

运动矢量场自适应搜索算法的一种改进方案

方木云, 吴元, 李倩

(安徽工业大学 计算机学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要:在MVFAST算法的基础上,提出了一种改进的MVFAST算法。通过对MVFAST算法的分析,针对其不足之处,提出了MVFAST算法的改进算法。改进算法采用了高效的提前中止策略,即设置了动态的门限阈值,以及充分利用了视频序列的空间和时间相关性,对块进行运动类型划分,以采用不同的搜索策略对宏块进行起始点预测。该方法通过起始点预测、提前中止策略、对宏块进行划分,能够有效地处理视频序列。试验结果表明,在图像质量稍有提高的情况下,改进的算法能有效提高编码速度。

关键词:MVFAST算法;运动估计;视频编码;时间相关性

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)06-0070-03

Improvement on Motion Vector Field Adaptive Search Algorithm

FANG Mu-yun, WU Yuan, LI Qian

(School of Computer Science, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: Based on motion vector field adaptive search algorithm, proposed an improvement on motion vector field adaptive search algorithm. Through the analysis of the motion vector field adaptive search algorithm, for its shortcomings, proposed an improvement on motion vector field adaptive search algorithm. The improved algorithm used effective early termination strategy, that setting dynamic threshold, fully used the video sequence of space and time correlation to divide the block type, and introduced the different search strategies to predict the starting point. By predicting the starting point, early termination strategy and dividing the block type the improved algorithm can effectively deal with the video sequence. Experiments show that image quality was slightly improved, the improved algorithm could effectively improve the encoding speed.

Key words: MVFAST algorithm; motion estimation; video coding; time correlation

0 引言

在视频图像序列中,只有很少一部分图像是变化的,同一场景中前后两幅图像不会有太大的差别,就是说相邻图像前后帧是相关的,因此可以认为相邻图像存在很强的时域相关性。在视频信号中,存在大量的时域冗余信息,若是把上一帧同一位置的像素作为当前像素的预测值,在静止图像中,这是很有效的方法。但对于运动较强烈的图像,这种方法显得不是十分准确。由于运动图像存在时域相关性,在时间域上相邻两帧相同位置像素变化并不是很明显,若是能够找出前后两帧图像对应位置像素的变化范围,就可以用前一帧的像素作为当前帧的预测值,运动估计^[1]是视频编码中的一项核心技术,能有效去除序列图像的帧间冗余从而实现高效编码,其原理是在参考帧中搜索当

前宏块的最佳匹配块,并计算相邻帧中对应宏块的相对位置,找出两者的相对位移量,这个位移量就是运动矢量。那么预测的准确性将大为提高。运动估计对于视频压缩编码的效率起到关键性的作用,如果运动估计的精确度高的话,那么它将极大地消除帧间的相关性,这样有助于减小视频的存储空间。视频压缩编码的最重要的工作就是找到最佳匹配块^[2]。

当前有很多经典的运动估计搜索算法,全搜索算法效率最高,然而全搜索算法计算太过复杂,遍历搜索需要大量的时间,为此,许多改进的算法被提出来,如典型的三步搜索算法(Three Step Search, 3SS)^[3]、新三步搜索法(New Three Step Search, NTSS)^[4]、菱形搜索算法(Diamond Search, DS)^[5]、六边形搜索算法(Hexagon Based Search, HEXBS)^[6]。运动矢量场自适应搜索算法(Motion Vector Field Adaptive Search Technology, MVFAST)^[7]于1999年被Hosur等人提出,它在DS算法的基础上利用了视频图像空间相关性进一步提高了搜索速度和精度且能够获得均匀的运动矢量场, MVFAST算法的提出是运动估计快速算法领域的又一次

收稿日期:2010-11-17;修回日期:2011-02-02

基金项目:安徽省教育科学重大项目资助(ZD2008005-1)

作者简介:方木云(1968-),男,湖北罗田人,教授,主研领域为软件工程;吴元,硕士研究生,研究方向为视频编码、非结构化信息。

较大进步。

文中算法是基于对 MVFAST 算法的分析,找出其不足之处,利用视频图像的空间和时间相关性,从提前中止、起始点预测、运动类型划分等方面做了一些改进,提出了一种改进的运动估计算法。改进的算法能够有效地减少搜索点数,提高搜索速度。

