

一种用于序列图象位移估值的匹配函数 ——比特位相关匹配函数¹

常义林 李兵兵 李飞鹏

(西安电子科技大学 西安 710071)

摘要 本文提出了一种新的序列图象编码块匹配准则——比特位相关匹配函数。在使用相同的快速搜索算法条件下, 比特位相关匹配函数与均方误差函数相比可获得相当的位移估值精度, 但它可使快速搜索算法的计算复杂度降低, 并且便于并行实现, 从而有效地缩短了序列图象编码时间。

关键词 序列图象编码, 位移估值, 匹配准则

中图分类号 TN911.73

1 引言

在序列图象的压缩中, 运动补偿码方法是公认的高效编码方法。它的编码过程是首先估计本帧内物体相对于上帧的位移矢量, 然后在位移估值的基础上, 进行帧间预测, 并对差值信号编码。位移估值方法对运动补偿编码的数据压缩效率和计算复杂度有着决定性影响, 它是运动补偿编码的关键技术之一。

目前已有几种位移估值方法^[1-3], 其中块匹配法由于其计算复杂度较低而被广泛采用。块匹配方法是基于这样的假设: 在一个象素块内所有象素具有相同的位移矢量。在上一帧一定尺寸的搜索窗内移动该子象素块, 搜索比较匹配函数(匹配准则)的最大(或最小)值。该值对应的空间位置坐标确定了子象素块的位移矢量。目前 CCITT SG XV 专家组对运动图象编码中位移估值搜索算法没有作出统一的规定^[4]。人们仍在研究估值精确、运算复杂度低的位移估值搜索算法^[5]和匹配函数。本文将重点讨论块匹配方法中的匹配函数。第2节将提出一种新的匹配函数——比特位相关匹配函数(Bit-Correlation Matching Function)。它的运算度、位移估值正确性和实现问题将在第3节中讨论。第4节将利用比特位相关函数实现位移估值和运动补偿编码, 并给出计算机模拟结果。

2 比特位相关匹配函数

最早用于位移估值的匹配函数是归一化互相关函数(NCCF)^[6]:

$$M_{\text{NCCF}}(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S_k(m, n) S_{k-1}(m+i, n+j)}{\left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S_k^2(m, n) \right]^{1/2} \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S_{k-1}^2(m+i, n+j) \right]^{1/2}}, \quad (1)$$

¹ 1994-05-24 收到, 1994-11-03 定稿
国家自然科学基金资助、国家重点实验室支持项目

式中 $S_k(m, n)$ 和 $S_{k-1}(m, n)$ 分别表示本帧和上一帧象素点 (m, n) 的灰度值, 该式表示子块移到 (i, j) 点时的匹配函数值。子块大小为 $M \times N$ 。由公式可见, 计算一点的匹配函数值需要 $3 \times M \times N + 2$ 次乘法和 $3 \times (M \times N - 1)$ 次加法, 并有两次开方运算。显然, 归一化互相关函数的计算过于复杂, 不能满足序列图象码的实时性要求。

为了减少匹配函数的复杂度, J. R. Jain 和 A. K. Jain^[7] 以及 T. Koga 等人^[8] 分别提出了均方误差 (MSE) 和平均绝对误差 (MAD) 作为匹配函数。

$$M_{\text{MSE}}(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S_k(m, n) - S_{k-1}(m+i, n+j)]^2, \quad (2)$$

$$M_{\text{MAD}}(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |S_k(m, n) - S_{k-1}(m+i, n+j)|. \quad (3)$$

与 M_{NCCF} 相比, 这两种匹配函数计算量有所降低。但这两种匹配函数仍然存在着两点不足: (1) 为了便于搜索极值, 函数值要大于等于零。(2) 式和 (3) 式采用了平方或绝对值计算, 增大了计算量。(2) 它们是由 $m=1$ 到 $M, n=1$ 到 N 逐点进行数值计算累加, 不便于并行运算。为了克服这些弱点, 本文提出一种比特位相关匹配函数。比特位相关匹配函数的计算是由以下三步完成的:

第 1 步 计算本帧子块中 (m, n) 点与上帧 $(m+i, n+j)$ 点的灰度值对应比特位相关性。定义比特位相关值为

$$R_b(m+i, n+j, b) = B_k(m, n, b) \odot B_{k-1}(m+i, n+j, b), \quad (4)$$

式中 b 为象素点灰度值比特位序号, $B_k(m, n, b)$ 为 (m, n) 点灰度值比特位序号为 b 的取值, B_k 值为“0”或“1”。通常灰度值为 8bit 量化, 即 $0 \leq b \leq 7$ 。符号 \odot 表示“同”逻辑运算, 它实质是“异或”逻辑的补函数。由 (4) 式可见

$$R_b(m+i, n+j, b) = \begin{cases} 1, & B_k(m, n, b) = B_{k-1}(m+i, n+j, b); \\ 0, & B_k(m, n, b) \neq B_{k-1}(m+i, n+j, b). \end{cases} \quad (5)$$

