

# 一种基于冗余小波变换的DT网格运动估计和运动补偿方法

于明 曲昕 郭迎春 朱庆文 姚旻

(河北工业大学计算机科学与软件学院, 天津 300130)

**摘要** 网格划分和网格顶点的运动估计是基于不规则网格的视频压缩技术的关键。为了进一步提高网格运动估计和运动补偿的效果,在综合比较现有冗余小波变换域运动估计方法和适用规则网格的EMRMC算法的基础上,提出了一种新的基于不规则网格的运动估计和运动补偿算法,即在冗余小波变换域提取特征点和运动潜在区,网格顶点的运动估计采用结合运动潜在区的在时域进行块匹配的运动估计和运动补偿方法,而运动补偿则通过三角形仿射变换完成。同时还给出了冗余小波变换域提取运动潜在区的计算模板。理论分析和实验结果表明,该算法在补偿效果方面较前两种方法得到了改进。

**关键词** 运动估计和补偿 Delaunay 三角形网格 冗余离散小波变换 多分辨运动分析 潜在运动区  
**中图分类号**: TN919.81 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)12-2072-08

## A Delaunay Mesh-based Motion Estimation and Compensation Scheme based on Redundant Wavelet Transform

YU Ming, QU Xin, GUO Ying-chun, ZHU Qing-wen, YAO Min

(School of Computer Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

**Abstract** In this paper, a new motion estimation and motion compensation scheme based on irregular mesh is proposed using a shift invariant redundant wavelet transform. Control points and PMA (potential motion areas) are identified with a simple correlated operator in the redundant wavelet subbands, while motion estimation is completed through incorporating the PMA into block matching algorithm in spatial domain. The motion compensation is realized through an affine transform mapping triangles from one frame to the other. Furthermore, we give a mask of the PMA. We compared it empirically to the two other ME/MC methods both based on regular mesh deployed in the spatial and based on irregular mesh deployed in the redundant wavelet domain. Experimental results indicate that the complexity has been reduced and the compensation effect could be improved compared to the other two ME/MC methods.

**Keywords** motion estimation and compensation, delaunay triangle mesh (DT), redundant discrete wavelet transform, multi-resolution motion analysis, potential motion areas (PMA)

## 1 引言

在基于不规则网格的运动图像压缩编码系统中,不但网格划分依赖于特征点的提取,而且有效的特征点提取是提高运动估计效率的关键。由于特征

点被认为是灰度变化明显、能够反映图像边缘和运动变化的点,因此依据特征点划分的网格能够很好地反映对象的纹理和边界。目前已发展了多种时域特征点提取方法<sup>[1~6]</sup>。近年来,小波技术迅猛发展,小波的一些优良性质引起了人们广泛关注,且运用小波变换提取特征点的方法也有一些研究<sup>[7~10]</sup>,本

基金项目:国家自然科学基金项目(60302018)

收稿日期:2005-10-26;改回日期:2006-10-09

第一作者简介:于明(1964~),男,教授,博士。研究方向为图像处理与模式识别、智能媒体接口及生物信息识别。E-mail: yuming@

hebut.edu.cn

文的研究主要是基于冗余小波变换<sup>[11,12]</sup>的不规则网格运动估计和运动补偿。

运动估计的最终目的是利用视频图像的空间冗余性来找到运动矢量和计算预测误差,并对二者编码。目前 2 维运动估计模型的研究方法很多,其中最常用的 BMA (block matching algorithm) 算法采用的是全局搜索方法,其缺点是运算量巨大,因此很多研究都从优化搜索路径方面进行改进。如在参考帧内待估计点的  $N \times N$  邻域内搜索,就是一种有效的方法。文献[11]、[12]提出了冗余小波变换域运动估计方法,由于其是利用冗余小波变换各子带等大小的性质,从而给运算带来很大方便,其还利用小波变换的空间方向性来提高搜索精度。但是这种方法运算复杂度大、精度不稳定。文献[9]提出的 EMRMC 方法是适用于规则网格的运动估计方法,由于该方法利用运动图像极大的空间冗余性,通过提取潜在运动区 (potential motion areas, PMA) 有效缩小了搜索区域,从而提高了效率。由于各分解子带大小不等,因此需要采用逐层扩散的方法来得到潜在运动区。

