

基于二次空间变换的快速时空分割

张颖 张兆杨

(上海大学通信与信息工程学院, 上海, 200072)

摘要 在传统的 H. 261/3 以及 MPEG-1/2 标准中是采用基于块的压缩算法, 可在低比特率运用时, 会出现严重的块状效应及蚊式噪声。为了克服上述弱点, 近来提出的面向对象的视频编码算法, 曾采用时空分割方法将图象分割成若干个具有一致运动的区域。其虽可克服传统编码算法的缺陷, 但却需有多次计算复杂的运动模型参数, 因而造成巨大的运算负载。本文提出了一种基于二次空间变换的快速时空分割算法(QBFTSS), 即在图象空域分割及区域二次空间变换运动模型参数估计的基础上, 通过将非线性的参数估计问题线性化, 以及运用 Householder 变换, 求区域相应的 R, z 矩阵的快速算法等方法, 来有效地降低时空分割的运算负载。

关键词 图象编码 图象时空分割 快速算法 二次空间变换 正交变换

中图分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)09-0744-06

Fast Temporal-Spatio Segmentation Algorithm Using Quadric Spatial Transformations

ZHANG Ying, ZHANG Zhao-yang

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

Abstract Since the traditional H. 261/3 and MPEG-1/2 standards employ the block-based compression algorithm, decoded images are suffered from severely blocky artifacts and mosquito effects at low bit rate. To overcome these weakness, object-based video coding approaches are proposed which segment each image into regions of coherent motion. However, the estimation of more complex motion model is required a lot of times and a large amount of computations is, therefore, unavioded. In this paper, a fast temporal-spatio segmentation algorithm is presented using quadric spatial transformations motion model. Based on the image spatial segmentation and the estimation of the parameters of quadric spatial transformations motion model, the amount of computation for temporal-spatio segmentation is efficiently decreased through the linearization the estimating for model parameters, Householder transformation and the fast approach for R, z matrix.

Keywords Image coding, Temporal-spatio segmentation, Fast algorithm, Quadric spatial transform, Orthogonal transform

0 引言

随着对基于 N-ISDN 及 PSTN 的视频通讯需求的增长, 甚低比特率的视频压缩方法得到广泛的研究^[1,2]。传统的 H. 261/3 以及 MPEG-1/2 标准在低比特率应用时, 会出现严重的块状效应及蚊式噪声, 因此为了克服基于块的视频编码法的固有弱点, 近来提出了面向对象的视频编码算法。其基本思想

是先将一个视频序列的每一帧, 分割成若干个具有一致运动的区域, 然后对这些区域分别估计仿射或二次空间变换等较复杂的运动模型参数^[3,4]。该一致运动区域可采用时空分割^[4,5]的方法获得, 然后即可在图象空域分割的基础上, 对所得区域分别估计上述模型参数。而后再对每两个相邻的区域分别判断是否为一致运动区域, 即是否可成功地合并区域估计模型参数。显然, 为获得最终的一致运动区域, 需多次计算合并区域的运动模型参数, 而且上述模

型参数的估计远比基于块的运动模型来得复杂, 因而造成时空分割算法的巨大运算负载。

为克服上述缺陷, 本文提出了一种基于二次空间变换运动模型快速时空分割算法(QBFTSS), 即在图象空域分割及区域二次空间变换运动模型参数估计的基础上, 通过将非线性的运动模型参数估计问题线性化, 以及运用 Householder 变换、求区域相应的 R 、 z 矩阵的快速算法等方法, 来有效地降低时空分割的运算负载。

本文方法所以以二次空间变换运动模型为基础, 是由于其不仅能补偿诸如平移、尺度变化、旋转及剪切等变化(仿射变换), 而且由于变换式中含有二次项, 因而能补偿诸如形变(Warping)及非均匀伸展等非线性变化^[6]。