第 2 步 将 $R_b(m+i, n+j, b)$ 按序排列, 并转换成 8bit 数值 $R(m+i, n+j)$, $R(m+i, n+j)$ 的二进制数值, 其大小为

$$R_b(m+i, n+j, 7)R_b(m+i, n+j, 6) \cdots R_b(m+i, n+j, 0).$$

第 3 步 最后求出假定位移为 (i, j) 时的比特位相关匹配函数

$$M_R(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N R(m+i, n+j). \quad (6)$$

3 M_R 的性能分析

3.1 M_R 用于位移估值的正确性

在序列图象编码中, 假定物体是刚性的, 并且做平移运动, 匹配函数和位移矢量搜索算法一般是在此假设条件下提出的。搜索算法是寻找匹配函数的最大(或最小)值。当匹配函数的最大(或最小)对应于物体的实际位移矢量时, 就能保证位移矢量的正确性。从(5),(6)式可以证明, 当物体发生平移而保持灰度值不变时, $R(m+i, n+j)$ 和 $M_R(i, j)$ 的最大值都是 255。而当 (i, j) 不是位移矢量时, 它们的值都小于 255。因此使用搜索算法找出 $M_R(i, j)$ 的最大值, 就能正确找到物体的位移矢量。

3.2 M_R 的并行运算

(1) ~ (3) 式的匹配函数都是数值计算, 不易于并行实现。而比特位相关公式(4)式是逻辑运算, 可以通过异或门取反的方法实现。显而易见, $B_k(m, n, b)$ 和 $B_{k-1}(m+i, n+j, b)$ 是由 $b=0$ 到 7 按顺序排列的, 因而 $R_b(m+i, n+j, b)$ 可由 $b=0$ 到 7 并行实现, 并得出 $R(m+i, n+j)$ 。同样, 在一个假定位移点上 $M \times N$ 个 $R(m+i, n+j)$ 值可同时并行得到。当 $M=N=16$ 时, 并行运算所需时间只是串行运算的 $1/256$, 从而有效地节省了运算时间。

3.3 M_R 运算复杂度

M_R 的取值在 $0 \sim 255$ 之间, 无须象匹配函数(1)~(3)式进行平方或取绝对值运算。同时, 在搜索过程中, 求出某点的 M_R 值为 255 时, 就找到了它的全局最大值, 从而停止搜索过程, 并可确定其位移矢量, 减少搜索比较次数和时间。

4 计算机模拟实验结果

为了验证比特位相关匹配函数用于序列图象编码的有效性, 我们进行了计算机模拟实验。实验中使用的序列图象是 Miss America, 象素子块大小取为 16×16 , 搜索窗口尺寸为 48×48 ; 快速搜索算法为二维遗传优化算法^[5]。当我们将一幅图象位移 $(5, -3)$ 后, 在搜索窗内, 分别求一个子象素块与原图的 M_{MSE} 和 M_R 匹配函数, 其函数曲线如图 1 所示。为了明晰起见, 图中 M_{MSE} 用 $1/(M_{MSE} + c)$ 代替, c 为一小常数。并分别求出它们最大值对应的位移矢量, 所求的位移矢量相同, 都是 $(5, -3)$ 。

在搜索算法相同的情况下, 运动补偿后的预测误差表明了匹配函数性能的好坏, 我们对连续九帧图象进行了运动补偿预测, 分别获得 M_{MSE} 和 M_R 匹配函数下的预测误差均方值。从图 2 可以看出这两种匹配函数下预测误差均方值大致相同。

实验中还用 M_R 和 M_{MSE} 两种匹配函数对连续 9 帧图象进行了运动补偿编码。对预测误差采用 CCITT H.261 建议编码^[9]。编码大致过程是, 将每个 16×16 子象素块的预测误差划分成 4 个 8×8 小块, 对每一小块进行二维离散余弦, 对量化后的系数采用建议中所列变字长码来编码。当图象数据压缩比为 110 : 1 时, 图 3 给出了这两种匹配函数下的恢复图象信噪比。

