

# 基于矢量相关性的自适应运动估计搜索算法

沈渝力 王维东 郭斌 章竑

(浙江大学信息与电子工程学系, 杭州 310027)

**摘要** 为了减少运动估计的计算量,提高视频压缩编码的效率,提出了一种基于矢量相关性的自适应运动估计搜索算法(简称NAME算法),该算法通过判断当前所要编码块的左、上、右上3个相邻块所对应的运动矢量之间的相关性,将所要编码的块划分为相关类型块和独立类型块,并自适应地对相关类型块和独立类型块采用不同的搜索方式以减少搜索点数并保证搜索准确度。仿真结果表明,该算法与全搜索、菱形搜索和六边形搜索等快速算法相比,在保证图像质量的前提下,搜索速度有了明显的提高。

**关键词** 运动估计 运动矢量 相关性 自适应

中图分类号:TN919.81 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)09-1689-05

## A New Adaptive Motion Estimation Algorithm Based on Correlation of Motion Vectors

SHEN Yu-li, WANG Wei-dong, GUO Bin, ZHANG Hong

(Department of Information Science and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract** A new adaptive motion estimation algorithm based on correlation of motion vectors is presented in this paper. The algorithm utilizes the correlation information of current block's three neighbouring motion vectors to classify current block into correlation-type block and independent-type block. Different motion estimation methods are applied for correlation-type block and independent-type block to achieve lower computational complexity and good estimation accuracy. The simulation results show that the proposed algorithm has much lower computational complexity than other motion estimation algorithms, such as full search (FS), diamond search (DS) and Hexagon-based search (HEXBS), with no severe PSNR degradation.

**Keywords** motion estimation, motion vector, correlation, adaptive

## 1 引言

运动估计是视频压缩编码的重要组成部分。由于视频图像序列在相邻帧之间存在很大的时间冗余,通过运动估计能够降低视频序列在时域上的冗余度,大幅度提高压缩编码的效率。常见的运动估计算法有像素递归法、相位相关法、全局运动估计算法、块匹配算法(BMA)等。其中,基于块匹配算法的运动估计因其简单有效,易于实现而被广泛应用<sup>[1]</sup>。块匹配运动估计的基本思想是将每一帧图

像分割成互不重叠的 $M \times N$ 大小的块,对每一个块,根据一定的匹配准则,在参考帧中给定的搜索范围内找出最佳的匹配块位置。

在块匹配运动估计算法中,全搜索算法(FS)精度最高,且易于实现,但其巨大的计算量不利于编码器的实时实现。为了减少块匹配搜索的运算量,出现了很多快速算法。早期的三步法(TSS)<sup>[2]</sup>和二维对数法(TDL)<sup>[3]</sup>等通过限制搜索点的数量来减小运算量,但对于运动相对较小的序列效率较低且容易陷入局部最优。后来提出的新三步法(NTSS)<sup>[4]</sup>,菱形法(DS)<sup>[5]</sup>等算法都利用了运动矢量的中心偏置

基金项目:浙江省科学技术厅重点科研项目(2004C21052)

收稿日期:2007-03-20;改回日期:2007-04-28

第一作者简介:沈渝力(1982~),男,现于浙江大学攻读信息与通信工程专业硕士学位。主要研究方向为视频压缩技术。

分布特性,提高了匹配速度,减小了陷入局部最小的可能性。六边形搜索法(HEXBS)<sup>[6]</sup>相对于 DS 算法在搜索形状上更接近于圆形,对搜索点周围的点能平等对待,均衡搜索,各个搜索点间的冗余较小,符合运动搜索的均衡性、全面性原则。在剧烈运动的情况下六边形搜索法比 DS 算法步骤少,方向性好。

TSS、NTSS、DS 和 HEXBS 等快速算法与全搜索相比,在速度上有了很大提高,但它们都采用固定的搜索模板,无论图像序列的运动情况如何,都对其采用同样的方式进行搜索。在运动平缓的图像序列中,块的最优运动矢量绝大部分都集中分布在搜索起点附近,因此只需在起点附近的小范围内进行搜索就可得到最优运动矢量。而使用固定搜索模板的算法对运动平缓的块采用与运动剧烈的块相同的大模板进行搜索,在搜索点数上有很大的冗余。此外,在运动剧烈的图像序列中,一个运动物体所覆盖的几个块的运动大多是一致的,利用这些块运动之间的相关性来进行预测,可以大大提高搜索速度。

提出一种基于矢量相关性的自适应运动估计搜索算法(简称 NAME 算法)。该算法通过判断当前所要编码块的左、上、右上 3 个相邻块所对应的运动矢量之间的相关性,将当前块划分为两种类型,并自适应对不同类型的块采用不同的搜索方式。仿真结果表明,该算法与全搜索、菱形搜索和六边形搜索等快速算法相比,在保证图像质量的前提下,搜索速度有了明显提高。