1 二次空间变换运动模型参数的估计

图象空间变换的数学定义为

$$f(u, v) = g(x, y) = g(a(u, v), b(u, v)) \quad (1)$$

其中, $g(x, y)$ 为源图象或输入图象的亮度函数, $f(u, v)$ 为目标图象或输出图象的亮度函数。 (x, y) 指源图象坐标, (u, v) 指目标图象坐标。 $x = a(u, v)$ 及 $y = b(u, v)$ 为表示源图象与目标图象坐标之间关系的映射函数。本文中, 函数 $a(u, v)$ 和 $b(u, v)$ 采用二阶变换形式^[6], 即

$$x = a(u, v) = a_1u^2 + a_2u + a_3uv + a_4v^2 + a_5v + a_6 \quad (2)$$

$$y = b(u, v) = b_1u^2 + b_2u + b_3uv + b_4v^2 + b_5v + b_6 \quad (3)$$

移位像素差 DPD 为

$$DPD[u, v]_{\in m} = I_c[u, v]_{\in m} - I_r[a(u, v)_{\in m}, b(u, v)_{\in m}] \quad (4)$$

其中, $[u, v]_{\in m}$ 表示属于某一区域 m 中的某个像素位置坐标, I_c, I_r 分别表示当前帧及参考帧的亮度函数。 $a(u, v)$ 和 $b(u, v)$ 如式(2)及式(3)所示。

令
$$d = [d_1, d_2, \dots, d_{11}, d_{12}] = [a_1, a_2, \dots, a_6, b_1, b_2, \dots, b_6] \quad (5)$$

即用矢量 d 表示式(2)、式(3)二次空间变换的系数。则区域 m 的预测误差 E_r 可表示为^[3]

$$E_r = \sum_{u \in m} \sum_{v \in m} DPD^2[u, v, d] \quad (6)$$

为使 E_r 最小, 可采用 Gauss-Newton 算法^[7], 即

$$d^{(n+1)} = d^{(n)} - \left[\left| J(d^{(n)}) \right|^T J(d^{(n)}) \right]^{-1} \times \left[\left| J(d^{(n)}) \right|^T f(d^{(n)}) \right] \quad (7)$$

其中, $J(d^{(n)})$ 为 $DPD(u, v, d)$ 第 n 次迭代时的一阶导数矩阵, $f(d^{(n)})$ 为第 n 次迭代时的移位像素差矩阵。

2 快速时空分割算法的基本思想及算法框图

2.1 线性化及正交变换

由以上分析可知, 采用 Gauss-Newton 法估计二次空间变换模型参数的算法核心可由式(7)决定。为了获得满意的变换结果, 需迭代 6 次^[3]。在时空分割算法中, 为获得一致运动区域, 还需多次为合并区域估计运动参数, 因而造成巨大的运算负载, 为此, 必须寻找能有效计算合并区域模型参数的方法。可是在计算时, 若在为图象每个分割区域估计了运动模型参数之后, 能在计算合并区域模型参数时利用待合并区域的已知模型信息, 则能有效地提高时空分割算法的效率。这正是本文提出的基于二次空间变换运动模型快速时空分割算法的主要思想之一, 现将该算法具体描述如下:

假设已获得当前帧的空域分割, 且已为每个区域估计了二次空间变换运动模型参数。任取两相邻区域 m 及 l 。其区域 m 的运动模型参数为 d'_m , $[x'_m, y'_m]$ 为区域 m 中某点由 d'_m 决定的映射坐标。类似地, 区域 l 的运动模型参数为 d'_l , $[x'_l, y'_l]$ 为区域 l 中某点相应的映射坐标。又令待估计的合并区域 ml 的运动模型参数用 d''_{ml} 表示, $[x''_{ml}, y''_{ml}]$ 为相应的映射坐标, 则合并区域 ml 的预测误差为

$$\sum_{(u, v) \in ml} [I_c(u, v) - I_r(x''_{ml}, y''_{ml})]^2 \quad (8)$$

若使其取最小值, 即可求得运动模型参数 d''_{ml} 。将 $I_r(x''_{ml}, y''_{ml})$ 在各个区域(区域 m 或 l) 相应的映射坐标处展开成一阶泰勒级数, 即, 若式(8)中的点 $[u, v]$ 属于区域 m , 则

$$I_r(x''_{ml}, y''_{ml}) = I_r(x'_m, y'_m) + \frac{\partial I_r(x'_m, y'_m)}{\partial y} (y''_{ml}, y'_m) + \frac{\partial I_r(x'_m, y'_m)}{\partial x} (x''_{ml}, x'_m) \quad (9)$$

