

## 会议电视编码中的块自适应递归算法<sup>1</sup>

涂国防 张 灿\*

(中国科学技术大学研究生院 北京 100039)

\*(航天总公司七〇四所 北京 100076)

**摘 要** 本文提出了一种计算会议电视位移矢量  $D$  的新算法。这种新算法称为块自适应递归算法。模拟结果表明, 这种新算法比现有的同类算法有更好的性能。

**关键词** 运动估算, 块自适应递归算法, 运动补偿图象编码

**中图分类号** TN911.21, TN941

### 1 引 言

80年代初期, 人们从电视图象帧间编码的研究中发现, 通过计算运动图象相邻帧间的位移矢量  $D$ , 可以很明显地改善帧间预测编码的性能和压缩传输 bit 率。这种利用电视相邻帧的位移矢量减少预测误差, 提高预测编码的效率的方法称为运动补偿预测编码<sup>[1-3]</sup>。运动补偿预测编码的研究重点是位移矢量  $D$  的估算。位移矢量  $D$  是由物体的运动和摄像机的移动共同产生的。运动矢量  $D$  的计算精度和实时性是运动补偿预测编码的关键技术。估算位移矢量  $D$  要尽量接近运动物体的真实位移。要求对每个相邻帧对应象素的位移矢量  $D$  精确到亚象元的估算精度, 估算的位移矢量场要有较好的均匀性, 同时要满足图象通信的实时性要求。为了满足高精度、实时性、硬件简单等要求, 近年来提出了几种估算电视图象位移矢量  $D$  的新算法<sup>[4-6]</sup>。国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 提出了视频编码解调器的 H.261 建议<sup>[1]</sup>, 采用运动补偿的帧间预测和离散余弦变换加可变长编码方法。H.261 建议的编码器原理框图如图 1 所示。位移矢量  $D$  的估算采用块匹配算法中的穷尽搜索法。这种算法计算量大, 即使用  $8 \times 8$  子图象区域, 沿着坐标轴各方向位移 5 个整象素也必须计算 121 次测度匹配函数, 才能搜索到最小失真函数<sup>[6]</sup>。本文根据 H.261 建议在讨论测度匹配函数极值点的基础上, 提出了一种计算会议电视位移矢量  $D$  的块自适应递归算法。这种新算法比穷尽搜索法速度快。

### 2 运动补偿预测编码

运动补偿预测编码是通过传送会议电视相邻帧的位移矢量  $D$  和位移帧差  $DFD(X, Y, D) = U(m, n) - U(m+x, n+y, t-\tau)$  来补偿相邻帧间的变化。其中  $U(m, n)$  是当前帧的灰度级,  $U(m+x, n+y, t-\tau)$  是前帧的灰度级,  $D = x+y$  是前帧对应于当前帧的位移矢量,  $\tau$  是