## 2 算法 NAME

### 2.1 相邻运动矢量的相关性

在视频序列中,自然条件下物体的运动绝大多数是缓慢而平滑的,并且运动的物体很多都比一个块大,覆盖了数个相邻的块。因此,相邻的块往往具有相同的运动,它们的运动矢量非常接近甚至相等,具有很大的相关性。

为了对两个运动矢量之间的相关性进行判断,NAME 算法引入了一个矢量相关判决阈值  $CT$ 。对两个运动矢量  $MV1(x_1, y_1)$  和  $MV2(x_2, y_2)$ ,当它们之间的距离平方小于或等于  $CT$  时,即  $(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 \leq CT$  则认为  $MV1$  和  $MV2$  为相关运动矢量;反之,则判定  $MV1$  和  $MV2$  为不相关运动矢量。

当  $CT$  的值为 0,即代表当  $MV1$  和  $MV2$  重合时,它们才被判决为相关矢量。 $CT$  为 1 时,则表明被判定为相关的两个矢量间的距离小于等于 1。随

着  $CT$  的增大,任意两个矢量  $MV1$  和  $MV2$  被判定为相关矢量的机率也相应增大。由此可见,若  $CT$  的值太大,则会将两个距离较远的运动矢量误判为相关矢量;若  $CT$  的值太小,则会产生漏判。因此  $CT$  的取值必须限定在一定范围内,才能保证相关性判决的合理性。对以整像素为单位的两个不相等的运动矢量,它们之间的最小距离为 1,对应的能将它们判决为相关的  $CT$  值最小为 1,随着两个矢量间距离的增大,对应的  $CT$  的最小值依次为 2、4、5、8,如图 1 所示。图中的  $x$  轴为两个矢量间的水平距离, $y$  轴为垂直距离。在本算法中取 1、2、4、5 作为  $CT$  的候选值,以保证矢量相关性判决的可靠性和准确性。

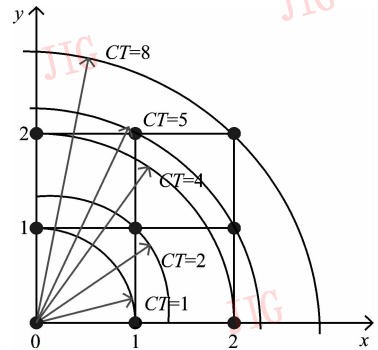


图 1 矢量之间的距离与  $CT$  的对应关系

Fig. 1 Correlation for distance of motion vectors to  $CT$

对任意一个块,如果它的左、上、右上 3 个相邻运动矢量中,任意两个都是相关矢量,则称这个块为相邻矢量两两相关块。记录 akiyo, mother&daughter, foreman, carphone, coastguard, football 等几个序列中所有  $16 \times 16$  大小的块通过全搜索所得到的最优运动矢量,并统计出在所有左、上、右上 3 个相邻块都有效的块中,相邻矢量两两相关块所占的百分比,如表 1 所示。

表 1 相邻矢量两两相关块所占百分比

测试序列	$CT=1$	$CT=2$	$CT=4$	$CT=5$
akiyo	96.74	98.61	99.31	99.59
mother&daughter	88.85	94.64	96.70	98.33
foreman	49.09	61.97	67.82	75.82
carphone	55.49	67.10	73.08	78.38
coastguard	67.03	67.97	79.19	79.95
football	35.85	36.58	37.70	38.44

由表 1 可知,对运动较小且背景静止的序列

akiyo 和 mother&daughter, 相邻矢量两两相关块占到了 90% 多的比例。对于运动较激烈的序列 foreman 和 carphone, 相邻矢量两两相关块的比例为 50% 到 78% 左右。coastguard 和 football 序列运动都很剧烈, 且有高速的背景变换。但 coastguard 序列中的物体和背景的运动分别具有明确的方向性, 相邻块间运动相关性较高, 因此相邻矢量两两相关块的比例达到 67% 到 79% 左右。football 序列物体运动剧烈且无规律, 相邻运动矢量间相关性较低, 相邻矢量两两相关块仅占 35% 到 38% 左右。

基于表 1 的结果, 进一步统计了相邻矢量两两相关块的最优运动矢量与该块 3 个相邻运动矢量的平均矢量为相关矢量的概率。3 个相邻矢量的平均矢量定义为  $MV = ((MV1.x + MV2.x + MV3.x) / 3, (MV1.y + MV2.y + MV3.y) / 3)$ 。统计结果如表 2 所示。

表 2 最优矢量与平均矢量相关的概率

Tab. 2 Probability for correlation of optimal motion vector to average motion vector