若点 $[u, v]$ 属于区域 l , 则

$$I_r(x''_{ml}, y''_{ml}) = I_r(x'_l, y'_l) + \frac{\partial I_r(x'_l, y'_l)}{\partial y} (y''_{ml}, y'_l) + \frac{\partial I_r(x'_l, y'_l)}{\partial x} (x''_{ml}, x'_l) \quad (10)$$

将式(9)、式(10)代入式(8)并使式(8)最小,此即相当于求如下线性超定方程组的最小二乘解,即

$$\mathbf{G}_{ml}\mathbf{d}''_{ml} = \mathbf{y}_{ml} \quad (11)$$

其中: \mathbf{G}_{ml} 为 $N \times 12$ 矩阵, \mathbf{y}_{ml} 为 N 维向量, N 代表合并区域 ml 所含像素数。此最小二乘解可通过对 \mathbf{G}_{ml} 、 \mathbf{y}_{ml} 进行 Householder 变换^[8]来获得,即

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_{ml}\mathbf{G}_{ml} &= \mathbf{R}_{ml} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{ml1} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \\ \mathbf{Q}_{ml}\mathbf{y}_{ml} &= \mathbf{z}_{ml} = \begin{bmatrix} \mathbf{z}_{ml1} \\ \mathbf{z}_{ml2} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (12)$$

其中, \mathbf{Q}_{ml} 为 Householder 矩阵; \mathbf{R}_{ml} 为上三角矩阵; \mathbf{z}_{ml} 为向量。由此可得式(11)的最小二乘解为

$$\mathbf{R}_{ml1}\mathbf{d}''_{ml} = \mathbf{z}_{ml1} \quad (13)$$

此处值得注意的是: \mathbf{R}_{ml} 、 \mathbf{z}_{ml} 不必直接据式(12)获得。由式(11)的推导过程可见,矩阵 \mathbf{G}_{ml} 及向量 \mathbf{y}_{ml} 皆由两部分组成

$$\mathbf{G}_{ml} = \begin{bmatrix} \mathbf{G}_m \\ \mathbf{G}_l \end{bmatrix}, \mathbf{y}_{ml} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_m \\ \mathbf{y}_l \end{bmatrix} \quad (14)$$

其中, \mathbf{G}_m 及 \mathbf{y}_m 由区域 m 及其运动模型参数决定(见附录),而 \mathbf{G}_l 及 \mathbf{y}_l 的具体表达式与其类似,只是由区域 l 及其运动参数决定。对 \mathbf{G}_m 、 \mathbf{y}_m 、 \mathbf{G}_l 、 \mathbf{y}_l 分别做相应的 Householder 变换得

$$\mathbf{Q}_m\mathbf{G}_m = \mathbf{R}_m = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_m \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \mathbf{Q}_m\mathbf{y}_m = \mathbf{z}_m = \begin{bmatrix} \mathbf{z}_{m1} \\ \mathbf{z}_{m2} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\mathbf{Q}_l\mathbf{G}_l = \mathbf{R}_l = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_l \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \mathbf{Q}_l\mathbf{y}_l = \mathbf{z}_l = \begin{bmatrix} \mathbf{z}_{l1} \\ \mathbf{z}_{l2} \end{bmatrix} \quad (16)$$

然后用构造矩阵 $\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_m & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_l \end{bmatrix}$ 分别对式(11)中的 \mathbf{G}_{ml} 、 \mathbf{y}_{ml} 做变换,并将式(15)、式(16)的结果代入得

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_m & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_l \end{bmatrix} \mathbf{G}_{ml} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_m & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{G}_m \\ \mathbf{G}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_m \\ \mathbf{R}_l \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_m & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_l \end{bmatrix} \mathbf{y}_{ml} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_m & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{y}_m \\ \mathbf{y}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{z}_m \\ \mathbf{z}_l \\ \mathbf{z}_{l1} \\ \mathbf{z}_{l2} \end{bmatrix} \quad (18)$$

