

一种新的小波域快速搜索算法

费风长¹⁾ 方志军²⁾

¹⁾(江西财经大学现代经济管理学院,南昌 330013) ²⁾(江西财经大学信息管理学院,南昌 330013)

摘要 经典快速搜索算法能够有效地降低搜索量,但其有选择地进行搜索容易陷入局部最优误差。多分辨率运动估计(MRME)、小波域多分辨率运动估计(WMRME)的提出能够在一定程度上降低局部最优误差,但也会相应增加运算量。基于传统小波域多分辨率运动估计,提出一种小波域越级多分辨率运动估计(WLMRME)算法,并在同传统小波域多分辨率运动估计比较时提出一种快速搜索算法评价标准。最后在数据比较中得出,相比传统WMRME而言,基于WLMRME的快速搜索算法能够在运算复杂度和视频编码效果中取得平衡。

关键词 小波域 多分辨率 运动估计

中图法分类号:TP301.6 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-8961(2008)10-2051-04

A New Fast Search Algorithm Based on Wavelet Domain

FEI Feng-chang¹⁾, FANG Zhi-jun²⁾

¹⁾(School of Modern Business Administration, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013)

²⁾(School of Information Technology, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013)

Abstract The classic fast search algorithm can effectively reduce the volume of search, but because of their selective searching it will easily fall into the local optimal error. The Multi-resolution Motion Estimation (MRME) and the Wavelet Multi-resolution Motion Estimation (WMRME) can reduce the local optimal error to a certain extent, but they also bring a corresponding increase in computing capacity. Based on the Wavelet Multi-resolution Motion Estimation, a Wavelet Leapfrog multi-resolution Motion Estimation (WLMRME) algorithm is proposed. Combined with a rapid search algorithm, WLMRME can achieve better coding effect with less complexity than WMRME.

Keywords wavelet domain, multi-resolution, movement estimates

1 引言

静态图像像素之间存在很强的相关性,可通过预测编码或变换编码降低其空间冗余。而视频图像,不仅每帧图像像素之间存在很强的相关性,相邻帧之间也存在很大的时间相关性。所以不仅要降低帧内的空间冗余,还要通过减少时间冗余,来大幅度提高视频压缩编码的效率。一般用运动估计(ME)与运动补偿预测(MCP)或简称运动补偿(MC)^[1]来实现降低

时间冗余,ME、MC由于其算法简单、易于实现而得到广泛应用,几乎被所有的视频编码标准所采纳,如:MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4、H. 261、H. 263、H. 264等。

由于ME需要在前后帧间逐像素比较,采用全局搜索算法,计算量巨大,因此编码器都采用快速算法。已提出的经典快速算法有2维对数搜索法(2DLOG)^[2]、三步搜索法(TSS)^[3]、新三步搜索法(NTSS)^[4]、交叉搜索法(CS)^[5]、四步搜索法(FSS)^[6]、钻石搜索法(DS)^[7,8]等,这些算法能很好地降低运算量,但是这些搜索算法都是对搜索窗有

基金项目:国家自然科学基金项目(60462003);江西省自然科学基金项目(2007GZS0043)

收稿日期:2008-07-11; **改回日期**:2008-08-01

第一作者简介:费风长(1979~),男,2007年于江西财经大学获计算机应用技术专业硕士学位。主要研究方向为图像通信与数字电视及多媒体技术。E-mail: ffcbox@163.com

选择地进行搜索,很容易陷入局部最优而产生误差,称为局部误差,一定程度上影响 ME 后的图像质量。

2 基于小波域的多分辨率运动估计

多分辨率运动估计(MRME),又称为多分层塔结构运动估计,作为一种改进的搜索方案被提出。多分辨率运动估计是一种有选择的初始搜索点搜索方法,其搜索过程不仅仅只对原图进行搜索,而是先通过对低分辨率图像进行运动估计求出运动矢量,然后以该运动矢量作为高分辨率图像的初始搜索点再对高分辨率图像进行运动估计,这样构成一个底层大,上层小的塔型搜索结构。通过这种先粗搜索后细搜索的方法能够较好地降低快速搜索算法中局部最优问题。

