

基于小菱形-线形搜索模板的快速运动估计

任胜兵, 陈 元, 江 伟, 黄自武

(中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 提出一种基于小菱形-线形搜索模板的块匹配算法。对于静止块, 通过小菱形搜索一步到位。对于运动块, 利用已计算的块误差的分布, 得到块误差下降方向, 并用小菱形-线形混合模板快速定位运动矢量, 使搜索点数大幅减少。通过预测搜索中心, 使速度和精度进一步优化。实验结果表明, 在保持图像信噪比的基础上, 搜索点数比菱形搜索法、十字-菱形搜索法等平均减少 50% 以上。

关键词: 运动估计; 块误差下降; 线形搜索; 预测搜索中心

Fast Motion Estimation Based on Small Diamond-Linear Search Pattern

REN Sheng-bing, CHEN Yuan, JIANG Wei, HUANG Zi-wu

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

【Abstract】 This paper proposes a block-matching algorithm named Small Diamond-Linear Search(SDLS) using small diamond-linear search pattern. For stationary blocks, SDLS can find the Motion Vector(MV) by one small diamond search. For blocks with motion, SDLS gets a block distortion decent direction from the distribution of computed block distortions. By using a mixed small diamond-linear search pattern, it can reduce the number of search points and locate the MV rapidly. Through using the search center prediction, SDLS can further improve the search speed and quality. Experimental results show that the proposed algorithm can decrease the search points by more than 50%, compared with Diamond Search(DS), Cross-Diamond Search(CDS), etc., while maintaining similar PSNR of pictures.

【Key words】 motion estimation; block distortion descent; line shape search; prediction search center

1 概述

运动估计是视频编码的一项关键技术, 运动估计的优劣直接决定着编码效率和重构图像的质量。块匹配运动估计由于简单高效等优点而被应用于 MPEG-1/2/4、H.261/263/263+ 以及 H.264/AVC 等视频编码标准中。

块匹配运动估计中的全搜索算法是最简单可靠的, 它能获得很好的图像质量, 然而计算量大。人们提出许多快速块匹配算法, 如三步搜索法^[1]、四步搜索法^[2]、菱形搜索法^[3]、十字-菱形搜索法^[4]等, 以及改进的全局运动估计算法^[5]等, 这些快速搜索算法与全搜索法相比, 虽然搜索精度有所下降, 但由于搜索点数的减少, 降低了运动估计的计算量。尽管如此, 运动估计的速度和精度仍然存在很大的改进空间, 比如对于已经计算出来的块匹配误差(以下简称块误差)信息, 可以加以更充分的利用; 再者传统算法大多使用固定的搜索模板, 如三步法、四步法等, 在每一步要比较周围各方向 8 个点, 存在一定的方向冗余。

针对以上问题, 本文提出一种基于小菱形-线形搜索模板的快速搜索算法(Small Diamond-Linear Search, SDLS), 通过小菱形-线形搜索模板的混合使用, 在图像质量基本不变的情况下, 提高了运动估计的速度。同时, 通过预测搜索中心, 使算法的速度和精度得到进一步优化。

2 小菱形-线形搜索算法

2.1 初始搜索模板

搜索模板对运动估计的搜索速度有重要影响, 尤其是针对运动矢量具有中心偏置这一特征, 选择一个好的初始模板

是提高搜索速度的一个重要因素。

从文献[4]中对不同运动类型的视频序列的运动矢量分布进行统计可以看出, 约有 45.44% 的运动矢量位于搜索中心点, 约有 69.09% 的运动矢量分布在搜索中心范围 ± 1 的小菱形区域内。同时, 大多数视频序列中都存在大量的静止块, 表明选取小菱形作为初始模板具有很大的优势, 因为小菱形模板总共只有 5 个点, 它使得静止块的运动估计只需搜索较少数量的点就能找到运动矢量。

虽然小菱形模板对于搜索静止块具有很大的优势, 但是随着块的运动程度增大, 搜索步骤和搜索点数也将明显增加。然而, 相邻的块之间具有较强的相关性, 它们往往具有相似的运动趋势。利用这一点能预测出一个运动矢量, 而此运动矢量所对应的匹配点将比(0, 0)点更接近最优匹配点, 如果将初始搜索中心置于此点, 则有利于提高运动估计的速度。

2.2 SDLS 算法

SDLS 算法选取小菱形作为初始搜索模板, 使用小菱形-线形混合模板作为后续搜索模板, 算法基本思想包含 3 点:

(1) 将菱形模板的 5 个点划分为 2 个部分: 1) 包含 3 个较大的块误差点; 2) 包含剩余的 2 个较小的块误差点(最小块误差点 MBDP 和次小块误差点 SMBDP), 由这两部分得到一个