由于 \mathbf{Q}_m 、 \mathbf{Q}_l 为正交矩阵,故 $\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_m & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_l \end{bmatrix}$ 也为正交矩阵。比较式(12)、式(17)可知,只需对式(17)两端做相当于左乘一系列正交矩阵的初等变换,使 \mathbf{R}_l 变成 $\mathbf{0}$ 矩阵,即可求得 \mathbf{R}_{ml} ;而以同样的变换作用于式(18)两端,即可得 \mathbf{z}_{ml} 。

以上分析表明,若已得到两相邻区域 m 及 l 的二次空间变换模型参数,并且由其通过线性化及正交变换已获得两区域相应的 \mathbf{R} 、 \mathbf{z} 矩阵(见式(15)、(16)),则为求得两区域之合并区域 ml 的模型参数,只需由已知的 \mathbf{R}_m 、 \mathbf{R}_l 、 \mathbf{z}_m 、 \mathbf{z}_l 来构造相应的矩阵即可,即

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}_m & \mathbf{z}_m \\ \mathbf{R}_l & \mathbf{z}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{ml} & \mathbf{z}_{ml} \\ \mathbf{0} & \mathbf{z}_{m2} \\ \mathbf{R}_{l1} & \mathbf{z}_{l1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{z}_{l2} \end{bmatrix} \quad (19)$$

我们称之为 \mathbf{Rz} 合成矩阵。通过相当于左乘一系列正交矩阵的简单的初等变换及式(13)的回代运算,即可求得合并区域的二次空间变换模型参数,而无需再一次用第二部分中的复杂算法求合并区域的模型参数!显然,上述结论适合每一个两两相邻的区域。

用线性化及正交变换法求合并区域模型参数所需的乘法数 $LOMUL$ 为

$$\begin{aligned} LOMUL &= 4 \left| \frac{n_p(n_p+1)}{2} \right| + 4 \left| \frac{n_p(n_p+1)}{2} - n_p \right| + \\ &\dots + 4 = 1\ 456 \end{aligned} \quad (20)$$

其中, $n_p = 12$ 表示二次空间变换模型参数的个数。

而采用第1节中的 Gauss-Newton 法估计合并区域模型参数,其核心算法由式(7)决定,故所需乘法数 $GNMUL$ 约为

$$\begin{aligned} GNMUL &= \left| 12^2 n_m + 12 n_m + \frac{n_p^3}{3} + n_p^2 - \frac{n_p}{3} \right| n_i \\ &= 936 n_m + 4\ 296 \end{aligned} \quad (21)$$

其中, n_m 代表合并区域像素数; $n_p = 12$ 表示二次空间变换模型参数的个数; n_i 为迭代次数。

比较式(20)和(21)显然可见,采用上述线性化及正交化算法,将有效降低估计合并区域运动模型参数的运算复杂度。

2.2 求区域相应的 \mathbf{R} 、 \mathbf{z} 矩阵的快速算法

以上的算法虽然可有效降低计算合并区域运动模型系数的复杂度,但却以每个区域计算相应的 \mathbf{R} 、 \mathbf{z} 矩阵为代价,其所需乘法数约为

$$2m^2(n+1) - 2mn \quad (22)$$

其中, m 代表区域像素数, $n = 12$ 。当区域较大时,计算负载相当大。例如,对典型的 QCIF 视频序列 Miss 中的第 78 帧用质心链接区域增长算法进行图象分割,共得 23 个区域(见图 1(d))。其中有一个区域含 1 412 个像素点。据式(22),计算此区域的 \mathbf{R} 及 \mathbf{z} 矩阵约需 50M 次乘法!计算量仍相当大。为此,我