1 MVFAST 算法介绍

运动向量场自适应搜索算法(MVFAST)是一种快速搜索算法。它是在菱形搜索法的基础上进行改进的,它以视频序列的空间相关性^[8]为基础,通过利用由当前块的左、右、上相邻块宏块的运动信息来预测当前宏块的运动剧烈程度,确定搜索中心点,最后通过大小菱形搜索模板搜索最佳匹配块。采用哪种搜索模板是依据当前宏块的运动剧烈程度决定的,如果当前宏块的运动距离程度为高或者低,则认为它与相邻宏块的相对运动剧烈程度不大,则采用小菱形搜索模式;如果当前宏块的运动剧烈程度中等,则采用大菱形搜索模式搜索。搜索中心由当前宏块的运动剧烈程度来决定,当宏块运动剧烈程度为低或者中等时,搜索中心为原点;宏块运动剧烈程度为高时,搜索中心则为相邻宏块中 SAD 值最小的宏块的运动矢量,通过设置阈值来提前终止搜索,这样可以加快搜索速度,而且也能获得比较好的效果。

运动矢量场自适应搜索算法(MVFAST)描述:

(1)检测静止宏块,首先计算运动矢量(0,0)的 SAD 值,如果 $SAD(0,0)$ 小于阈值 T ,那么终止搜索,(0,0)就是要找的运动矢量;否则搜索跳进(2)。 T 一般设为 512。

(2)当前宏块运动强度的检测。当前块的运动强度由如图 1 所示的左边、上边和右上的 3 个邻块来决定。设运动矢量集合 $V = \{V_0, V_1, V_2, V_3\}$,其中, $V_0 = (0,0)$, $V_i = (x_i, y_i)$ ($i \neq 0$) 为 1 块、2 块和 3 块的运动矢量。令 $l_i = |x_i| + |y_i|$, $L = \max\{l_i\}$ 根据 L 的值来判断当前宏块的运动强度。同时设定两个限定值 L_1 和 L_2 ,如果 $L < L_1$,则认为当前宏块的运动强度低;如果 $L_1 < L < L_2$,当前宏块的运动强度为一般;如果 $L_2 < L$,当前宏块的运动强度为很强。 L_1 和 L_2 一般设定为 1 和 2。

(3)搜索中心的确定。如果宏块运动强度为低或者一般,那么确定(0,0)作为搜索中心;如果运动强度为很强,那么就需要分别计算三个相邻宏块的运动矢量对应的点的 SAD 值和原点的 SAD,比较它们的值,最后选取 SAD 最小值对应的点作为搜索中心点。

(4)搜索策略的制定。如果宏块运动强度很低,如图 2 所示,则采用小菱形搜索模式(b);如果宏块运动强度一般,采用大菱形继续搜索模式(a),最后再采

用小菱形搜索模式(b);如果宏块运动强度很强,那么计算 V_1, V_2, V_3 指向的对应点的 SAD 值,用它们分别和 $SAD(0,0)$ 作比较,搜索中心就为 SAD 最小的位置,再使用小菱形搜索模式继续搜索。