基金项目: 国家自然科学基金资助重大项目(90718034); 中南大学博士后基金资助项目

作者简介: 任胜兵(1969 -), 男, 副教授、博士后, 主研方向: 软件工程, 多媒体技术; 陈 元、江 伟、黄自武, 硕士研究生

收稿日期: 2010-04-30 **E-mail:** rsb@mail.csu.edu.cn

粗略的块误差下降方向,如图1所示。

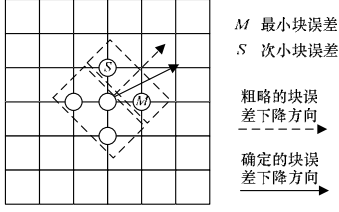


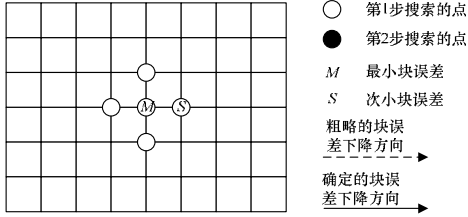
图1 块误差大小分布及下降方向

(2)MBDP 和 SMBDP 均具有决定块误差下降方向的权重,以 MBDP 为主,由此得到一个更合理的确定的块误差下降方向,如图1中带箭头的实线。

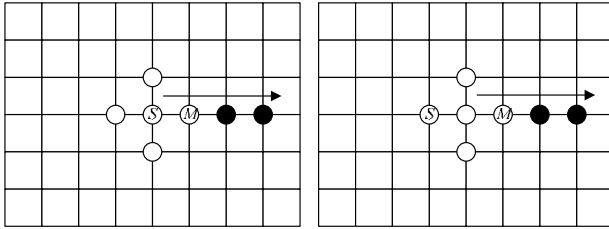
(3)块匹配运动估计基于这样一个假设:匹配误差从全局最小误差点开始向外单调递增^[6]。表明块误差越小,离全局最小就越近,MBDP 和 SMBDP 比其他点更接近全局最小,那么沿着这两点确定的方向进行搜索比对单个 MBDP 周围各个方向都进行搜索更具针对性。

基于以上思想对块误差的下降方向进行分析,根据块误差的大小分布,搜索模式分为下面4类(由于 MBDP 位于小菱形模板的各个顶点的模式类似,这里只以 MBDP 位于中心以及 MBDP 位于菱形模板右顶点为例进行说明):

(1)MBDP 位于搜索中心,如图2(a)所示。在这种情况下,无论 SMBDP 在哪个位置都将停止搜索。此时 MBD 所在位置的运动矢量就是当前块的运动矢量。

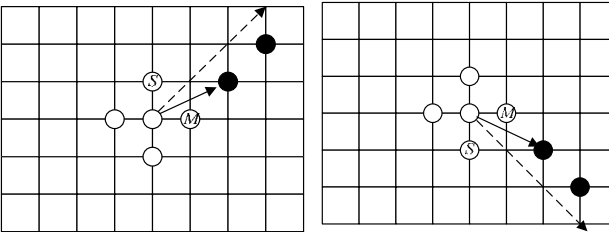


(a)模板中心



(b)同一水平方向

(c)相反的水平方向



(d)模板右上对角方向

(e)模板右下对角方向

图2 MBDP 在模板右顶点时的搜索模式分布

(2)SMBDP 位于初始搜索中心,如图2(b)所示。此时 MBDP 和 SMBDP 在同一水平或者垂直方向上,图2(b)显示的是 MBDP 和 SMBDP 位于同一水平方向,下一步就是沿着水平方向线形搜索。

(3)MBDP 和 SMBDP 在离中心相反的方向上,如图2(c)所示。前面已经提到匹配误差从全局最小误差点开始向外单

调递增,表明最小值不会在相反的2个方向上产生。这种情况实际发生的概率比较小甚至不会发生,但为了保证算法的鲁棒性,仍需考虑这种情况。按照 SDLS 基本思想的第(2)点,以 MBDP 为主,在下一步沿着水平方向线形搜索。

(4)MBDP 和 SMBDP 在对角线方向上,如图2(d)、图2(e)所示。将菱形模板分为两部分以后,得到一个粗略的块误差下降方向。为了得到更确定的方向,依照基本思想第(2)条,在粗略的方向基础上应该偏向 MBDP,在下一步沿着斜对角方向进行线形搜索。

根据以上的分类,本文算法的设计步骤如下:

Step1 选取(0,0)点作为小菱形模板的初始搜索中心。

Step2 计算小菱形模板5个点的块误差。

Step3 根据块误差的大小分布对这5个点进行分类,如果 MBDP 在中心,转到 Step5;否则转到 Step4。

Step4 按照图2(b)~图2(e)中的方式进行线形搜索。如果新搜索点的块误差比当前 MBDP 小,则将此新搜索点置为新 MBDP,原 MBDP 置为 SMBDP,并继续线形搜索,否则以当前 MBDP 作为菱形中心,转到 Step2。

Step5 设置运动矢量为 MBDP 所对应的点,算法终止。

3 初始搜索中心的预测

初始搜索中心表示运动估计从此处开始,它到全局最优点的距离对搜索步骤和搜索点数有重要影响。一般来讲,对于小运动的块,其运动矢量大多分布在(0,0)点附近,所以选取(0,0)点作为初始搜索点比较合理;而对于大运动的块,可以使用预测运动矢量来确定初始搜索中心。本文使用 H.264 中的中值预测。

式(1)表示的是求中值预测值。其中,PMV 代表要求的预测值,MV_U、MV_L、MV_UR 分别表示上、左、右上相邻块的运动矢量值。

$$PMV = \text{Median}(MV_U, MV_L, MV_{UR}) \quad (1)$$

本文提出的方法是首先检测(0,0)点和中值预测点,再根据此两点的块误差大小进行判断:(1)如果(0,0)点的块误差最小,表明当前块属于小运动幅度的块,则选取(0,0)点作为初始搜索中心。(2)如果中值预测点的块误差最小,表明当前块属于大运动幅度的块,则选取此预测点作为初始搜索中心。(3)如果两者相等,则取它们坐标的平均值所在的点作为初始搜索中心。

使用预测初始搜索中心的 SDLS 算法,只在第(1)步与 SDLS 不同,它先通过上面介绍的预测判决得到初始搜索中心,其余步骤与 SDLS 相同。

4 实验与分析

为测试 SDLS 算法的性能,将 SDLS 算法与全搜索法(FS)、三步搜索法(TSS)、四步搜索法(FSS)、菱形搜索法(DS)、十字-菱形搜索法(CDS)进行实验对比。实验只进行运动估计的速度和精度测试,不包含量化和熵编码,用绝对误差和(SAD)作为匹配准则。实验选取具有不同运动特征的12个测试序列,如表1所示。运动估计搜索范围为 ± 16 像素,块的大小为 16×16 ,参考帧数为1。表2是各算法运动估计的搜索点数对比,从中可以看出,SDLS 的平均搜索点数比以上算法平均减少50%以上,而 SDLSp(SDLS with Prediction)在 SDLS 的基础上进一步减少了约17.5%的搜索点数。表3是各算法重建图像亮度的峰值信噪比(PSNR)比较,可以看出 SDLS 的平均 PSNR 较 DS 降低0.20 dB,较 CDS 提高0.27 dB,而 SDLSp 的平均 PSNR 在 SDLS 的基础上提高了0.34 dB。

表 1 测试序列

测试序列	大小	帧数	测试序列	大小	帧数
carphone	176×144	300	football	352×288	100
claire	176×144	300	mobile	352×288	100
coastguard	176×144	300	mon_dau	352×288	100
foreman	176×144	300	news	352×288	100
suzie	176×144	150	paris	352×288	100
flower	352×288	100	stefan	352×288	90

表 2 不同算法的平均搜索点数比较

测试序列	FS	TSS	FSS	DS	CDS	SDLS	SDLSp
carphone	1 089	33	15.81	13.18	10.60	6.37	5.83
claire	1 089	33	14.62	11.43	8.26	4.69	4.68
coastguard	1 089	33	15.68	13.03	9.88	6.83	5.00
foreman	1 089	33	17.06	14.87	13.00	7.74	5.97
suzie	1 089	33	15.25	12.45	9.71	5.93	5.40
flower	1 089	33	18.24	15.60	12.85	8.12	6.13
football	1 089	33	26.52	27.84	29.51	15.68	11.60
mobile	1 089	33	16.07	13.13	10.14	6.83	5.28
mon_dau.	1 089	33	16.69	13.42	10.31	6.14	5.81
news	1 089	33	15.94	12.53	9.14	5.26	5.11
paris	1 089	33	16.17	12.87	9.64	5.67	5.28
stefan	1 089	33	18.90	16.98	16.25	8.74	6.46
总均值	1 089	33	17.25	14.78	12.44	7.33	6.05

