

基于图像特征的 Winner-update 运动估计策略

李 军, 李艳辉

(暨南大学珠海学院计算机系, 珠海 519070)

摘 要: 运动估计是视频压缩算法的重要组成部分, 块匹配算法是运动估计的主要方法, 但算法复杂度高。该文提出了一种 Winner-update 搜索策略, 总结了衡量图像复杂度的简便方法, 构造合理的匹配误差序列, 以重排匹配搜索的顺序, 进一步降低了块匹配算法的计算复杂度。文中设计了与算法相适应的数据结构, 对比实验表明了该算法可节省 90%~98% 的计算量。

关键词: 运动估计; 快速算法; 块匹配

Image Feature Based Winner-update Strategy for Motion Estimation

LI Jun, LI Yanhui

(Department of Computer, Zhuhai School, Jinan University, Zhuhai 519070)

【Abstract】 The block match algorithm, as an important part of video compression, is the most popular for motion estimation, but its computational complexity is high. A fast algorithm for motion estimation using winner-update search strategy is presented in the paper. A simple method is proposed to measure the complexity of the image, and the proper matching distortion set is constructed. The new algorithm reduces further the computational complexity of block matching by rearranging the searching order according to the image complexity. A corresponding data construction is designed for the new algorithm, and experimental results verify the effect of the new algorithm, it saves computations about 90%~98%.

【Key words】 Motion estimation; Fast algorithm; Block match

运动估计的算法复杂度, 在视频编码器中占用资源较多, 特别是最新的 H.264/MPEG AVC 标准中, 采用了多模式的分块运动估计, 在提高了运动估计精度的同时, 进一步增加了算法复杂度, 所以对快速运动估计算法的研究成为热点。

块匹配算法是运动估计的主要方法, 目前的快速运动估计算法主要分为两类: 其一是局部运动估计, 它以降低估计精度为代价, 提高了匹配效率, 如三步法^[1]、梯度递减搜索算法^[2]等; 其二是全局运动估计算法, 采用更好的搜索策略, 既保证了全局最优, 同时提高了运动估计的速度, 如 Winner-update 算法^[3]、SEA 算法^[4]等。研究表明, 结合图像特征的运动估计可有效提高块匹配的速度^[5,6]。

本文提出了一种利用图像特征的 Winner-update 的块匹配算法, 既保证了最好的运动估计精度, 又降低了算法复杂度, 实验结果表明了算法的有效性。

1 Winner-update 策略

用纸牌游戏可清楚地说明 Winner-update 搜索策略。假设有 5 位玩家, 各有 4 张纸牌, 号码为 1~13, 初始时所有的纸牌正面朝下。规则为: 每次出一张牌, 如果自己所出的牌号码累积为最小, 则继续拥有牌权; 否则由其它玩家获得牌权继续出牌。最先出完牌的玩家胜出。整个过程如图 1 所示, 表 1 记录了各轮出牌的情况, 说明了第 3 个玩家胜出的过程。在游戏结束时, 所有玩家手里剩下的纸牌总数为 8, 需要的步骤是 7 步。

应用以上策略进行块匹配的运动估计时, 需要设计一个匹配误差序列, 这相当于一副纸牌, 序列的每个值对应一张纸牌的号码。其中, 那些最后仍然正面朝下的纸牌就是节省的计算量。匹配误差序列的每个值非负, 保证在逐步累加时

的累加和递增, 序列和为总的匹配误差。每个搜索位置对应一个玩家, 在某个搜索位置累加一次匹配误差, 相当于某个玩家出了一张纸牌。应用上述策略进行运动估计, 最终胜出的玩家对应的搜索位置就是最佳匹配位置。

