满足要求,则门限仍需要进行调整,方法同上,进入第 2 类形状匹配,依次类推。通过块间、块内 5 次门限的自适应调整,大大提高了搜索的弹性,同时也提高了搜索精度。

2.3 算法步骤

设当前最优匹配点相对于中心点的坐标为  $[X_{OptSearchOffset}, Y_{OptSearchOffset}]$ , 匹配误差为  $E_{OptMAD}$ 。当前次优匹配点相对于中心点的坐标为  $[X_{SOptSearchOffset}, Y_{SOptSearchOffset}]$ , 匹配误差为  $E_{SOptMAD}$ 。定义  $D = E_{SOptMAD} - E_{OptMAD}$ 。

算法步骤如下:

(1) 采用中值法得到当前待匹配块的预测运动矢量并计算该矢量对应匹配点的匹配误差,小于退出门限则退出搜索,否则和零运动矢量对应匹配点的匹配误差比较,选取误差较小的点作为初始搜索起点,完成大模板搜索。

(2) 若  $X_{OptSearchOffset} = 0$  且  $Y_{OptSearchOffset} = 0$ , 则

若  $E_{OptMAD} \leq T_{Quit}$ , 搜索结束,退出;若  $D > T_{Sstep}$ , 转入第 6 步;若  $D \leq T_{Sstep}$ , 转入第 5 步。

(3) 若  $X_{SOptSearchOffset} = 0$  且  $Y_{SOptSearchOffset} = 0$ , 则

若  $E_{OptMAD} \leq T_{Quit}$ , 搜索结束,退出;若  $E_{OptMAD} \leq T_{Bstep}$ , 当  $D \leq T_{Sstep}$ , 转入第 5 步, 当  $D > T_{Sstep}$ , 转入第 6 步;若  $E_{OptMAD} > T_{Bstep}$  转入以当前最优为中心的的大模板搜索,回到第 2、3、4 步构成的循环。

(4) 若中心点既不是最优点也不是次优点,则

若  $E_{OptMAD} \leq T_{Bstep}$ , 当  $D \leq T_{Sstep}$  转入第 5 步, 当  $D > T_{Sstep}$  转入第 6 步;若  $E_{OptMAD} > T_{Bstep}$ , 转入当前最优和次优点构造的 45° 方向的大模板搜索,回到第 2、3、4 步构成的循环;若最优点和次优点对角分布,

转入以当前最优点为中心的大模板搜索,回到第 2、3、4 步构成的循环。

(5) 搜索以当前最优和次优中点为中心的中模板,转入第 6 步。

(6) 若  $E_{OptMAD} \leq T_{Quit}$ , 搜索结束,退出;否则搜

索以当前最优点为中心的小模板,退出。

为了避免搜索陷入死循环和搜索区域超出搜索范围,当第 2、3、4 步构成的循环执行次数达到 4 次时,强制进入第 6 步,这一步可通过设置计数器 Count 来进行控制。程序的流程图如图 10 所示。

