

文章编号:1001-9081(2007)05-1153-03

一种改进的三维递归搜索视频去隔行算法

徐洪峰¹, 孙为平², 丁玉琴³, 黄永贵⁴

- (1. 贵州师范大学 经济与管理学院, 贵州 贵阳 550001; 2. 中国科学院 计算技术研究所, 北京 100039;
3. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 4. 摩托罗拉技术公司 家庭宽带事业部, 北京 100000)
(homnyxhf@yeah.net)

摘要:提出了一种改进的三维递归搜索(3DRS)视频去隔行算法,该算法使用双向参考运动估计,消除了原始算法中的误差传递现象,并采用多分辨率分析的思想,根据视频内容自适应的调节误差匹配块尺寸,提高了运动估计的准确度。实验结果表明,对于大多数测试序列,该算法在实验效果上取得了优于原始的 3DRS 算法的性能。

关键词:视频去隔行;三维递归搜索;双向参考运动估计;多分辨率搜索

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

Video de-interlacing algorithm based on improved 3D recursive searching

XU Hong-feng¹, SUN Wei-ping², DING Yu-qin³, HUANG Yong-gui⁴

- (1. College of Economy and Management, Guizhou Normal University, Guiyang Guizhou 550001, China;
2. Institute of Computer Technology, China Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;
4. Home Broadband Service Department, Motorola Technical Company, Beijing 100000, China)

Abstract: To study a new de-interlacing algorithm, this paper has proposed an improved 3D Recursive Searching (3DRS) video de-interlacing algorithm. With the use of bi-directional motion estimation, it solves the error propagation problem in the primitive algorithm. With the use of a multi-resolution idea, it improves the precision of the motion estimation process according to the matching block size of the adaptive video context. The experimental results indicate, to most test sequences, this proposed algorithm has obtained the performance superior to primitive 3DRS algorithm on the experimental result.

Key words: video de-interlacing; 3D Recursive Searching (3DRS); bi-directional motion estimation; multi-resolution search

0 引言

在视频去隔行技术采用的线性滤波、非线性自适应滤波和运动补偿滤波^[1]三类算法中,运动补偿滤波最大限度地利用了视频信号在时间和空间上的信息相关性,提供了尽可能真实的运动矢量,克服了前两类算法带来的运动停滞及抖动现象,是三类算法中性能最好的一种。在众多运动补偿滤波算法中,三维递归搜索算法(3DRS)^[2]具有运动矢量一致性及较低的计算复杂度,因而被广泛应用于视频图像的去隔行处理中。

3DRS 算法的主要思想就是利用了运动矢量在时间和空间上的相关性,通过参考时域或空域邻近块的运动矢量,快速生成用来预测当前块运动方向的候选运动矢量,并利用递归搜索得到的最优信息,生成更平滑、更接近真实的运动矢量。但是,由于 3DRS 算法使用单向参考运动估计,利用前一帧的非原始像素进行当前帧重建,因此不可避免的引入了传递误差,并可能使视频中完全静止的部分产生抖动;同时在实验过程中发现,由于受噪声的影响,对于视频中不同规模、不同形式的运动,使用固定大小的块进行运动误差匹配,通常不能获得真实的运动矢量,因此需要一种新的算法,根据不同的视频

内容,自适应的调节匹配块的尺寸,来解决噪声干扰问题。

本文提出了一种改进的 3DRS 视频去隔行算法,该算法利用运动矢量的多分辨率搜索思想^[3],首先使用大尺寸匹配块,利用 3DRS 算法进行初始的运动估计,之后通过观察得到的运动矢量,决定是否使用小尺度的匹配块继续 3DRS 搜索过程,利用块匹配误差结合图像纹理复杂度进行块分解的方式不同,通过判断当前块与周围块的运动矢量相关程度,决定是否进行当前块的分解;同时该算法利用双向参考运动估计^[4],消除了原始 3DRS 方法中的传递误差现象。最后对原始的 3DRS 算法及改进后的算法结合 AR 保护过程^[5]给出了实验结果,从中可以看到,应用该方法对大多数视频序列的处理效果要优于原始的 3DRS 方法。