图 1 快速时空分割算法(QBFSS)及用 Gauss-Newton 法估计二次空间变换运动模型的时空分割实验比较

们提出区域自划分法,即按逐行扫描方式将某个区域划分成若干个子区域,分别计算它们的 R 、 z 矩阵,而后由这些矩阵合成整个区域的 R 、 z 矩阵。此法可有效加快计算 R 、 z 矩阵的速度。这是我们提出的基于二次空间变换运动模型快速时空分割算法的另一个主要思想,具体描述如下:

假定区域的 m 象素数为 c , 设定某个象素数门限 t 。若 $c < t$, 则按上述线性化及 Householder 变换计算 R 、 z 矩阵; 若 $c > t$, 则逐行扫描区域 m 的象素点, 使每个 t 点形成一个子区域, 同时, 算法需保证最后一个子区域的象素数大于等于 t , 如此形成 n 个子区域 m_1, m_2, \dots, m_n , 再对这些子区域分别用 Householder 变换, 计算相应的 R 、 z 矩阵, 而后构造如下矩阵

$$\begin{bmatrix} R_{11} & 0 & R_{21} & 0 & \dots & R_{n1} & 0 \\ z_{11} & z_{12} & z_{21} & z_{22} & \dots & z_{n1} & z_{n2} \end{bmatrix}^T \quad (23)$$

然后经正交变换以消去矩阵中的 $R_{21}, R_{31}, \dots, R_{n1}$ 分块矩阵, 就可求得区域 m 的 R_m 及 z_m 矩阵, 进而求得此区域的二次空间变换模型系数。

为给出阈值 t 的确切值, 先证明如下两个结论:

结论 1 区域自划分法的有效性

理论上, 若采用二次空间变换运动模型, 则对任一分割区域均可采用区域自划分法求相应的 R 、 z 矩阵, 其所需乘法数要少于直接计算该区域的 R 、 z

矩阵所需的乘法数。

证明: 令某一区域所含象素数为 m , 该区域按每 k 个象素数为一个子区域来划分。据式(22), 若不采用区域划分法, 则计算区域相应的 R 、 z 矩阵所需的乘法数约为

$$26m^2 - 24m \quad (24)$$

若采用区域划分法, 由式(20)、(22)可知, 所需的乘法数约为

$$\frac{m}{k} [26k^2 - 24k] + 1456 \times \left| \frac{m}{k} - 1 \right| \quad (25)$$

为使区域划分法有效, 必须使式(25)乘法数小于式(24), 所得结果为

$$4.67 < k < m \quad (26)$$

由于二次空间变换运动模型有 12 个参数, 故图象分割所得区域至少应包含 12 个象素。据此及式(26)可知, 上述结论 1 成立。

结论 2 区域自划分法的单调性

理论上, 若采用二次空间变换运动模型, 则对任一分割区域均可采用区域自划分法求相应的 R 、 z 矩阵, 其所需乘法数随子区域象素数的减小而单调下降。

证明: 假设 $f(k)$ 表示采用区域划分法所需乘法数, k 的含义同前, 据式(25)可得

$$f(k) = \frac{m}{k} [26k^2 - 24k] + 1456 \times \left| \frac{m}{k} - 1 \right| \quad (27)$$

其一阶导数为

$$f'(k) = \frac{26mk^2 - 1456m}{k^2} \quad (28)$$

容易证明,只要 k 大于 7,就能满足 $f'(k) > 0$ 。又由于二次空间变换运动模型有 12 个参数,图象分割所得区域至少应包含 12 个像素,故结论 2 成立。

根据上述两个结论可知,区域自划分法的像素数门限 t 应取 12 为最优。但在实验中发现:若像素数门限 t 取得太小,由于线性超定方程组的 G 矩阵的列矢量发生线性相关的可能性增大,从而导致求区域的 R 、 z 矩阵失败,故经多次实验,取 $t = 100$ 较合适。

仍以上述 Miss 序列中第 78 帧含 1 412 个像素点的区域为例,若取 $t = 100$,则此算法约需 3M 次乘法,同前述的 50M 次乘法的计算量相比,有明显改善。

