

文章编号:1001-9081(2010)10-2819-04

基于下采样的快速块匹配搜索算法及降噪应用

张莎,田逢春,谭洪涛

(重庆大学通信工程学院,重庆400044)

(zhangs120@cqu.edu.cn)

摘要:提出一种基于下采样的快速块匹配搜索算法——下采样三步搜索算法(DTSS)。在视频序列中,通过双线性插值法下采样得到当前帧和参考帧的采样帧,在采样帧中进行基于块的三步法初步运动估计,然后通过下采样恢复进行精细搜索,得到当前帧的运动矢量场。利用双线性插值下采样方法的低通特性,可以实现在噪声干扰情况下对运动矢量的准确搜索;另一方面,采用下采样技术,使得块匹配搜索算法的搜索速度加快,达到快速搜索目的。实验结果表明,在保持搜索准确度和提高搜索速度方面,DTSS明显优于三步法和菱形搜索等经典的块匹配搜索算法。最后结合经典的多假设运动补偿滤波(MHMF)算法验证了DTSS应用于视频图像降噪中的有效性。

关键词:块匹配;下采样;运动估计;运动补偿;视频降噪

中图分类号:TP751.1 **文献标志码:**A

Fast block-matching search algorithm based on down-sampling and its application in denoising

ZHANG Sha, TIAN Feng-chun, TAN Hong-tao

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A fast block-matching search algorithm based on down-sampling named Down-sampling Three Step Search (DTSS) was proposed. In video sequence, the down-sampling frames of the current frame and the reference frame would be obtained first by bilinear interpolation sampling. Then, the initial motion estimation would be estimated by using Three Step Search (TSS) in the sampling frames. At last, refined search results would be obtained according to the relation between sampling frames and original frames. Due to low-pass characteristic of bilinear interpolation, DTSS can effectively suppress noise and get accurate search of motion vector. On the other hand, while DTSS bears the advantage of sampling technique, it can make block-matching search algorithm faster. The experimental results show that DTSS algorithm outperforms the present searching methods like TSS and Diamond Search (DS) both in search speed and accuracy. Combining this algorithm with the Multi-Hypothesis Motion Compensated Filter (MHMF) noise reduction algorithm, the experimental results also indicate that this block based search algorithm suits well in video denoising applications.

Key words: block-matching; down-sampling; motion estimation; motion compensation; video denoising

0 引言

运动估计搜索算法是视频处理系统中的关键技术之一,广泛应用于视频降噪、视频编码、目标识别与跟踪等方面,对于视频处理系统具有重要意义。考虑到计算复杂度和实时应用的要求,实际中最常用的运动估计算法是块匹配运动估计搜索算法^[1]。

现行的块匹配搜索算法很多,比如,高准确度的全搜索算法(Full Search Method, FS)^[2]、适当结合准确度和搜索速度的三步搜索算法(Three Step Search, TSS)^[3]、性能较好的菱形搜索算法(Diamond Search, DS)^[4]、二维对数搜索算法^[1]、交叉搜索算法^[1]、遗传搜索算法和六边形搜索算法等。FS又称穷尽搜索法,是一种最简单可靠的搜索算法,遍历整个搜索窗内所有的像素点,用匹配准则找出最佳匹配块。在FS中,由于遍历全局,找到的匹配点是全局最优的、准确度高,通常将其搜索结果作为其他算法比较准确度的标准,但是其运算量巨大、搜索速度慢,很难满足数字视频实时处理的要求。TSS是一种较为简单且有效的搜索算法,最大搜索范围是7个像素,搜索精度为1个像素,步长为4、2、1个像素,共需三步即可结

束搜索,因此得名三步法。TSS是同时考虑了搜索速度和准确度的搜索算法,规定步长和搜索步数,计算量和存储量都是一定的,但在整个运动搜索过程中容易陷入局部最优,造成运动估计出现一定偏差。DS是一种性能较好的块匹配算法,从中心点开始搜索,采用两种大小菱形的搜索模板:先用有9个检测点的大菱形搜索模板搜索,由于搜索步长大,搜索范围广,可以进行初步定位,使搜索过程不会陷于局部最优;再用有5个检测点的小菱形搜索模板进行精细搜索,即可得到最佳匹配块。DS是一种基于中心偏移的快速搜索算法,其前提假设是帧间差错平面在搜索窗内具有单调性,而在实际视频图像中,帧间差错平面的复杂性不能完全符合其单调应用假设,因此视频帧间差错平面的复杂性限制了该搜索算法的准确性。

