

中图法分类号: TP37 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)01-0014-07

论文索引信息: 丁鑫, 樊慧津. 基于方向自适应的运动估计混合模板搜索算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(1): 14-20

基于方向自适应的运动估计 混合模板搜索算法

丁鑫, 樊慧津

(图像处理与智能控制重点实验室, 华中科技大学控制科学与工程系, 武汉 430074)

摘要: 提出了一种基于方向自适应的运动估计混合模板搜索算法。该算法利用了运动矢量的时空相关性, 对搜索起点进行预测, 与仅利用空间相关性预测起点相比, 提高了搜索的准确性; 然后通过自适应阈值静止块判定技术, 对静止块直接中止搜索, 解决了常量阈值静止块判定技术仅适用于某种特定序列类型的缺点; 最后根据运动类型自适应选择采用小菱形、六边形-小菱形或方向十字-小菱形搜索策略, 解决了单一搜索策略模式下, 不能兼顾视频压缩图像质量和速度的局限。实验表明, 提出算法与 H. 264 标准提供的 UMHexagonS 算法相比, 在保证编码质量的前提下, 大大降低了运动估计时间, 提高了编码效率。

关键词: H. 264; 运动估计; 自适应; 块匹配

A mix-pattern motion estimation search algorithm based on direction adaptation

Ding Xin, Fan Huijin

(Key Laboratory of Education Ministry for Image Processing and Intelligent Control Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074 China)

Abstract: In this paper, a direction-based adaptive mix-pattern motion estimation search algorithm is proposed. The algorithm makes the best of spatial and temporal correlation, which improves the veracity of the search center prediction compared with the algorithms employing spatial correlation only. By employing adaptive threshold technology on static block determination, the disadvantage of const threshold technology on static block determination has been avoided. Moreover, the algorithm chooses the search strategy according to the corresponding motion type, which can balance the video quality and speed simultaneously. Experimental results show that the proposed algorithm can highly reduce the time of motion estimation ensuring the video quality compared with the UMHexagonS algorithm.

Keywords: H. 264; motion estimation; adaptation; block matching

0 引言

在帧间预测编码中, 邻近帧中的景物通常存在着一定的相关性, 因此, 可将活动图像分成若干宏

块, 求出连续帧之间对应宏块在空间位置上的相对偏移量, 即运动矢量。该求取运动矢量的过程称为运动估计。

运动估计作为视频压缩中的一项核心技术, 主要解决视频图像中时间冗余的问题, 通过运动估计

收稿日期: 2009-06-29; 修回日期: 2009-07-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(60604001)。

第一作者简介: 丁鑫(1985—), 男, 华中科技大学控制理论与控制工程专业硕士研究生, 主要从事视频图像压缩的研究。

E-mail: ehjfan@mail.hust.edu.cn.

技术可以使视频传输的比特数大为减少。运动估计在整个视频编码压缩系统中其计算复杂度大概在 50% 以上,在 H.264 压缩编码标准中运动估计的计算复杂度甚至占到了整个系统的 60%~80% 之多。因此提高运动估计的速度是关键,可以有效地提高编码的效率。

大体上,运动估计算法可以分为 4 类:块匹配法、像素递归法、光流法、贝叶斯估计法^[1]。块匹配运动估计算法因其具有算法简单、便于超大规模集成电路(VLSI)实现等优点而得到国际上的广泛应用^[2-10]。

目前,块匹配运动估计算法中搜索精度最高的是全搜索算法(FS),它对搜索范围内的每一个像素点进行匹配计算得到一个最优的运动矢量。但它的计算复杂度太高,不适合实时应用。为此很多学者提出了许多快速运动估计算法,其中比较典型的有三步搜索法(TSS)^[2]、2 维对数搜索算法(2DLOG)^[3]、交叉搜索法(CS)^[4]、动态搜索窗调整法(DSWA)^[5]、新三步搜索法(NTSS)^[6]、四步搜索法(4SS)^[7]、基于块的梯度下降法(BBGDS)^[8]、菱形法(DS)^[9]、六边形搜索法(HEXBS)^[10]等。另外,也提出了一些快速运动估计算法^[11-14],采用了初始搜索点预测技术、静止块判定技术等新技术^[15-17]。这些算法中采用的初始搜索点预测技术大多利用空间相关性^[18-20],当空间相邻块为不同物体时会产生预测错误,而且在静止块判定技术上采用常量阈值,具有算法适应性不强的缺点。