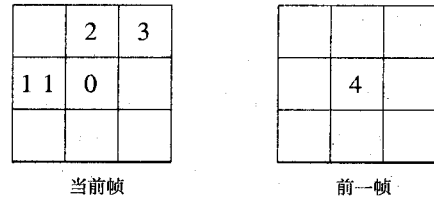


图1 预测块的位置

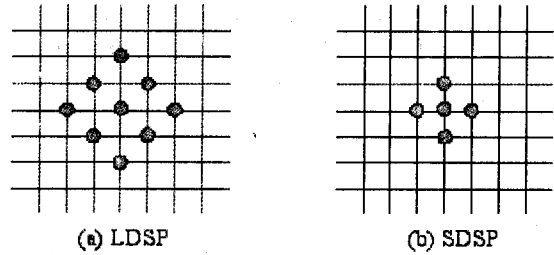


图2 菱形搜索模板

2 改进策略

2.1 MVFAST 算法分析

在所有块匹配算法中,全搜索算法是最简单的块匹配运动估计算法,为了找到最佳匹配块,它必须遍历参考帧中搜索区域内所有可能的点。所以,理论上 FS 算法的搜索精度是最高的。但是,FS^[9]搜索法计算复杂度相当的高,要用到整个压缩编码 70% ~ 90% 的时间,这么庞大的时间开销致使此算法根本不能用来适时开发应用程式,因此,现在的主要问题就是找到高效的搜索算法来解决这一难题。MVFAST 算法虽然是快速搜索算法,比全搜索算法快的多,但它并不是最优的快速搜索算法^[10]。MVFAST 算法仅仅考虑了空域上的相关性,利用当前待编码宏块左边、上边、右上边宏块的运动矢量,针对运动图像序列有很大的时间相关性,即在某一范围内,当前宏块某一位置的最小 SAD 值与相邻帧同一位置对应点的最小 SAD 值存在一定的比例关系^[11]。所以,在对搜索点进行预测时,一定要考虑视频序列在时域上的相关性,这些对正确搜索起始点、提高匹配度以及加快搜索速度方面都起到非常重要的作用。还有 MVFAST 算法中采用了固定阈值 T ,其不利条件是不能自动调节,当运动剧烈程度不一样时容易因为判断不准确而造成大的偏差,这样得出的结果可想而知是不准确的。

2.2 算法改进

在基于对 MVFAST 算法分析的基础上,提出了一种改进的运动估计算法。在改进算法中,更好的提前中止策略和运动矢量预测技术被采用,这样可以充分

利用视频图像的空域和时域相关性来设定更好的阈值以达到快速搜索的目的。改进算法针对 MVFAST 算法的不足之处,提出了动态的门限阈值策略:即参考帧对应位置宏块的最小 SAD 值乘以某个系数 k 作为 SAD 阈值,即 $T_0 = k * \text{Ref_SAD}$ (k 为常数, Ref_SAD 为参考帧和当前帧同一位置上的最小 SAD 值)。如果 $T_0 < 512$, 设定 $T_0 = 512$; 如果 $T_0 > 1024$, 设定 $T_0 = 768$ 。另外,在 MVFAST 算法中只考虑了当前宏块空间域上的三个运动矢量,而在时间域上当前帧和前一帧对用位置上的运动矢量也存在一定的相关性^[12]。因此预测当前块的运动矢量时,空域上相邻块的运动矢量和时域上前一帧同一位置上宏块的运动矢量都要被考虑进来。因此提出当前块的预测运动矢量分别为:如图 1 所示 0 块、1 块、2 块、3 块的运动矢量 $V_0(0,0)$ 、 $V_1(x_1, y_1)$ 、 $V_2(x_2, y_2)$ 、 $V_3(x_3, y_3)$, 和前一帧中的 4 块的运动矢量 $V_4(x_4, y_4)$, 以及 V_1, V_2, V_3 的中值运动矢量 $V_5(x_5, y_5)$ 。其中 $x_5 = \text{median}(x_1, x_2, x_3)$, $y_5 = \text{median}(y_1, y_2, y_3)$ 。

对于宏块运动强度的划分,在改进算法中,当前宏块的运动强度由当前宏块的相邻块(左,上,右)的运动矢量和时域上的前一帧对应块的运动矢量来共同预测,令 $L_i = |x_i| + |y_i|$ ($i \neq 0$), $L = \max\{L_i\}$ 根据 L 的值来判断当前宏块的运动强度。

改进的搜索算法描述:

(1) 检测静止宏块,首先计算运动矢量 $(0,0)$ 的 SAD 值,如果 $\text{SAD}(0,0)$ 小于阈值 T , 那么终止搜索, $(0,0)$ 就是要找的运动矢量;否则搜索跳进(2)。

(2) 检测 V_5 处的 SAD 值。计算 V_5 指向的位置的 SAD 值(一记为 SAD_5), 如果 SAD_5 小于阈值 T_0 , 则结束整个搜索过程, V_5 为当前宏块的运动矢量;否则,跳到(3)。

(3) 检测 V_1, V_2, V_3, V_4 处的 SAD 值。分别计算 V_1, V_2, V_3, V_4 所指位置的 SAD 值(记为 $\text{SAD}_1, \text{SAD}_2, \text{SAD}_3, \text{SAD}_4$), 如果最小的 SAD 值小于阈值 T_0 , 则结束整个搜索过程;否则,跳到(4)。

(4) 判断运动类型。利用相邻宏块的运动矢量来判断当前宏块的运动类型。如 $L < L_1$ 时,则表示宏块运动强度较弱,采用小菱形模式搜索;如 $L_1 < L < L_2$ 时,则宏块运动强度一般,采用小菱形模式搜索;如 $L > L_2$ 时,宏块运动强度较强,采用大菱形模式搜索。