1 算法描述

1.1 双向参考运动估计

原始的 3DRS 算法使用单向参考进行运动估计。如图 1 所示,其中 f_n 代表当前场,由实线表示的原始像素行和点线表示的待插值像素行组成; f_{n-1} 代表前向参考帧,由实线表示的原始像素行和点线表示的已重建像素行组成。运动估计过程中的误差匹配公式如下:

收稿日期:2006-11-13;修订日期:2007-02-04

作者简介:徐洪峰(1977-),男,江西上饶人,讲师,硕士,主要研究方向:计算机网络、多媒体; 孙为平(1980-),男,博士研究生,主要研究方向:流媒体; 丁玉琴(1981-),女,贵州铜仁人,博士研究生,主要研究方向:岩土工程; 黄永贵(1977-),男,江西临川人,工程师,硕士,主要研究方向:计算机网络、多媒体。

$$\varepsilon_1(\bar{D}, \bar{X}, n) = \sum_{\bar{x} \in B(\bar{X}) \text{ 且满足条件 } C_0} |f_n(\bar{x}) - f_{n-1}(\bar{x} - \bar{D})| \quad (1)$$

其中 $\bar{X} = (X_x, Y_y)^T$ 表示块中心, \bar{D} 为运动矢量, $\bar{x} = (x, y)^T$, 条件 C_0 为: $y \text{ Mod } 2 = n \text{ Mod } 2$, $B(\bar{X}) = \{(x, y)^T | (X_x - W/2) \leq x \leq (X_x + W/2) \wedge (Y_y - H/2) \leq y \leq (Y_y + H/2)\}$, W 表示块的宽度, H 表示块的高度。

从公式中可以看到, 由于原始的 3DRS 算法没有对运动矢量 \bar{D} 的取值进行约束, 所以在重建 f_n 的过程中, 会用到 f_{n-1} 中的非原始像素值 (如图 1 所示), 而这些非原始像素值本身就是不准确的, 它们会影响到当前帧的重建质量, 当前帧又要作为下一帧的参考帧, 于是产生误差传递。

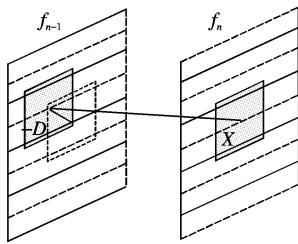


图1 单向参考运动估计

改进的 3DRS 算法使用双向参考进行运动估计。如图 2 所示, 其中 f_{n+1} 代表后向参考场。运动估计过程中的误差匹配公式如下:

$$\varepsilon_2(\bar{D}, \bar{X}, n) = \sum_{\bar{x} \in B(\bar{X}) \text{ 且满足条件 } C_0} |f_{n+1}(\bar{x} + \bar{D}) - f_{n-1}(\bar{x} - \bar{D})| \quad (2)$$

其中 $\bar{D} = (dx, dy)$ 且 $dy \text{ Mod } 2 = 0$, 其他符号说明同上述。使用双向参考运动估计的思想主要是基于这样的假设: 运动在前后向相邻场中是一致的。视频中的静止和 (多数) 匀速运动符合这个假设条件, 而且也是构成视频序列的主要运动形式。由于后向参考场没有经过重建, 所以双向参考运动估计过程限制运动矢量的选择, 使它不能指向参考帧中的非原始像素部分。当前待插值像素的重建完全依赖于原始像素值, 消除了 3DRS 算法中的误差传递现象。

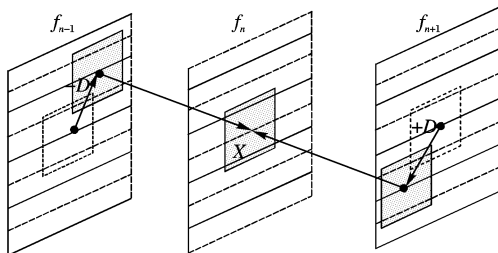


图2 双向参考运动估计

1.2 多分辨率的 3DRS 算法

与基于单像素的运动估计比较而言, 运用块匹配的方式进行运动估计有效地减弱了的噪声问题、孔径问题给预测过程带来的影响, 而匹配块的尺寸又直接决定了该方法能够在何种程度上解决上述问题。用大尺寸的块进行误差匹配可以更好地避免噪声影响、消除孔径问题。实验证明, 在一致性大规模运动场景中 (如镜头平移造成的背景运动), 使用较大尺寸的块进行误差匹配得出的运动向量更接近真实。然而使用大尺寸块无法描述视频中的细节运动, 在这种情况下, 应该减小匹配块的尺寸。