通过以上分析,本文提出了一种用冗余小波变换域提取特征点和潜在运动区,并结合时域搜索方法进行运动估计的方法,即,首先,采用 Cui 等人提出的冗余小波变换方法提取特征点<sup>[11,12]</sup>,进而得到 Delaunay 三角形 (DT) 网格。网格顶点的运动估计部分,先根据本文提出的模板在冗余小波变换域提取潜在运动区,同时考虑参考帧内进行运动估计的点的  $N \times N$  邻域的搜索区,只对同时落在这两个区域的点进行运动估计。由于运动发生的局部性和连贯性,以及小波变换的方向选择性使得潜在运动区在高频子带通常只占整个图像的很小部分,而时域  $N \times N$  块搜索方法更能保证搜索区域的有效性,可见新算法只在很小的、有效的搜索区内对有效的网格顶点进行运动估计,这从理论上说能够提高算法效率。

## 2 基于冗余小波变换的运动估计和运动补偿的方法

### 2.1 基于冗余小波变换的网格顶点获取

冗余小波变换近似于连续小波变换,其是除了下采样的传统离散小波变换 (discrete wavelet transform, DWT)。由于其没有下采样,不仅不同尺

度的时间抽样率固定,且离散小波变换固有的平移变化在这里也消除了,因此冗余小波后各子带的大小与原始图像的大小相同。

信号的奇异点在小波变换下,随着尺度的增大而增大,因此相邻尺度的小波系数直接相乘可以增强信号的特征点。由于冗余小波具有平移不变性,且各子带图像大小等尺寸,便于计算,因此算法采用相邻尺度子带系数相乘后求和的方法来得到模板<sup>[11]</sup>,并计算所有像素点的模板值,如果大于预设的阈值,即确定该点为特征点。这样整个图像的特征点就确定下来,也就生成了一个基于图像内容的 Delaunay 三角形网格图。模板如式(1)所示:

$$\text{mask}(x, y) = \left| \prod_{j=J_0}^{J_1} HL^{(j)}(x, y) \right| + \left| \prod_{j=J_0}^{J_1} LH^{(j)}(x, y) \right| + \left| \prod_{j=J_0}^{J_1} HH^{(j)}(x, y) \right| \quad (1)$$

其中,  $J_0$  和  $J_1$  代表开始和结束的尺度,  $HL^{(j)}(x, y)$ ,  $LH^{(j)}(x, y)$ ,  $HH^{(j)}(x, y)$  代表  $(x, y)$  点第  $j$  级的小波系数。因为冗余小波各子带的大小相同,所以可以直接做算术运算。

### 2.2 冗余小波变换域的运动估计方法<sup>[11,12]</sup>

通过相应的模板,特征点即可确定下来,该特征点能够反映从参考帧到当前帧的相关运动。通过寻找参考帧的特征点在当前帧最佳匹配点的方法,便可以得到运动矢量。匹配过程就是寻找参考帧中以该点为中心的  $N \times N$  矩形邻域,即当前帧的搜索窗内的匹配宏块。这一过程与通常采用的基于块的运动估计处理过程相似<sup>[11,12]</sup>。

Cui 等人算法中提出的在冗余小波变换域进行运动估计的方法,对于搜索窗内的一个向量,首先计算所有尺度下所有子带的绝对差,然后全部相加,其结果称为交叉子带或交叉尺度形变,最后将使交叉子带形变最小的矢量作为当前点的运动矢量。参见式(2),运动矢量  $(\Delta_x, \Delta_y)$  是参考帧中的顶点  $(x, y)$  与当前帧搜索窗内的匹配点  $(x, y)$  的位移差。

$$(\Delta_x, \Delta_y) = \arg \min_{-W \leq \Delta_x, \Delta_y \leq W} \text{MAE}(x - B/2, y - B/2, \Delta_x, \Delta_y) \quad (2)$$

其中,平均绝对误差

$$\text{MAE}(x, y, \Delta_x, \Delta_y) = \frac{1}{B^2} \sum_{k=1}^B \sum_{l=1}^B E_{\text{absolute}}(x + k, y + l, \Delta_x, \Delta_y) \quad (3)$$

绝对误差

$$E_{\text{absolute}}(x, y, \Delta_x, \Delta_y) = \sum_{j=1}^J 2^{-j} \{ |V_j^c(x + \Delta_x, y + \Delta_y) - V_j^r(x, y)| + |H_j^c(x + \Delta_x, y + \Delta_y) - H_j^r(x, y)| + |D_j^c(x + \Delta_x, y + \Delta_y) - D_j^r(x, y)| + 2^{-j} |B_j^c(x + \Delta_x, y + \Delta_y) - B_j^r(x, y)| \} \quad (4)$$

