

一种基于非标定摄像机仿射变换的块匹配算法

吴 谔^{1),(2)} 周 军^{1),(2)}

¹⁾(上海交通大学电子工程系图像通信与信息处理研究所,上海 200240)

²⁾(上海交通大学上海市数字媒体处理与传输重点实验室,上海 200240)

摘 要 针对“平行视”多视视频,提出了一种基于非标定摄像机仿射变换的块匹配算法。该算法采用 Harris 算子提取角点,依据特征跟踪法和线段仿射性质作为同名点匹配准则,利用同名点信息构造摄像机仿射变换矩阵,在此基础上实现视间块匹配。实验结果表明,该算法可有效提高“平行视”块匹配效果。

关键词 角点检测 同名点匹配 仿射变换 块匹配

中图法分类号: TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)11-2378-05

A Block Matching Algorithm Based on Un-calibrated Camera Affine Transformation

WU Xu^{1),(2)}, ZHOU Jun^{1),(2)}

¹⁾(*Institution of Image Communication and Information Processing, Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240*)

²⁾(*Key Laboratory of Digital Media Processing and Transform, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240*)

Abstract For un-calibrated parallel cameras, a new algorithm using affine transformation is proposed in this paper. This algorithm uses Harris operator to obtain corners, and determines corresponding image points with characteristic tracking method, and segments affine transform theory, and then constructs the affine matrix to make disparity block estimation. It has been proved that the algorithm can improve the result of the original motion estimation.

Keywords corner detection, homogeneous coordinates, affine-transformation, block match

1 引 言

立体/多视点视频会带来视频数据的急剧增加,这导致存储和传输变得十分困难,因此对于立体/多视点视频进行高效压缩就显得极为重要。大部分立体视频编码方案,如 MPEG-2 MVP, ATTEST 项目, MPEG-4 3DAV scheme, H. 264 MVC, 都采取单信道交叉编码,即利用视频通道之间的相关性减小空间冗余,采用运动/视差估计和模式扩展的办法提高压缩率。

单信道交叉编码在帧间参考(参考同一视)基础上增加了视差估计(参考多视)。视差估计为了得到较优的匹配效果,成倍增加搜索量(有的时候视差向量可能多达 100 个像素),这将很大程度降低编码效率^[1]。为了减小编码载荷,一种有效的优化办法是合理选择视差估计窗初始位置,提高局部搜索块匹配精度。对已知摄像机投影参数的视频,利用宏块深度信息和立体图像几何特性优化块匹配初始位置已得到运用^[2-3];而对于未知摄像机参数的视频,多数编码方案仍以改变搜索窗大小和搜索算法的优化提高效率,并无利用到视频本身信息。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA01A319)

收稿日期:2009-06-17;改回日期:2009-08-15

第一作者简介:吴 谔(1985 ~),女,上海交通大学电子工程系图像通信与信息处理研究所硕士研究生。主要研究方向为图像编码和图像处理。E-mail:wuxu1019@hotmail.com

本文提出一种基于平行视特征点仿射模型的块匹配算法。该方法针对立体视频角点特征构造同名点对并建立仿射变换模型,在视差估计中基于该模型优化块匹配初始位置。实验表明,该算法能有效提高块匹配精度并提高信噪比。

2 基于摄像机仿射变换的块匹配算法

在立体平行摄像机系统中,左右两摄像机被平行放置,成像面位于同一平面,如图 1 所示。 C_R 和 C_L 为左右摄像机光学中心, C_R 和 C_L 为成像平面中心, $P_R([x' \ y']^{-1})$ 和 $P_L([x \ y]^{-1})$ 为影像 P 的成像同名点,其坐标的仿射变换见式(1)。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{cases} a \cdot x + b \cdot y + x_0 \\ c \cdot x + d \cdot y + y_0 \end{cases} = Q \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} a & b & x_0 \\ c & d & y_0 \\ & & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, a, b, c, d, x_0, y_0 为仿射变换系数。

