

An Adaptive Motion Estimation Algorithm Based On Conjugate Gradient

Dan Zhiping^{1,2}, Zheng Sheng^{1,2}, Sun shuifa^{1,2}

1. Institute of Intelligent Vision and Image Information,
China Three Gorges University, Yichang, 443002, China

2. College of Electrical Engineering and Information Technology,
China Three Gorges University, Yichang 443002, China;
zp_dan@ctgu.edu.cn

Abstract: Motion estimation is rather complex in computation and spends much time in the interframe video compression. Fast motion estimation has always been a favorite to the researchers in the field. For improving the speed of the searching, a new adaptive fast algorithm is proposed with conjugate gradient in this paper. Then it is composed of the inspection of the brim and the prediction of initial search point. Experiments show that the algorithm could obtain very good search result at very low computation cost.

keywords: motion estimation ; conjugate gradient ; brim inspection ; mpeg4

基于共轭梯度的自适应运动估计算法

但志平^{1,2}, 郑胜^{1,2}, 孙水发^{1,2}

1. 三峡大学智能视觉与图像信息研究所, 湖北宜昌, 443002

2. 三峡大学电气信息学院, 湖北宜昌, 443002

zp_dan@ctgu.edu.cn

[摘要] 运动估计是影响基于帧间视频压缩速度的关键, 快速运动估计算法一直是视频压缩中的研究热点。本文从搜索速度入手, 采用了共轭梯度的自适应运动估计, 将边缘检测与运动估计相结合。试验表明, 该文算法能以较小的代价得到较好的搜索效果。

[关键字] 运动估计; 共轭梯度; 边缘检测; mpeg4

1 引言

对于运动图像的编码有两个基本的要求, 即实时性和高效性。为了使数字图像通信能实用化, 就必须采用高效的适应运动图像的压缩编码, 这就要对运动估计和运动补偿的实现提出很高的要求。目前普遍采用基于块匹配的运动估计法 (BMP)。块匹配的运动估计的主要目标就是使预测块与当前块之间的块失真度 (BDM) 和运动矢量的值尽量小。¹在块匹配过程中, 全搜索 (FS) 虽然能得到较小

的残差块, 但其巨大的时间开销时期无法实用, 因此出现了许多快速BDM算法, 比较有代表性的快速算法有早期的三步搜索法 (3SS)^[1], 交叉搜索法 (CS), 随后的动态搜索窗口调整算法 (DSWA), 新三步搜索法 (N3SS)^[2], 四步搜索法 (4SS)^[3] 和菱形搜索法 (DS)^[4]。菱形搜索法曾在 1999 年 10 月被 MPEG-4 标准采用并收入验证模型 (VM)。Ma 等提出的 MVFAST 算法和 Tourapis 等提出的 PMVFAST 算法, 在 DS 算法的基础上利用了视频图像运动间的相关性, 对搜索速度和搜索精度方面都有进一步的提高, 这两个算法于 2000 年 3 月在

基金资助: 国家自然科学基金(60875009), 湖北省教育厅重大项目 (Z20081301)

MPEG-4 新增的第 7 部分（编码器优化）中分别被采纳为运动估计的核心算法和可选算法。

传统算法只考虑了残差块对编码的影响，如何快速找到相似度高的预测块是其惟一目标。本文综合考虑了残差块和运动矢量的编码，提出了一种基于共轭梯度的自适应搜索算法。其主要思想是：以视频运动的时空相关性为基础，首先，通过边缘检测区分出边缘点，其次，通过搜索起点的预测使当前块的初始运动矢量尽可能接近其最终运动矢量，然后，通过分类处理使其能根据运动情况自适应的搜索，最后采用共轭梯度算法在预测起点附近进行搜索，而对边缘点用传统的搜索法来搜索^[5]，从而实现快速、均匀、精度高的运动矢量搜索。实验表明本算法具有运算量少，搜索快速高效的特点，而且预测准确性高，是一种较好的搜索算法。

2 共轭梯度法

共轭梯度法是结合了最速下降法和牛顿迭代法而发展起来的。最速下降法最简单，但它速度太慢，拟牛顿方法收敛速度很快，被广泛认为是非线性规划的最有效的方法，但拟牛顿法需要的存储量大，共轭梯度在算法的简便性、所需存储量等方面均与最速下降法差别不大，而收敛速度比最速下降法要快，正因为如此，本文提出了共轭梯度法来做运动估计。

我们设 $F(x, y)$ 和 $G(x, y)$ 分别为两幅图在 (x, y) 的函数值，如 Figure1。我们希望找到 $G(x, y)$ 相对于 $F(x, y)$ 的偏移矢量 h 。

