

运动估计算法预测搜索起始点^①

薛冲冲, 陈 坚

(西南大学 计算机与信息科学学院, 重庆 400715)

摘 要: 高精度的预测搜索起始点方法可以减少运动估计算法的搜索点数, 提高搜索速度和精度。对中值, 均值, 左块, SAD 比较等方法进行了理论介绍和实验分析, 提出一种新的预测搜索起始点方法。该方法是利用相邻块运动矢量的相关性和运动矢量的偏向分布特征给相邻块分配不同的权重来预测搜索起始点。实验结果表明对不同种类的标准测试序列新方法比其它方法能够减少更多的搜索点数, 减少搜索点数的总数达到 29.24 且 PSNR 提高 1.71dB。

关键词: 运动估计; 预测搜索起始点的方法; 实验分析

Prediction of Searching Initial Point for Motion Estimation

XUE Chong-Chong, CHEN Jian

(College of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: High precision of the prediction of searching initial point can reduce the number of search points to improve the search speed and search precision. The median, the mean, the left block, the SAD (Sum of Absolute Difference) comparison and other methods of the prediction of searching initial point were theoretically and experimentally analysed. And according to The correlation of adjacently blocks' motion vectors and the characteristic of the center-biased characteristic of motion vectors in image sequences, a novel method of the prediction of searching initial point was proposed. The novel method assigns different weights to the adjacent blocks. Experimental results show that the novel method gains better reduction(29.24) in the number of searching point over the different kinds of criterion testing video sequence and improves 1.71dB in peak signal to noise Ratio(PSNR).

Keywords: motion estimation; methods of the prediction of searching initial point; experimentally analysed

1 引言

在视频数据压缩中, 利用运动估计和运动补偿来消除时间冗余, 利用熵编码来消除编码冗余, 利用 DCT 变换和矢量量化来消除空间冗余是实现视频数据压缩的三个主要技术手段。而运动估计几乎占到总运算量的 60%-80%, 运动估计越准确, 运动补偿的图像质量越高, 运动估计速度越快, 越有利于实时的应用, 其算法性能直接影响视频编码的质量和效率^[1]。运动估计的基本思想是将当前帧划分成大小相同、相互独立、互不重叠的宏块, 然后再对每个宏块在其参考帧的匹配窗内按照一定的匹配准则搜索与之最接近的块即匹配块, 由匹配块与当前块之间的运动位移就是当前块的运动矢量。

运动估计算法一直是视频压缩编码领域中的重点研究方向。目前, 运动估计算法的研究重点方向之一就是搜索起始点的选择即在宏块的那个位置开始执行运动估计算法可以减少搜索点数同时提高匹配度。没有进行起始点预测的情况下搜索都是从零点开始的, 而对于运动程度较大的宏块, 其真实运动矢量往往偏离零矢量点较大, 如果还按照零点处搜索时, 则需要多次巡回搜索才能够逼近真实的运动矢量, 这样将会增加搜索点数, 同时也增加了算法的复杂度。高精度的预测起始点方法可以是促使搜索点尽量接近真实的运动估计点, 既提高搜索速度, 有可以增加图像精度。而通过利用相邻运动矢量的相关性来预测搜索起始点, 是进一步提高运动估计效率的有效手段。所以对

① 收稿时间:2010-06-07;收到修改稿时间:2010-07-12

搜索起始点的研究是必要的有价值的。

2 预测搜索起始点的概述

由于运动物体的整体性和视频运动的连续性，视频的运动必然存在时间和空间上的相关性^[2,3]。因为相邻块相关性的存在，使得通过相邻块的运动矢量来预测当前块的运动矢量成为可能。大量实验证明预测点更加靠近最优匹配点，然后再用模板搜索可以很快得到最佳运动矢量。

2.1 预测搜索起始点的基本思想

根据当前块在空间位置上的相邻块或在时间上的前一帧图像上位置相同块的运动矢量来预测当前块的初始运动矢量。然后确定初始搜索点的位置进行搜索^[1]。预测方法的不同，往往导致不同的搜索起始点，对与搜索速度影响较大，提高预测搜索起始点的精度，不仅是搜索算法快速收敛，而且可以减小陷入局部最优的可能性，有助于提高 PSNR^[4]。

