

基于视频压缩的多分辨率预测菱形搜索算法

王燕妮^{1,2}, 樊养余¹

WANG Yan-ni^{1,2}, FAN Yang-yu¹

1.西北工业大学 电子信息学院,西安 710072

2.西安建筑科技大学 信息与控制工程学院,西安 710055

1.School of Electronic and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

2.School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China

WANG Yan-ni, FAN Yang-yu. Multi-resolution predictive diamond search algorithm on video compression. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(27): 95-97.

Abstract: In order to reduce the computational complexity of the motion estimation algorithm and improve the accuracy of motion compensation, a multi-resolution predictive diamond search algorithm is proposed for motion estimation algorithm on video compression standards, owing to the relationship between the quality of video and the running time of algorithm, using the comparability of motion vector in the same image and forecasting the preliminary point, reducing the searching ranges and numbers. Compared with diamond search algorithm, experimental results show that the time of motion estimation is reduced to 0.5 ms and PSNR is increased about 0.5 dB by the multi-resolution predictive diamond search algorithm.

Key words: video compression; multi-resolution; diamond search; motion estimation

摘要:为了减小视频压缩编码标准中运动估计算法的计算复杂度和提高运动补偿的准确性,考虑到视频图像质量和算法运行时间两者之间的关系,提出一种多分辨率预测菱形运动估计搜索算法,利用同一视频图像中的相邻宏块运动矢量相似的特征,预测当前块的搜索起点,采用大小不同的搜索匹配宏块,减少搜索范围和搜索点数目。实验结果表明,该算法与经典菱形搜索算法相比,搜索时间平均减少了 0.5 ms,信噪比平均提高了 0.5 dB。

关键词:视频压缩;多分辨率;菱形搜索;运动估计

文章编号:1002-8331(2007)27-0095-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP911.73

1 引言

对于视频图像序列,相邻两帧之间存在很大的时间相关性,即时间冗余,而基于块匹配的运动估计算法是减少时间冗余的有效方法。目前视频压缩标准^[1,2]中的经典运动估计技术有全搜索算法(ES)、三步搜索算法(TSS)及菱形搜索算法(DS)等。全搜索算法在所有的运动估计算法中性能最好,但计算量过于庞大,实时性不很理想;三步搜索算法在搜索速度和效率上比全搜索法提高了许多,但没有穷尽所有的点,因而搜索误差较大,搜索精度和性能受到很大的影响;菱形搜索算法对于所有的视频序列,在搜索最佳点时,广度搜索和梯度下降搜索同时进行,即同等地对待搜索区域的各部分,造成较大的搜索冗余,影响了算法的搜索速度。为此,在兼顾视频图像质量和搜索时间的基础上,提出一种改进的搜索算法——多分辨率预测菱形运动估计搜索算法(Multi-Resolution predictive Diamond Search algorithm, MRDS),具有很小的计算复杂度和较高的运动补偿质量。

2 经典菱形运动估计搜索算法(DS)

经典菱形搜索算法采用了两种搜索模式:大菱形搜索模式

和小菱形搜索模式。大菱形搜索模式由 1 个中心点和它周围的 8 个搜索点构成,这 9 个点组成 1 个菱形,小菱形由 5 个搜索点构成。搜索步骤如下:

步骤 1 最初的大菱形搜索模式以搜索窗口中心为中心点计算大菱形的 9 个搜索点的误差函数。若误差函数最小的搜索点位于中心,跳到步骤 3;否则跳到步骤 2。

步骤 2 以步骤 1 搜索的 9 个点中最小的点为大菱形的中心点,计算大菱形的 9 个搜索点的误差函数。若误差函数最小的搜索点位于中心,跳到步骤 3;否则,跳到步骤 2。