式中,  $c, r$  分别代表当前子带和参考子带,  $H_j, V_j$  和  $D_j$  分别代表  $j$  尺度下近似子带分量、水平子带分量、垂直子带分量和对角线子带分量,  $J$  为最高分解尺度。搜索过程中, 运动矢量大小在搜索窗范围内, 搜索尺寸  $N$  的大小不固定。

### 3 基于可变块 MRMC 的潜在运动区域运动估计和运动补偿方法

基于可变块的多分辨率运动补偿 (multi-resolution motion compensation, MRMC)<sup>[8,9]</sup> 是基于小波变换的规则网格运动估计方法。在小波变换域的算法中, 一帧运动图像分解为 3 层共 10 个小波子带, 其中在较高分辨率的两层各有 3 个子带, 在最低分辨率的一层有 4 个子带。最低的频带拥有原始图像的大部分信息能量, 而大小只有原图的 1/64。

文献[8]提出的随着各子带描述空间的分辨率不同而采用大小可变的运动分块算法, 有效地降低了运动搜索和匹配时间, 且得到的运动向量域也较平滑, 能较连贯地描述物体的连续运动。

文献[9]在基于可变块的 MRMC 的基础上, 提出了一种在小波子带确定潜在运动区域并有效限定搜索区的估计方法, 以便在潜在运动区内进行多分辨率运动估计。小波分解具有空间方向选择性, 可将一个方向的运动反映在 3 个子带中的一个或两个上。事实上, 由于连续两帧图像非常相似, 不仅大部分区域是相同的, 而且 PMA 一般分布稀疏, 且面积很小, 因此, 运动矢量的搜寻可以在局部高效完成。

同经典的 MRMC 相似, 潜在运动区的提取也是采用逐层扩散的方法, 即首先进行小波分解, 并分析最低分辨率的当前帧和参考帧近似子带图像, 同时计算它们的网格模型块的灰度值差, 如果大于设定的阈值, 则标记为 1, 否则为 0, 这样将得到一个与近似子带图像等大小的二值图像, 而且潜在运动区也就提取出来了; 然后用类似 MRMC 扩散的方法, 将二值图像一直扩散到各层, 运动估计就在各子带的

PMA 中进行。这种方法极大地减少了搜索时间, 也提高了运动估计的精度。

### 4 基于冗余小波变换的 DT 网格运动估计和补偿算法实现

冗余小波变换除了具有经典小波变换的各子带系数高度相关、方向选择性、能量集中性等所有特点外, 还具有各子带与输入图像大小相等以及平移不变性的特点, 这给算法的运算带来很大启发。

冗余小波变换用于提取特征点时, 将给直接算术运算、特征提取带来方便和高效。但在 Cui 等人提出的方法中<sup>[11]</sup>, 每一帧的运动估计都要在冗余小波变换域的各分辨率下先计算所有子带的绝对差, 然后相加作为交叉尺度形变, 其中使形变最小的矢量最终作为该点的运动矢量。由于一般冗余小波变换要进行三级分解, 也就是先在参考帧和预测帧共 16 对子图像中进行块匹配运算, 然后相加, 可见运算量很大, 因此不利于提高运动估计速度。而文献[9]的算法, 其潜在运动区是在 MRMC 的基础上采用逐级扩散的方法得到的, 是一种应用于规则网格的方法。本文直接利用前面冗余小波分解后的结果确定潜在运动区。

通过上述分析, 本文提出以下改进, 即直接在冗余小波变换基础上先进行潜在运动区的提取, 然后在时域进行运动估计。其中, PMA 是通过参考帧与当前帧灰度差提取出来的, 它的作用就是进一步精确提取运动变化区域。如同文献[11]、[12]中采用在冗余小波变换域直接计算得到网格顶点的道理一样, 同样也可以在冗余小波变换域通过计算来确定运动变化范围, 即潜在运动区。实验证明, 该方法能够在运算精度和预测效果上有所提高。利用特征点提取得到小波分解结果时, 首先在小波分解各子带间计算灰度值差, 然后直接取绝对值求和, 再根据模板 (见式(4)、式(5)) 得到二值图像, 即潜在运动区, 由于冗余小波变换的平移不变性, 可使利用本文方法得到的 PMA 能够正确反映运动变化的区域, 而且根据序列图像连续帧间极大的时间冗余性可知, 在很小的时间间隔内, 运动发生在很小的区域, 且帧间大部分区域是相同的, 不仅 PMA 分布较稀疏, 且面积较小。而采用连续几帧使用同一个 PMA 在时域进行块运动估计的方法, 较一般不规则网格运动估计方法, 其运动矢量的搜寻可以在局部区域高效地完成。