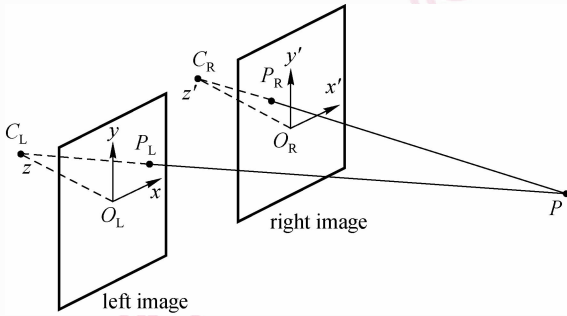


图 1 平行视仿射模型
Fig. 1 Affine model for parallel cameras

式(1)表明由 $q(q \geq 6)$ 个同名点对即可求得全部仿射变换约束参量。在视差估计中,利用该变换约束关系初始窗的位置,是一种复杂度不高,却能迅速提高局部块匹配精度的方法。本文算法基于该思想,利用视频特征点估计视差估计初始窗,流程见图 2。

2.1 Harris 角点检测

本算法首先采用 Harris 角点检测法^[4]提取图像中的点特征。该方法基于信号的点特征提取算子,利用与自相关函数相联系的矩阵 M (M 阵的特征值是自相关函数的一阶曲率),见式(2),如果它的两个曲率值都高,则认为该点是点特征。

$$M = G(s) \otimes \begin{bmatrix} g_x & g_x g_y \\ g_x g_y & g_y \end{bmatrix} \quad (2)$$

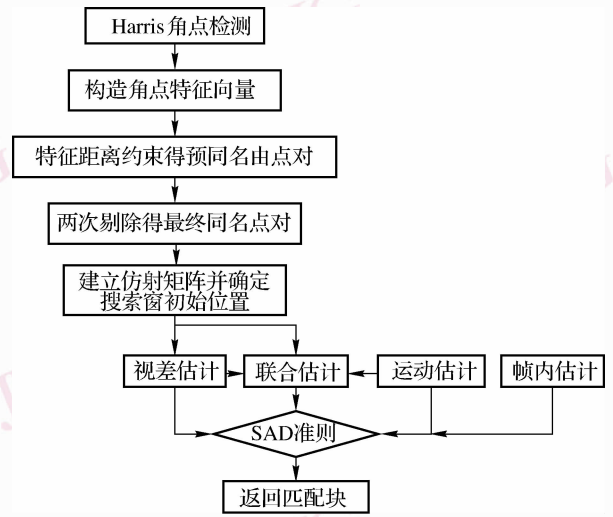


图 2 本文块算法流程图

Fig. 2 Flow char of the proposed block matching algorithm

式中, g_x 为 x 方向的梯度, g_y 为 y 方向的梯度, \otimes 为卷积操作, $G(s)$ 为高斯模板。Harris 角点提取法是目前效果较好的一种角点检测方法,不受摄像机姿态及光照的影响。

2.2 同名点匹配

点匹配技术可运用于多个领域,包括图像拼接,跟踪,识别,自动配准等。点匹配方法包括松弛匹配,基于相关系数和支持强度;旋转不变性;基于对极几何约束;聚类法,基于自适应聚类^[5]。本算法将采用特征跟踪法进行预匹配,基于仿射特性的双次剔除法最终确定同名(角)点对。采用以下 3 步实现,以确保同名点对的准确性。假设主视图图像为 R ,已得角点 $Ri(i=1,2,\dots,n)$;辅视图图像为 L ,已得角点 $Lj(j=1,2,\dots,m)$ 。

$$\begin{matrix} g_x^{(1)} * g_y^T & g_x * (g_y^{(2)})^T & g_x * (g_y^{(3)})^T & g_x * (g_y^{(4)})^T \\ g_x * (g_y^{(1)})^T & g_x^{(1)} * (g_y^{(1)})^T & g_x^{(1)} * (g_y^{(2)})^T & g_x^{(1)} * (g_y^{(3)})^T \\ & g_x^{(2)} * g_y^T & g_x^{(2)} * (g_y^{(1)})^T & g_x^{(2)} * (g_y^{(2)})^T \\ & & g_x^{(3)} \otimes g_y^T & g_x^{(3)} * (g_y^{(1)})^T \\ & & & g_x^{(4)} * g_y^T \end{matrix} \quad (3)$$

式中, $g_x = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, g_y = e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}}, \sigma$ 为高斯分布标准差。

(1) 采用多阶导向滤波器^[6]得到每个角点的 14 个特征值,见式(3)。式中 $g_x^{(n)}$ 和 $g_y^{(n)}$ 分别表示 g_x 和 g_y 的 n 阶导数。