充分利用视频图像运动矢量的时空相关性,提出了一种基于方向自适应的运动估计混合模板搜索算法。该算法与仅利用空间相关性预测起点的运动估计算法相比,利用运动矢量的时空相关性,提高了预测起点的准确性,从而有效地缩短了搜索时间,另外,通过自适应阈值静止块判定技术,解决了常量阈值静止块判定技术仅适应某种特定序列类型的缺点,最后,通过自适应选择搜索策略技术,解决了单一搜索策略模式下,不能兼顾视频压缩图像质量和速度的局限。

1 基于方向自适应混合模板搜索算法

运动估计的核心就是求出图像序列的运动矢量,视频图像中运动矢量的分布具有如下 3 种特性:1)中心偏移特性,即运动矢量绝大多数情况分布在

搜索区域原点的附近;2)运动矢量相关性,即运动矢量在时间和空间上具有相关性;3)SAD(sum of absolute difference)方向性,即 SAD 总是沿着某一个梯度下降方向趋向极小点。其中 SAD 为块匹配算法中常用的匹配准则。

结合运动矢量的特性,提出了一种基于方向自适应的运动估计混合模板搜索算法,将视频图像序列的运动估计算法分为 3 步,分别从运动估计算法的初始搜索点预测,静止块判定和搜索策略技术细致描述该算法。

1.1 起始搜索点预测

起始搜索点通常会影响到总体搜索时间,因此预测搜索起始点将更快地接近真实运动矢量。起点预测的主要方法有:中值预测法^[12]、加权预测法^[13]、基于 SAD 的预测法^[14]。

大部分视频序列中空间位置上的相邻宏块都是同一个运动物体,这些相邻宏块之间具有很强的空间相关性,具有十分相近的运动矢量。中值预测的基本思想是以空间位置上的相邻块(左方,上方及右上方)的运动矢量中值来预测当前块的运动矢量;然而,也存在一部分视频序列中的某些当前宏块与其相邻宏块不是同一个运动物体,如果仅根据运动矢量的空间相关性,利用其邻近宏块的运动矢量对其进行预测必然导致错误的预测。因此,当当前宏块与其相邻宏块不是同一个运动物体时,可以根据运动矢量的时间相关性,采用前一帧视频图像中与其相对应宏块的运动矢量作为当前宏块运动矢量的预测,从而得到相对准确的预测。

本文算法兼顾运动矢量的空间和时间相关性,结合中值预测和 SAD 比较法。首先进行中值预测,得到候选起点 A_1 ,其对应块失真度记为 SAD_1 。其次,利用前一帧视频图像中与其对应宏块的运动矢量作为预测,得到对应块为候选起点 A_2 ,记其失真度为 SAD_2 。本文算法的预测起点是在这两个候选起点中选择一个 SAD 较小的点($\min(SAD_1, SAD_2)$)作为运动估计的预测起点。

1.2 静止块判定

一般而言,视频序列中经常会出现静止块,如视频会议、视频电话的人肩图像序列中的背景区域。因此,提前有效地判断静止块可明显提高运动估计的效率。目前,对静止块的判断大多采用提前退出算法,通过计算当前块的匹配误差,当该值小于预先设定的阈值,则可判断当前块为静止块。然而阈值