#### 4.1 网格特征点的提取

基于内容的不规则网格运动估计, 其关键技术

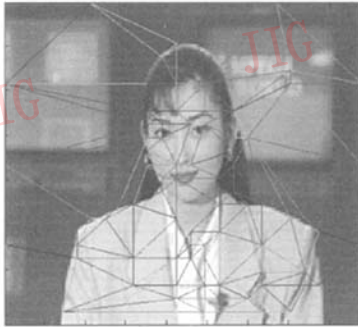
是顶点的运动估计,这些网格顶点既反映了图像的边缘和运动信息,也是图像的特征点。本文采用 Cui 等人提出的方法首先进行冗余小波变换,即不进行下采样的离散小波变换(DWT);然后基于灰度变化设置初始门限值,通过特征点提取模板来得到网格特征点。为了避免网格面积过小,需限制网格点的最小间距;最后根据特征点得到 Delaunay 三角形,从而完成 DT 网格的划分。

在进行网格特征点的选择时,考虑到序列图像帧间冗余的特点,本文选择了那些描述灰度变化明显(认为运动变化表现为像素的灰度变化)的像素点作为网格点,而那些灰度变化不明显的像素点则不被考虑选为网格点,但这样得到的网格面不一定能够覆盖全部图像。

如果为了使网格面覆盖整个图像,则要在边界处额外加入一些点(见参考文献[11])。在进行运动估计的时候,这些点的运动矢量一般为零(没有灰度的明显变化),由它们构成的 Delaunay 三角形片内部的点,其根据仿射变换公式得到的运动矢量

也会很小,这样运动补偿精度不会得到明显的提高,同时每多出一个网格点,其多出的网格片数目会迅速增加,从而带来运算复杂度的增加。如果采用本文分析的网格产生方法,对非网格顶点覆盖的像素点预先规定其运动矢量为零,这样主要分析可能发生了运动变化的点,则可提高运动补偿的效率(减少运动估计的像素数目和大大节省运算时间)。

本文仅以“*Akiyo*”序列为例,网格和网格点数接近的情况下做了实验说明。图 1(a)、图 1(b)表示两种网格的分布,分别取 80 个网格点、143 个网格和 81 个网格点、143 个网格,都采用 10 帧(由于序列图像的冗余性,连续几帧的运动变化很小,故每间隔 3 帧取一帧),运动估计采用以点为中心的 BMA 方法。运动补偿后图像的峰值信噪比如图 2 所示,其中覆盖全部图像的网格方法处理后图像的平均信噪比为 26.046 9dB,用本文提出的网格方法处理后图像的平均信噪比为 33.257 8dB,提高了 7.210 9dB,可见本文的网格方案的运动估计效果明显较优。



(a) 覆盖全部图像的网格



(b) 本文提出的网格法得到的 DT 网格面

图 1 两种 DT 网格面比较

Fig.1 Comparison of the two DT mesh

#### 4.2 潜在运动区 PMA 的提取

网格顶点反映了图像边缘和运动的信息,但并不是所有的网格顶点都是运动的,因根据具体情况,在一定门限以下有相当多的网格顶点是不运动的,若简单采用块匹配的搜索方法,按  $16 \times 16$  宏块  $16 \times 16$  搜索窗计,则每增加一个估计点将进行  $16 \times 16 \times 17$  pixels 的运算量。本文提出的 PMA 是根据参考帧与当前帧的差别提取出来的,它的作用就是进一步找到运动变化区域,以解决上述问题。

结合冗余小波变换的各子带系数的高度相关性、方向选择性、各子带与原始图像大小相等以及平

移不变等性质,本文还提出了在冗余小波变换域进行 PMA 提取的模板。提取 PMA 的模板如式(5)、式(6)所示。模板由多子带组成,包括近似子带  $LL$ 、低-高频子带  $LH$ 、高-低频子带  $HL$ 、高-高频子带  $HH$ :

$$mask(x, y) = \sum_{j=0}^{J_1} (|LL_c^{(j)}(x, y) - LL_r^{(j)}(x, y)| + |LH_c^{(j)}(x, y) - LH_r^{(j)}(x, y)| + |HL_c^{(j)}(x, y) - HL_r^{(j)}(x, y)| + |HH_c^{(j)}(x, y) - HH_r^{(j)}(x, y)|) \quad (5)$$