另外,在基于运动估计和运动补偿的时域或空时滤波算法中,由于噪声的存在,降低了现行运动估计搜索算法的运动估计准确性,容易进行错误的运动补偿,导致降噪后视频图像中产生时域补偿降质^[5]。同时,这些视频图像降噪算法多采用块为处理单位,使得降噪后的视频中存在块效应,降低了主观视觉质量。因此,在视频降噪算法中,迫切需要有鲁棒性好

收稿日期:2010-04-13;修回日期:2010-06-09。 基金项目:重庆大学“211工程”三期建设资助项目(S-09102)。

作者简介:张莎(1986-),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向:视频图像处理;田逢春(1963-),男,重庆人,教授,博士生导师,主要研究方向:信息光学、图像信息处理、小波理论;谭洪涛(1979-),男,山东人,博士研究生,主要研究方向:视频图像处理。

的快速块匹配搜索算法,改善降噪算法的去噪效果。

通过上述分析,可知在搜索准确度、搜索速度,以及保持在噪声影响下的搜索准确度等方面,现行的块匹配快速搜索算法都有待进一步改善。本文提出一种基于下采样的三步搜索算法(Down-sampling Three Step Search, DTSS)。在视频序列中:首先,通过双线性插值法对当前帧和参考帧下采样,得到当前帧和参考帧的采样帧;然后,在采样帧中进行基于块的三步法初步运动估计;最后,通过下采样恢复并进行精细搜索,得到当前帧的运动矢量场。在DTSS中,一方面由于双线性插值下采样方法的低通特性,可以实现在噪声干扰情况下对运动矢量的准确搜索;另一方面,采用了下采样技术,减少了搜索计算量,使得块匹配搜索算法搜索速度加快,能够达到快速搜索的目的。

1 下采样三步搜索算法 DTSS

基于块匹配的下采样三步搜索算法 DTSS 包含了三个部分,分别是下采样、初步运动估计和精细运动矢量搜索。

1.1 下采样

图像的采样可以看做是用采样网格对图像采样,当采样网格将信号从低分辨率转换为高分辨率时,称为上采样,即图像的放大;当采样网格将信号从高分辨率转换为低分辨率时,称为下采样或亚采样,即图像的缩小。在下采样方法应用中通常采用的插值方式有两种:最近邻域插值和双线性插值。最近邻域插值是在原图像上寻找最靠近的像素并把它的灰度值赋给新像素。最近邻域插值速度快,但是容易产生棋盘效应。双线性插值是对最近邻域插值的改进,它采用四个最邻近的像素的加权平均来赋给新像素。

DTSS 算法中,采用双线性插值方法对视频图像进行下采样。从视频图像中提取出当前帧 f_k 和参考帧 f_{k-m} ($m=1,2,\dots$),由各帧中每个相邻且不重叠的 2×2 像素子块通过双线性插值生成一个新的像素点,分别得到 f_k 和 f_{k-m} 的采样帧 f_k^s 和 f_{k-m}^s ,采样点计算方法见式(1)。

$$f^s(i,j) = \frac{1}{4} (f(i,j) + f(i,j+1) + f(i+1,j) + f(i+1,j+1)) \quad (1)$$

其中: $f^s(i,j)$ 是下采样后得到的采样帧 f^s 中像素 (i,j) 的灰度值; $f(i,j)$ 、 $f(i,j+1)$ 、 $f(i+1,j)$ 、 $f(i+1,j+1)$ 分别是原始帧 f 中 (i,j) 、 $(i,j+1)$ 、 $(i+1,j)$ 、 $(i+1,j+1)$ 四个像素的灰度值。下采样后用像素 (i,j) 取代原始帧 f 中对应位置的四个像素,如图1所示。这样,下采样完成后,采样帧 f^s 的大小变为原始帧 f 的 $1/4$ 。