快速时空分割算法框图如图 2 所示。

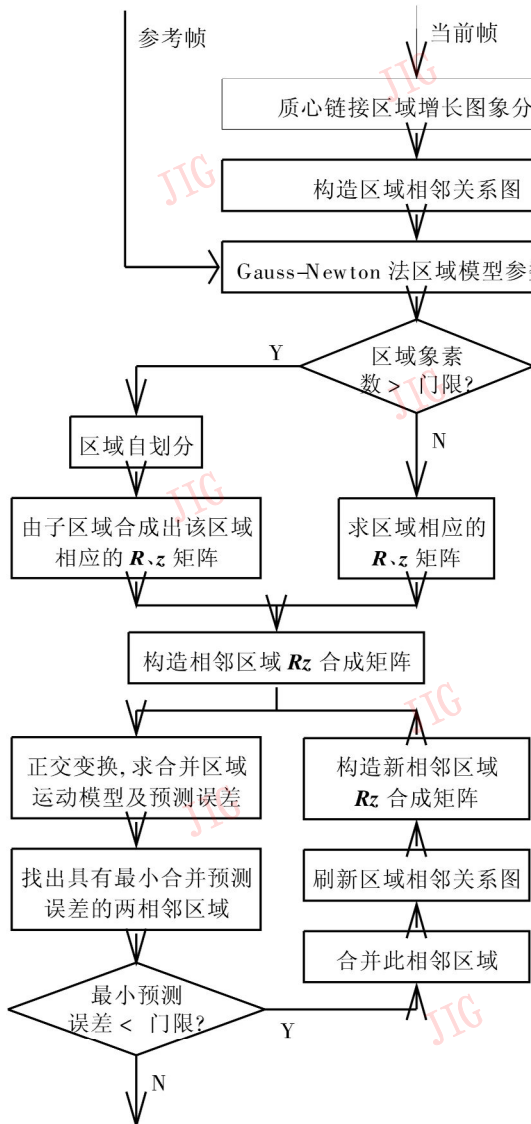


图 2 快速时空分割算法框图

3 实验结果及讨论

在由 Pentium II 233/64M 内存构成的算法平台上用典型的 QCIF 视频序列 Miss 做时空分割实验。本文给出了以第 78 帧为当前帧,第 77 帧为参考帧时,用 Gauss-Newton 法估计二次空间变换模型参数的时空分割法及本文提出的快速时空分割法所作的实验结果(见图 1 及表 1)。图 1(a)为参考帧;图 1(b)为当前帧;图 1(c)是当前帧与参考帧的绝对值帧差;图 1(d)为采用质心链接区域增长算法对当前帧进行图象分割的结果,当前帧被分割成 23 个区域;图 1(e)为基于图 1(d)的采用二次空间变换运动预测的当前帧的预测图象;图 1(f)为预测误差;图 1(g)、(h)、(i)分别为采用本文提出的快速时空分割算法所得的分割结果、预测图象及预测误差。从图 1 及表 1 的对比可明显看出,当区域数从 23 下降至 7 块时,本文提出的快速时空分割产生的当前帧预测图象的信噪比,较用 Gauss-Newton 法估计二次空间变换运动模型的时空分割的信噪比下降了 0.02db,而运算时间则大大下降。

表 1 两种时空分割算法的实验比较

算 法	时空分割的区域块数	信噪比	运行时间 (min)
用 Gauss-Newton 法估计二次空间变换模型参数的时空分割	7	43.049	25
本文提出的快速时空分割(QBFTSS)	7	43.029	3

由以上分析及实验可以看出,本文提出的时空分割快速算法,可有效地减少时空分割的运算复杂度。

附录

本附录描述第 2 节公式(14)中 G_m 及 y_m 的具体表达式。

$$G_m = \begin{bmatrix} g_1(x'_1, y'_1) & g_2(x'_1, y'_1) & \dots & g_{12}(x'_1, y'_1) \\ g_1(x'_2, y'_2) & g_2(x'_2, y'_2) & \dots & g_{12}(x'_2, y'_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_1(x'_c, y'_c) & g_2(x'_c, y'_c) & \dots & g_{12}(x'_c, y'_c) \end{bmatrix}$$