<sup>1</sup> 1994-04-13 收到, 1994-10-06 定稿  
信息安全国家重点实验室资助课题

当前帧与前帧的延时。很明显,运动补偿的中间预测编码的关键是要精确地和实时地计算出相邻帧的位移矢量  $D$ 。

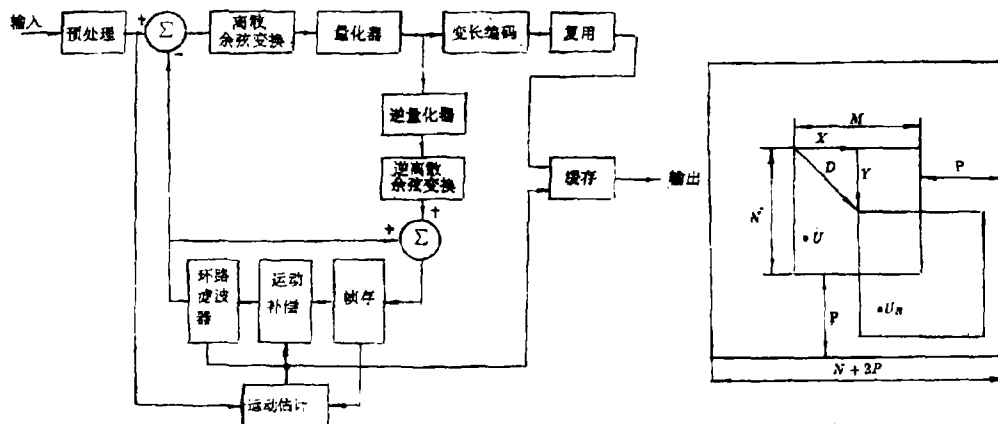


图 1 H.261 建议的编码器原理框图

图 2 块匹配算法

贝尔实验室的 A. Netraral 和 J. Rabbins 为了计算电视图象的位移矢量  $D$  提出了象素递归算法 (PRA: Pel Recursive Algorithm) 如 (1) 式<sup>[3]</sup>。

$$D_{i+1} = D_i + u_i, \quad (1)$$

$$u_i = \epsilon \text{DFD}(x, y, D) \nabla U(m + x, n + y, t - \tau).$$

(1) 式中,  $D_i$  是  $D_{i+1}$  前次递归值,  $u_i$  是第  $i$  次递归更新值,  $\text{DFD}(X, Y, D)$  是位移帧差, 算子  $\nabla$  是  $U(m + x, n + y, t - \tau)$  求空间梯度,  $\epsilon$  是一个收敛因子。

象素递归算法首先假设一个初始位移值  $D_i = D_0$ 。按照 (1) 式的递归公式沿着行扫描方向从一个象素迭代到下一个象素, 从一行迭代到下一行。这种迭代是在二维空间上进行的, 分别称为水平迭代和垂直迭代。象素递归算法是计算相邻帧对应象素的位移矢量  $D$ , 所以精度高。但计算量大, 难于用硬件实时实现。

R. Jain 和 K. Jain 提出了另一种计算电视位移矢量  $D$  的方法<sup>[4]</sup>。这种方法称为块匹配算法 (BMA: Block Matching Algorithm)。块匹配算法是假设  $M \times N$  个象素子图象区域中的象素产生相等的位移, 计算相邻帧对应的子图象区域位移矢量  $D$ 。在这种算法中, 首先, 把图象当前帧分成  $M \times N$  个象素子图象区域, 同前帧相对应  $(M + 2p) \times (N + 2p)$  个象素子图象区域进行匹配计算。根据最小均方误差函数 (MSE) 或绝对平均误差函数 (MAS) 寻找最佳匹配, 获得位移矢量  $D$  如图 2 所示。

在图 2 中,  $p$  是允许的最大位移矢量,  $U = U(m, n)$  是当前帧的灰度级,  $U_R = U(m + x, n + y, t - \tau)$  是前帧的灰度级,  $D = x + y$  是当前帧中的子图象区域与前帧对应的子图象区域的位移矢量。

用直接算法来计算位移矢量  $D$ , 计算量大。例如, 使用 MSE 为测度匹配函数来计算图 2 中的位移矢量  $D$ , 需要计算  $(2p + 1)^2$  次 MSE 函数, 才能搜索到位移矢量  $D$ 。

为了减少块匹配算法的计算，相继提出了 2-D 对数搜索 (2-DLS)<sup>[4]</sup>，三步定向搜索 (TSS)<sup>[5-6]</sup> 和共轭方向搜索 (CDS)<sup>[7]</sup> 等算法<sup>[8-12]</sup>。这些搜索方法都是计算位移矢量  $D$  的有效方法。但这些搜索方法是在  $(2p+1)^2$  个象素集合  $A$  上进行，不能自适应地跟踪测度匹配函数的极值点。本文提出的块自适应递归算法，搜索区域是在测度匹配函数的极值点集合  $B$  上进行，它能自适应地跟踪活动图象的运动轨迹。模拟结果表明，这种新算法比现有的同类算法有更好的性能。