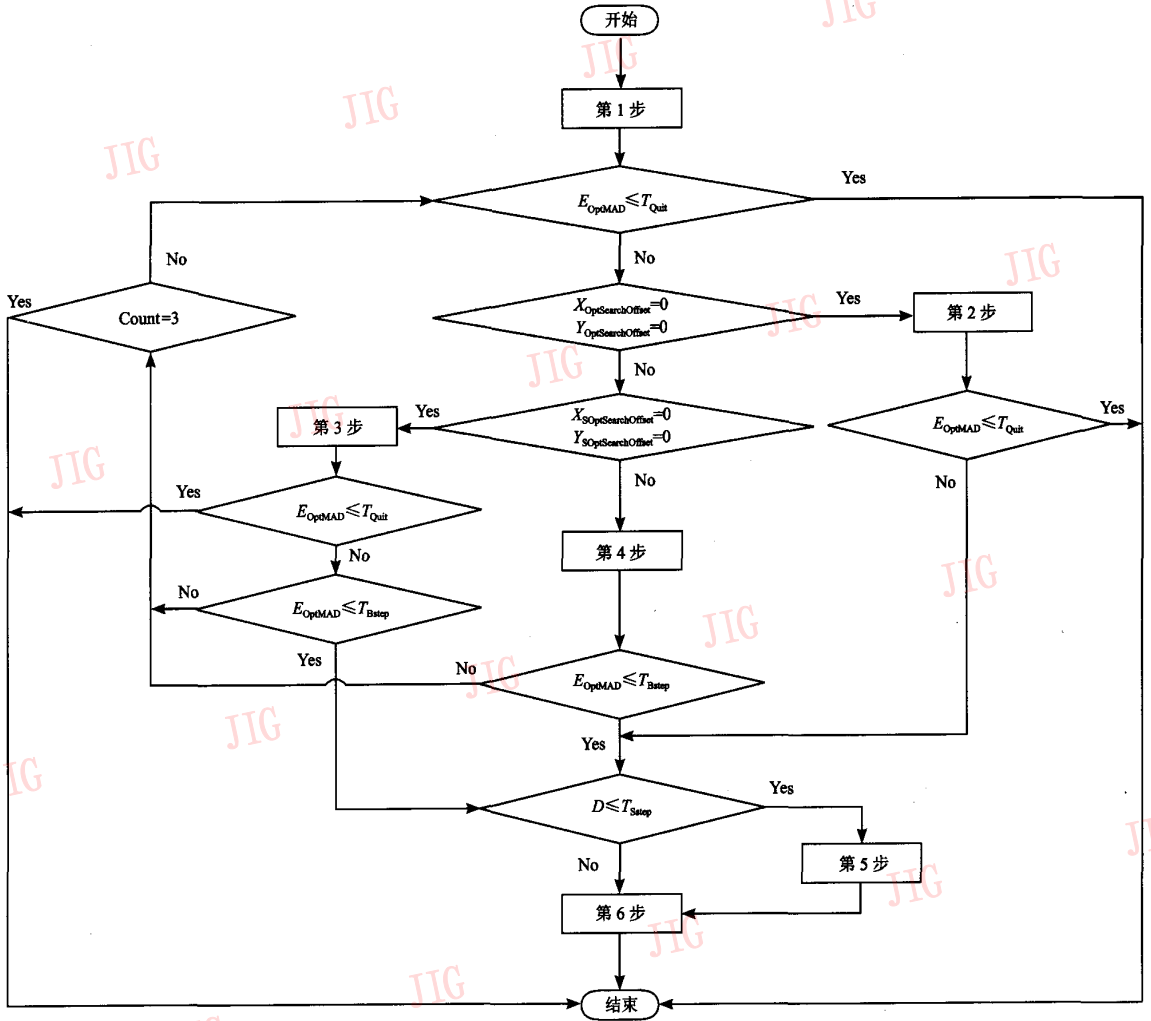


图 10 ADDS 算法流程图

Fig. 10 The flow chart of ADDS algorithm

### 3 实验结果与分析

用平均搜索次数以及平均搜索时间作为算法复杂度的测度,用峰值信噪比 PSNR 作为算法精确度的衡量指标,以及引入可变形块匹配后平均搜索次数变化幅度作为算法与新标准适应程度的测度来验证 ADDS 算法的性能。

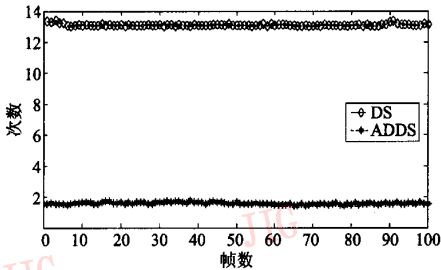
实验是在 P4 1.9G, 512M 内存的 PC 机上进行的,使用 Matlab 编程实现。在实验中使用了 3 组测试序列: container (100 帧), silent (250 帧), foreman (250 帧)。均为 CIF (common intermediate format) 标准灰度化格式。采用可控制的分级块匹配,宏块大小从 16 × 16 逐级变化到 4 × 4,搜索范围 ± 16 个像素,只采用整数像素匹配,匹配准则为 MAD,即绝对误差均值,其定义为

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

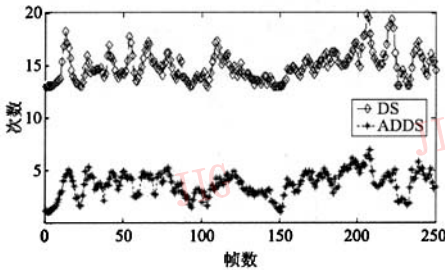
式中,  $(i, j)$  为位移矢量,  $f_k$  和  $f_{k-1}$  分别为当前帧和前一帧的灰度值,  $M \times N$  为待匹配的块大小。

### 3.1 平均搜索次数比较

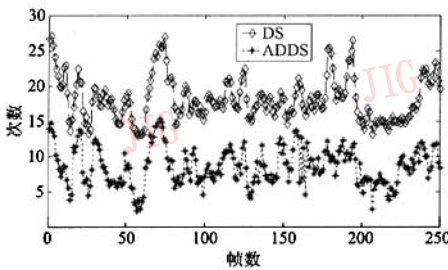
图 11 给出了 3 种测试序列搜索一个匹配块所需平均搜索次数。3 种方法的平均搜索次数的比较都是基于  $16 \times 16$  的宏块而言, 没有使用可变形块匹配方法。