式中,下角 c 为区域 m 所含像素的个数。

其中,

$$\begin{aligned}
g_1(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial x} u_i^2 & g_7(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial y} u_i^2 \\
g_2(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial x} u_i & g_8(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial y} u_i \\
g_3(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial x} u_i v_i & g_9(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial y} u_i v_i \\
g_4(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial x} v_i^2 & g_{10}(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial y} v_i^2 \\
g_5(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial x} v_i & g_{11}(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial y} v_i \\
g_6(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial x} & g_{12}(x'_i, y'_i) &= \frac{\partial_r(x'_i, y'_i)}{\partial y}
\end{aligned}$$

$$\mathbf{y}_m = \begin{bmatrix} I_c(u_1, v_1) - I_r(x'_1, y'_1) + \frac{\partial_r(x'_1, y'_1)}{\partial y} y'_1 + \frac{\partial_r(x'_1, y'_1)}{\partial x} x'_1 \\ I_c(u_2, v_2) - I_r(x'_2, y'_2) + \frac{\partial_r(x'_2, y'_2)}{\partial y} y'_2 + \frac{\partial_r(x'_2, y'_2)}{\partial x} x'_2 \\ \vdots \\ I_c(u_c, v_c) - I_r(x'_c, y'_c) + \frac{\partial_r(x'_c, y'_c)}{\partial y} y'_c + \frac{\partial_r(x'_c, y'_c)}{\partial x} x'_c \end{bmatrix}$$

参 考 文 献

- 1 Tzou K H, Musmann H G, Aizawa K. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. (Special Issue on Very Low Bit Rate Video Coding), 1994, 4: 213~ 367.
- 2 Li W, Zhang Y Q, Liou M L. Proc. IEEE (Special Issue on Advances in Image and Video Compression), 1995, 83: 135~ 340.
- 3 Papadopoulos C A, Clarkson T G. Motion compensation using second-order geometric transformations. IEEE Trans. Circuits Syst Technol. , 1995, 5(4): 319~ 331.

- 4 Wu L *et al.* Spatio-temporal segmentation of image sequences for object-oriented low bit-rate image coding. Signal Processing: Image Communication 8, 1996: 513~ 543.
- 5 Salembier P *et al.* Segmentation-based video coding system allowing the manipulation of objects. IEEE Trans. Circuits Syst. Technol. 1997, 7(1): 60~ 73.
- 6 Wolberg G. Digital image warping. New York: IEEE Computer Society, 1990.
- 7 Murray W. Numerical methods for unconstrained optimization. London: Academic, 1972.
- 8 史荣昌编著. 矩阵分析. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.



张 颖 1965 年生, 1990 年获上海科技大学无线电电子学系硕士学位, 曾在上海工业大学任教。现为上海大学通信与信息工程学院博士研究生。近年来从事图象处理、图象压缩编码和机器人视觉领域的科研工作。发表论文 10 余篇。

张兆杨 1938 年生, 博士生导师, 现任上海大学通信与信息工程学院教授。长期从事数字视频、图象处理和图象通信的科研与教学工作。发表论文 80 余篇, 著作 8 部, 获省部级以上科技进步奖 9 项。

《中国图象图形学报》

征 订 通 知

本刊是由中国图象图形学会、中国科学院遥感应用研究所、北京应用物理与计算数学研究所共同主办的集计算机图象、图形学术研究与高新技术、科技信息与开发应用于一体的综合性学术期刊。主要刊登图象分析与处理、计算机视觉与图象理解、多媒体信息融合与处理、计算机图形学、科学计算可视化、虚拟现实、模式识别等学科及其应用方面具有创新性的高水平学术论文、研究报告、专题综述等文章。报道国际上该领域最新研究成果和国内外有关学术活动。现已开始 2001 年期刊的征订工作, 请到全国各地邮局进行订购(邮发代号: 82-831), 也可以向本刊编辑部直接订阅(北京市海淀区花园路 6 号《中国图象图形学报》编辑部, 邮编: 100088), 定价: 全年 12 期共 144 元。

欢迎订阅、欢迎投稿