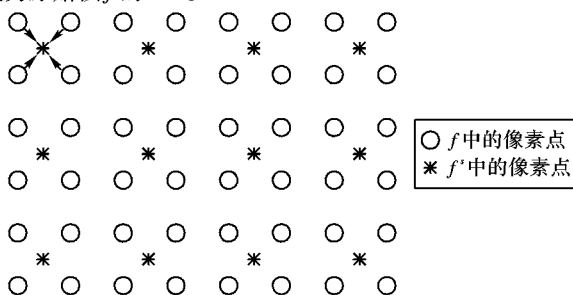


图1 下采样示意图

1.2 采样帧中的初步运动估计

在采样帧 f_k^s 和 f_{k-m}^s 中进行初步运动估计,将 f_k^s 划分成大小相等、互不重叠的方块,在 f_{k-m}^s 中利用三步法和最小平均绝对差(Mean Absolute Difference, MAD)准则,得到其初步运动矢量 (i_{match}, j_{match}) 。

DTSS 算法中,对视频图像先进行下采样,再利用下采样

的结果进行初步运动估计,好处有:一方面,通过下采样,减少了运动估计中需要处理的数据量,提高了算法的搜索速度。例如原始帧中有 $M \times N$ 个像素,下采样后采样帧中有 $(M \times N)/4$ 个像素,需要处理的数据量减少为原来的 $1/4$ 。另一方面,下采样过程中采用的是双线性插值,实际上是对原始帧进行了一次低通滤波,对噪声的影响具有一定抑制作用,在一定程度上克服了噪声对运动估计精度的影响,能在噪声干扰情况下,使 DTSS 算法仍然较好保持运动估计的精度。

1.3 精细运动矢量搜索

在得到初步搜索运动矢量 (i_{match}, j_{match}) 后,将回到原始帧 f_k 和参考帧 f_{k-m} 中进行精细搜索。初步搜索运动矢量坐标还原到原始帧的坐标,直接将坐标加倍即可。例如,在参考帧的下采样帧 f_{k-m}^s 中,运动矢量坐标为 (i_{match}, j_{match}) ,则对应原始参考帧 f_{k-m} 的运动矢量坐标为 $(2 \times i_{match}, 2 \times j_{match})$,如图2所示。

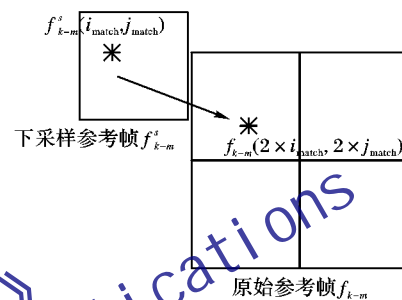


图2 运动矢量坐标对应示意图

得到原始参考帧的运动矢量坐标后,就可以进行精细搜索。对下采样前的 2×2 像素子块的4个像素点,按照 MAD 块匹配准则计算得出精确定位搜索匹配点(Accurate positioning search Matching Point, AMP),从而得出准确的精细运动矢量。

1.4 DTSS 算法步骤

步骤1 用邻域平均插值法对当前块和参考帧进行下采样;

步骤2 以当前块为中心,选取4为步长,与下采样参考帧中周围8个点进行匹配准则计算,找出最佳匹配点 MAD_1 ;

步骤3 将步长减为2,中心点移到上一步的最佳匹配点 MAD_1 ,与下采样参考帧中周围8个点进行匹配准则计算,找出最佳匹配点 MAD_2 ;

步骤4 将步长减为1,中心点移到上一步的最佳匹配点 MAD_2 ,与下采样参考帧中周围8个点进行块匹配准则计算,找出最佳匹配点 MAD_3 ;

步骤5 中心点移到上一步的最佳匹配点 MAD_3 ,将中心点坐标扩大一倍,并与原始参考帧中心点的右、下、右下3个点进行块匹配准则计算,找出最佳匹配点 MAD_{AMP} ,该点对应的块即为最佳匹配块,其相对位移即是所求的运动矢量。