### 3 块自适应递归算法

#### 3.1 数学模型

自适应匹配算法采用绝对平均误差函数 (MAS) 为测度匹配函数：

$$F(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |U(m, n) - U(m+x, n+y, t-\tau)|. \quad (2)$$

在这里  $M, N$  是前帧子图象区域的维数，一般取  $M = N$  矩形区域减少计算量<sup>[5,13]</sup>； $x, y$  是前帧子图象区域相对于当前帧子图象区域的平行位移和垂直位移。

由 (2) 式定义的绝对平均误差函数的数字梯度：

$$R(x, y) = \text{grad}F(x, y). \quad (3)$$

由 (3) 式直接导出计算位移矢量  $D$  的递归数学模型还较复杂。这里用 Taylor 级数近似 (3) 式

$$R(x, y) = R(x_0, y_0) + \Delta D(\Delta x, \Delta y) \text{grad}R(x_0, y_0), \quad (4)$$

其中  $\Delta D = \Delta x + \Delta y$ ,  $\Delta x = x - x_0$ ,  $\Delta y = y - y_0$ .

绝对平均误差函数的极小值是在  $R(x, y) = 0$  上取值，则有

$$R(x, y) = R(x_0, y_0) + \Delta D(\Delta x, \Delta y) \text{grad}R(x_0, y_0) = 0.$$

整理后得

$$\Delta D(\Delta x, \Delta y) = -\frac{R(x_0, y_0)}{\text{grad}R(x_0, y_0)}. \quad (5)$$

由 (5) 式可求得位移矢量  $D$  的递归数学模型：

$$D_{n+1}(x, y) = D_n(x, y) + \Delta D(\Delta x, \Delta y), \quad (6)$$

其中  $D_n(x, y)$  是相邻帧相对应的  $M \times N$  子图象区域前次计算矢量值， $D_{n+1}(x, y)$  是本次计算矢量值。

经推导求得平行位移增量  $\Delta x$  和垂直位移增量  $\Delta y$  为

$$\Delta x = -\frac{\nabla_x F(x, y)[F(x, y)]^2 + [\nabla_y F(x, y)]^2}{\nabla^2_x F(x, y)[\nabla_x F(x, y)]^2 + [\nabla_y F(x, y)]^2 \frac{\nabla^2_y F(x, y)}{\nabla^2_x F(x, y)}}, \quad (7)$$

$$\Delta y = - \frac{\nabla_y F(x, y) [F(x, y)]^2 + [\nabla_x F(x, y)]^2}{\nabla^2_y F(x, y) [\nabla_y F(x, y)]^2 + [\nabla_x F(x, y)]^2 \frac{\nabla^2_x F(x, y)}{\nabla^2_y F(x, y)}}, \quad (8)$$

电视信号对绝对平均误差函数是坐标圆对称的<sup>[11]</sup>。则  $\Delta x$  和  $\Delta y$  可以近似表示为

$$\Delta x = - \frac{\nabla_x F(x, y)}{\nabla^2_x F(x, y)}, \quad (9)$$

$$\Delta y = - \frac{\nabla_y F(x, y)}{\nabla^2_y F(x, y)}. \quad (10)$$

把 (9), (10) 式代入 (6) 式中得位移矢量  $D$  的增量  $\Delta D$  为

$$\Delta D = \Delta x + \Delta y = - \left( \frac{\nabla_x F(x, y)}{\nabla^2_x F(x, y)} + \frac{\nabla_y F(x, y)}{\nabla^2_y F(x, y)} \right), \quad (11)$$

其中  $\nabla_x F(x, y)$ ,  $\nabla^2_x F(x, y)$  分别表示为  $x$  方向上的一阶数字梯度和二阶数字梯度。 $\nabla_y F(x, y)$ ,  $\nabla^2_y F(x, y)$  分别表示为  $y$  方向上的一阶数字梯度和二阶数字梯度<sup>[5,11]</sup>。

### 3.2 基本算法

块自适应递归算法是按照位移矢量递推 (6) 式自适应地跟踪绝对平均误差函数的极小值点。计算步骤见图 3, 计算过程描述如下:

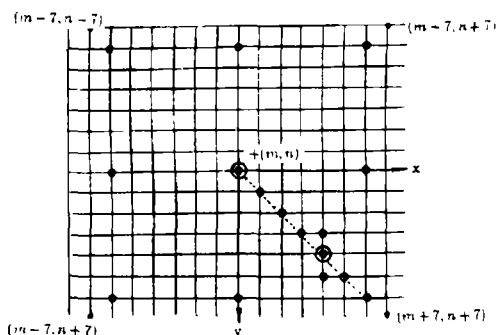


图 3 块自适应递归算法搜索步骤  
 ○—搜索点    ⊙—本步搜索极小值点  
 ⊕—搜索域中找到的最小值点

(1) 计算当前帧与前帧对应的  $M \times N$  个象素子图象区域在  $(m, n)$  象素位置上, 位移矢量  $D = x + y = 0$  时的绝对平均误差函数  $F(0, 0)$ , 如果  $F(0, 0) < T$ , 则计算停止, 否则计算 (2)。在这里,  $T$  是一个阈值, 它把  $M \times N$  个象素子图象区域分成静止区域或活动区域。

(2) 计算  $(m-p, n+p)$ ,  $(m, n+p)$ ,  $(m+p, n+p)$ ,  $(m+p, n-p)$ ,  $(m-p, n)$ ,  $(m-p, n-p)$ ,  $(m, n-p)$ ,  $(m+p, n-p)$  象素位置上的测度匹配函数  $F(x, y)$ 。对这些象素位置上的测度匹配函数进行阈值判别, 如果对某个象素位置上的测度匹配函数满足  $F(x, y) < T$ , 则计算停止, 否则计

算 (3)。 $p$  为搜索域允许的最大位移矢量, 在图 3 中  $p = 6$ 。

(3) 把步骤 (1) 和 (2) 计算出的极值点中的两个较小的极值点连成向量  $L$  (图 3 假设两个较小的极值点在  $(m, n)$  和  $(m+6, m-6)$  上)。 $L$  的方向就是找到的最小失真方向。

(4) 按照 (6) 式沿着最小失真方向  $L$  计算  $F(m + \Delta x, n + \Delta y)$ ,  $F(m + 2\Delta x, n + 2\Delta y)$  和  $F(m + 3\Delta x, n + 3\Delta y)$  找到一个极小值。如果  $F(m + 3\Delta x, n + 3\Delta y)$  是极小值, 再计算

$F(m + 4\Delta x, n + 4\Delta y)$  和  $F(m + 5\Delta x, n + 5\Delta y)$  中找到一个极小值。这个过程计算下去直到在  $L$  方向上找到两个极小值之间嵌着一个最小值为止。这个最小值点上对应的  $x, y$  的坐标值 (如图 3 中的 (4, 3)), 就是要计算的位移矢量  $D(D = x + y)$

#### 4 模拟实验及其结果的讨论

计算机模拟是在 IBM-PC 计算机上进行的。采用一组 16 帧, 每帧  $256 \times 256$  个像素, 每像素 8bit 数字化的标准会议电视图象。

为了比较, 在计算机模拟中用  $8 \times 8$  和  $16 \times 16$  个像素子图象区域同时模拟 2-D 对数搜索方法 (2-DLS)<sup>[3]</sup>、三步搜索方法 (TSS)<sup>[6]</sup> 和新算法 (NEW) 三种算法。三种算法的预测误差的信噪比 (SNR) 和预测误差的数字图象熵 ( $H$ ) 示于表 1。

表 1 三种算法的信噪比和图象熵比较表

子图象块尺寸	算法	预测误差	
		SNR	$H$
$8 \times 8$	2-DLS	30.91	3.38
	TSS	31.19	3.360
	NEW	33.08	2.502
$16 \times 16$	2-DLS	31.05	2.601
	TSS	31.24	2.530
	NEW	33.20	2.410