改进的 3DRS 算法采用多分辨率思想, 根据视频内容自适应的调节匹配块尺寸。基本过程如下: 首先采用 16×16 的

匹配块, 使用 3DRS 算法进行运动估计, 得出运动矢量, 然后将每一个块的运动矢量与其相邻块的运动矢量进行比较, 来决定是否要对当前块进行分解, 即将该块拆分成 4 个 8×8 大小的块, 在此高分辨率下继续 3DRS 搜索过程; 按上述方法, 对 8×8 的匹配块继续分解, 直到达到最小块尺寸 4×4 为止。图 3 描述了多分辨率搜索过程中一种可能的块划分方式。

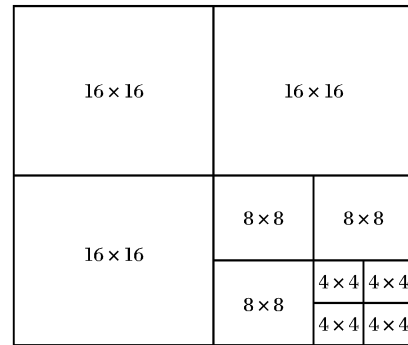


图3 一种可能的块划分方式

多分辨率搜索算法的关键是如何根据视频内容自适应地调整分辨率大小, 即如何动态确定匹配块尺寸。本文提出的算法, 使用运动矢量相关度来自适应地调整分辨率, 是基于以下的假设: 从整体观察某一物体 (低分辨率分析), 它的各个部分可能存在不同形式的运动, 表现在运动矢量上, 就是这些运动矢量具有很强的不相关性; 然而, 如果进行更细致的观察 (高分辨率分析), 观察重点落在该物体的部分区域, 那么这些部分自身的运动相关度通常会很高。如果可以任意提升观察分辨率, 那么总可以找到相同形式的运动。

分辨率自适应调整方法如图 4 所示, 阴影代表当前块, 考察当前块的八个相邻块, 分辨率调整判别过程可以形式化为以下公式:

$$F = f(MV_1, \dots, MV_9)$$

其中 MV_1 至 MV_9 分别代表这 9 个块的运动矢量, f 是关于这 9 个运动矢量的二值函数, 它的计算规则是: 如果 MV_1 到 MV_9 中有 4 个或以上与当前块运动矢量 MV_0 相同, 则 f 函数为真, 停止对当前块的继续分解; 否则为假, 减小匹配块尺寸, 进而提高对当前块所在区域的观察分辨率。

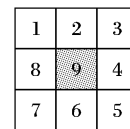


图4 当前块与其八个相邻块

为了使 3DRS 算法在各种分辨率下都能获得理想的效果, 改进后的算法在不同分辨率下的运动矢量搜索过程中使用不同的搜索参数。根据 3DRS 算法的特征, 可以通过修改候选运动矢量集、运动矢量 UPDATE 集等方式来改变搜索参数。下面实验中使用的原始 3DRS 算法的搜索参数如表 1 所示。

表 1 原始 3DRS 算法的搜索参数

匹配块尺寸	空间参考块	时间参考块	UPDATE 集
8×8	S_1, S_2	T_2	U_1

其中 C 代表当前块, S_1, S_2 为空域邻接块, T_2 为时域邻接块, 它们的位置关系如图 5 所示, U_1 为运动矢量 UPDATE 集:

$$U_1 = \left\{ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ -2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix} \right\}$$

$$\begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

实验中使用的原始 3DRS 算法^[6] 的 6 个候选运动矢量分别是:

- 1) $MV(S_1)$
- 2) $MV(S_2)$
- 3) $MV(T_2)$
- 4) $MV(S_1) + Random(U_1)$
- 5) $MV(S_2) + Random(U_1)$
- 6) $(0,0)$