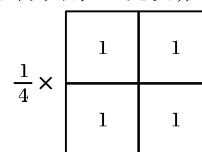


图3 2×2 像素均值滤波器掩模

可见,DTSS 中的二重搜索算法既能够实现高速搜索,又能够克服噪声的影响而得到准确的运动矢量。DTSS 中采样点的取值应用了双线性插值邻域平均法,等效于对受噪原始参考帧进行了一次 2×2 像素模板的低通滤波,如图3所示,使其在一定程度上克服了噪声对运动估计准确度的影响,能在强噪声影响下,仍然保持较好的运动估计准确度,并能够从一定程度上防止搜索陷入局部最优。另外,相对原始的 TSS 搜索算法,DTSS 的搜索范围扩大了一倍,能够达到 14 个像素。

2 结合 DTSS 的多假设运动补偿滤波降噪

下面将结合多假设运动补偿滤波 (Multihypothesis Motion Compensated Filter, MHMCF) 算法^[6-8]说明 DTSS 搜索算法在视频降噪方面的应用。

MHMCF^[2]是一种基于时域递归滤波的视频图像降噪算法。此算法充分利用了时域相关性,能够提供较多的时域预测以抑制噪声。然而,时域降噪算法中通常均采用基于块匹配的运动补偿来抑制噪声,运动估计的准确度将直接决定算法降噪的效果。同样,对于 MHMCF 算法,受噪视频图像中的噪声引起运动估计偏差,易导致该算法降噪后的视频图像中存在块效应等视觉降质,同时 MHMCF 是基于时域递归的滤波算法,当前帧滤波结果中的误差会向后传递,影响后续视频图像的滤波输出。因此,找寻对噪声条件下具有较好鲁棒性的运动估计搜索算法对于 MHMCF 具有重要意义。

在视频图像中,常见的噪声是加性高斯白噪声,对应的视频图像受噪模型见式(2):

$$g_k(i, j) = f_k(i, j) + n_k(i, j) \quad (2)$$

其中: $f_k(i, j)$ 和 $g_k(i, j)$ 分别为视频图像第 k 帧中像素点 (i, j) 处的原始灰度值和观测灰度值, $n_k(i, j)$ 为视频图像第 k 帧中像素点 (i, j) 处的独立加性高斯噪声分量。

利用 DTSS 算法对 MHMCF 的运动估计模块进行改进,考虑复杂度与降噪效果选择 MHMCF 中的 2 假设运动补偿算法,得到改进算法 DTSS_2HMCF,其算法流程见图 4。

结合受噪模型,DTSS_2HMCF 降噪输出为:

$$\hat{f}_k(i, j) = \sum_{m=1}^2 w_m \cdot p_{k-m}(i - v_i, j - v_j) + w_0 \cdot g_k(i, j) + d$$

其中: $\hat{f}_k(i, j)$ 是受噪像素 (i, j) 降噪后的灰度值; w_0 与 w_m 是滤波器系数,由式(4)、(5)得到; d 是一个常量,由式(6)计算。

$$w_0 = \frac{\sigma_{n_0}^{-2}}{\sum_{m=1}^2 \sigma_{r_{k-m}}^{-2}(i, j) + \sigma_{n_0}^{-2}} \quad (4)$$

$$w_m = \frac{\sigma_{r_{k-m}}^{-2}}{\sum_{m=1}^2 \sigma_{r_{k-m}}^{-2}(i, j) + \sigma_{n_0}^{-2}} \quad (5)$$

$$d = \sum_{m=1}^2 w_m \cdot \bar{r}_{k-m}(i, j) \quad (6)$$

其中: $\sigma_{n_0}^2$ 是噪声方差, $\sigma_{r_{k-m}}^2(i, j)$ 是通过当前块与匹配块的运动方差减去噪声方差得到的, $p_{k-m}(i - v_i, j - v_j)$ 是像素 (i, j) 的匹配像素灰度值, (v_i, v_j) 是由 DTSS 得到的相应的运动矢量, $\bar{r}_{k-m}(i, j)$ 是像素 (i, j) 所在当前块与其匹配块的运动残差。