2.2 当前块的时空相关性

利用相邻块的时空相关性来预测当前块的运动矢量，可用于起点预测的运动块包括前一帧上位置相同的块和同一帧空间位置上的相邻块如图 1，分别位于当前块的左方、上方、右上方、左上方和前帧块，其运动矢量分别记为 MV_1 、 MV_2 、 MV_3 、 MV_4 、 MV_5 。研究表明，当前块的运动矢量与其左边、上边、右上边运动矢量相关性较大，而与其它块的相关性较小。所以 对于相邻运动矢量集合 V ， $V_i = (x_i, y_i)$ ， $i=1, 2, 3, 4, 5$ 。对应的块失真度分别为 SAD_i 。当运动矢量集合 V 中的某些空间邻块不存在时，此时仅使用 V 中有效的宏块进行起始点预测。如图 1 所示：

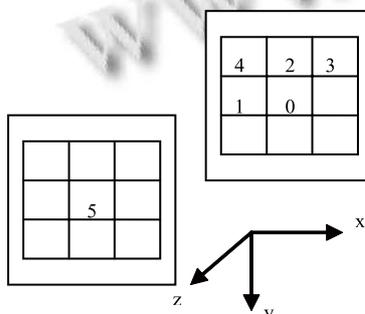


图 1 当前块的时空位置关系图

图像序列的运动矢量在空间和时间上具有相关

性，利用这种相关性，可以对搜索起始点进行预测。本文只采用相邻块的空间运动矢量来进行搜索起始点的预测基于以下三点：

(1) 由文献[5]可知，对与静止或是准静止的图像前后相关性很高，前后帧的相似度也很高，所以可以通过空间相邻块的运动矢量场就可以很好的进行起始点的预测。但对于运动剧烈的图像前后相关性减少的幅度很大，通过时间上的相关性来进行预测，预测误差将会随着相关性的减少而变大。

(2) 一般而言，空间和时间相关性不一定具有同样的重要性，而且二者的相对大小会随着不同的序列而变化^[6]。在空间上的物体所占的空间是确定的。空间相关性的稳定程度要大于时间上的。

(3) 当利用时间相关性时，由于要保存前一帧的所有块的运动矢量，这就加大了存储量和系统复杂度，加大了算法的运行时间。

所以，对于相邻运动矢量集合 V ，本文采用的是 $V_i = (x_i, y_i)$ ， $i=1,2,3$ 。对应的块失真度分别为 SAD_i 。

3 预测搜索起始点的方法

3.1 左块法

$$MV_p = MV_1 \tag{1}$$

左块法是直接将当前块左边相邻块的运动矢量作为当前块的预测运动矢量。 MV_p 为预测的当前块运动矢量。这种方法最为简单且容易实现。

3.2 均值法

$$MV_p = \text{round}((MV_1 + MV_2 + MV_3) / 3) \tag{2}$$

公式(2)可以写为

$$MV_p = \text{round}((MV_{1x} + MV_{2x} + MV_{3x}) / 3) \tag{3}$$

$$MV_p = \text{round}((MV_{1y} + MV_{2y} + MV_{3y}) / 3) \tag{4}$$

均值法就是将当前块的相邻运动矢量平均求值，所得即为当前块的预测运动矢量，对应的点就是预测起始点。

3.3 中值法

$$MV_p = \text{round}(\text{median}(MV_1, MV_2, MV_3, MV_0)) \tag{5}$$

公式(5)也可以写成为

$$MV_p = \text{round}(\text{median}(MV_{1x}, MV_{2x}, MV_{3x}, MV_{0x})) \tag{6}$$

$$MV_p = \text{round}(\text{median}(MV_{1y}, MV_{2y}, MV_{3y}, MV_{0y})) \tag{7}$$

中值法是根据当前块的相邻块的运动矢量集合。用中值法得出当前块的预测运动矢量。进而确定搜索起始点的位置。 MV_0 是当前块的零矢量。

3.4 SAD 比较法

$$V_p = \arg \{ \min(\text{SAD}_1, \text{SAD}_2, \text{SAD}_3, \text{SAD}_0) \} \quad (8)$$

V_p 就是当前块的预测运动矢量, V_p 所对应的点就是预测搜索起始点。SAD 比较法是对当前块相邻的运动矢量进行比较, 然后在根据他们的运动矢量来计算出当前块的 SAD, 比较出取得最小 SAD 对应的运动矢量, 再来确定预搜索起始点的位置。