(2) 利用特征值构造特征向量,见图 3。取出 R

中与 L_1 特征距离最小点 R_x 。若存在 R_x 附近 N 个点与 L_1 附近 N 个点特征距离小于门限 ($N = 5$), 则将 L_1 和 R_x 作为预同名点对; 否则取 R 中与 L_1 特征距离次小点, 并重复上述过程。依据此方法得到 L 中所有 m 个点与 R 中角点预同名点对 (共 k 对, $k \leq m$), 设为 $L_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 和 $R_i (i = 1, 2, \dots, k)$

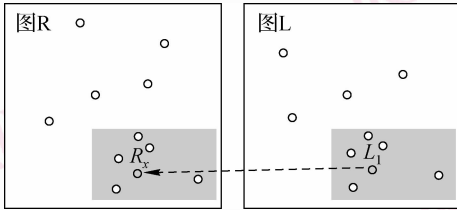


图 3 预匹配示意图 (圆圈表示角点)

Fig. 3 Pre match (circle: corner)

(3) 利用线段仿射变换前后比值接近这一特征, 剔除失配对。由式 (4) 得 k 组预同名点对的线段比率 $Ratio$, 取比率均值为聚类中心并选取方差最小的 P 组为“保留对”, 依上述方法再次筛选“保留对”得到 $q (q \geq 6)$ 组最终同名点对。

$$Ratio_i = \frac{\sum_{x=1, \dots, k, x \neq i} \frac{\|L_i - L_x\|}{\|R_i - R_x\|}}{k-1} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

$Ratio_i$ 的聚类特性见图 4, 该图反映仿射前后线段比率主要集中于聚类中心区域 (以测试序列为例, 集中于为 1 ~ 1.5 的部分)。

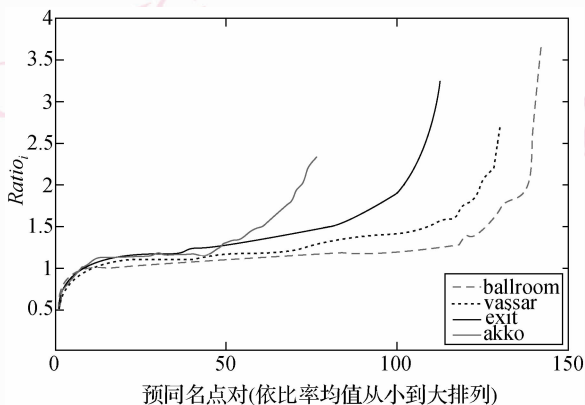


图 4 预同名点对 $Ratio_i$ 示意图

Fig. 4 Pre pairs $Ratio_i$ figure

2.3 基于仿射模型的块匹配搜索

将 q 个匹配点坐标带入式 (1), 即得到平行视的仿射变换矩阵 Q 。 Q 表示了同名点在双摄像机成像平面的基本约束关系, 虽然忽略透镜成像畸变及成像点深度影响, 却提供了一种有力便捷的视间估计初始

窗优化办法。基于该矩阵, 点匹配可近似块匹配, 再由 SAD 准则进行局部搜索即可确定匹配块。

为检验本文所述基于仿射变换的块匹配搜索法在立体视频编码中的运用效果, 实验将结合 P 帧和 B 帧的运动补偿预测特点, 拓展视差补偿预测参考模式^[7]: P 帧采用帧内预测、前向预测、视间预测、前向 & 视间预测四种模式; B 帧采用帧内预测、前向预测、后向预测、视间预测, 前向 & 视间预测, 后向 & 视间预测, 前向 & 后向预测, 前向 & 后向 & 视间预测八种模式。

3 实验结果和分析

实验选取多组标准测试流, 采用其中标号为 No. 0 和 No. 1 的相邻两视进行测试, 以 No. 0 视作为主视。首先, 采用 Harris 角点检测和同名点对匹配方法, 并结合式 (1) 得到未标定平行摄像机仿射变换矩阵。以 Akko 为例, 同名点对见图 5 (第 100 帧)。

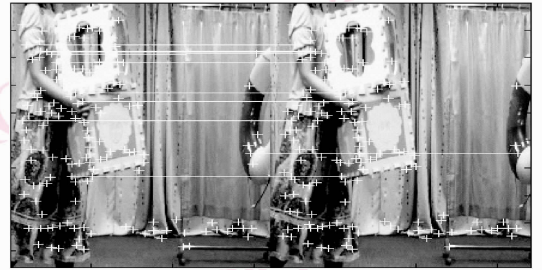


图 5 同名点对 (Akko)