步骤 3 以上一步搜索的 9 个点中的最小点为中心点,计算小菱形的 5 个点的误差函数。误差函数最小的块为最佳匹配。

菱形搜索算法虽然减少了计算量,但实现比较复杂,而且在搜索区中存在大量的搜索空区^[3],所以就存在搜索到非最优的情况,从而使得帧间预测误差增大。针对实时性与估计精度^[4-6]这一对矛盾,提出一种多分辨率预测菱形运动估计搜索算法,通过预测当前块的搜索起点,以及通过改变匹配宏块的大小,减小搜索时的盲目性,较好地实现了视频图像的运动估计。

作者简介:王燕妮(1975-),女,讲师,博士研究生,主要研究方向:视频压缩、图像处理等信号与信息处理;樊养余(1960-),男,教授,博士生导师,工学博士(博士后),研究领域为数字信号处理、数字图像处理、人工智能等,目前主要从事强噪声中信号检测与恢复、数据压缩、信息安全、目标识别等方面的研究。

3 多分辨率预测菱形运动估计搜索算法(MRDS)

3.1 设计思路

在大多数的视频图像中,由于同一图像内部相邻宏块运动矢量相似的特征,在进行匹配时,可根据当前块左边块的运动矢量,向右平移一个宏块的方法,预测出当前宏块的运动矢量。而在视频图像边缘处的宏块可采用块匹配法进行搜索匹配,这样就大大减少了搜索匹配的点数目及匹配时间。

传统的块匹配法块的大小固定,因此存在如何选择合适的块大小的问题。若块太小,对于存在大范围运动的场景,则无法估计出真实位移;相反,块太大,由于块内运动不一致,可能无法得到精确的运动估计值。采用一种可变块大小的运动估计方法——多分辨率运动估计。分步进行块匹配,每一步采用大小不同的块,通过一个逐渐减小块大小的过程来实现由大到小的运动估计,从而获得可靠性高,且一致性好的位移矢量场。

采用分层块匹配法,在不同层上使用不同大小的块,通过递归方法估计运动矢量,从而克服运动矢量场的不一致问题。不同大小的块称为测量窗,开始测量时用大测量窗,在进入下一层匹配时,测量窗大小随之减小,且每一层的运动估计值都作递归,即上一层的运动估计值作为下一层估计值的初值。这样,第一层用大测量窗,运动真实性好,可以估计大范围运动。从上一层转到下一层时,测量窗变小,可作进一步精确的估值,达到最后一层时,测量窗也达到最小,可得到最后精确的运动矢量。另外,每进入下一层估值,估值的范围都将缩小,上一层保证了运动矢量在整体上的可靠性,因此,可克服小测量窗可能造成的误匹配问题。在综合考虑的基础上,采用均值金字塔结构预期能较好地实现运动估计。

以三层金字塔结构为例,原始图像按 8×8 像素块为基本单元进行金字塔分层,中间层金字塔的一个象素是底层相应 8×8 象素块的均值,顶层可以相同方式由中间层形成。首先,运动估计从顶层开始,对每个象素按绝对误差总和(SAD)搜索其菱形边上的 8 个象素块;然后,利用顶层运动矢量作为中间层运动矢量的初值,中间层运动搜索范围为 ± 2 个象素;最后,底层以同样方式搜索,最终得到原始图像中每个象素的运动矢量。通过上述由粗到细的方法,原始图像中每个象素均可得到精确的运动矢量。

3.2 多分辨率预测菱形运动估计搜索算法的搜索步骤

针对实时性与估计精度这一对矛盾,结合以上设计思路,多分辨率预测菱形运动估计搜索算法的搜索步骤如下:

步骤 1 取 8×8 象素块为当前块,以当前块的左边块运动矢量预测出当前块的运动矢量,以此得到一个起始搜索中心宏块,计算该宏块的绝对误差总和(SAD)值。同时计算距离中心宏块步长为 2 的菱形边上的 8 个宏块的 SAD 值,宏块大小均采用 8×8 象素块,比较并求得最小值;

步骤 2 以上一步求得的最小值宏块为中心,改变宏块大小为 4×4 象素块,计算步长为 1 的小菱形边上的 4 个宏块的 SAD 值(搜索过的点不再进行搜索),求得最小值为中间层最佳值;