3.5 新方法

$$MV_p = \text{round}(A1MV_{1x} + A2MV_{2x} + A3MV_{3x}) \quad (9)$$

公式(9)可以写为

$$MV_p = \text{round}(A1MV_{1x} + A2MV_{2x} + A3MV_{3x}) \quad (10)$$

$$MV_p = \text{round}(A1MV_{1y} + A2MV_{2y} + A3MV_{3y}) \quad (11)$$

新方法是利用运动矢量的偏向分布特征给相邻块分配不同的权重求得当前块的预测运动矢量。左块法应用了相邻左块与当前块的相关性最大, 当物体运动为平移时能取得好的效果, 当物体运动剧烈或是有多向运动时, 因为只考虑了左侧所以搜索精度有所降低。平均法应用了当前块与相邻块必然存在相关性。因为平均法给相邻块分配了相同的权重, 没有考虑到当前块和相邻块的相关性的程度问题, 不能根据相关性的程度分配不同的权重, 当相邻块的运动矢量变化较大时, 平均得到的运动矢量就会偏离真实的运动矢量, 从而会增加搜索点数, 当运动剧烈或背景变化较大时预测效果就差。新方法结合左块法和平均法的理论基础, 再根据运动矢量的分布特征对不同相邻块的运动矢量分配不同的权重。文献[6]表明, 当预测运动矢量场为 $\{V_1, V_2, V_3\}$ 时, 预测的精度最高。新方法就采用运动矢量场为 $\{V_1, V_2, V_3\}$ 。文献[7]中根据当前块的相邻块提出了 4 种类型的组合方式, 当运动矢量场只有 V_1 与其他类型的组合方式相比具有相似的性能且总的搜索点数相差不到 5%。结合相邻左块与当前块的相关性最大, 又根据平均法对运动矢量集合中的元素平均分配权重, 在新方法中左块所占的权重应该是其他块权重之和即 0.6-0.8 之间。 V_2, V_3 所占权重就应该在 0.4-0.2 之间。因为运动矢量分布在水平和垂直方向的概率要比分布在同半径下的其他方向大, 又因为前后帧的差异来源于视屏目标和视频获取设备的运动。而视频目标的常见运动集中为水平方向, 摄像机的运动一般是平移和水平转动, 所以运动矢量应该是以水平方向的运动矢量为主, 垂直方向上的运动矢量所占比例要小于水平方向的^[1,8], 同时根据运动矢量的

中心偏移特征即当视频序列中存在统一的运动方向时, 运动矢量的分布就有一定的偏向性质, 所以在 0.4-0.2 之间 V_3 所占比重要大于 V_2 。通过大量的实验统计表明, 当 V_1, V_2, V_3 分别取 0.7, .0.1, 0.2 时, 可以对运动程度不同的测试图像序列取得较好的结果, 在总的搜索点数上比其他预测方法减少更多的点数且总的 PSNR 可以提高 1.71dB。实验结果也证明这一点。

4 实验结果分析

4.1 实验条件

实验采用 DS^[9]作为的算法模板, 因为 DS 算法是目前快速块匹配算法中性能最优异的算法之一。将各种预测方法添加到 DS 中, 对不同序列进行运动搜索。为实验增加了广泛使用性。对各种预测方法的性能进行评价的标准采用 PSNR 和平均搜索点数: PSNR 反映图像的编码质量, 代表搜索的精度; 平均搜索点数代表的算法实现的复杂程度。

为了验证新预测方法对不同种类的测试序列具广泛适用性。实验采用了四类运动程度不同的 12 种标准的视频测试序列; 第一类, 视频目标和背景静止或有小幅度缓慢运动, bridge(cif 100 帧)、akiyo(qcif 100 帧)、salesman (qcif 100 帧); 第二种视频目标有较大幅度较快运动, suize(cif 100 帧 背景静止)、coastguard(cif 100 帧 背景小变化)、moblie(cif 100 帧 背景较大幅度多向变化); 第三种视频目标有大幅度快速运动, football(cif 100 帧 背景静止)、tennis(cif 100 帧 背景较大幅度变化)、stefen(cif 90 帧 背景较大幅度变化); 第四种 镜头平移或放缩 flower(cif 100 帧 细节大幅度变化)、template(cif 100 帧 细节大幅度变化)、bus(cif 100 帧 视频目标较大幅度变化)。这四类测试序列的纹理和运动复杂程度均不同且每类中也有差异, 以充分测试新算法对不同内容视频序列在同目标应用下的性能。使用的宏块大小为 16×16 像素, 搜索窗口大小为 15 像素, 匹配准则选择 SAD。在相同的实验条件下进行对比实验。从而比较得出各个算法的优劣, 进而体现出本文提出算法的有效性。