Fig. 5 Identical points (Akko)

接下来, 测试仿射变化矩阵在 P 帧, B 帧块匹配模式中的应用。这里, 宏块大小选取 $16 \times 16, \pm 15$ 像素进行全搜索, 并采取以下 3 种补偿方式用于比较。“ME”: 采取运动估计 (单视独立方式); “固定窗” (set window): 采取运动估计 & 无初始窗的视间估计; “平移窗” (trans window): 采取运动估计 & 有初始窗的视间估计 (本文算法)。

表 1 和表 2 为测试序列 P, B 帧块匹配模式的比例统计。可见, “平移窗” 相比另外两种方式, 更多宏块选取视间或与视间结合的块模式, 说明更多视间冗余被利用, 匹配精度更高。图 6 为 3 种模式下 P 帧块匹配的 PSNR 值比较。“平移窗” 方式的明显值高于另外两种。本文基于 MPEG2 的多视编码平台实现该算法, 并记录上述 3 种方式码率大小 (目标码率为 5Mbps 编码), 见图 7。

表 1 P 帧各块匹配模式百分比,NA 为无该模式

Tab. 1 Block matching percent for each mode in P frame 单位:%

宏块模式	Ballroom			Akko		
	ME	固定窗	平移窗	ME	固定窗	平移窗
帧内	3	1	1	2	0	0
前向预测	97	68	63	98	45	35
视间预测	NA	2	4	NA	13	22
前向 & 视间预测	NA	29	32	NA	42	43

表 2 B 帧各块匹配模式百分比,NA 为无该模式

Tab. 2 Block matching percent for each mode in B frame 单位:%

宏块模式	Ballroom			Akko		
	ME	固定窗	平移窗	ME	固定窗	平移窗
帧内	0	0	0	0	0	0
前向预测	10	7	6	22	16	9
后向预测	9	6	5	15	7	5
视间预测	NA	1	2	NA	6	13
前向 & 后向预测	81	71	66	63	42	37
前向 & 视间预测	NA	7	9	NA	16	20
后向 & 视间预测	NA	7	10	NA	12	15
前向 & 后向 & 视间	NA	1	2	NA	1	1

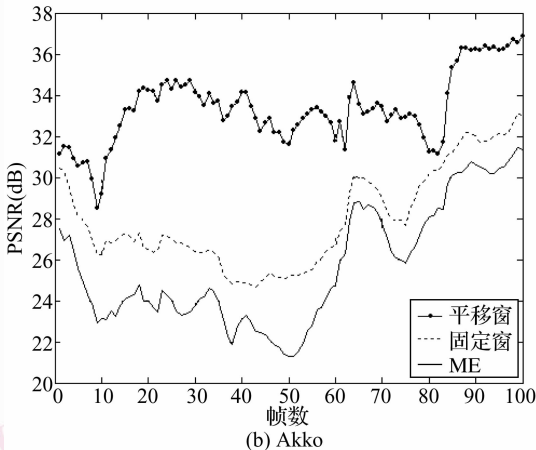
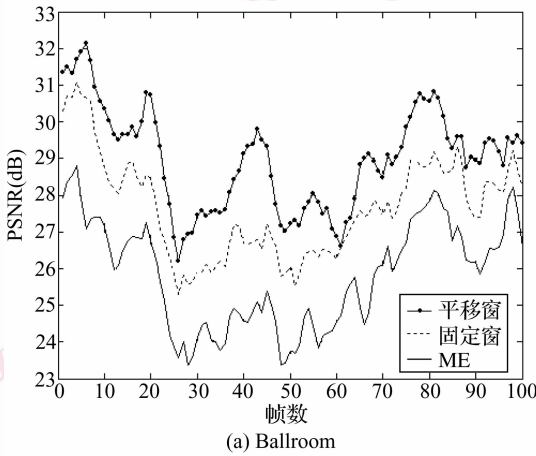