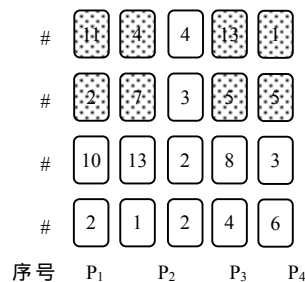


图 1 随机顺序纸牌的搜索

表 1 随机顺序搜索步骤

步骤 玩家	初始	P ₂ : #2	P ₁ : #2	P ₃ : #2	P ₃ : #3	P ₄ : #2	P ₅ : #2	P ₃ : #4
P ₁	2	2	12	12	12	12	12	12
P ₂	1	14	14	14	14	14	14	14
P ₃	2	2	2	4	7	7	7	11
P ₄	4	4	4	4	4	12	12	12
P ₅	6	6	6	6	6	6	9	9

下面说明纸牌的不同排列顺序对计算量的影响。图 2 中对各纸牌号码按升序排列, 即各玩家最先出的牌是号码最小

基金项目: 暨南大学引进人才基金资助项目(04JZKY004)

作者简介: 李 军(1973 -), 男, 博士, 主研方向: 视频信号处理, 编译理论等; 李艳辉, 硕士

收稿日期: 2006-07-26 **E-mail:** tljyh@jnu.edu.cn

的牌。从表 2 中可以看到需要更多的步骤才能使游戏结束，相应地在图 2 中剩余的牌只有 5 张，少于图 1 中的 8 张，需要的步骤是 10 步，需要的步骤比图 1 多。

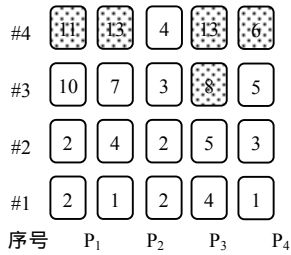


图 2 升序纸牌的搜索

表 2 升序搜索步骤

步骤 玩家	初始	P ₂ : #2	P ₃ : #2	P ₁ : #2	P ₃ : #2	P ₁ : #3	P ₃ : #3	P ₄ : #2	P ₅ : #3	P ₂ : #3	P ₃ : #4
P ₁	2	2	2	4	4	14	14	14	14	14	14
P ₂	1	5	5	5	5	5	5	5	5	12	12
P ₃	2	2	2	2	4	4	7	7	7	7	11
P ₄	4	4	4	4	4	4	4	9	9	9	9
P ₅	1	1	4	4	4	4	4	4	9	9	9

图 3 中对各纸牌号码按降序排列，即各玩家最先出的牌是号码最大的牌。从表 3 中可以看到只需要 5 步就可以结束游戏，相应地在图 3 中剩余的牌共有 10 张，在 3 种情形中是剩余纸牌最多的。

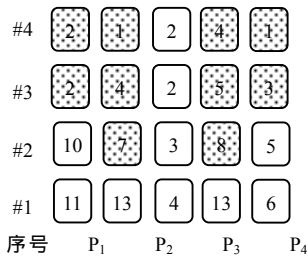


图 3 降序纸牌的搜索

表 3 降序搜索步骤

步骤 玩家	初始	P ₃ : #2	P ₅ : #2	P ₁ : #2	P ₃ : #3	P ₅ : #4
P ₁	11	11	11	21	21	21
P ₂	13	13	13	13	13	13
P ₃	4	7	7	7	9	11
P ₄	13	13	13	13	13	13
P ₅	6	6	11	11	11	11

由于在块匹配过程中，每个匹配位置相当于一个玩家，当前帧和参考帧中的一对像素差代表了纸牌的号码，剩余的纸牌意味对应的像素匹配是不必计算的。因此，剩余更多的纸牌意味着可以节省更多的计算量。

根据这个特点，希望在块匹配过程中，先计算那些匹配误差较大的像素。

2 匹配误差与图像复杂度的关系

实际上，当前帧与参考帧的匹配误差与图像的复杂度成正比，这里用图像的灰度梯度来度量图像的复杂度。设图像灰度函数为 $I(x, y)$ ，图像的灰度梯度为 $G[I(x, y)]$ ，则

$$|G[I(x, y)]| = |\nabla I| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \approx |G_x^2| + |G_y^2|$$