的确定通常是预先的分析提出一个比较折中的常量^[15-17],具有一定的局限性和误差,本文算法将采用自适应阈值进行静止块的判定。

记 Pred_ref_mincost 为基于时间域上的前帧对

$$\text{Pred_mincost} = \begin{cases} \text{Pred_ref_mincost} & \text{参考帧 ref 不为 0} \\ \text{Pred_space_mincost} & \text{参考帧 ref 为 0, 且 blocktype 是 } 16 \times 16 \\ \text{Pred_uplayer_mincost} & \text{参考帧 ref 为 0, 且 blocktype 不是 } 16 \times 16 \end{cases}$$

$$\beta = \text{Bsize}[\text{blocktype}] / (\text{Pred_mincost} \times \text{Pred_mincost}) \text{ 为调节系数}$$

式中 $\text{Bsize}[\text{blocktype}]$ 为对应不同大小类型的宏块的总点数。记 mincost 为在当前搜索窗中搜索计算得到的匹配误差值。当 $\text{mincost} < (1 + \beta) \times \text{Pred_mincost}$ 时,判断当前块为静止块,停止搜索。其中调节系数 β 是利用视频序列时间域的相关性来调节的,因此,该静止块判定阈值和传统的固定值阈相比,能随序列的运动类型而变化。

1.3 运动类型判定

利用预测运动矢量 $\text{MV_current} = (V_x, V_y)$ 来判断宏块的运动类型,设定 L 为预测运动矢量的绝对值距离,即 $L = |V_x| + |V_y|$,设置运动类型判别阈值 L_1 和 L_2 以对运动类型进行分类,且 $L_1 \leq L_2$ 。

- 1) 当 $L \leq L_1$ 时,判定当前块是小运动块;
- 2) 当满足 $L_1 < L \leq L_2$ 时,当前块为中等运动块;
- 3) 当 $L > L_2$ 时,当前块为大运动块。

在实际的视频编码中,可以根据图像序列的类型和编码器端的需要灵活设定类型判定阈值 L_1 和 L_2 的取值,当设定 $L_1 = L_2 = 0$ 时,所有宏块都会被判定为大运动块;若设定 $L_1 = L_2 = \max$ 时,则所有宏块运动都会被判定为小运动类型。

通过实验数据统计,对于一般的图像序列,当 $L_1 = 2, L_2 = 4$ 时最能体现宏块的运动特性,因此本论文设定运动类型判定阈值 $L_1 = 2, L_2 = 4$ 。

1.4 搜索策略

搜索策略决定了运动估计算法的效率。当采用步长小的搜索策略对应小运动类型宏块时可以保证运动估计快速准确,然而对于大运动类型则会影响运动估计的速度;当采用大的搜索策略对应大运动类型的宏块时可以保证运动估计的速度,然而对应小运动类型宏块却可能陷入局部最优,导致影响编码图像的质量。因此搜索策略在运动估计算法中具有十分重要的地位,它是对算法性能产生直接影响的重要因素之一。在不同的运动情况下,视频序列

应块得到的最优匹配误差, $\text{Pred_space_mincost}$ 为当前块为 16×16 时的匹配误差预测, $\text{Pred_uplayer_mincost}$ 为基于空间域上的上层预测得到的匹配误差预测。令

参考帧 ref 不为 0
参考帧 ref 为 0, 且 blocktype 是 16×16
参考帧 ref 为 0, 且 blocktype 不是 16×16

中宏块的位移程度不同,因而运动估计搜索应该根据宏块运动剧烈程度选择与之合适的搜索模式来进行搜索,而不能采用单一的搜索模式。本论文将根据宏块的运动类型来采用不同的搜索策略,如下所示:

1) 当预测的 $L \leq 2$ 时,判定当前宏块为小运动类型,采用小菱形搜索算法(SDS)。

采用小菱形搜索算法时,用小菱形搜索模板进行匹配计算直到搜索最佳匹配点为小菱形模板中心,得到运动矢量退出,该搜索过程如图 1 所示,其中各节点上的数字表明了搜索步骤。

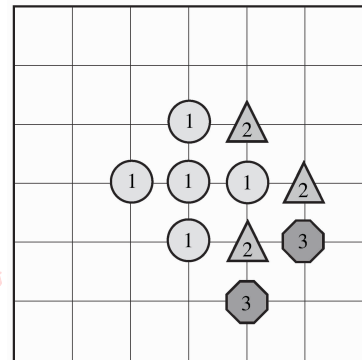


图 1 小菱形搜索算法

Fig. 1 Small diamond search algorithm (SDS)