步骤 3 以上一步的最小值宏块为中心,改变宏块大小为 2×2 象素块,计算步长为 1 的小菱形边上的 4 个宏块的 SAD 值,求得最小值为最佳匹配值,则算法结束。

举例:起始步长为 2。结合前面所述,菱形搜索算法的搜索步数为:(1)若第一步最小值宏块在顶点,搜索步数为 $9+5+4=18$;(2)若第一步最小值宏块在侧面中心,搜索步数为 $9+3+4=16$;(3)若第一步最小值宏块在中心,搜索步数为 $9+4=13$ 。多分辨率预测菱形搜索算法(如图 1 所示)搜索步数为 $9+4+4=17$ 。从搜索步数上看,对于菱形搜索算法,当最佳值宏块在中心时,搜索步数较少。但是并不是所有的宏块运动矢量都在中心点附近,所以新算法的搜索步数整体上减少了,而且运动矢量的精度也增加了,下面就其各项性能进行仿真验证。

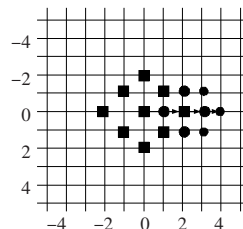


图 1 多分辨率预测菱形搜索算法搜索步骤

4 仿真验证

为了比较多分辨率预测菱形搜索算法(MRDS)的效果,采用 8-bits 的视频图像序列对全搜索算法(ES)、三步搜索算法(TSS)、菱形搜索算法(DS)以及多分辨率预测菱形搜索算法(MRDS)在相同的条件下进行计算机仿真。

4.1 重建帧的比较

采用 susie(352×240)序列,块的大小为 16×16 ,搜索范围 P 为 7。以第 5 帧作为参考帧,分别用 ES 算法以及 MRDS 算法得到第 7 帧的重建帧。可看出,MRDS 算法重建的视频图像非常接近视频图像的原始帧,结果如图 2 所示:



图 2 susie 序列重建帧的比较

4.2 性能的比较

为了客观地评价算法性能,用峰值信噪比(PSNR)和均方误差(MSE)来衡量各种运动估计算法。对于 8-bits 的视频图像来说,PSNR 定义为:

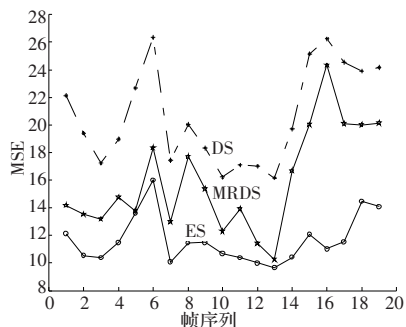
$$PSNR = 10 \lg \left[\frac{255 \times 255}{MSE} \right] \quad (1)$$

其中 MSE 表示均方误差,由下式决定:

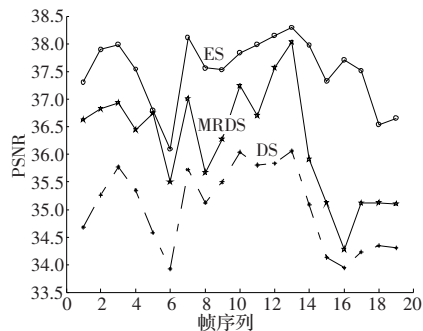
$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - g(i,j)]^2 \quad (2)$$

其中 $f(i,j)$ 是视频图像序列的原始帧, $g(i,j)$ 是利用运动矢量重建的帧。采用 missamerica(360×288)序列为视频测试序列,块的大小为 8×8 ,搜索范围 $P=7$,分别用各种搜索方法来计算序列中的 20 帧的 MSE 和 $PSNR$,实验结果如图 3。