表 3 不同算法重建图像亮度的 PSNR 比较

测试序列	FS	TSS	FSS	DS	CDS	SDLS	SDLSp
carphone	30.53	30.13	29.97	30.02	29.90	29.87	29.87
claire	41.96	41.95	41.95	41.95	41.93	41.94	41.94
coastguard	31.92	31.37	31.69	31.73	31.32	32.59	32.81
foreman	30.82	29.99	29.99	29.87	29.54	29.48	30.25
suzie	35.35	35.02	35.19	35.25	34.91	35.08	35.14
flower	25.86	24.56	25.61	25.82	22.71	25.82	25.82
football	24.81	23.68	23.38	23.29	23.10	22.82	23.57
mobile	23.96	23.67	23.75	23.84	23.83	23.85	23.84
mon_dau.	39.50	39.01	39.14	39.14	38.92	38.99	39.05
news	35.44	35.12	35.09	35.08	34.94	35.03	35.16
paris	30.65	30.18	30.36	30.47	30.09	30.32	30.36
stefan	25.64	23.83	23.86	23.79	23.34	23.06	25.01
总均值	31.37	30.71	30.83	30.85	30.38	30.65	30.99

(上接第 233 页)

为 0.3, 方向背离值为 0.523。在 Claire 序列中, 设定强度背离值为 0.35, 方向背离值为 0.45, 用本文的方法实验效果如图 4、图 5 所示。

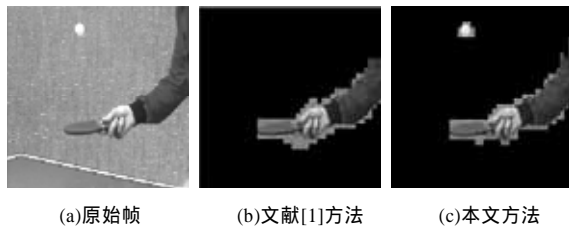


图 4 tennis 序列实验结果



图 5 Claire 序列实验结果

6 结束语

本文基于 h.264 压缩域视频流提取出运动矢量场, 提出一种简易方便的视频码流运动对象提取方法, 无须解码就可以提取出视频运动对象。该方法首先将提取出的运动矢量场经过检测和校正、滤波等一系列处理后得到可靠的运动矢量

5 结束语

本文提出了一种基于小菱形-线形搜索的快速块匹配算法。该算法通过对块误差的大小分布进行分类, 排除一些冗余方向后, 压缩了整体的搜索区域, 并且采用了混合搜索模板, 使得搜索点数明显减少, 提高了运动估计速度。并利用相邻块间运动矢量的相关性, 对大运动块进行初始搜索中心预测, 进一步优化了搜索速度和精度。

参考文献

- [1] Koga T, Iinuma K, Hirano A, et al. Motion-compensated Interframe Coding for Video Conferencing[C]//Proc. of National Telecommunication Conference. New Orleans, LA, USA: [s. n.], 1981.
- [2] Po Lai-Man, Ma Wing-Chung. A Novel Four-step Search Algorithm for Fast Block Motion Estimation[J]. IEEE Trans. on Circuits Systems for Video Technology, 1996, 6(6): 313-317.
- [3] Zhu Shan, Ma Kai-Kuang. A New Diamond Search Algorithm for Fast Block-matching Motion Estimation[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2002, 9(2): 287-290.
- [4] Cheung Chun-Ho, Po Lai-Man. A Novel Cross-diamond Search Algorithm for Fast Block Motion Estimation[J]. IEEE Trans. on Circuits Systems for Video Technology, 2002, 12(12): 1168-1177.
- [5] 刘征宇, 周孝宽. 基于 MAP 的全局运动估计算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(3): 237-239.
- [6] Jain J R, Jain A K. Displacement Measurement and Its Application in Interframe Image Coding[J]. IEEE Trans. on Communications, 1981, 29(12): 1799-1808.

编辑 顾逸斐

参考文献

- [1] Venkatesh B R, Ramakrishnan K R, Srinivasan S H. Video Object Segmentation: A Compressed Domain Approach[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(4): 462-474.
- [2] Wang Weiqiang, Yang, Jie Gao Wen. Modeling Background and Segmenting Moving Objects from Compressed Video[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(5): 670-681.
- [3] Liu Zhi, Lu Yu, Zhang Zhaoyang. Real-time Spatiotemporal Segmentation of Video Objects in the h.264 Compressed Domain[J]. Visual Communication and Image Representation, 2007, 18(3): 275-290.
- [4] Mezaris V, Kompatsiaris I. Real-time Compressed Domain Spatiotemporal Segmentation and Ontologies for Video Indexing and Retrieval[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(5): 606-621.
- [5] Zeng Wei, Du Jun, Gao Wen, et al. Robust Moving Object Segmentation on h.264/AVC Compressed Video Using The Block-based MRF Model[J]. Real-time Imaging, 2005, 11(4): 290-299.

编辑 顾逸斐