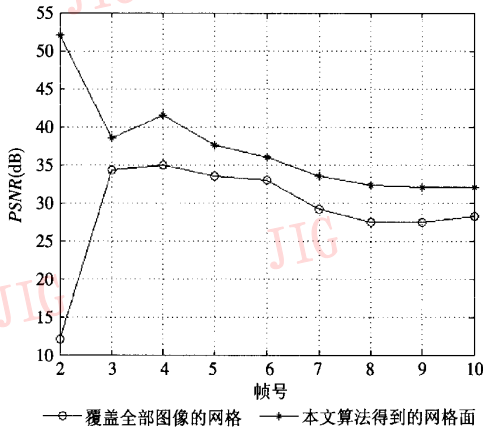


图 2 两种网格面的峰值信噪比

Fig. 2 PSNR of the two kinds of DT schemes

$$PMA(x, y) = \begin{cases} 1 & mask(x, y) \geq \Gamma_0 \\ 0 & mask(x, y) < \Gamma_0 \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $J_0$  和  $J_1$  代表开始和结束的尺度。因为冗余小波各子带的大小相同,故可以直接做算术运算。 $I_c$ 、 $I_r$  分别代表当前图像和参考图像,  $\Gamma_0$  是预设的门限值。先利用前面步骤即可得到冗余小波分解结果; 然后通过分析各分辨率下的当前帧和参考帧子带图像来计算它们的网格点的灰度值差并求和, 如果大于设定的阈值, 则标记为 1, 否则为 0, 这样即可得到一个与近似图像等大小的二值图像, 潜在运动区就提取出来了; 最后在 PMA 中进行时域宏块运动估计。由于冗余小波变换各子带是平移不变的, 因此直接通过计算各子带灰度差提取的 PMA 能够比较好的反映运动变化区域。

#### 4.3 时域运动估计和仿射变换运动补偿

网格顶点的运动估计是在经典的以该点为中心的宏块运动估计方法基础上的改进。经典的块匹配是先在当前帧以网格顶点为中心取得  $N \times N$  (本文采用  $16 \times 16$ ) 的宏块, 然后在参考帧以该点位置为中心的  $n \times n$  (本文一般采用  $16 \times 16$ , 对于图像边缘的特征点, 这个范围会随着到边界的距离变化而可变动地调整) 的范围内搜索匹配宏块, 其位移差即该顶点的运动矢量。本方法采用了上述搜索范围和 PMA 区域来共同限制的区域搜索匹配宏块的方法, 即判断当前帧和参考帧的网格顶点是否落在 PMA 内, 将不在 PMA 的当前帧和参考帧的网格顶点运动矢量规定为 0。同时搜索区 ( $16 \times 16$ ) 内的点, 对落在 PMA 内的点进行运动估计, 不在 PMA 内的点跳过, 不进行运动估计。在得到了网格点的运动矢量

后, 就能够计算仿射变换公式的 6 个系数, 确立了仿射变换方程后, DT 网格内的其他点的运动矢量就可根据仿射变换方程得到。实验结果显示了视频图像运动补偿后的峰值信噪比 (peak signal noise ratio, PSNR) 值。

## 5 实验结果

为验证本文方法的效果, 采用 Matlab 软件进行了仿真实验, 主要研究慢速运动序列图像。由于本文主要研究不规则网格运动估计的理论方法, 所以只在不规则网格运动估计算法的范围内对不同算法的性能进行比较, 即将本文提出的方法与时域运动估计方法和 Cui 等人提出的冗余小波域运动估计方法进行对比。量化和编码方法没有在本文讨论。

实验采用的图像为  $144 \times 176$  大小的“Akiyo”图像 (90 帧) 和  $288 \times 352$  大小的“Mother & Daughter” (本文简称“Mother”序列, 100 帧) 序列, 标准测试图像均为 CIF/QCIF 格式, 运动估计采用 Y-帧 (亮度图像分量), 其包含了彩色视频图像几乎全部的运动信息, 而且都采用第 1 帧作为 I 帧, 后面帧都作为 P 帧, 运动估计采用根据前一帧的预测图像来预测当前帧的方法。编码采用 DB5.3 紧聚集正交小波, 边缘整点对称延拓, 运动补偿为整数精度。