2) 当 $2 < L \leq 4$ 时,判定当前宏块为中等运动类型,此时需要采用大于小菱形搜索的模板,以便快速的找到最佳匹配点,因此采用六边形-小菱形搜索算法(HDS)。

本算法首先用六边形搜索算法进行匹配搜索,如果最佳匹配点位于六边形模板周围,则继续六边形搜索,直到最佳匹配点位于六边形模板中心,再通过小菱形搜索得到最后的运动矢量。

该搜索算法的过程如图 2 所示。

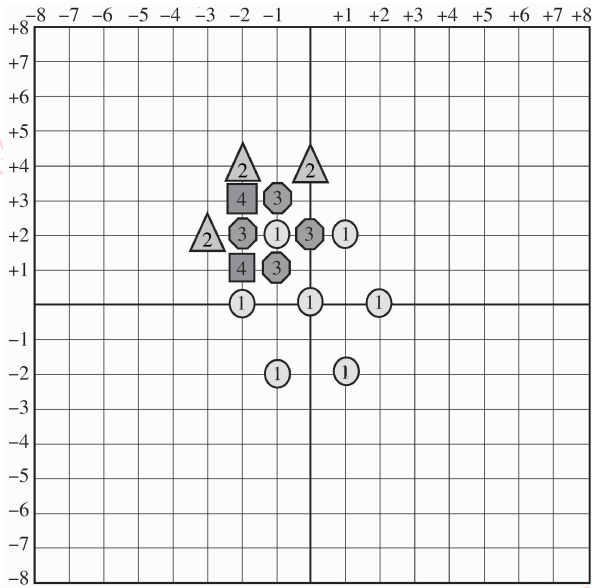


图 2 六边形-小菱形搜索算法

Fig. 2 Hexagon-diamond search algorithm (HDS)

3) 当 $L > 4$ 时,判定当前宏块为大运动类型,采用方向十字-小菱形搜索算法 (DCSDS)。

大多数视频序列在水平和垂直方向运动的几率比较大,即运动矢量呈十字形分布,它们的运动矢量具有极强的水平和垂直偏移分布特性。因此,可以根据当前宏块的运动将其分为水平和垂直方向的运动。根据对当前宏块预测的运动方向类型在搜索过程中使用带方向性的搜索模型,可以提高搜索的效率,减少不必要的搜索。图 3 所示是水平十字搜索模板 (HCSP),该模板在水平方向上的移动速度快于垂直方向,将其运用于具有水平运动特性的宏块的运动估计,可以明显加快水平方向上的搜索速度,并且减少对不必要点的匹配计算,提高运动估计速

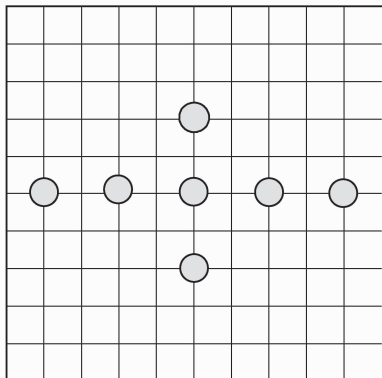


图 3 水平十字搜索模板

Fig. 3 Horizontal cellular search pattern (HCSP)

度。同理,图 4 所示是垂直十字搜索模板 (VCSP),该模板适合于具有垂直运动特性的宏块的运动估计。

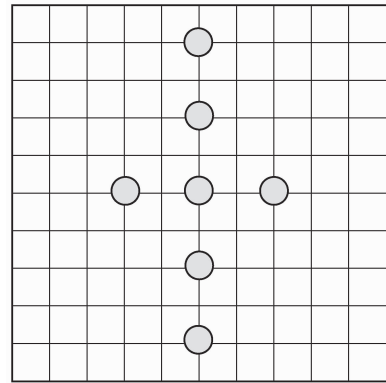


图 4 垂直十字搜索模板

Fig. 4 Vertical cellular search pattern (VCSP)