图 6 ME/固定窗/平移窗方式 PSNR (dB) 比较

Fig. 6 PSNR compare for ME/set window/trans window

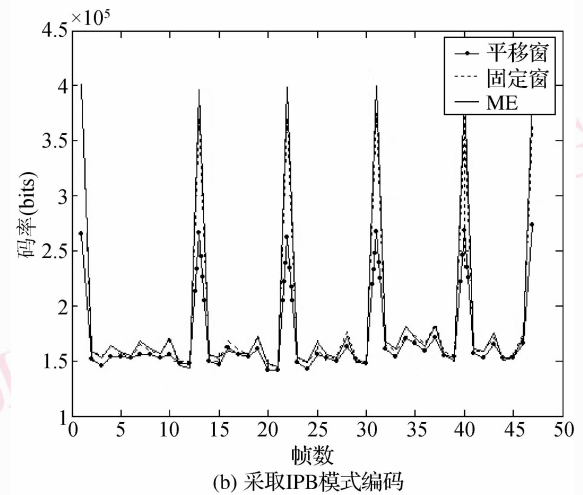
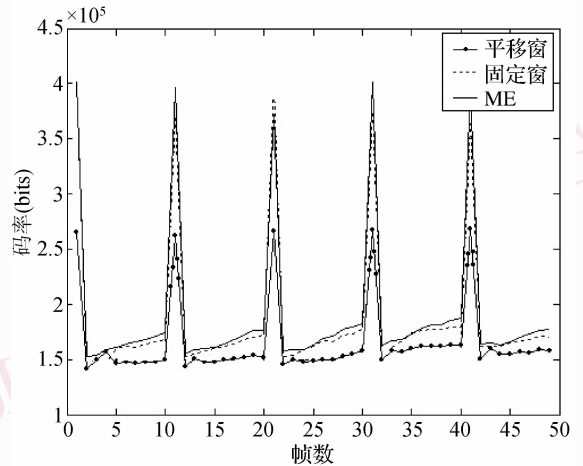


图 7 ME/平移窗/固定窗方式码率比较 (Ballroom)

Fig. 7 Bitrate compare for ME/set window/trans window

最后,实验针对测试序列统计运算时间,以比较 3 种算法复杂度。采用 IPB 方式编码,累积 100 帧块匹配运算的总体执行时间,以平均值作为比较标准。图 8 为 3 种算法的平均时间比较图,可见由于增加了视间参考和初始窗估计,“平移窗”相比另外两种算法有适当时间复杂度的提高。

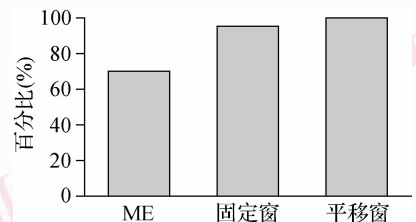


图 8 ME/平移窗/固定窗方式执行时间比较 (Akko)

Fig. 8 Executive time for ME/set window/trans window

4 结 论

针对非标定平行视摄像机,提出基于仿射变换的视间块匹配算法。该方法利用双视图像角点信息得到仿射变换关系,为保证仿射矩阵求解的准确性,引入多次剔除失配对的策略。基于立体视频编码中不同块匹配扩展模式进行实验,比较“ME”,“固定窗”,本文算法在这些模式下的表现。实验表明,在复杂度适度的提高下,本文算法可得到更优匹配块并提高 PSNR 值。

参考文献 (References)

- 1 Xu X Z, H Y. Fast disparity motion estimation in MVC based on range prediction [A]. In: Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Image Processing[C], San Diego, CA, USA, 2008: 2000-2003.
- 2 San X, Cai H, Luo J G. Multiview image coding based on geometric prediction [J]. IEEE Transaction Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(11): 1436-1439.
- 3 Fusiello A, Roberto V. Efficient stereo with multiple windowing [A]. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], San Juan, Puerto Rico, 1997: 858-863.
- 4 Harris C G, Stephens M. A combine corner and edge detector [A]. In: Proceedings of the 4th Aley Vison Conference[C], Manchester, UK,1988:147-151.
- 5 Freeman W T, Adelson E H. The design and use of steerable filters [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(9): 891-906.
- 6 Lourakis M I A, Argyros A A, Marias K. A graph-based approach to corner matching using mutual information as a local similarity measure [A]. In: Proceedings of the 17th International Conference on the Pattern Recognition[C], Cambridge, UK, 2004, 2: 827-830.
- 7 Oh J D, Choi Y S, Park R H, *et al.* Trinocular stereo sequence coding based on MPEG-2 [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(3): 425-429.