测试序列	CT = 1	CT = 2	CT = 4	CT = 5
akiyo	98.90	99.68	99.86	99.9
mother&daughter	96.81	98.99	99.6	99.7
foreman	88.64	93.69	95.36	95.92
carphone	88.07	93.09	94.9	95.28
coastguard	92.05	93.06	94.47	94.52
football	86.02	86.31	86.18	86.21

由表 2 可知, 对于所测试的序列, 无论其运动的剧烈情况如何, 一个相邻矢量两两相关块通过全搜索得到的最优运动矢量与该块的 3 个相邻运动矢量的平均矢量之间相关的概率都高于 86%。序列运动越平缓, 或者物体运动的方向性越强越明确, 块的运动矢量与相邻块平均矢量相关的概率就越大, 并且该概率随 CT 值的增大而增大。基于以上统计, 可以近似地认为: 当一个块为相邻矢量两两相关块时, 该块和它的 3 个相邻块具有运动方向一致性, 其最优运动矢量与相邻块的运动矢量非常接近甚至相等。在这种情况下, 以相邻的运动矢量作为预测起点, 在起点附近的小范围内进行搜索, 可快速找出最优矢量, 以达到减少搜索点数, 提高搜索速度的目的。

## 2.2 NAME 算法的实现

在 NAME 算法中, 根据一个块左、上、右上 3 个相邻运动矢量的相关情况将该块分为“相关类型块”和“独立类型块”, 并对两种不同性质的块采用

不同的搜索方式。若 3 个相邻运动矢量两两相关, 则该块为“相关类型块”; 若不是两两相关, 则该块为“独立类型块”。对相关类型块, 以其左、上、右上 3 个相邻的运动矢量作为候选搜索中心, 每一个中心和其上下左右 4 个相邻的点都是候选搜索点。遍历所有的候选搜索点, 所得的最优矢量即为该块的运动矢量。其中, 对相互重叠的候选搜索点只执行一次搜索。

一个相关类型块理论上所需要搜索的最大点数为  $5 \times 3 = 15$  个点。但由于 3 个相邻矢量两两相关, 它们之间的距离非常接近, 因此所要搜索的点之间很多都相互重叠, 如图 2 所示。

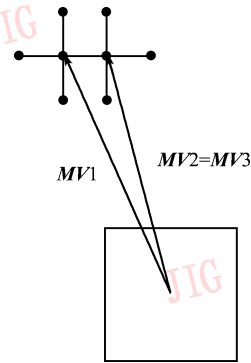


图 2 候选搜索点

Fig. 2 Points to be searched

表 3 给出了相关类型块中, 对不同的 CT 值, 3 个相邻矢量都相等和 3 个相邻矢量中有且仅有两个相等的两种情况所占的百分比。

表 3 相邻矢量相等的情况统计

Tab. 3 Probability for motion vectors to be equal

		CT = 1	CT = 2	CT = 4	CT = 5
akiyo	3 个相等	87.60	86.19	85.57	85.39
	2 个相等	12.40	12.99	13.26	13.13
mother&daughter	3 个相等	82.08	78.81	76.58	76.18
	2 个相等	17.92	19.08	20.45	20.01
foreman	3 个相等	51.81	42.72	37.34	32.91
	2 个相等	48.19	48.33	48.96	47.49
carphone	3 个相等	54.57	46.54	41.90	38.79
	2 个相等	45.43	44.86	45.38	44.85
guard-coast	3 个相等	77.13	74.70	69.85	70.31
	2 个相等	22.87	24.19	22.27	26.41
football	3 个相等	93.08	82.60	87.95	86.21
	2 个相等	6.92	6.92	9.99	10.60

由表 3 可知, 对一个相关类型块, 3 个相邻矢量都相等的情况平均占到了该类型块总数的 70% 左右, 2 个相邻矢量相等的情况平均为总数的 26% 左右。当 3 个相邻矢量都相等时, 只需要搜索 5 个点。当仅有 2 个相邻矢量相等的时候, 总的搜索点数不超过 10 个。这两种情况的总和占了相关类型块总数的 86% 左右, 因此总的搜索点数远远小于理论上的最大值 15 个点。

独立类型块的运动比较剧烈, 并且与周围相邻块的运动相关性较低。因此, NAME 算法使用对大运动情况搜索性能较好的六边形模板对独立类型块进行运动搜索, 以确保运动估计的准确度。

NAME 算法的具体步骤如下:

(1) 根据块的坐标判断是否处于图像帧的边沿 (是否为第 1 行、第 1 列或最后 1 列块)。对处于图像边沿的块, 跳至步骤 5;

(2) 根据  $CT$  判断块左、上、右上 3 个相邻运动矢量间的相关性。若 3 个矢量两两相关, 则块为相关类型块, 执行步骤 3; 若 3 个矢量不为两两相关, 则块为独立类型块, 跳至步骤 5;