4.2 实验结果

表一为平均搜索点数比较表。表二为 PSNR 比较表。表三为加倍点数和差 PSNR 总和表, 其中 1 代表

第一类测试序列、2 代表其他三类测试序列、3 代表全部测试序列。

表 1 平均搜索点数比较表

	DS		左块+DS		均值+DS	
	平均搜索点数	加倍点数	平均搜索点数	加倍点数	平均搜索点数	加倍点数
flower	18.13	00.00	14.44	-3.69	14.66	-3.47
tempete	14.19	0.00	13.68	-0.51	13.75	-0.44
bus	20.57	0.00	14.37	-6.20	14.70	-5.87
tennis	16.67	0.00	14.02	-2.65	14.73	-1.94
football	18.09	0.00	15.90	-2.19	16.37	-1.72
stefan	18.49	0.00	13.83	-4.66	13.62	-4.87
suize	14.76	0.00	14.23	-0.53	13.66	-1.10
mobile	15.60	0.00	13.51	-2.09	13.29	-2.31
coastguard	19.31	0.00	13.53	-5.78	13.51	-5.80
bridge	12.57	0.00	12.49	-0.08	13.19	0.62
akiyo	11.71	0.00	11.71	0.00	11.69	-0.02
salesman	11.95	0.00	12.04	0.09	11.98	0.03
	中值+DS		SAD+DS		新方法+DS	
	平均搜索点数	加倍点数	平均搜索点数	加倍点数	平均搜索点数	加倍点数
flower	14.34	-3.79	16.01	-2.12	14.32	-3.81
tempete	13.57	-0.62	15.26	1.07	13.81	-0.38
bus	15.60	-4.97	14.30	-6.27	13.82	-6.75
tennis	14.79	-1.88	15.65	-1.02	14.31	-2.36
football	16.37	-1.72	16.34	-1.75	15.75	-2.34
stefan	14.26	-4.23	14.76	-3.73	13.69	-4.80
suize	13.70	-1.06	15.18	0.42	14.05	-0.71
mobile	13.36	-2.24	15.26	-0.34	13.37	-2.23
coastguard	13.90	-5.41	15.07	-4.24	13.45	-5.86
bridge	12.92	0.35	14.89	2.32	12.89	0.32
akiyo	11.67	-0.04	14.24	2.53	11.71	0.00
salesman	11.96	0.01	14.50	2.55	12.03	0.08

表 2 PSNR 比较表

	DS		左块+DS		均值+DS	
	△ PSNR	加倍 PSNR	△ PSNR	加倍 PSNR	△ PSNR	加倍 PSNR
1	-0.22	0.31	0.01	07.40	-0.02	0.40
2	4.14	-25.92	7.78	-17.98	1.71	-29.24
3	3.92	-25.73	7.79	-8.40	1.69	-28.84

flower	22.52	0.00	23.37	0.85	23.36	0.84
tempete	25.03	0.00	24.79	-0.24	25.00	-0.03
bus	18.63	0.00	18.78	0.15	19.36	0.73
tennis	25.49	0.00	24.96	-0.53	25.72	0.23
football	19.62	0.00	19.13	-0.49	19.61	-0.01
stefan	21.11	0.00	22.05	0.94	22.72	1.61
suize	32.06	0.00	32.07	0.01	32.15	0.09
mobile	21.87	0.00	21.73	-0.14	21.87	0.00
coastguard	25.97	0.00	26.16	0.19	26.38	0.41
bridge	31.05	0.00	31.05	0.00	30.58	-0.47
akiyo	39.67	0.00	39.67	0.00	39.67	0.00
salesman	36.28	0.00	36.28	0.00	36.28	0.00
	中值+DS		SAD+DS		新方法+DS	
	△ PSNR	加倍 PSNR	△ PSNR	加倍 PSNR	△ PSNR	加倍 PSNR
flower	23.35	0.83	23.40	0.88	23.38	0.86
tempete	24.98	-0.05	25.02	-0.01	24.92	-0.11
bus	19.49	0.86	21.32	2.69	18.39	-0.24
tennis	25.63	0.14	26.15	0.66	25.43	-0.06
football	19.65	0.03	20.01	0.39	19.01	-0.61
stefan	22.45	1.34	23.46	2.35	22.52	1.41
suize	32.71	0.65	32.25	0.19	32.15	0.09
mobile	21.88	0.01	21.89	0.02	21.84	-0.03
coastguard	26.30	0.33	26.58	0.61	26.37	0.40
bridge	30.83	-0.22	31.05	0.00	31.02	-0.03
akiyo	39.67	0.00	39.67	0.00	39.67	0.00

表 3 加倍点数和差 PSNR 总和表

	DS		左块+DS		均值+DS	
	△ PSNR	加倍 PSNR	△ PSNR	加倍 PSNR	△ PSNR	加倍 PSNR
1	0.00	00.00	0.00	0.01	-0.47	0.63
2	0.00	0.00	0.74	-28.30	3.87	-27.52
3	0.00	0.00	0.74	-28.17	3.40	-26.89
	中值+DS		SAD+DS		新方法+DS	
	△ PSNR	加倍 PSNR	△ PSNR	加倍 PSNR	△ PSNR	加倍 PSNR
1	-0.22	0.31	0.01	07.40	-0.02	0.40
2	4.14	-25.92	7.78	-17.98	1.71	-29.24
3	3.92	-25.73	7.79	-8.40	1.69	-28.84