表 2 三种算法计算量比较表

算法	搜索次数	寻找像素个数
2-DLS	6	22
TSS	3	25
NEW	3	15

其中 SNR 的计算公式为

$$\text{SNR} = 20 \log_{10}[255/\sigma_e] \quad (\text{dB}),$$

式中  $\sigma_e$  是预测误差的均方根值。

预测误差的数字图象熵计算公式为

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (\text{bit}),$$

式中  $p_i$  是预测误差  $e_i$  出现的概率。

表 1 的模拟结果表明, 新算法比 2-DLS 和 TSS 算法大约有 2dB 信噪比改善和 1bit 的数字图象熵的改善。

为了比较新算法、2-DLS 和 TSS 的搜索次数和寻找的像素个数。我们把第六帧图象作为前帧图象, 而把它的像素最大位移六个像素的图象作为当前帧图象。取  $16 \times 16$  子图象区域, 用 2-DLS、TSS 和新算法进行计算机模拟, 模拟结果示于表 2

表 2 的模拟结果表明, 新算法比 2-DLS 和 TSS 算法简单, 易于用硬件实现。

#### 5 结 论

本文从简化会议电视编码中的位移矢量  $D$  的计算出发, 通过对测度匹配函数 (MAS) 的梯度变换, 提出了一种会议电视位移矢量  $D$  的新算法。这种新算法称为块自适应递归

算法。模拟结果表明, 这种算法比已知的同类算法 (2-DLS 和 TSS) 高, 信噪比改善大约有 2dB, 数字图象熵改善大约 1bit。

### 参 考 文 献

- [1] CCITT Recommendation H.261 (draft revision), Video codec for audio-visual services at  $p \times 64$ bits/s, CCITT study Group xv, Dec. 1990.
- [2] CCITT Recommendation H.216, Code for audio-visual Services at  $n \times 384$ kps, at Melbourne, (1988)7, 124-136.
- [3] Netravali A, Robbins J. The bell sys. tech., 1978, 58(3): 631-671.
- [4] Jain R, Jain K. IEEE Tras. on COM, 1981 COM-29(12): 1800-1808.
- [5] Kaneko H, Ishiguro T. IEEE Trans. on COM, 1983, COM-31(2):216-228.
- [6] 李津生, 涂国防. 综合业务数字网 ISDN, 合肥: 中国科技大学出版社, 第 9. 4 节.
- [7] Srinivasan R, Rao K. IEEE Trans. on COM, 1985, COM-33(8): 888-895.
- [8] Kim S J, Park H R. IEEE Journal on Selected Areas in Comm., 1992, SAC-10(5): 968-971.
- [9] Chen G L, Jehng S Y. IEEE Trans. on CAS, 1991, CAS-1(4): 278-285.
- [10] Frimout D E, Driessen M J. IEEE Trans. on CAS, 1992, CAS-2(2): 159-168.
- [11] 李津生, 涂国防. 综合业务数字网. 台北: 台湾儒林公司出版社, 1992 年, 第 9. 4 节.
- [12] Kim S J, Park H R. IEEE Journal on Selected Areas in Comm., 1993, SAC-10(5): 420-428.
- [13] 涂国防, 徐佩霞. 遥测遥控杂志, 1988 9(6): 57-62.

## BLOCK ADAPTIVE RECURSIVE ALGORITHM FOR VIDEO CONFERENCE CODING

Tu Guofang     Zhang Can\*

(Graduate School, University of Science and Technology of China, Beijing 100039)

\*(Institute of 704, Company of Aerospace Industry, Beijing 100076)

**Abstract** This paper presents a new motion estimation algorithm for video conference signal coding. This type of algorithm is called block adaptive recursive algorithm (BARA). Simulation results show that this new algorithm has better performance than that of conventional ones.

**Key words** Motion estimation, Block adaptive recursive algorithm, Motion compensated picture coding

涂国防: 男, 1954 年生, 副教授, 数据通信专业.

张 灿: 女, 1954 年生, 高级工程师, 通信与电子系统专业.