(3) 取 3 个相邻运动矢量为候选搜索中心, 每个中心以及其上下左右 4 个相邻点为候选搜索点;

(4) 遍历候选搜索点以得到最优运动矢量, 其中, 对相互重叠的点仅执行一次搜索。跳至步骤 6;

(5) 用六边形搜索法进行搜索以得到最优运动矢量;

(6) 搜索结束。

### 3 算法仿真与比较

在 H. 264 的参考模型 JM9. 6 上对 NAME 算法进行了仿真, 并与全搜索算法、菱形算法、六边形算法进行了比较。测试序列包括 akiyo, mother&daughter, foreman, carphone, coastguard, football, news, 图像大小为 CIF 格式。编码了序列前 50 帧, 码率为 256kb/s, 搜索范围为  $\pm 16$ 。矢量相关判决阈值  $CT = 4$ 。仿真结果如表 4 所示。

表 4 各算法性能比较

Tab. 4 Performance comparison of different methods

测试序列		FS	DS	HEXBS	NAME
akiyo	PSNR	41.33	41.20	41.08	41.24
	SP	1 089	13.57	11.52	6.64
mother&daughter	PSNR	40.16	39.85	39.83	39.87
	SP	1 089	13.79	11.64	6.83
foreman	PSNR	35.65	32.44	32.32	32.28
	SP	1 089	16.26	13.08	9.86
carphone	PSNR	34.37	34.15	33.93	33.98
	SP	1 089	15.10	12.57	8.83
coastguard	PSNR	27.31	27.19	27.21	27.11
	SP	1 089	15.30	12.75	7.38
football	PSNR	26.75	26.70	26.65	26.66
	SP	1 089	17.41	13.56	9.26
news	PSNR	37.87	37.73	37.68	37.71
	SP	1 089	13.73	11.62	6.96
average	PSNR	34.77	34.20	34.10	34.12
	SP	1 089	15.02	12.39	7.95

由表 4 可知, 对于运动较小的图像序列 akiyo, moth&daug, news 等, 本文算法不仅信噪比不低于菱形和六边形算法, 搜索点数也有明显下降, 仅为菱形算法的 50% 不到。对于运动相对剧烈的序列 foreman 和 carphone, 搜索点数有所升高, 但比菱形算法仍下降了 40% 多, 比六边形算法下降了 30% 左右。对运动很剧烈的 coastguard 和 football 序列, 本文算法信噪比菱形算法和六边形算法略有下降, 点搜索点数仍然比菱形和六边形分别下降了 45% 多和 30% 左右。由此可见, 对于运动较小的序列, 本文算法具有良好的性能。对运动较大的序列, 由于在矢量相关性判决中存在一定的误差, 导致在搜索时偏离了全局最优矢量而在预测起点的周围进行小范围的搜索, 造成重建图像的质量比菱形和六边形算法略有下降。从平均信噪比和搜索点数可以看出, 本文算法在重构图像质量上与菱形算法和六边形算法相当, 搜索点数比菱形算法减少了 47%, 比六边形算法减少了 36%, 在搜索速度上有了明显的提高。

### 4 结论

提出了一种基于矢量相关性的自适应运动估计

搜索算法,该算法利用一个矢量相关判决阈值判断当前所要编码的块左、上、右上3个相邻运动矢量之间的相关性,将所要编码的块划分为相关类型块和独立类型块。对相关类型块,以其3个相邻运动矢量作为候选搜索中心,对在中心附近小范围的候选搜索点进行搜索;对独立类型块,使用六边形算法进行运动搜索。仿真结果表明,该算法在保证搜索准确性的前提下,搜索点数比菱形算法减少了47%,比六边形算法减少了36%,在搜索速度上有了明显的提高。

### 参考文献 (References)

- 1 Sikora T. Trends and perspectives in image and video coding [J]. Proceedings of the IEEE, 2005, 93(1): 6 ~ 17.
- 2 Koga T, Iinuma K, Hirano A, *et al.* Motion compensated interframe coding for video conferencing [A]. In: Proceedings of National Telecommunications Conference 1981 [C], New Orleans, LA, 1981: G5.3.1 ~ G5.3.5.
- 3 Jain J, Jain A. Displacement measurement and its application in inter frame image coding [J]. IEEE Transactions on Communication, 1981, 29(12): 1799 ~ 1808.
- 4 Li Ren-xiang, Zeng Bing, Liou Ming L. A new three-step search algorithm for block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology, 1994, 4(4): 438 ~ 442.
- 5 Zhu Shan, Ma Kai-kuang. A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(2): 287 ~ 290.
- 6 Zhu Ce, Lin Xiao, Chau Lap-pui. Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(5): 349 ~ 355.