(5) 起始搜索点的预测。起始搜索点的预测是根据当前宏块的运动类型进行设定的,若当前宏块的运动强度较弱或者一般,则起始点选择中心点 $(0,0)$ 作为搜索起点;若宏块运动强度较强,则计算如图 2 所示,0、1、2、3、4 块的运动矢量所指位置的 SAD 值,找出 SAD 值最小的一个。那么起始预测点即为最小 SAD

对应的运动矢量所指的位置的点。

3 实验结果与分析

通过对改进算法的描述,为了验证文中提出的改进算法的性能,本实验采用的宏块大小为 16×16 , 算法使用 C 编程实现。选取了以下几种不同运动类型的视频序列进行实验:运动变化小的 Mother_daughter, 运动变化中等的 Foreman, 运动变化大的 Football。测试分别使用这三个序列的前 100 帧,选取了具代表性的搜索算法 FS, MVFAST 进行实验,程序分别编码这三个序列的前 100 帧,参考帧为其生成运动估计的重建序列,分别从平均搜索点数、相对于 FS 搜索速度的提高倍数和平均峰值信噪比方面定量分析。一般视频图像在压缩之后,输出的图像都会和原始图像存在一点的差别。通常会选用峰值信噪比 PSNR 作为图像的质量评定。峰值信噪比(PSNR)计算公式如下:

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} (2^n - 1)^2 / \text{MSE}$$

其中, MSE 为原始和编码后的均方差, $(2^n - 1)^2$ 为图像中最大可能的信号值平方, n 为每个像素的比特。一般讲峰值信噪比越高越好,反之亦然。表 1 统计了 3 种算法的平均搜索点数以及搜索速度的提高倍数,表 2 比较了用 3 种算法进行运动估计后重建图像的峰值信噪比(PSNR)的均值。

表 1 平均搜索点数比较

算法	Mother_daughter		Foreman		Football	
	平均搜索点数	加快倍数	平均搜索点数	加快倍数	平均搜索点数	加快倍数
FS	984.92	1.00	984.92	1.00	984.92	1.00
MVFAST	2.56	384.73	8.24	119.53	15.15	65.01
改进算法	1.98	497.43	4.50	218.87	14.37	68.54

表 2 恢复图像的平均峰值信噪比(PSNR)比较

算法	Mother_daughter		Foreman		Football	
	PSNR	ΔPSNR	PSNR	ΔPSNR	PSNR	ΔPSNR
FS	39.45	-0.00	33.22	-0.00	26.30	-0.00
MVFAST	39.21	-0.24	32.81	-0.41	25.13	-1.17
改进算法	39.21	-0.24	32.85	-0.37	25.31	-0.99

单位: dB

由实验数据可以看出,文中提出的改进算法与 MVFAST 算法比较,对于运动变化小的 Mother_daughter 序列,平均搜索点减少了 0.58, PSNR 没有变化;对于运动变化中等的 Foreman, 平均搜索点减少了 3.74, PSNR 提高了 0.04; 运动变化大的 Football, 平均搜索点减少了 0.78, PSNR 提高了 0.18; 由以上数据可知, 平均搜索点数有了不同程度的减少, 加快了搜索速度, 对于某些序列, PSNR 稍有提高。

4 结束语

在分析了 MVFAST 算法的基础上,提出了一种改

(下转第 76 页)

表 5 主成分值矩阵

函数名	主成分 1	主成分 2	主成分 3
Initial_SC	2.549252	0.858695	-1.75009
Arith_CCode2	3.958135	-0.83528	0.618848
Arith_CCode3	1.115622	-0.59081	-0.39071
Backup_SC	1.135865	2.925198	1.356812
Check_SC_Process	1.811977	-0.37226	0.250815
Error_Process	1.514528	0.24346	-0.5994
Time_Process	1.919019	-0.50349	-0.07752
Status_Check	3.094646	-0.80531	1.190248
Backup_Process	1.248303	-0.53613	-0.37033
Caculate	1.439492	-0.87692	1.098759
BCommand_Errors	1.679253	0.124493	-0.629
Check_SC	4.153477	0.657583	-0.40136
Broadcast_Event	1.891356	-0.28923	-0.29707