其中 $MV(x)$ 代表块 x 的运动矢量, $Random(U_1)$ 代表在集合 U_1 中的一个随机选择。

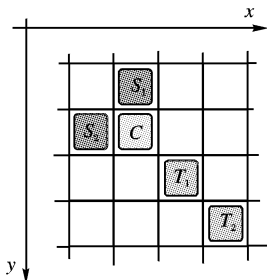


图 5 参考块与当前块的空间位置结构

改进的 3DRS 算法采用多分辨率思想,在高分辨率上增强了运动搜索强度,其搜索参数设置如表 2 所示,在 8×8 匹配块大小情况下使用 U_2 作为 UPDATE 集:

$$U_2 = \left\{ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ -2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -2 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -3 \\ 0 \end{bmatrix} \right\} \quad (4)$$

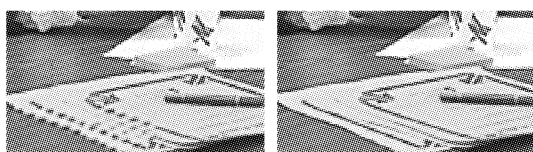
增加了一个水平方向上的运动向量 UPDATE 参数;在 4×4 匹配块大小情况下使用 U_2 作为 UPDATE 集,并且用 T_2 代替 T_1 作为时域候选运动矢量参考块,使得该算法在高分辨率下可以在更广的范围内选择候选运动矢量。

表 2 改进 3DRS 算法的搜索参数

匹配块尺寸	空间参考块	时间参考块	UPDATE 集
16×16	S_1, S_2	T_1	U_1
8×8	S_1, S_2	T_1	U_2
4×4	S_1, S_2	T_2	U_2

2 实验结果

2.1 主观效果



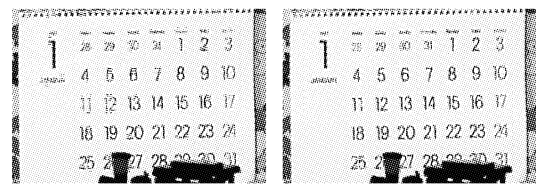
(a) 原始 3DRS 算法 (b) 改进的 3DRS 算法

图 6 paris 处理结果的情况对比

图 6 是对 paris (352×288) 逐行序列进行隔行抽取,然后将生成的隔行序列分别使用原始 3DRS 算法和改进 3DRS 算法进行运动估计,最后使用 AR 方法^[5] 进行带有失真保护的补偿(C_1 取值为 0.3125)而得到的一部分帧图像。由于 paris 序列背景部分是完全静止的,而对于视频中的静止部

分,运动在前后向相邻场中一致,从图中可以看到,此时使用双向参考运动估计的方法使去隔行后的视频质量有了明显的改善。对于视频中大多数匀速运动的部分,使用双向参考运动估计同样有类似的视频质量提升效果。

由于原始 3DRS 算法使用单向参考进行运动估计,引入了传递误差,所以无法利用无失真保护的补偿来直接观察运动矢量的真实程度。为了说明多分辨率思想的优势,可以在原始 3DRS 算法基础上,结合双向运动估计,不使用失真保护,对隔行 mobile&calender (720×576) 序列进行处理;同时使用本文提出的改进的 3DRS 算法,不使用失真保护,处理相同序列,与前面方法得到的结果进行比较,如图 7 所示。从图中可以看到,改进的 3DRS 算法减少了预测失真,可以更真实地描述物体的大规模运动。



(a) 原始 3DRS 结合双向运动估计 (b) 改进的 3DRS 算法

图 7 mobile&calender 处理结果的情况对比

2.2 客观效果

表 3 各种算法的结果比较

	$C_1=0.3125$			$C_1=0.2$
	3DRS	Bi3DRS	M3DRS	M3DRS
mobile	27.34	27.56	27.80	27.93
	31.91	35.82	35.89	36.33
	30.31	30.38	30.55	30.60
	32.50	35.77	35.97	35.95
352 × 288	42.02	42.20	42.35	42.73
	32.30	32.71	32.81	33.07
	34.06	33.44	33.73	33.11
1 280 × 720	35.15	36.10	36.29	36.48
	39.21	40.10	40.20	39.46