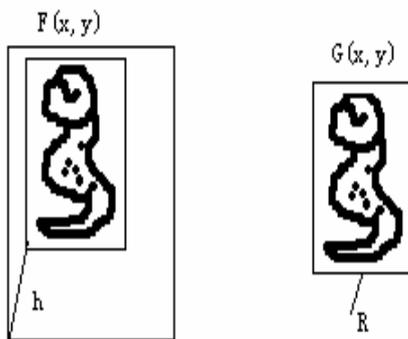


Figure 1. Results of the different functions

评价 $F(x + h_x, y + h_y)$ 和 $G(x, y)$ 的相似度，一般的方法有：

$$L_1 = \sum_{(x,y) \in R} |F(x + h_x, y + h_y) - G(x, y)| \quad (1)$$

$$L_2 = \left\{ \sum_{(x,y) \in R} [F(x + h_x, y + h_y) - G(x, y)]^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

即要找出 h 使 $\min_h L_1$ 、 $\min_h L_2$ 。为了便于计算，我们在这考虑的是

$$\min_h L_3 = \sum_{(x,y) \in R} [F(x + h_x, y + h_y) - G(x, y)]^2 \quad (3)$$

令

$$f(h) = \sum_{(x,y) \in R} [F(x + h_x, y + h_y) - G(x, y)]^2, \text{ 这里}$$

$$h = (h_x, h_y)。$$

这样匹配问题就归到了非线性规划中求最值的问题了。而在非线性规划问题中共轭梯度算法具有算法简单，易于编程，以及需要存储空间小等优点。于是我们这里引入共轭梯度法来求解。

3 搜索起点的预测策略

由于运动具有空间和时间上的相关性，因此可利用这一点对搜索起点进行预测。其基本思想是：以空间位置上的相邻块（左边或上边已编码的块，如 Figure2 中的 1#、2#、3#、5#块）或时间上的相邻块（前一帧图像相同位置块，如 Figure2 中的 4#块）的运动预测当前块得到初始运动矢量，然后以此为起点做进一步的搜索。根据作者的统计试验，考虑计算量等因素，本文选择当前块的左边、上边、右上块以及参考帧相同位置块运动矢量的对应点作为候选点进行预测（即 Figure2 中的 1#、2#、3#、4#块）。

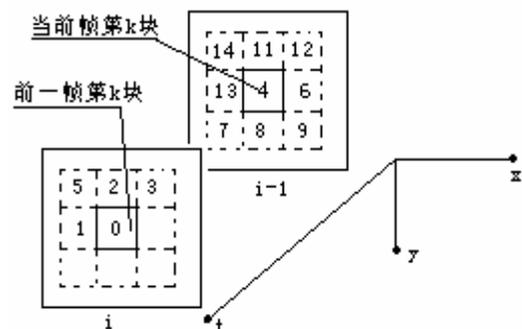


Figure 2. Sketch map of searching jumping-off point

最终确定搜索起点的主要方法有中值法、加权平均法和 SAD 比较法 3 种：中值法取预测块运动矢量各分量的中间值作为搜索起点，加权平均法用预测块运动矢量各分量按一定的权值求平均值得到搜索起点，SAD 比较法则分别对各预测块运动矢量的对应点求 SAD，取 SAD 最小者作为搜索起点。如果单纯从运动矢量编码量的角度考虑，中值法较好，因为它和 MPEG4 编码器中运动矢量的差分编码在预测上是一致的；如果从预测精度的角度考虑，SAD 比较法效果最好。

本文采用了 SAD 比较法的预测方式，主要基于以下原因：在多数情况下，预测效果是第一位的，准确的预测能为后续的搜索提供良好的起点，结合适当的搜索中止准则，可以较快地达到搜索的终点；此外，由于运动的相关性，各预测块运动矢量对应的点都有可能成为最优匹配点，他们在搜索过程中的位置应高于其它点，对他们进行搜索也是必要的。从另一方面看，通过 SAD 比较法得到的预测起点，都是相邻块的运动矢量，因此这种预测也能使运动矢量场具有均匀性。

在 Figure2 中，设 1#、2#、3#、4#块的运动矢量分别为 V1、V2、V3、V4，块失真度分别为 SAD1、SAD2、SAD3、SAD4；(0, 0) 点运动矢量记为 V0，块失真度为 SAD0，则预测的搜索起点 Vc 为：

$V_c = V_i$, if $SAD = \min\{SAD_0, SAD_1, SAD_2, SAD_3, SAD_4\}$, 其中 $i=0,1,2,3,4$ 。

在进行预测时，对 (0, 0) 这个特殊点的处理在一定程度上能影响算法的搜索效果。由于零矢量对编码的效率是非常有利的，因此在编码器的实现中往往对它给予一定的倾斜，即在计算 (0, 0) 点的 SAD 时减去某个常数。如果一开始就减去常数，不利于选择真正合适的起点。因此本算法的做法是：在确定搜索起点过程中，(0, 0) 点和其它点平等对待；仅当 $SAD_0 = \min\{SAD_0, SAD_1, SAD_2, SAD_3, SAD_4\}$ 时，才将 $SAD = SAD_0$ 减去常数，使后续搜索过程 (0, 0) 点附近的运动矢量向零矢量倾斜。