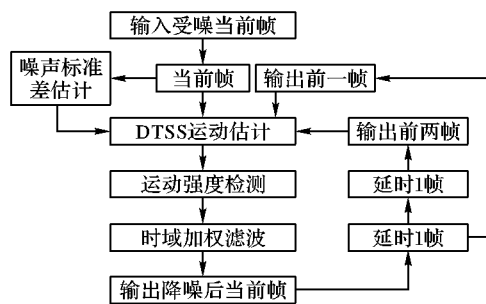


图4 DTSS_2HMCF 算法流程

3 实验结果与分析

为验证 DTSS 算法的有效性,以搜索准确度、搜索速度、

MHMCF 降噪后视频序列的提升峰值信噪比 (Improved Peak Signal to Noise Ratio, IPSNR) 为主要评价标准,分别对无噪视频序列、受噪视频序列、去噪后的视频序列进行了相关测试。并以全搜索算法 (FS)、三步搜索算法 (TSS)、菱形搜索算法 (DS) 为对比算法,与下采样三步快速块匹配搜索算法 DTSS 进行了对比分析。

选用 Akiyo、Container、Mobile、Foreman、Football、Vetri 等多个视频测试序列进行实验,每个序列长度均为 50 帧,Akiyo 的帧平面大小为 144×176 像素,其余 5 个序列的帧平面大小为 288×352 像素。受噪的视频序列噪声级别分为 3 级,是在原始视频序列的每一帧中添加均值为 0、方差分别为 $\sigma_n^2 = 65$ ($PSNR = 30$ dB)、 $\sigma_n^2 = 130$ ($PSNR = 27$ dB)、 $\sigma_n^2 = 260$ ($PSNR = 24$ dB) 的高斯白噪声。各个搜索算法中,用于运动估计和运动补偿的块的大小均为 16×16 像素,下采样后的块大小为 8×8 像素。

3.1 无噪视频序列中各种搜索算法搜索准确度与速度比较

假定全搜索算法的搜索速度为 1,其他算法搜索速度是以全搜索速度的比率来衡量。搜索精度为 1 个像素。表 1 为六种无噪测试序列下各种快速搜索算法相对于全搜索算法的搜索准确度和搜索速度。

表 1 无噪序列中各种搜索算法搜索准确度和速度比较

测试序列	准确度				速度			
	FS	TSS	DS	DTSS	FS	TSS	DS	DTSS
Akiyo	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1	385	666	593
Container	1	0.9892	0.9776	0.9942	1	1824	3523	3362
Mobile	1	0.9542	0.9278	0.9624	1	1824	3523	3362
Foreman	1	0.9789	0.9044	0.9889	1	1817	2536	3290
Football	1	0.4869	0.4179	0.5740	1	1826	1224	3343
Vetri	1	0.4126	0.4361	0.7810	1	1828	1571	3355

从表 1 中可以看出:在无噪序列中,对于慢速序列 Akiyo、Container,DTSS、TSS 和 DS 都可以得到较为准确的运动矢量,但是 DTSS 的准确度更高,且搜索速度也较快;对于较快的视频序列 Mobile、Foreman、Football、Vetri,DTSS 的准确度最优、搜索速度最快,尤其对于快速运动序列 Football、Vetri,DTSS 的准确度和搜索速度都远远优于 TSS 和 DS。

3.2 受噪视频序列中各搜索算法搜索准确度与速度比较

假定全搜索算法的速率为 1,其他算法搜索速度均以与全搜索速度的比率来衡量。本文中,一个块的运动矢量是否准确要看它是否与全搜索的运动矢量相等来衡量,一帧图像的搜索准确度则用运动矢量准确的个数与一帧图像的运动矢量个数之比来衡量,一个序列的搜索准确度是对每帧图像准确度的平均;搜索精度为 1 个像素,各算法均与无噪序列中全搜索算法的搜索结果对比来确定搜索精度。6 个测试序列均为三种噪声级别干扰下的受噪视频序列,表 2 为各快速搜索算法相对于全搜索算法的搜索准确度,表 3 为对应的搜索速度。