距,需要重新对它们进行设计或是修改,以达到规范性和有效性。

5 结束语

主成分分析法是一种降维降难度的多元统计分析方法,在解决实际的问题上已经取得了很好的效果。文中将主成分分析法运用到静态测试及其分析过程中,根据数据处理结果达到了一定效果,但这还只是在该方向的一个初探,如果指标、函数对象的选取以及方法的运用都满足了更高的要求,分析结果也将会更准确、更有针对性。

参考文献:

- [1] 秦寿康. 综合评价原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003:132-135.
- [2] Donald E N. Software project risk analysis models with appli-

(上接第 72 页)

进的运动估计算法。改进算法主要采用了更好的提前中止策略,即设置了动态的门限阈值,以及充分利用了视频序列的空间和时间相关性,利用相邻宏块的运动矢量来对块进行运动类型划分,以采用不同的搜索策略对宏块进行起始点预测。试验结果表明,在图像质量稍有提高的情况下,与原来的 MVFAST 算法相比,改进的算法能有效地提高编码速度。

参考文献:

- [1] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准-H. 264/AVC[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [2] 姚晨,沙济彰. 用于块匹配运动估计的 SGDS 算法[J]. 计算机与现代化,2006(1):8-12.
- [3] Koga T, Linuma K, Hirano A, et al. Motion compensated inter-frame coding for video conferencing[C]//in: Proc. Nat. Telecommun. Conf. . New Orleans, LA: [s. n.], 1981.
- [4] Li R, Zeng B, Liou M L. A new three-step search algorithm for block motion estimation[J]. IEEE Trans. on Circuits and Sys-

tem for embedded systems[D]. USA: Wayne State University, 1999.

- [3] 刘小楠,崔巍. 主成分分析法在汾河水水质评价中的应用[J]. 中国给水排水,2009,25(18):105-106.
- [4] 戴毅,霍佳震,张倩. 基于模糊层次综合方法的企业内部风险评价[J]. 同济大学学报(自然科学版),2008,36(6):866-867.
- [5] Hausen H. Comments on practical constraints of software validation techniques[C]// Proceedings of symposium on software validation. [s. l.]: [s. n.], 1984:323-333.
- [6] 柳纯录,黄子河,陈绿萍. 软件评测师教程[M]. 北京:清华大学出版社,2005:160-175.
- [7] Sneed H. Software-testen-state of the art[C]// Software Entwicklungs-System und Werkzeuge, 2 Kolloquium. [s. l.]: [s. n.], 1987:8-10.
- [8] 赵强,康建设,罗武,等. 基于主成分分析法的新装备保障能力评估指标体系[J]. 四川兵工学报,2009,30(8):94-95.
- [9] 王威,张鑫,胡笑涛. 基于主成分分析法的灌区地下水资源承载力评价[J]. 水利与建筑工程学报,2008,8(1):5-6.
- [10] Aggarwal K K, Singh Y. Software Design Metrics for Object-Oriented Software[J]. Journal of Object Technology, 2006, 6(1):121-136.
- [11] Morasca S. Software Measurement: State of the Art and Related Issues[M]. Rovereto, Italy: School of the Italian Group of Informatics Engineering, 1995.
- [12] 苏金明,阮沈勇. MATLAB 实用教程[M]. 第 2 版. 北京:电子工业出版社,2008:133-134.
- [13] Zhu S, Ma K K. A New Diamond Search Algorithm for Fast-Block - matching Motion Estimation[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9: 287-290.
- [14] Zhu Ce, Lin Xiao, Chau Lap Pui. Hexagon-based Search Pattern for Fast Block Motion Estimation[J]. IEEE Trans. Circuits System Video Technology, 2002, 12: 349-355.
- [15] Hosur P I, Ma K K. Motion Vector Field Adaptive Fast Motion Estimation[C]//ICICS'99. Singapore: [s. n.], 1999.
- [16] 哈力旦. 一种改进的运动矢量编码方法[J]. 西安电子科技大学学报,2005(4):60-64.
- [17] 于飞,黄士坦. H. 264 运动估计算法分析[J]. 计算机技术与发展,2009,19(4):115-118.
- [18] 宁矿凤,王小玲. MPEG-4 编码中运动估计和补偿算法研究[J]. 计算机技术与发展,2007,17(6):101-106.
- [19] 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):1-6.
- [20] Hsieh C H, Lu P C, Shyn J S, et al. Motion estimation algorithm using interblock correlation[J]. Electronics Letters, 1990, 26(5):276-277.