4 边缘预测

如果一个像素落在图像中某个物体的边界上，

那么它的邻域将成为一个灰度级变化的带，对这种变化最有用的两个特征是灰度的变化率和方向，它们分别以梯度向量的幅度和方向来表示。

边缘检测算子检查每个像素的邻域并对灰度变化率进行量化，通常也包括方向的确定，有若干种方法可以使用，其中大多数是基于方向导数掩模求卷积的方法，由于本文运动估计的重点不是在边缘，因此这里就直接采用 Roberts 边缘算子来预测，即

$$g(x, y) = \left\{ \left[\sqrt{f(x, y) - \sqrt{f(x+1, y+1)}} \right]^2 + \left[\sqrt{f(x+1, y) - \sqrt{f(x, y+1)}} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (4)$$

其中 $f(x, y)$ 是具有整数素坐标的输入图像。

我们在这里设定 $g(x, y) > T$ 时，(x, y) 为边界上的点，T 的取值根据不同的图而定。

5 实验分析

共轭梯度搜索法是一次一个方向搜索法，它是一种快速高效的算法。图 3 所示为其搜索的全过程。如果运动矢量 $h = (3, 3)$ ，用共轭梯度法只需要 3 次搜索即可搜索到最佳匹配快，这比传统的方法快很多。

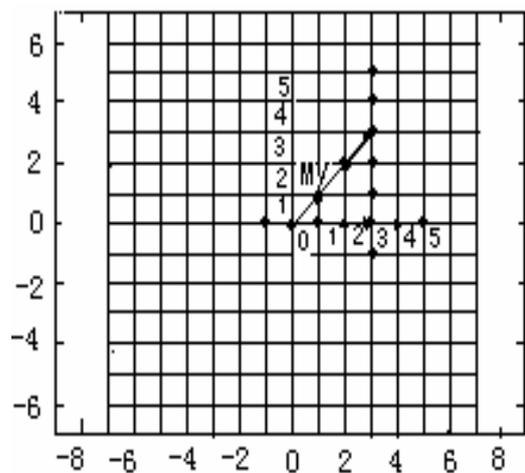


Figure 3. Sketch map of searching with conjugate gradient

本实验分别采用了 100 帧的视频测试序列 “Coastguard” (352*288)， “News” (352*288)，对传统的 FS、3SS、DS 算法和本文的算法进行了

测试。宏块的大小取为 16*16，搜索范围为-7 到 7 像素。实验时，首先利用视频序列每个块的平均搜索点数作为算法计算复杂度和计算速度的衡量标准，然后用预测帧的峰值信噪比 (PSNR) 来度量搜索的准确性，结果如表 1 所示。

表1. 不同算法在不同测试序列下的参数比较

测试序列		FS	3SS	DS	本文算法
Coastguard	搜索点数	225	25	19.08	16.53
	加速倍数	1	9	11.79	13.61
	PSNR	33.68	33.05	33.41	33.67
News	搜索点数	225	25	17.59	14.12
	加速倍数	1	9	12.79	15.93
	PSNR	34.42	33.98	34.27	34.40

从表 1 可以看出，用共轭梯度算法对各测试序列进行搜索时所用的平均搜索点数最少，这不仅大大地提高了搜索速度，而且降低了计算复杂度；同时，共轭梯度算法的平均峰值信噪比与 FS 算法更接近，明显优于其他方法。

6 结论

本文根据共轭梯度算法有着简便、所需存储量较和收敛速度很快的特点，提出了共轭梯度的自适

应运动估计算法。该算法在边缘点用传统的搜索法来搜索，在预测起点附近采用共轭梯度算法进行搜索。试验表明，该方法不仅保证了运动估计的准确性，而且计算复杂度低、搜索速度更快，能以较小的代价得到较好的搜索效果。

本文作者创新点:本文提出了共轭梯度的自适应运动估计算法。该算法通过边缘检测区分出边缘点，再通过搜索起点的预测使当前块的初始运动矢量尽可能接近其最终运动矢量，然后通过分类处理使其能根据运动情况自适应的搜索，最后采用共轭梯度算法在预测起点附近进行搜索，从而实现快速、均匀、精度高的运动矢量搜索。

References (参考文献)

- [1] Koga T,Iinuma K.A Motion Compensated Inter frame Coding for Video Conferencing [J].IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,1981,3 (5):531~535.
- [2] Li R,Zeng B,Liou M L. A new three-step search algorithm for block motion estimation[J]. IEEE Transactions on CAVST, 1994, 4(4): 438~442.
- [3] Po L M ,Ma W C .A novel four-step algorithm for fast block motion estimation[J].IEEE Transactions on CAVST,1996,6(3):313~317.
- [4] Shan Zhu, Ma K-K.A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation. IEEE Transactions on Image Process [J]. 2000,9(2):287~290.
- [5] 邹晓春等.一种块匹配的快速运动估计算法[J].中国图象图形学报,2006,11(7):938~942.