有效的边缘检测算法对快速提取梯度信息是重要的，由于 Sobel 算子的简单性，这里采用 Sobel 算子进行边缘检测：

$$g_x = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad g_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

有

$$|G[I(x, y)]| \approx |I(i, j) * g_x| + |I(i, j) * g_y| \quad (1)$$

依据上式可以计算图像的复杂度。

令 $I_{t+1}(p)$ 表示参考帧中位置 $p(x, y)$ 的图像灰度， mv 表示位置 $p(x, y)$ 的运动矢量， cmv 表示估计的运动矢量，当前帧和参考帧的匹配误差关系可描述如下：

$$\begin{aligned} d_{t+1}(p) &= |I_{t+1}(p) - I_t(p + cmv)| \\ &= |I_t(p + mv) - I_t(p + cmv)| \\ &\approx |G[I(p)] \cdot (mvx - cmvx)| \\ &= |G[I(p)]| \cdot |mv - cmv| \cdot \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

式中 θ 表示 2 个运动矢量间的夹角。可见，当前帧和参考帧的匹配误差与参考帧的灰度梯度值成正比。

前一节已经说明，利用 Winner-update 策略进行块匹配，可根据匹配误差的大小对“纸牌”排序来节省计算量。通过式(2)可知，灰度梯度值可作为排序的依据。

3 算法的改进

为了加速“纸牌”排序，需要相应的数据结构来支持，否则将影响整个块匹配算法的效率。可以依靠一个索引表来表明匹配顺序，如图 4 所示。

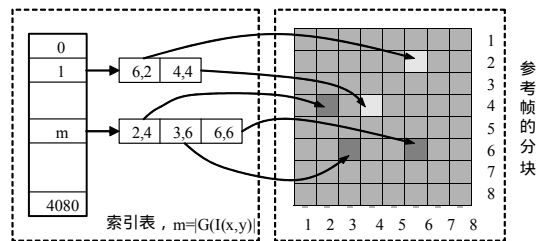


图 4 用于快速搜索的索引表

索引表的表头数组中存储的是像素的灰度梯度值，各链表中存储相应该像素梯度值的像素在参考帧中的位置。这样，在匹配过程中，只要从下到上依次从索引表中取出像素值计算匹配误差即可，从而避免了频繁查找带来的计算开销。用 Sobel 算子计算灰度梯度值的算法也很简单，因此，“纸牌”排序的步骤增加的计算量并不大。

4 实验结果与分析

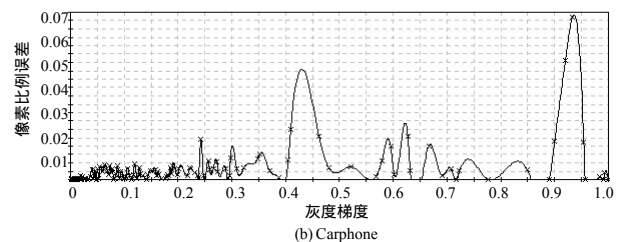
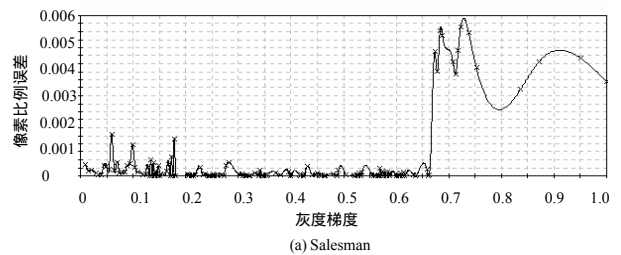


图 5 匹配误差与图像灰度梯度值的关系

为了验证匹配误差与图像灰度梯度值的关系，选择 Salesman 和 Carphone 序列作为测试序列，分别计算匹配误差与灰度梯度值，将灰度梯度值相等的像素个数累加，其结果