在多分辨率运动估计的基础上 Zhang 和 Zafar 在提出了小波域多分辨率运动估计(WMRME)^[9],用小波变换来构造多分层塔结构,然后再进行多分辨率运动估计,经过十多年的发展,科研人员基于这个思想进行了深入研究。

WMRME 过程如下:首先,将第 k 帧和第 $k-1$ 帧分别进行 L 次小波分解,然后运动估计从最高级小波分解子带图开始, L 级子带图搜索到的最优运动矢量 $V_L = (i_L, j_L)$,将运动矢量 $(2i_L, 2j_L)$ 赋予 $L-1$ 级子带图作为初始搜索点,再以该点为中心进行搜索,得到运动矢量 ΔV_{L-1} ,最终 $L-1$ 层最优运动矢量 $V_{L-1} = 2V_L + \Delta V_{L-1}$,然后再把 $2V_{L-1}$ 赋予 $L-2$ 级子带图中的宏块作为初始搜索点,再搜索 ..., 这个迭代过程直到底层。图 1 为一个 2 级 WMRME 图。

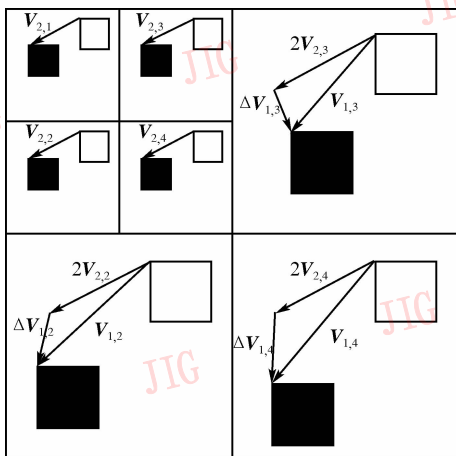


图 1 2 级 WMRME
Fig. 1 2L WMRME

3 小波域越级多分辨率运动估计

对于 L 级 WMRME 而言,可否认为顶层搜索已经很好地定位运动矢量的大致范围,不用对中间层进行搜索,直接进行最底层精细搜索。这样可以省去中间层的搜索量,降低运算量。基于这个思路,提出了基于小波域的越级多分辨率运动估计思想。

基于小波域越级多分辨率运动估计(WLMRME)的算法公式如下:

$$V_{0,j} = 2^L V_{L,j} + \Delta V_{0,j} \quad L = 2, 3, 4 \dots \quad (1)$$

$V_{0,j}$ 表示原始图最佳运动矢量, L 表示小波分解级数, $V_{L,j}$ 为 L 级小波分解的 j 子带图的运动矢量, $j = 1, 2, 3, 4$ 分别代表 LL、LH、HL 和 HH。

由于在小波分解后平滑近似子带占原图像的 90% 以上的能量。所以一般的计算中只用平滑逼近子带图作为运动估计搜索子带图。并且,由于原图宏块一般为 16×16 ,如果原图进行 $L = 3$ 三级小波分解,这时三级子带图的宏块大小只有 2×2 ,宏块太小,进行运动估计时很容易出现局部最优的问题,并且容易被噪声影响,所以一般选 $L = 2$ 既可。式(1)可改为

$$V_{0,j} = 4V_{2,j} + \Delta V_{0,j} \quad (2)$$

4 实验与分析

将 WLMRME 与快速搜索算法组合,通过实验数据来分析 WLMRME 是否在运算量和编码效果中取得平衡。

4.1 比较标准

WMRME 和 WLMRME 都是基于小波域的搜索方法。由于本文主要是考虑降低快速搜索算法中局部最优问题,对于同一种快速搜索算法,将基于 WMRME、WLMRME 的实验数据结果分别与空间域的数据结果进行比较,得到 2 个比较量值,通过比较这两个值达到比较 WMRME 和 WLMRME 的目的。

将小波域搜索与空间域搜索比较,不仅要比较峰值信噪比 PSNR 值还要比较搜索量,所以最终的比较标准应该与搜索量之差、PSNR 之差相关,由于基于小波域的快速搜索算法搜索量要高

于空间域,所以搜索量之差越小,质量就越好。基于这些本文提出一种数量化的比较标准 Q_W ,用它来表示基于某快速搜索算法的质量,其公式如下:

$$Q_W = \frac{\text{PSNR}_W - \text{PSNR}_{SP}}{\text{PSNR}_{SP}} \times \frac{nb_{S_{SP}}}{nb_{S_W} - nb_{S_{SP}}} \quad (3)$$