时域网格估计方法中, I 帧图像先经过 Sobel 灰度增强算子处理, 其得到的特征点反应了图像灰度变化和运动信息; 然后计算以网格点为中心的  $16 \times 16$  大小的宏块在参考帧 (根据点的位置是可变的) 的搜索窗内的匹配宏块。Cui 等人提出的运动估计方法中, 首先用冗余小波变换提取特征点来确定 DT 网格, 然后对所有尺度下的所有子带进行同上述时域方法相似的块匹配搜索, 再相加求和, 通过找最小形变量得到运动矢量。该方法全部在冗余小波变换域内实现。

由于序列图像有很强的时间冗余性, 因此本文实验 3 种方法处理的图像都采取每间隔两帧 (“Mother”序列, 参与运动补偿的 50 帧) 或每间隔 3 帧 (“Akiyo”序列, 参与运动补偿的 31 帧) 取一帧。参加运动估计的网格顶点数目相近, 本文方法和文献 [11] 的方法处理的 “Mother” 序列图像取 86 个网格顶点, “Akiyo” 序列图像取 81 个网格顶点。时域运动估计方法 “Mother” 序列图像取 82 个网格顶点, “Akiyo” 序列图像取 84 个网格顶点。网

格点确定后由时域和冗余小波变换得到的 Delaunay 三角形网格图分别如图 3 和图 4 所示,本文提出的方法的特征点提取和网格生成同文献[11]方法。图 5 和图 6 分别显示的是本文提出的方法的 PMA 图(二值图),图 5 是“Akiyo”序列由不同两帧提取出的 PMA 图,图 6 显示的是“Mother”序列图像的 PMA 图,可见 PMA 动态的随着图像运动而变化。

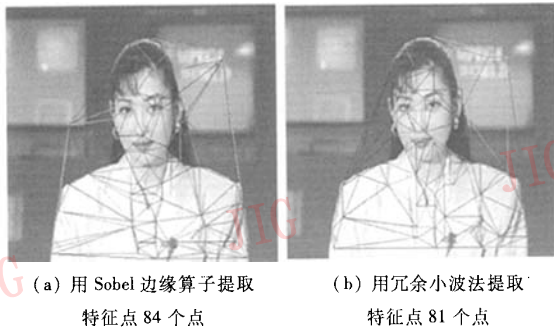


图 3 “Akiyo”序列的 DT 网格图  
Fig.3 The DT mesh of “Akiyo” sequence

实验结果中运动估计与运动补偿后图像的峰值信噪比(“Akiyo”序列 30 帧,“Mother”序列 50 帧)如



图 5 由“Akiyo”序列图像提取的 PMA  
Fig.5 The PMA from “Akiyo” sequence

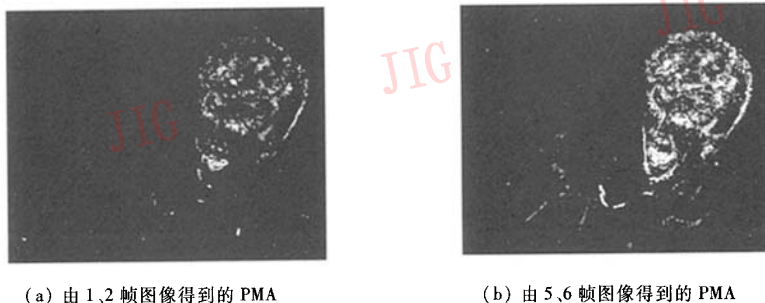


图 6 由“Mother& Daughter”序列图像提取的 PMA  
Fig.6 The PMA from the “Mother & Daughter” sequence



(a) 用 Sobel 边缘算子提取特征点 82 个点  
(b) 用冗余小波法提取特征点 86 个点

图 4 “Mother&Daughter”序列的 DT 网格图  
Fig.4 DT mesh of “Mother & Daughter” sequence

图 7 所示,3 种方法压缩后图像的平均峰值信噪比比较见表 1。从表 1 可见,对于“Mother”序列图像,本文方法处理后图像的平均峰值信噪比为 25.9568dB,分别比其他两种算法处理后图像的平均峰值信噪比提高了 0.78dB 和 1.7dB。对于“Akiyo”序列图像,本文算法上述结果没有明显优势,从图 7 可以看出,开始的几帧,本文提出的算法比其他两种算法处理后图像的平均峰值信噪比值大,效果较好,而后面几帧则没有明显提高,这说明了,在后续帧中,运动变化范围与开始的几帧比,增