表 3 前三列分别显示了原始 3DRS 算法、原始 3DRS 算法结合双向参考运动估计 (Bi3DRS) 及本文提出的改进的 3DRS 算法 (M3DRS) 在 AR 失真保护 (C_1 取 0.3125) 下对各种不同隔行序列的前 100 帧进行处理而得出的 PSNR 结果 (所有隔行序列均通过对原始逐行序列的抽取生成, PSNR 的计算包含对原始像素的比较)。需要指出, AR 失真保护过程中参数 C_1 的取值决定了运动估计结果在补偿过程中使用的比例, C_1 越小, 补偿过程用到的时域信息越多, 空域信息越少; 反之, 过多的使用空域信息, 会减弱运动估计为去隔行算法带来的好处。由于原始 3DRS 存在误差传递, 所以必须使用较大的 C_1 值 (0.3125)^[7], 更多地利用空域信息, 减少误差传递造成的影响。而改进的 3DRS 算法能更真实地预测运动向量, 不受传递误差干扰, 于是可以通过减小参数 C_1 的取值, 更多的利用运动估计结果来改善算法性能。表的第四列为使用改进的 3DRS 算法且 C_1 参数取值 0.2 时的处理结果。从结果中可以看到, 改进的 3DRS 算法由于使用了双向参考运动估计和多分辨率思想, 对大部分序列 (除包含剧烈运动内容的 football 序列外) 的处理效果均好于原始的 3DRS 算法。

3 结语

本文提出了一种改进的 3DRS 算法, 该算法将双向参考 (下转第 1159 页)

化80%相关性低于检测阈值外,其他模型简化都没有完全破坏水印信息。

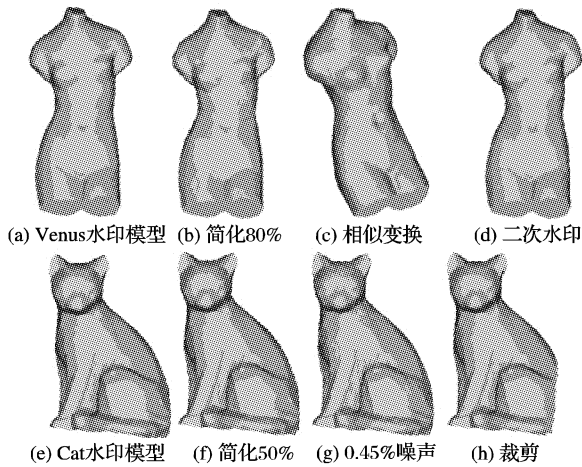


图4 自适应小波水印算法水印模型及各种攻击测试

在多重水印实验中,对水印模型加入第二水印。第二水印生成密钥为425,其他参数相同。实验结果显示二次水印攻击后仍能检测出水印信息。

在网格裁剪实验中,进行了三种裁剪操作,Venus模型平均删除451个顶点,Cat模型平均删除840个顶点,剩余的水印信息仍然可以检测出来。

组合攻击包括:二次水印、顶点重编号、网格简化、叠加噪声、裁剪、相似变换、多分辨率滤波。在五次试验中,噪声幅值是网格最大尺寸的0.2%,网格简化50%,顶点重编号和相似变换是随机进行的。可以看出,在经历一系列攻击之后,水印仍可被检测。

4 结语

本文提出了一种基于小波变换的三维网格模型水印算法,该算法在三维网格平面参数化的基础上应用现有的图像处理算法进行水印的嵌入和检测工作,实验证明算法具有一定的强壮性。

进一步的工作包括在三维网格模型的其他属性中加入水印;在三维网格模型的指定部分加入水印;将其他各种图像水印算法应用到三维网格模型上来,从而提出统一的采用现有图像水印算法进行水印处理的三维网格模型水印系统框架。

参考文献:

[1] ANDERSON RJ. Information Hiding: First International Workshop [M]. Berlin: Springer Verlag, 1996.