从表 2、3 中可以看出,在受噪视频序列中,DTSS 的准确度和搜索速度都比 TSS 和 DS 好,DTSS 的速度是 TSS 的 1.8 倍左右,尤其对于快速运动的序列,DTSS 的准确度和搜索速度都远远优于 TSS 和 DS。同时,在噪声影响下,DTSS 的搜索准确度接近于无噪序列下的搜索准确度,并且优于 FS,说明基于下采样的 DTSS 算法,在保持快速搜索和搜索准确度的同时能够更好地克服视频图像中不同级别噪声的影响,具有较好的鲁棒性。

3.3 结合 DTSS 的 MHMCF 算法的降噪效果对比

为了进一步验证 DTSS 算法的有效性,结合视频降噪应用中经典的多假设运动补偿算法 MHMCF,对 DTSS 与 TSS、

DS 进行对比分析。选用 MHMCF 中降噪效果较好的 2 假设算法 2HMCf, 结合了 DTSS 运动估计的 2HMCf 标记为 DTSS_2HMCf, 结合了 TSS 和 DS 运动估计的分别标记为 TSS_2HMCf 和 DS_2HMCf。在各种级别噪声干扰下, 受噪测试序列在各种算法处理后对 PSNR 值提升进行对比分析。

表2 三种噪声级别的序列中各种搜索算法的搜索准确度比较

测试序列	PSNR = 30 dB, $\sigma_n^2 = 65$				PSNR = 27 dB, $\sigma_n^2 = 130$				PSNR = 24 dB, $\sigma_n^2 = 260$			
	FS	TSS	DS	DTSS	FS	TSS	DS	DTSS	FS	TSS	DS	DTSS
Akiyo	0.7802	1.0000	0.8455	1.0000	0.7095	1.0000	0.7966	1.0000	0.6230	1.0000	0.7497	1.0000
Container	0.6613	0.9888	0.8272	0.9925	0.5745	0.9882	0.7565	0.9928	0.5282	0.9879	0.7044	0.9929
Mobile	0.9166	0.9538	0.8858	0.9622	0.8840	0.9529	0.8744	0.9621	0.8447	0.9535	0.8571	0.9621
Foreman	0.6264	0.9752	0.6869	0.9864	0.5327	0.9746	0.6178	0.9867	0.4472	0.9716	0.5580	0.9858
Football	0.5135	0.4785	0.3492	0.5696	0.4376	0.4737	0.3390	0.5666	0.3875	0.4719	0.3291	0.5639
Vectra	0.6686	0.7235	0.2663	0.7416	0.5788	0.3536	0.2482	0.7215	0.5084	0.3440	0.2341	0.7010

表3 三种噪声级别的序列中各种搜索算法的搜索速度比较

测试序列	PSNR = 30 dB				PSNR = 27 dB				PSNR = 24 dB			
	FS	TSS	DS	DTSS	FS	TSS	DS	DTSS	FS	TSS	DS	DTSS
Akiyo	1	381	637	583	1	379	611	611	1	382	604	607
Container	1	1820	3204	3349	1	1817	3045	3356	1	1817	2923	3355
Mobile	1	1813	3085	3374	1	1808	3065	3356	1	1817	3080	3344
Foreman	1	1806	2515	3356	1	1813	2502	3149	1	1810	2505	3344
Football	1	1806	1557	3344	1	1817	1643	3349	1	1815	1751	3368
Vectra	1	1815	2106	3355	1	1811	2248	3368	1	1808	2339	3368