(a) container



(b) silent



(c) foreman

图 11 3 种测试序列平均搜索次数比较

Fig. 11 The average searching times comparison among three testing sequences

表 2 中的数据表明, 对于小运动序列 container 而言, 大量运动矢量为  $[0, 0]$ 。传统菱形搜索法必

表 2 3 种算法平均搜索次数比较

Tab. 2 The average searching times comparison among three algorithms

| 次数   | container | silent   | foreman  |
|------|-----------|----------|----------|
| FS   | 1 089     | 1 089    | 1 089    |
| DS   | 13.090 7  | 14.916 3 | 18.115 7 |
| ADDS | 1.587 1   | 3.677 1  | 8.559 2  |

须依次搜索大菱形 9 个点和小菱形 4 个点才能退出搜索, 而 ADDS 算法由于引入了退出门限, 只需搜索一个点便能退出搜索, 搜索次数大大减少。对于静止背景下的局部剧烈运动序列 silent, 大步长定向搜索模式的引入同样使平均搜索次数下降了 75%。对于 250 帧的 foreman 序列, 既包括了整体和局部的大小运动又包括了摄像机的运动, 运动方式和强度变化范围较广, ADDS 算法对这样的测试序列平均搜索次数比传统 DS 算法也有将近 55% 的减少, 可见新算法在减少搜索冗余上适应的广泛性。

### 3.2 平均搜索时间比较

图 12 给出了 3 种测试序列对应传统 DS 算法和新 ADDS 算法的每帧平均搜索时间, 测试是在采用了分级块匹配方法的基础上进行的。

通过表 3 可以清楚地看出, ADDS 算法平均比传统 DS 算法搜索时间缩短了至少 40%, 更是大大少于 FS 算法。考虑到这种比较是基于纯粹软件仿真, 而且 ADDS 算法条件判断较多, 在这一项上耗费了较多时间, 因此, 如果是基于完全硬件实现, ADDS 算法在搜索时间上的优势将会更加明显。

表 3 3 种算法平均搜索时间比较

Tab. 3 The average time cost comparison among three algorithms

| 方法   | container | silent   | foreman  | 单位: s |
|------|-----------|----------|----------|-------|
| FS   | 80.600 3  | 84.782 9 | 82.293 3 |       |
| DS   | 1.817 4   | 2.228 8  | 2.345 3  |       |
| ADDS | 0.980 4   | 1.369 8  | 1.627 4  |       |

### 3.3 算法精确度比较

算法精度比较时, 3 种运动矢量搜索算法都基于多级可变形块匹配。分别得到的运动矢量以前一帧恢复出当前帧图像, 然后逐帧按下式计算峰值信噪比 PSNR。将所有帧的 PSNR 求平均值, 得到表 4。

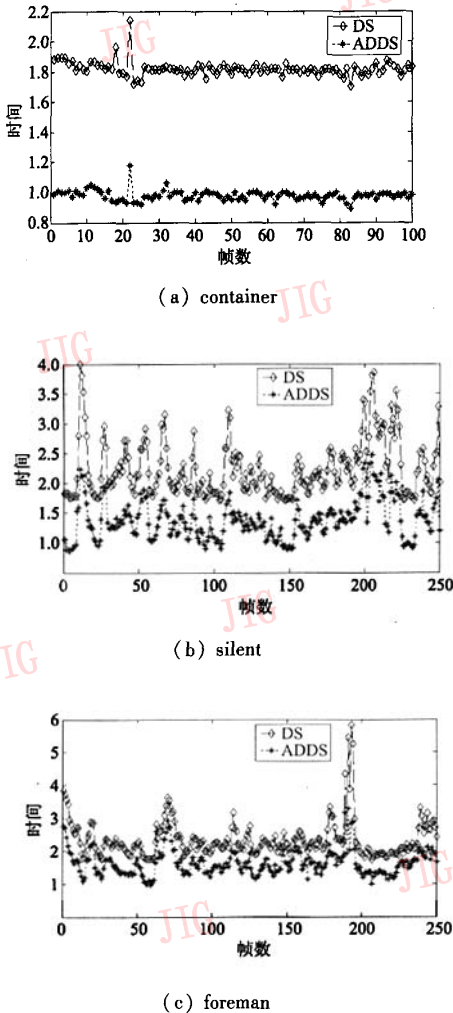


图 12 3 种测试序列平均搜索时间比较  
Fig. 12 The average time cost comparison among three testing sequences