其中, Q_W 为基于小波域的某一快速搜索算法的质量值,下角 W 表小波域, SP 表示空间域, PSNR_W 、 nb_{S_W} 表示基于小波域的 PSNR 值和搜索块数。 PSNR_{SP} 、 $nb_{S_{SP}}$ 为基于空间域的另一快速搜索算法的 PSNR 值和相应的搜索块数。

Q_W 的意义:增加单位搜索量所增加的 PSNR 值。对于小波域搜索方法而言,当然是越大越好。在这里 Q_W 值有效的前提是值大于零的,当 Q_W 小于零时,将对数据进行实际分析。

4.2 实验

对于快速搜索算法,局部最优误差一般容易出现在场景变换、场景复杂、有一定运动量的视频片断中,所以采用的 3 个实验视频都是有一定运动量、场景变换的视频,分别取其中 60 帧作为实验片断。

首先将视频片段分别通过基于 WMRME 和 WLMRME 的快速搜索算法进行计算,然后将这两种搜索算法得到 PSNR 与 nb_S 值替换掉式(3)中的 PSNR_W 、 nb_{S_W} ,求出基于 WMRME 和 WLMRME 的快速算法质量 Q_W ,最后通过比较 Q_W 达到比较 WMRME 和 WLMRME 的目的。

4.3 实验数据与分析

4.3.1 “vectra”视频片断

实验数据如表 1,分析如下:

(1)基于同一快速搜索算法,2 级 WLMRME 的平均 PSNR 都要高于空间域运动估计的值,说明 2 级 WLMRME 仍然保留了多分辨率运动估计的特点——降低局部最优误差的能力。

(2)在搜索数量上基于同一快速搜索算法的 2 级 WLMRME 比 WMRME 的搜索量降低不少,但平均 PSNR 下降不大。说明 2 级 WLMRME 虽然取消中间层的搜索,但对平均 PSNR 影响却不大。

(3)基于 2 级小波域越级多分辨率运动估计的快速搜索算法搜索量十分低,已经接近空间域快速搜索算法的搜索量,但是其平均 PSNR 仍然比空间域的高。说明 2 级小波域越级多分辨率运动估计在降低搜索量时,并没有降低过多的 PSNR 值。特别是 DS,在搜索量基本一样的情况下,2 级 WLMRME 的 PSNR 值反而超出较多。

(4)比较传统 WMRME 和 2 级 WLMRME,采用平均 Q_W 作为评价标准,从表 1 反映出对于同一快速搜索算法,2 级小波域越级多分辨率运动估计平均 Q_W 大于传统 2 级小波域多分辨率运动估计,说明每增加单位搜索量,2 级小波域越级多分辨率运动估计增加的 PSNR 值更高。

表 1 “vectra”视频片断的各种搜索算法平均数据比较

Tab. 1 Comparison of search algorithm on the “vectra”

		TSS	FSS	DS	
空间域	平均 $nb_{S_{SP}}$	13 474	8 355	10 213	
	平均 PSNR_{SP}	24.236	21.882	22.552	
2 级 WMRME	平均 nb_{S_W}	30 332	21 694	17 415	
	平均 PSNR_W	25.195	24.778	24.680	
		平均 Q_W	0.031 63	0.082 90	0.133 81
2 级 WLMRME	平均 nb_{S_W}	13 481	15 754	10 597	
	平均 PSNR_W	24.404	24.627	24.423	
		平均 Q_W	13.343	0.141 65	2.206 5

4.3.2 “football”视频

实验数据如表 2 所示,分析如下:

表 2 “football”视频的各种搜索算法数据比较

Tab. 2 Comparison of search algorithm on the “football”

		TSS	FSS	DS	
空间域	平均 $nb_{S_{SP}}$	13 606	9 122	12 692	
	平均 PSNR_{SP}	25.943	24.134	25.337	
2 级 WMRME	平均 nb_{S_W}	30 589	24 193	18 973	
	平均 PSNR_W	26.909	26.828	26.468	
		平均 Q_W	0.029 83	0.067 56	0.090 2
2 级 WLMRME	平均 nb_{S_W}	13 610	17 803	10 992	
	平均 PSNR_W	26.026	26.742	26.068	
		平均 Q_W	10.882	0.113 55	-0.215 4