表4 结合三种运动估计算法的 2HMCf 处理后视频序列 IPSNR 值对比

测试序列	PSNR = 30 dB			PSNR = 27 dB			PSNR = 24 dB		
	TSS_2HMCf	DS_2HMCf	DTSS_2HMCf	TSS_2HMCf	DS_2HMCf	DTSS_2HMCf	TSS_2HMCf	DS_2HMCf	DTSS_2HMCf
Akiyo(慢速)	9.1531	9.1686	8.9389	10.0316	10.0420	9.7308	10.8132	10.8796	10.4888
Vectra(中速)	1.9748	2.1061	2.3727	2.8628	2.9671	3.2627	3.9616	4.0225	4.3251
Football(快速)	2.7771	2.793	3.0753	3.9413	3.9748	4.3163	5.1457	5.1741	5.5797

PSNR 作为一种常用的客观评价标准, 反映了图像之间的相似程度。从表 4 中可以看出, 结合 DTSS 的 2HMCf 降噪算法能够有效抑制视频图像中各种级别的噪声。对于慢速运动的 Akiyo 序列, DTSS_2HMCf 算法的 PSNR 虽然略低于 TSS_2HMCf 和 DS_2HMCf 算法, 但降噪效果仍然很好; 对于中速运动的 Vectra 序列和快速运动的 Football 序列, DTSS_2HMCf 算法的 IPSNR 都高于 TSS_2HMCf 和 DS_2HMCf 算法。实验结果说明采用下采样三步搜索的 DTSS_2HMCf 算法可以有效地提高降噪效果, 得到的实验结果与第 2 章中的预测结果相一致。

4 结语

本文提出了一种基于下采样的快速块匹配搜索算法——下采样三步搜索算法(DTSS)。先对当前帧和参考帧进行下采样, 生成采样帧; 然后, 在时域上以块为单位对当前帧的采样帧进行运动估计, 利用经典的三步搜索算法在参考帧的采样帧中搜索匹配块; 最后通过下采样还原并进行精细搜索, 得到当前帧的运动矢量场。算法继承了三步搜索法 TSS 的优势, 同时双线性插值下采样方法的低通特性, 使其在噪声干扰情况下搜索得到的运动矢量更加准确; 而采用下采样技术, 使得块匹配搜索算法搜索加快。实验结果表明, 在保持搜索准确度和提高搜索速度方面, DTSS 算法明显优于经典的三步法和菱形搜索等块匹配搜索算法, 并且本算法对各种级别的噪声具有较好的鲁棒性。结合经典的多假设运动补偿滤波(MHMCF)降噪算法对其进行测试, 从实验结果中可以看出,

每个算法分别对 3 个视频测试序列(慢速、中速、快速)、3 个噪声级别($\sigma_n^2 = 65$ 、 $\sigma_n^2 = 130$ 、 $\sigma_n^2 = 260$)进行测试, 视频测试序列包括 Akiyo、Vectra 和 Football, 各个序列长度为 50 帧, Akiyo 帧平面大小为 144×176 像素, 其余帧平面大小为 288×352 像素。测试结果如表 4 所示。

DTSS 算法能有效提高 MHMCF 处理后视频序列的 PSNR 值, 进一步说明了该算法应用于实时视频图像降噪中的可行性。

参考文献:

- [1] 余松煜, 张文军, 孙军. 现代图像信息压缩技术[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] TEKALP A M. Digital video processing [M]. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall, 1995.
- [3] KOGA T, IINUMA K, HIRANO A, et al. Motion compensated interframe coding for video conferencing [J]. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 1981, 11(9): 531-535.
- [4] 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.
- [5] BRAILEAN J C, KLEIHORST R P, EFSTRATIADIS S, et al. Noise reduction filters for dynamic image sequences: a review [J]. Proceedings of the IEEE, 1995, 83(9): 1272-1292.
- [6] GUO LIWEI, AU O C, MA MENG YAO, et al. A multihypothesis motion-compensated temporal filter for video denoising [C]// IEEE International Conference on Image Processing, 2006 (10): 1417-1420.
- [7] GUO LIWEI, AU O C, MA MENG YAO, et al. Fast multi-hypothesis motion compensated filter for video denoising [C]// 2007 IEEE Workshop on Signal Processing Systems. Washington, DC: IEEE, 2007: 283-288.
- [8] GUO LIWEI, AU O C, MA MENG YAO, et al. Temporal video denoising based on multihypothesis motion compensation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(10): 1423-1429.