为了在搜索的初始阶段正确的选择搜索模板,需要先预测宏块的运动方向。根据当前宏块的预测运动矢量获得当前宏块的运动方向。预测运动矢量 V 与水平直线的夹角为

$$\theta = \arctan |V_y/V_x|$$

如果 θ 小于或等于 $\pi/4$,则认为该宏块的运动方向为水平方向;如果 θ 大于 $\pi/4$,则认为当前宏块的运动方向为垂直运动。

该搜索算法步骤如下:

1) 运动方向预测,选择搜索模板。根据预测的运动矢量进行运动方向的预测。如果运动方向为水平运动方向,则应选择水平十字搜索模板;如果运动方向为垂直运动方向,则应该选择垂直十字搜索模板。跳到下一步。

2) 通过计算获得最佳匹配点,如果该点在中心,则跳到第 3) 步;如果该点不在中心,则根据最佳匹配点的位置来确定,如果最佳匹配点在水平方向上,则继续选择水平十字搜索模板,如果最佳匹配点在垂直方向上,则选择垂直十字搜索模板,并重复本步骤。

3) 以最佳匹配点为中心,选择小菱形搜索模板进行块匹配,获得最终的运动矢量。该搜索过程如图 5 所示。

1.5 算法描述

本文算法的总体思想是先粗略搜索,再精确定位,通过对以上算法的关键技术的描述后,算法的基本步骤描述如下:

1) 起始点预测 在当前宏块的时间域和空间邻域宏块中值预测结果中选择最小 SAD 的运动矢

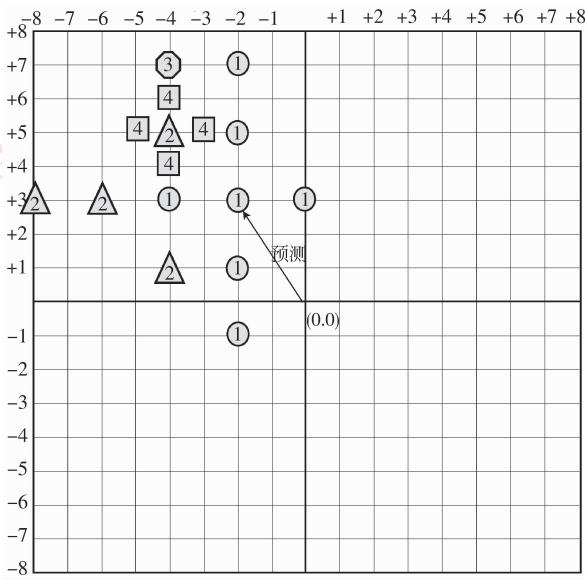


图 5 方向十字-小菱形搜索算法
Fig. 5 Directional centralized-small diamond searching algorithm (DCSDS)

量作为当前宏块的运动估计的起始点；

2) 静止块判定 对预测的起点进行计算,得到该点的最小 SAD 值,如果该点最小 SAD 值小于设定的自适应阈值,则判定该宏块为静止块,得到最终的运动矢量,结束搜索;否则转到步骤 3);

3) 运动类型检测 根据预测的运动矢量,运动矢量的绝对值和为 L ,如果 $L \leq L_1$,说明当前宏块为小运动类型块,转到步骤 4);如果 $L_1 < L \leq L_2$,则当前宏块为中等运动类型块,转到步骤 5);否则如果 $L > L_2$,则当前宏块属于大运动类型块,转到步骤 6);

4) 小菱形搜索 以小菱形搜索策略进行匹配计算,得到最终的运动矢量,结束搜索;

5) 六边形-小菱形搜索 以六边形-小菱形搜索策略进行匹配计算,得到最终的运动矢量,结束搜索;