4.3 性能分析

从实验数据来看,不同的预测搜索起始点方法对第一类测试序列进行预测后,不但没有降低平均搜索点数,反而增加了。从表 1 可知对 bridge、akiyo、salesman 增加最多和最少的点数分别是 2.32、2.53、2.55、-0.08、-0.04、0.01。从表 2 可知预测后的 PSNR 中只有 salesman 中新方法和 SAD 比较法提高了 0.01,几乎可以忽略。其他的要不预测前后不变,要不就是下降。从表 3 可知预测后测试序列的总平均搜索点数全部增加了且 PSNR 中除 SAD 比较法提高 0.01 其余全部下降。可以得出结论:对静止或运动幅度小的图像序列即静止块或是小运动快不进行搜索起始点预测。

对于其他三类测试序列进行预测后,从表 1 可知 flower、bus、tinnes、football、coastguard、stefan 对不同的预测方法都减少了平均搜索起始点数,在对 flower、bus、football、coastguard 等序列中新方法减少的点数最多分别是-3.81、-6.75、-2.34、-5.86 个点数。在 tt、stetan、mobile 中新方法与减少最多点数的方法相差分别为 0.29、0.07、0.08 个点数。从表 2 可知 suize、coastguard、stefan、flower 等序列对不同的测试方法均有所提高。新方法分别提高 0.09、0.40、1.41、0.86。新方法在 mobile、tennis 中分别下降 0.03、0.06,几乎可以忽略不计。从表 3 可知无论是总的平均搜索点数还是 PSNR 预测后都有比较好的效果,新方法是减少总的点数最多的 29.24 个且 PSNR 也提高了 1.69。SAD 比较法的 PSNR 提高的最多但是它的平均搜索点数只能减少-8.4 个点数、左块法和新方法相差 0.67 个点数但它的 PSNR 只有 0.74。

由此可以得出结论:新方法对不同种类的测试序列无论在总的搜索点数还是在总的 PSNR 方面都能取得好的效果。

5 结束语

实验分析验证了如下结论:对静止或运动幅度小的图像序列即静止块或是小运动快不进行搜索起始点

预测。对运动程度较大的不同种类图像序列进行搜索起始点预测可以取得比较好的效果。在传统的视频编码中,我们希望能在 PSNR 减少最低的情况下,尽可能的减少搜索点数。这种情况下新方法对不同种类的测试序列无论在总的平均搜索点数还是总的 PSNR 方面都能取得好的效果。但分布式视频编码条件下,重建 K 帧的 PSNR 对 WZ 帧的解码和图像的重建起着决定作用,我们就希望在增加搜索点数最少的情况下,尽可能的提高重建 K 帧的 PSNR。在这种情况下 SAD 比较法和中值法就是比较适合的。本文中只对常用的单个预测方法进行了研究,但是现在也出现不少组合的方法,下一步将对组合方法和新方法进行研究。

参考文献

- 1 林舒静,陈坚.视频压缩中运动估计算法的研究[硕士学位论文].重庆:西南大学,2009.15-16,36-38.
- 2 Tourapis AM, AUOC, Liu ML. Highly efficient predictive zonal algorithms for fast block-matching motion estimation. IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology, 2002,12(10):934-947.
- 3 Zhu C, Lin X, Chau LP, et al. Enhanced hexagonal search for fast block motion estimation. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2004,14(10):1210-1214.
- 4 Banh Xuanquang, Tan Yappeng. Adaptive dual-cross search algorithm for block matching motion estimation. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 2004,50(2):766-775.
- 5 曹志民,赵志杰,林茂六.基于运动矢量差中心偏离特性的运动估计算法.哈尔滨理工大学学报,2008,13(3):63-65.
- 6 余腊生,石献,林健.改进菱形运动估计算法研究与实现.企业技术开发,2008,27(9):4-5.
- 7 Zheng W, Ahmd I, Siu WC. Adaptive Motion Aearch with Elastic Diamond. IEEE, ICIP'2001, 2001. 644-647.
- 8 李荣,张其善,杨东凯.基于方向自适应菱形搜索的运动估计算法.北京航空航天大学学报,2008,34(9):1066-1067.
- 9 Zhu S, Ma KK. A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation. IEEE Trans. on Image Processing, 2000,9(2):287-290.