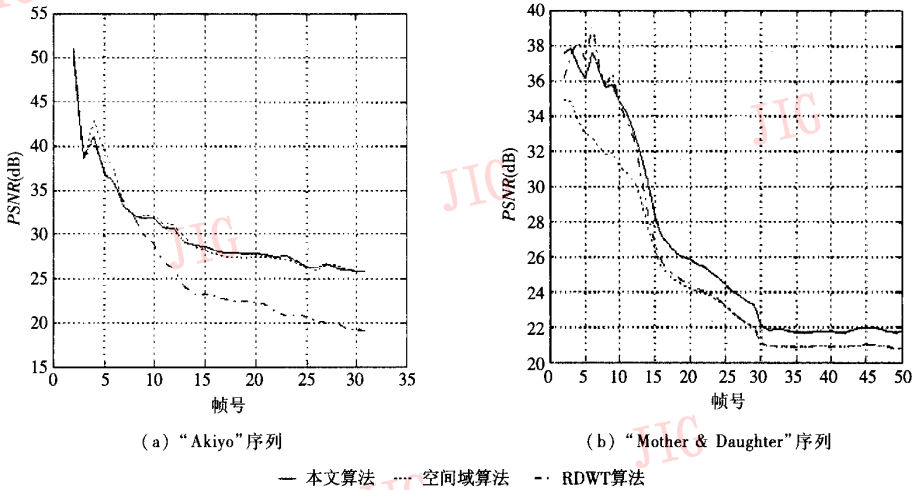


图 7 用 3 种方法进行运动补偿后图像的 PSNR 值比较

Fig. 7 Comparison of PSNR with the other two schemes after compensation

表 1 3 种算法运动补偿后图像的平均峰值信噪比比较

Tab. 1 Comparison of the new scheme with the other two schemes for average PSNR

视频序列	不同算法进行运动补偿后图像的平均峰值信噪比 (dB)		
	空间域算法	RDWT 算法	本文算法
"Akiyo"	29.549 8	25.326 8	29.444 8
"Mother & daughter"	24.254 0	25.170 0	25.956 8

大很多,由于改进算法的潜在运动区面积也随着变大,这时运动搜索区域与时域的块运动估计搜索区域面积相当,因此运动估计效果不再明显。另外,网格特征点提取和 PMA 提取的阈值是事先确定的,其虽能够满足开始帧的特点,但是在后续处理中不能完全随着帧数增加而动态地反映运动变化,这样也限制了运动补偿的效果。

## 6 结 论

通过理论研究和实验验证,本文提出的方法的特点总结如下:

(1) 实验结果表明,本算法在运动补偿效率上,较时域不规则网格算法和 Cui 等人提出的冗余小波域运动估计算法有所改进。本文算法运动补偿后图像的平均峰值信噪比较其他两种方法最高可分别提高 1.7dB 和 0.78dB,其不仅对缓慢变化序列的运动估计表现优良,而且能够改善运动补偿质量。理论

分析表明,由于冗余小波变换性质决定了本算法能够方便准确地得到网格顶点和 PMA,因此反映图像运动变化和运动估计的搜索范围更准确。

(2) 结合了运动潜在区与宏块搜索方法各自的优势,并提高了两者效率。由于相邻两帧间运动变化很小,运动变化的区域分布也很小,因此潜在运动区动态地随着运动发生变化,这样可以减小运动估计的时间。由于运动变化不大,且运动匹配点也分布在该点附近的一个小的范围,因此不应该在图像 PMA 的所有区域搜索,而应结合时域块搜索方法避免这个问题,虽然在理论上该方法能够提高块搜索效率,但目前程序的优化还在处理中。

(3) 本方法是在经典时域搜索估计方法的基础上对搜索域进行限制,而没有采用在冗余小波变换域做改进。因为 Cui 等人提出的估计方法的运动估计先需要进行多个子带块匹配,然后才能求和,这不仅复杂度大,精度不稳定,而且效果并不很理想。

本文提出的算法改进设想,在实现上有一定的适用范围,下面就本算法的不足和值得研究的方面做如下讨论:

(1) 本算法不适于场景中运动剧烈、纹理丰富的图像分析。图像运动变化较小时,该方法会取得明显效果。当运动变化大而多时,该方法的优势不再明显,因为 PMA 区域将增大,其限制搜索域的作用也将减小,故此时 PMA 基本上接近宏块运动估计搜索域。

(2) 本文目前对不同序列图像特征提取的阈值

采用经验值。由于其具有不能自动跟踪图像运动的特点,因此,本文没有采用间隔几帧重新确定网格和 PMA 的更具实用性的编码算法进行实验。

(3) 本文选择的标准序列图像并不十分丰富,图像的数据量和运动变化量比较小,其原因主要是由于目前软件对于庞大的视频数据的处理能力受到限制,所以理论上的工作研究和算法实现完全采用程序仿真实现。如果结合数字信号处理器(DSP)进行算法和理论的尝试,将更有助于推动整个视频系统在理论和实践上的发展。

本研究领域技术发展的展望如下:

(1) 开展门限处理的模型研究,将起到优化算法的作用。门限程序化的理论是今后进一步研究的问题,而且主要应该结合数学模型进行研究,这对序列图像编码系统的实用性研究更具意义。

(2) PMA 的提取是在冗余变换域而不是在时域,而且是根据了冗余小波变换的以下性质:①变换后各子带等大小;②具有方向选择性、平移不变性;③运动只反映在 3 个子带中的一个或者两个上,PMA 区域很小;④不易受噪声影响。因此将冗余小波变换应用在视频图像运动估计和运动补偿算法的研究上,将有很大的发展前景,值得进一步研究。

### 参考文献 (References)

- 1 Nakaya Y, Harashima H. Motion compensation based on spatial transformation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1994, 4(3): 339 ~ 356.
- 2 Wang Y, Lee O. Active mesh-A feature seeking and tracking image sequence representation scheme [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3(5): 610 ~ 624.
- 3 Ghassan Al-Regib, Yucler Altunbas, Russell M. Hierarchical motion estimation with content-based meshes [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(10): 1000 ~ 1005.
- 4 Altunbasak Y, Tekalp A M. Closed-form connectivity-preserving solutions for motion compensation using 2-D meshes [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(9): 1270 ~ 1280.
- 5 Lu Zhao-yang, Zhou Xing-ni, Gao Xi-quan, et al. Triangular mesh model-based video coding: motion estimation, compensation and residual image processing [J]. Journal of China Institute of Communications, 2002, 23(11): 65 ~ 73. [卢朝阳,周幸妮,高西全等. 三角形网格基活动图像编码研究——运动估计、运动补偿和残差图像处理[J]. 通信学报, 2002, 23(11): 65 ~ 73.]
- 6 Liu Hong-mei, Huang Jin-ke, Xiao Zi-mei, et al. A region-segmentation-based multiresolution motion compensation wavelet video coding algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7A(3): 292 ~ 296. [刘红梅,黄金科,肖自美等. 基于区域分割的小波分解运动补偿编码算法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(3): 292 ~ 296.]
- 7 Lu Zhao-yang, Zhou Xing-ni, Gao Xi-quan, et al. Multiresolution Delaunay triangulation model-based image representation scheme [A]. In: Proceedings of IEEE Region 10 International Conference on Electrical and Electronic Technology [C], Singapore, 2001, 1: 202 ~ 205.
- 8 Zhang Ya-qin, Sohail Zafar. Motion-compensated wavelet transform coding for color video compression[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1992, 2(3): 285 ~ 296.
- 9 Wei Jie, Li Ze-nian. An enhancement to MRMC scheme in video compression [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, 7(3): 564 ~ 568.
- 10 Xu Jie-wei, Wei Gang, Bu Li-wen. A new wavelet decomposition motion compensation algorithm based on morphological segmentation [J]. Journal of Image and Graphics, 1998, 3(9): 727 ~ 733. [许洁斌,韦岗,布礼文. 一种基于形态变换的小波分解运动补偿编码新算法[J]. 中国图象图形学报, 1998, 3(9): 727 ~ 733.]
- 11 Cui S X, Wang Y, Fowler J E. Mesh-based motion estimation and compensation in the wavelet domain using a redundant transform [A]. In: Proceedings of the International Conference on Image Processing [C], Rochester, NY, USA, 2002, 1: 693 ~ 696.
- 12 Cui S X. Motion estimation and compensation in the redundant wavelet domain [D]. Mississippi State, Mississippi, USA: Mississippi State University, 2003.