从实验仿真结果可以看出,新算法的峰值信噪比比菱形搜索算法平均提高了 0.5 dB,相应的均方误差也降低了。因此,提



(a)MSE比较结果



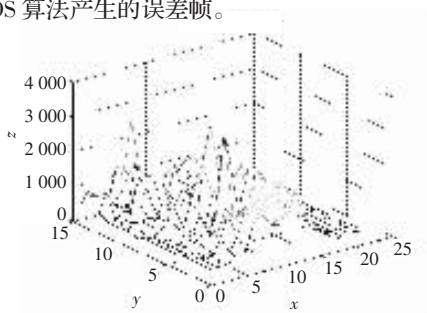
(b)PSNR比较结果

图3 性能比较图

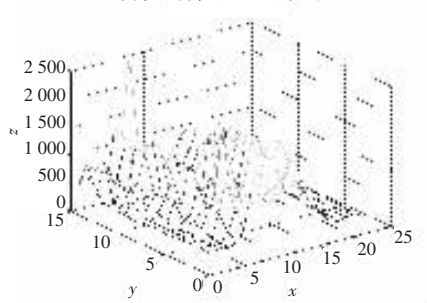
出的新算法达到了预期目的,且简单有效。

4.3 误差帧的比较

采用 susie(352×240)序列的第1帧作为参考帧,块的大小采用 16×16,搜索范围 P 为 7。分别用 ES 算法、TSS 算法、DS 算法及 MRDS 算法得到第 2 帧的误差帧。图 4 中所示为 MRDS 算法和 DS 算法产生的误差帧。



(a)DS 算法所得的 susie 序列的 MSE



(b)MRDS 算法所得的 susie 序列的 MSE

图4 susie 序列误差帧的比较

4.4 搜索匹配时间的比较

采用 missamerica(360×288)序列的第 5 帧作为参考帧,块

的大小采用 8×8,搜索范围 P 为 7。在同样的环境下,分别用 ES 算法、TSS 算法、DS 算法以及 MRDS 算法进行匹配得到恢复的第 6 帧,搜索匹配时间分别为表 1 所示。

表 1 missamerica 序列的搜索匹配时间表

搜索算法	算法搜索匹配时间/s
ES	0.743 2
DS	0.010 8
MRDS	0.010 3

在上面的实验 1 中,采用 susie(352×240)序列的第 5 帧,用 MRDS 算法对其第 7 帧进行重建,从主观上看,MRDS 算法重建的视频图像非常接近全搜索算法的重建图像;在实验 2 中,采用 missamerica(360×288)序列对算法进行性能比较,可得 MRDS 算法的性能曲线都优于 DS 算法的性能曲线,并且对于运动缓慢的视频序列,新算法的性能几乎逼近全搜索算法;在实验 3 中,通过误差帧的比较,可以看出 MRDS 算法比 DS 算法产生的误差平均降低了约 500 个数量级;在实验 4 中,用各种算法进行匹配,比较可得改进算法的搜索匹配时间明显减少了许多。

5 结论

运动估计算法是视频压缩编码中的重要环节,其优劣与否直接决定了整个编码性能的好坏,所以研究运动估计的各种块匹配算法具有重要意义。文章提出的新的多分辨率预测菱形运动估计搜索算法,利用分层搜索的思想,减少了计算量;以及通过预测,减轻匹配误差局部最小点对位移矢量搜索的影响,实现了运动矢量较精确的估计。实验表明,与 DS、TSS 等优秀算法相比,新算法的运动估计准确性高,预测质量好。在实时视频通信中,该算法可取得较好的效果。(收稿日期:2007 年 1 月)

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,2005:25-45.
- [2] 金子一,门爱东,杨波.数字视频图像处理[M].北京:电子工业出版社,2005:151-155.
- [3] Thamj Y,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,1998,8:369-377.
- [4] Lu J,Liou M.L.A simple and efficient search algorithm for block-matching motion estimation[J].IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,1997,7:429-432.
- [5] Xu J B,Po L M,Cheng C K.Adaptive motion tracking block matching algorithm for video coding[J].IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,1999,9:1025-1029.
- [6] Zhu S,Ma K K.A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation[J].IEEE Trans on Image Processing,2000,9:287-290.