6) 方向十字-小菱形搜索 以方向十字-小菱形搜索策略进行匹配计算,得到最终的运动矢量,结束搜索。

2 仿真结果

仿真以 Microsoft Visual C++ 6.0 作为开发平台。实验所用 PC 硬件配置如下: Celeron D 3.2G/512M DDRII533 内存,操作系统为 Windows XP + Service Pack 2。测试序列集包括 News, Hall, Foreman, Football, Tempete; 这些序列代表着不同的运动类型,其中 News, Hall 为小运动序列, Foreman 为中等运动序列,而 Football, Tempete 是大运动序列,所有的测试序列都为 YUV4:2:0。编码器配置选用 JM10.1 的基本类(编码配置文件为: encoder_baseline. cfg)。实验的主要编码参数如表 1 所示。

表 1 实验的主要编码参数

Tab. 1 Key code parameters for experiment

选项	状态
编码帧率	30 帧/s
量化参数	28
哈达码变换	使用
CIF 图像搜索范围	16
参考帧个数	1
自适应块的变换	关闭
序列类型	IPPP
熵编码	CAVLC

本文分别采用了 H. 264 标准所提供的 UMHagonS 算法和本文提出的基于方向自适应的混合模板搜索算法,对 News, Hall, Foreman, Football, Tempete 5 种视频序列的前 100 帧进行仿真对比得到的 PSNR,运动估计时间的平均值;以及它们的比较值,如表 2 所示。

表 2 对比实验数据

Tab. 2 Comparison of experimental results

序列	UMHagonS 算法 PSNR /dB	改进算法 PSNR /dB	PSNR 改 进量/dB	UMHexagonS 算法 运动估计时间/s	改进算法运动 估计时间/s	运动估计时间 节省率/%
News	38.07	38.5	-0.02	40.867	24.91	39.09
Hall	37.66	37.60	-0.06	39.166	26.745	31.59
Foreman	36.56	36.47	-0.09	45.722	30.544	33.20
Football	36.39	36.42	+0.03	71.113	33.880	52.36
Tempete	34.44	34.42	-0.02	46.490	29.837	35.82
平均值			-0.032			38.41

由上表可以看出,改进算法对于大运动类型的平均运动估计时间节省时间率为 44.09%,对于中等运动类型的平均运动估计时间节省率为 33.2%,对于小运动类型的平均运动估计时间节省率为 35.34%,因此该改进算法对大运动类型运动估计节省时间最多,小运动类型次之,中等运动类型最少。总体来讲,改进算法对于这 5 种测试序列,运动估计时间平均节省了 38.41%,这大大减少了运动估计消耗时间。

同时,改进算法对于大运动类型平均 PSNR 值增加了 0.01 dB,对于中等运动类型平均 PSNR 值下降了 0.09 dB,对于小运动类型平均 PSNR 值下降了 0.04 dB,因此该改进算法对于大运动类型 PSNR 值影响最小,小运动类型次之,中等运动类型影响最大。总体来讲,改进算法对于这 5 种测试序列,PSNR 平均值下降了 0.032 dB,这对于编码图像不会造成明显的影响。

仿真数据表明,文中所提出的基于方向自适应的混合模板搜索算法在保证视频质量的前提下,大大降低了运动估计时间,提高了编码速度。

3 结 论

通过对当前大量运动估计技术和视频序列特点的分析,综合利用了基于时间和空间相关性的初始搜索点预测技术,自适应阈值静止块判定技术和根据宏块运动类型自适应选择搜索策略技术,提出了一种基于方向自适应的运动估计混合模板搜索算法。该算法与仅利用空间相关性预测起点的运动估计算法相比,充分利用时间和空间相关性,提高了预测起点的准确性;通过自适应阈值静止块判定技术,解决了常量阈值静止块判定技术仅适应某种特定序列类型的缺点;通过自适应选择搜索策略技术,解决了单一搜索策略模式下,不能兼顾视频压缩图像质量和速度的局限。

仿真实验结果表明,论文中提出算法与 H.264 标准提供的 UMHexagonS 算法相比,在保证编码质量的前提下,大大降低了运动估计时间,提高了编码效率。

参考文献 (References)