(1)对于同一快速搜索算法,2 级 WMRME 与 2 级 WLMRME 的 PSNR 值普遍好于空间域。

(2)在搜索数量上基于同一快速搜索算法 2 级 WLMRME 比 2 级 WMRME 的搜索量降低不少,但平

均 PSNR 下降不大。

(3) 通过比较平均 Q_W , 对于同一快速搜索算法, 2 级 WLMRME 要好于 WMRME。

(4) 基于 DS 搜索算法的 2 级 WLMRME 其 Q_W 值小于零, 通过分析其平均 nb_S 、PSNR 反映出, 基于 2 级 WLMRME 的 DS 搜索量在低于空间域 DS 搜索的情况下 PSNR 反而升高。

4.3.3 “walk” 视频片断

表 3 数据与前两个视频的结果一致就不再详细分析, 但基于 TSS 的 WLMRME 平均 Q_W 小于零, 说明: 基于 2 级 WLMRME 的 TSS 在搜索量比空间域 TSS 搜索量低的情况下, PSNR 值反而高。

表 3 “walk” 视频片断的各种搜索算法数据比较

Tab. 3 Comparison of search algorithm on the “walk”

		TSS	FSS	DS
空间域	平均 $nb_{S_{sp}}$	13 653	8 829	10 342
	平均 PSNR _{sp}	24. 135	23. 321	23. 919
	平均 nb_{S_w}	20 545	21 940	15 832
2 级 WMRME	平均 PSNR _w	24. 758	24. 538	24. 923
	平均 Q_W	0. 051 14	0. 035 14	0. 079 07
WLMRME	平均 nb_{S_w}	13 649	16 296	11 117
	平均 PSNR _w	24. 585	24. 496	24. 621
	平均 Q_W	-63. 64	0. 059 57	0. 391 65

5 结 论

WLMRME 快速搜索算法具有以下特点:

(1) 基于同一快速搜索算法, 视频经过 2 级 WLMRME 后的效果要好于空间域运动估计, 这说明 2 级 WLMRME 仍然保留了多分辨率运动估计的特点——降低局部最优误差的能力。

(2) 在搜索量上基于同一快速搜索算法 2 级 WLMRME 比 2 级 WMRME 的搜索量降低不少, 但平

均 PSNR 下降不大。这说明 2 级 WLMRME 虽然取消中间层的搜索, 但对平均 PSNR 影响却不大。能够在运算量和编码效果上取得平衡。

随着硬件技术发展迅速, 基于小波变换的芯片越来越多、越来越廉价, 小波域的快速搜索算法的应用也将会越来越广泛。

参考文献 (References)

- Ding Gui-guang, Ji Wen-ping, Guo Bao-long. VC 6.0 Digital Image Coding [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2004. [丁贵广, 技文平, 郭宝龙. Visual C++ + 6.0 数字图像编码[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.]
- Jain J R, Jain A K. Displacement measurement and its application in interframe image coding [J]. IEEE Transactions on Communications, 1981, 29(12): 1799 ~ 1808.
- Koga T, Linuma K, Hirano A, et al. Motion compensated interframe coding for video conferencing [A]. In: Proceedings of IEEE National Telecommunication Conference [C], New Orleans, Los Angeles, Angeles, 1981: G5. 3. 1 ~ G5. 3. 5.
- Li R, Zeng B, Liou L M. A new three step search algorithm for block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1994, 4(8): 438 ~ 442.
- Ghanbari M. The cross-search algorithm for motion estimation [J]. IEEE Transactions on Communications, 1990, 38(7): 950 ~ 953.
- Po L M, Ma W C. A novel four-step search algorithm for fast block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(6): 313 ~ 317.
- Tham Jo Yew, Ranganath Surendra, Ranganath Maitreya, et al. A novel unrestricted center-biased diamond search algorithm for block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(4): 369 ~ 377.
- Zhu S, Ma K K. A new diamond Search algorithm for fast block-matching motion estimation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(2): 287 ~ 290.
- Zhang Ya-qin, Zafar Sohail. Motion-compensated wavelet transform coding for color video compression [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1992, 2(3): 285 ~ 296.