- [2] ZHAO J, KOCH E, LUO CH. In Business Today and Tomorrow [J]. Communications of the ACM, 1998, 41(7): 67-72.
- [3] MEMON N, WONG PW. Protecting Digital Media Content [J]. Communications of the ACM, 1998, 41(7): 35-43.
- [4] BENDER W, GRUHL D, MORIMOTO N. Techniques for Data Hiding [J]. IBM Systems Journal, 1996, 35(3&4).
- [5] COX IJ, KILIAN J, LEIGHTON T, *et al.* Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687.
- [6] HARTUNG F, KUTTER M. Multimedia Watermarking Techniques [J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1079-1107.
- [7] OHBUCHI R, MASUDA H, AONO M. Watermarking Three-Dimensional Polygonal Models Through Geometric and Topological Modifications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(4): 551-560.
- [8] BENEDENS O. Geometry-based watermarking of 3d models [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1999, 19(1): 46-55.
- [9] YEUNG M, YEO BL. Fragile watermarking of Three-Dimensional Objects [A]. Proceedings of International Conference on Image Processing, Volume 2 [C]. Los Angeles: IEEE Computer Society, 1998. 442-446.
- [10] PRAUN E, HOPPE H, FINKELSTEIN A. Robust Mesh Watermarking [A]. SIGGRAPH'99 conference proceedings [C]. 1999.
- [11] ZHOU K, BAO FJ, SHI JY. A unified framework for digital geometry processing [J]. Chinese Journal of Computers, 2002, 25(9): 904-909.
- [12] ZHOU K, BAO FJ, SHI JY. 3D surface filtering using spherical harmonics [J]. Computer Aided Design, 2003.
- [13] WANG HJ, SU PC, KUO CCJ. Wavelet-based Digital Image Watermarking [J]. Journal of Optics Express, 1998, 3(12): 491-496.
- [14] PRESS WH, TEULKOLSKY SA, VETTERLING WT, *et al.* Numerical Recipes in C [M]. 2nd ed. London: Cambridge University Press, 1996.
- [15] MAILLOT J, YAHIA H, VERROUST A. Interactive Texture Mapping [A]. SIGGRAPH'93 Proceedings [C]. 1993. 27-34.
- [16] GUSKOV I, SWELDENS W, SCHRODER P. Multiresolution Signal Processing for Meshes [A]. SIGGRAPH'99 conference proceedings [C]. 1999.
- [17] BURT PJ, ADELSON EH. Laplacian Pyramid as a Compact Image Code [J]. IEEE Transaction Commun. 1983, 31(4): 532-540.
- [18] HOPPE H. Progressive Meshes [A]. SIGGRAPH'96 Proceedings [C]. 1996. 99-108.
- [19] GARLAND M, HECKBERT PS. Surface Simplification Using Quadric Error Metrics [A]. SIGGRAPH'97 Proceedings [C]. 1997. 119-128.

(上接第1155页)

运动估计与多分辨率搜索思想应用到3DRS算法当中,消除了原始算法中的误差传递现象,使用运动矢量相关度来自适应地调整分辨率,利用调节误差匹配块大小,提高了运动估计的准确性。通过大多数测试序列的验证,本文算法的去隔行效果都要优于原有的3DRS算法。

参考文献:

[1] DE HAAN G, BELLERS EB. Deinterlacing - An overview [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(9): 1839-1857.

[2] DE HAAN G, BIEZEN PWAC, HUIJGEN H, *et al.* True motion estimation with 3-D recursive search block-matching [J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 1993, 3(5): 368-388.

[3] BRASPENNING R, DE HAAN G. Efficient Motion Estimation with

- Content-Adaptive Resolution [A]. Proceedings of International Symposium on Consumer Electronics (ISCE) [C]. 2002. E29-E34.
- [4] KIM Y, CHOI KS, PYUN JY, *et al.* A Novel De-interlacing Technique Using Bi-directional Motion Estimation [J]. Notes in Computer Science, 2003, 2667(1): 957-966.
- [5] DE HAAN G, BELLERS EB. De-interlacing of video data [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1997, 43(3): 819-825.
- [6] BRASPENNING RA, DE HAAN G. True-motion estimation using feature correspondence [A]. SPIE, Proceedings of VCIP [C]. 2004. 396-407.
- [7] DE HAAN G, BIEZEN PWAC. Timerecursive de-interlacing for high-quality television receivers [A]. Proceeding of the International Workshop on HDTV and the Evolution of Television [C]. Taipei, Taiwan, 1995. 8B25-8B33.