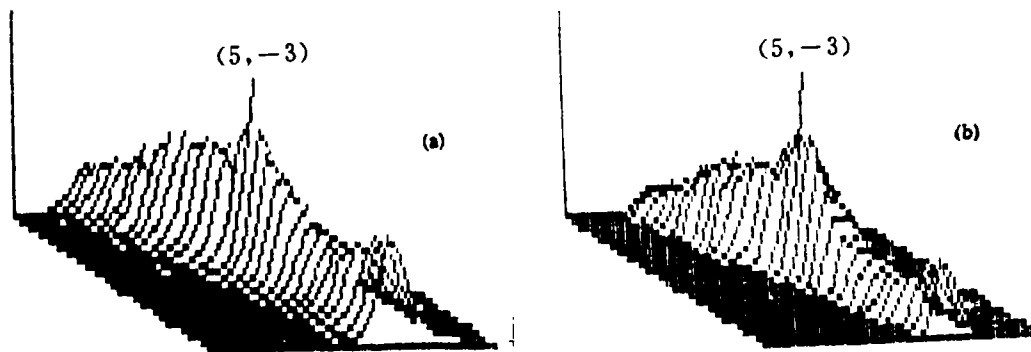


图 1 (a) M_{MSE} 估值位移矢量；(b) M_R 估值位移矢量

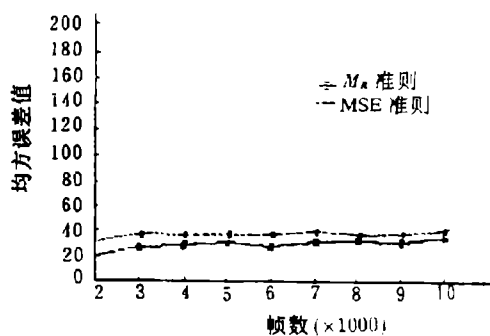


图 2 预测误差均方

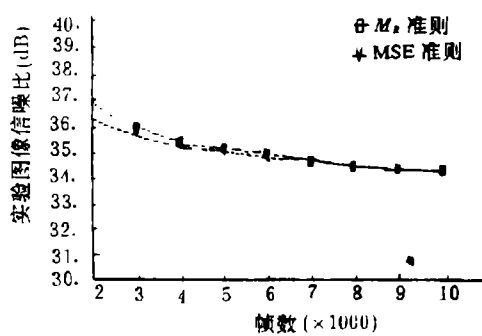


图 3 恢复图象信噪比



图 4 (a) 原图；(b) 恢复图象

从图 2，图 3 的性能曲线可以看出，使用 M_R 匹配函数的性能略优于 M_{MSE} ，其原因有待进一步的研究。

图 4 给出了原图和使用 M_R 匹配函数进行运动补偿后获得的恢复图象。

5 结 论

本文提出了用于序列图象运动补偿编码的位移估值匹配函数——比特位相关匹配函数。由于它不需要平方或取绝对值计算,运算复杂度低,并易于并行实现。在用于位移估值时,能正确反映位移矢量。因而它可以用于运动补偿编码中,提高编码速度。

参 考 文 献

- [1] Matsuda K, Ito T, Make S. ICC 1984 Proc. Amsterdam, The Netherlands: 234-237.
- [2] Netravali A N, Robbins J. Bell Syst. Tech. J., 1979, 58 (3):631-670.
- [3] Hsing T. Globecom'87, Tokyo Japan: 60-64.
- [4] Plompen R. Globecom'88 Hollywood USA: 997-1004.
- [5] 常义林, 李飞鹏, 胡征, 电子学报, 1992, 20(1):61-66.
- [6] Musmann H G. IEEE Proc., 1985, 73(4): 523-548.
- [7] Jain J R, Jain K A. IEEE Trans.on COM., 1981, COM-29(12): 1799-1806.
- [8] Koga T. NTC'81. Proc., New Orleans, LA: 1981, G5.3-G5.3.5.
- [9] CCITT Recommend on H.261, Geneva: 1990.

BIT-CORRELATION MATCHING FUNCTION FOR SEQUENCE IMAGE CODING

Chang Yilin Li Bingbing Li Feipeng

(*Xidian University, Xi'an 710071*)

Abstract This paper proposes a new block matching criterion called the bit-correlation matching function for sequence image coding. By using the same fast search algorithm, the bit-correlation matching function not only results in as nearly same accuracy in displacement estimation as mean square error function, but also makes the fast search algorithm low in computation complexity and easy to parallel operation, thus reducing the coding time of sequence image efficiently.

Key words Sequence image coding, Displacement estimation, Matching Criterion

常义林: 男, 1944 年生, 副教授, 现从事视频编码和通信研究工作.

李兵兵: 男, 1955 年生, 讲师, 博士生, 现从事视频编码研究工作.

李飞鹏: 男, 1965 年生, 讲师, 现从事视频编码研究工作.