- [1] Liu Yumin, Li Jianqin, Yao Bin. Application and Development of Digital Video-Audio Technology [M]. Beijing: Guofang Technology Press, 2003. [刘毓敏,李剑琴,姚彬. 数字视音频技术开发与应用[M].北京:国防工业出版社,2003.]
- [2] Koga T, Linuma K, Hirano A, et al. Motion compensated inter-frame coding for video conferencing [C]. Proceedings of National Telecommunications Conferences (NTC81). New Orleans, LA: [st], 1981:531-534.
- [3] Jain J R, Jain A K. Displacement measurement and its application in inter frame image coding [J]. IEEE Transactions on Communications, 1981, 29(12):1799-1808.
- [4] Ghanbari M. The cross-search algorithm for motion estimation [J]. IEEE Transactions on Communications, 1990,38(7):950-953.
- [5] Lee Liangwei, Wang Jhingfa, Lee Jauyien, et al. Dynamic search-window adjustment and interlaced search for block-matching algorithm [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1993,3(1):85-87.
- [6] Li Renxiang, Zeng Bing, 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 Laiman, Ma Wingchung. 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 Lurngkuo, 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, Ranganath S, Ranganath M, et al. A novel unrestricted center-biased diamond search algorithm for block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(4):369-377.
- [10] Zhu Ce, Lin Xiao, Chau Lappui. Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(5): 349-355.
- [11] Xia Jinxiang, Huang Shunji. Adaptive cross searching motion estimation method by utilization of block characteristics [J]. Signal Processing, 2006,21(6):621-627. [夏金祥,黄顺吉. 利用块特性的自适应十字搜索模式运动估计法[J]. 信号处理, 2006, 21(6):621-627.]

- [12] Chen Yiwen, Hsiao Mingho, Chen Huatsung, et al. Content-aware fast motion estimation Algorithm [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2008, 19(4): 256-269.
- [13] Shu Zhenyu, Gao Zhiyong, Chen Xinhao, et al. An adaptive fast motion estimation algorithm based on block matching [J]. Computer Era, 2007: 1-3. [舒振宇, 高智勇, 陈心浩, 等. 一种基于块匹配的自适应快速运动估计算法[J]. 计算机时代, 2007: 1-3.]
- [14] Zheng Peidon, Wang Pei, Ying Jun. The motion estimation algorithm and improvement scheme for H. 264 JM Model [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(10): 1798-1801. [郑振东, 王沛, 应骏. H. 264 JM 模型中运动估计算法及改进方案[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(10): 1798-1801.]
- [15] Wang Xin, Zhang Hong. The adaptive selective "fetch out" mode motion estimation algorithm [J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 2007, 28(1): 177-181. [王昕, 张弘. 自适应选择抽取模式的运动估计算法[J]. 航空学报, 2007, 28(1): 177-181.]
- [16] Han Qing, Li Li, Ying Jun. The fast algorithm research on H. 264 Inter-frame 4×4 block forecast mode selection [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(10): 1745-1748. [韩青, 李莉, 应骏. H. 264 帧内 4×4 块预测模式选择快速算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(10): 1745-1748.]
- [17] Chen Yiwen, Hsiao Mingho, Chen Huatsung, et al. Content-aware fast motion estimation algorithm [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2008, 19(4): 256-269.
- [18] Ni Wei, Guo Baolong, Ding Guiguang, et al. Adaptive fast motion estimation algorithm based on motion vector and direction [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(12): 2277-2282. [倪伟, 郭宝龙, 丁贵广, 等. 基于运动矢量和方向自适应的快速运动估计算法[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(12): 2277-2282.]
- [19] Nie Yao, Ma Kaikuang. Adaptive rood pattern search for fast block-matching motion estimation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(12): 1442-149.
- [20] Kim Byunggyu, Song Sukkyu, Mah Pyoungsoo. Enhanced block motion estimation based on distortion-directional search patterns [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(12): 1325-1335.