表 4 3 种算法平均 PSNR 比较  
Tab. 4 The average PSNR comparison among three algorithms

| 方法   | container | silent  | foreman |
|------|-----------|---------|---------|
| FS   | 42.8497   | 36.8800 | 34.0375 |
| DS   | 42.8496   | 36.0460 | 33.2676 |
| ADD5 | 42.8494   | 36.1959 | 33.4661 |

$$PSNR = 10 \times \lg \left( \frac{x_{max}^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (f(m,n) - f'(m,n))^2 \quad (3)$$

式中  $x_{max}$  为原图像中像素的最大灰度值, MSE 为重

建图像与原图像之间像素值的均方误差,  $M$  和  $N$  为图像的长和宽,  $f(m,n)$  和  $f'(m,n)$  分别为原图像和重建图像像素的灰度值。

综合表 3、表 4 可以清楚地看到, ADDS 算法比传统 DS 算法在搜索时间上大幅度减少的同时, 在搜索精度上也有了一定程度的提高, 平均提高 0.1 ~ 0.2 dB, 整体性能优于 DS 算法, 完全能够适用于其他已经存在的视频压缩编码标准。

### 3.4 算法与 H. 264/AVC 标准适应性的比较

针对 H. 264/AVC 提出的可变形块匹配方法, ADDS 算法引入了基于图像运动幅度的自适应搜索门限使搜索力度具有很大的弹性, 以适应新标准的要求。

图 13 是 Silent 序列在不同级别的块匹配应用程度下, 匹配一个宏块的平均搜索次数的变化曲线。从图中可以看出, 传统 DS 算法由于每一级匹配块的搜索力度是不变的, 造成了随着宏块拆分级数的增多, 平均搜索次数增加的幅度也较大。ADD5 算法由于匹配门限随宏块的分级而自适应地变化, 搜索力度具有很大的弹性, 因此平均搜索次数随宏块拆分程度增加的幅度远小于传统 DS 算法, 由此说明新算法对 H. 264/AVC 标准的可变形块匹配特点适应性较强。

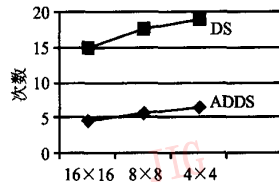


图 13 silent 序列平均搜索次数随宏块分级变化图  
Fig. 13 The average searching times changing along with the macroblock partition of silent sequence

## 4 结 论

视频编码中运动矢量估计的难点是计算量大, 从而直接影响编解码的实时性。自适应定向菱形搜索法 (ADD5), 充分利用了宏块运动矢量之间的相关性和中心偏移特性, 在搜索初始点的预测基础上引入与通常快速算法不同的次优匹配点的概念, 同时针对 H. 264/AVC 可变形块匹配的特点, 采用了基于图像运动幅度的匹配门限自适应选取, 与传统

的最优匹配点配合使用达到快速确定搜索方向和搜索范围,尽量减少搜索到冗余点的目的。实验结果表明,ADDS 算法在搜索时间上远远优于传统的 DS 算法,而且在搜索精度上也有了一定的提高,不但适于现有的视频压缩标准,而且更加适应于新的 H.264/AVC 视频压缩标准的要求,具有较好的可移植性。

作为视频编码系统中的一个主要模块,ADDS 算法应用下的运动估计模块的参数选取和视频编码量化参数之间的关系是进一步需要研究的方向。考虑到工程应用中大量使用可编程逻辑器件以及 DSP 处理器,下一步还将基于硬件进行 ADDS 算法的实现,结合硬件结构特点,克服软件仿真中判断条件耗时过多的缺点,进一步缩短搜索时间。这一技术的实现对于低码率视频编码特别是对于无线视频通信和基于流媒体的视频传输都具有重要价值。

#### 参考文献 (References)

- 1 Koga T, Linuma K, Hirano A, *et al.* Motion-compensated interframe coding for video conferencing [A]. In: Proceedings of National Telecommunications Conference[C], New Orleans, LA, USA, 1981: G5.3.1 ~ G5.3.5.
- 2 Jain J, Jain A. Displacement measurement and its application in interframe image coding[J]. IEEE Transactions on Communication, 1981, 29(12): 1799 ~ 1808.
- 3 Po L M, Ma W C. A novel four-step search algorithm for fast block motion estimation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(6): 313 ~ 317.
- 4 Zhu S, Ma K K. A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(3): 525 ~ 529.
- 5 ITU-T H. 264, Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services[S].
- 6 Cheung C H, Po L M. A novel cross-diamond search algorithm for fast block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuit and System for Video Technology, 2002, 12(12): 1168 ~ 1177.
- 7 Ji Zhong-wei, JIANG Wen-jun, ZHU Wei-le. Application of predictive diamond searching for video coding [J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 12(14): 107 ~ 113. [纪中伟, 蒋文军, 朱维乐. 预测性菱形搜索在视频编码中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 12(14): 107 ~ 113.]