

基于边缘相关性距离约束的角点匹配

王万良 金亦挺 赵燕伟 郑建炜

(浙江工业大学计算机科学与技术学院 杭州 310023)

摘 要 在双目视觉技术中,针对物体边缘上的角点误匹配问题,提出了一种基于边缘相关性距离约束的角点匹配算法。该算法首先采用基于边缘的角点检测子来提取角点,通过极线约束和角点特征值约束来确定候选角点匹配集合;然后提出“边缘相关性”约束,基于角点距离构造候选角点对的贡献值来对其进行精匹配;最后构造角点特征向量,通过子向量匹配方法进一步对角点匹配对进行检验。实验结果表明,该匹配算法正确率高,有效地解决了边缘角点对的误匹配问题,非常适用于基于边缘曲线的双目视觉应用。

关键词 双目视觉,角点匹配,边缘相关性,角点距离,子向量匹配

中图分类号 TP301.6 **文献标识码** A

Corner Matching Based on Edge Correlation Distance Constraints

WANG Wan-liang JIN Yi-ting ZHAO Yan-wei ZHENG Jian-wei

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract In the binocular vision technology, for solving the incorrect matching of edge corner, a corner matching algorithm based on edge correlation distance constraint was proposed. Firstly, use corner detection algorithm based on edge to extract corner, confirm candidate corner matching assemble by epipolar constraint and corner's threshold constraint. Then, put forward the “edge correlation” constraint, structure candidate corner pair's contribution value based on corner distance to have it fine matched. Finally, structure corner's vector, and test corner matching further using sub-vector matching method. The experiment results show that this matching algorithm has high accurate rate, solves the incorrect matching problem of edge corner pair effectively, and it's quite suitable for the applications of edge-based binocular vision.

Keywords Binocular vision, Corner matching, Edge correlation, Corner distance, Sub-vector constraint

目前,双目视觉技术在机器人导航、三维重建以及工业应用等领域扮演着极其重要的角色。如在机器人涂胶路径规划中,双目视觉技术能获取操作轨迹的三维信息,从而得到机械臂的工作路径。在双目视觉技术中,主要步骤有摄像机标定、立体匹配和三维重建,其中立体匹配是该领域研究的重点和难点。立体匹配算法主要分为两类:基于区域的匹配算法^[1,2]和基于特征的匹配算法^[3,4]。基于区域的匹配算法主要是依据像素点局部区域内像素值的互相关性来进行匹配,这种算法能得到比较稠密的视差图,但是计算量太大,并且只适用于纹理信息比较丰富的图像^[5];基于特征的匹配算法主要对图像的特征(如角点、边缘等)进行匹配,由于图像的特征数量相对来说是比较少的,因此运行速度比较快,并且特征所包含的信息量比较多,受光照和噪声等因素的影响较小,但只能得到稀疏的视差图^[6]。

基于特征的匹配算法主要依据立体匹配中的几何约束来进行匹配,主要包括以下 5 个:极线约束、唯一性约束、顺序性约束、几何相似性约束、视差连续性约束。角点是图像中非常

重要的特征,具有很好的鲁棒性,所以目前很多角点匹配算法被提出,视差连续性约束被广泛地应用于角点匹配中。文献[7]首先利用灰度相关系数来确定初始匹配集,然后通过匹配点集的基准差梯度来剔除错误匹配对,有机地将灰度相关与空间相关结合了起来,其中基准差梯度主要是利用视差连续性约束。文献[8]将角点提取过程的特征值结合到角点匹配过程中,通过 Harris 和 SUSAN 算子进行实验得出匹配点对的特征值比值在区间 $[0.1, 10]$ 内占了绝大部分,采用此约束来获取初始匹配集,再通过视差连续性约束来去除误匹配。文献[9,10]首先计算邻域内其他角点对候选角点匹配对的支持度,然后通过迭代松弛算法来去除错误的匹配点对。以上文献都是利用视差连续性约束来对候选匹配集合进行求精,虽然取得了良好的效果,但在物体边缘处的角点匹配效果并不佳。

由于角点匹配结果只能得到稀疏的角点视差图,在具体的应用中,很多基于角点匹配来获取曲线、边缘匹配的算法被提出。文献[11]中首先采用 Harris 算子对图像进行角点提

到稿日期:2012-07-15 返修日期:2012-10-25 本文受国家自然科学基金(61070043),浙江省科技厅项目(2010R50002-11)资助。

王万良(1957—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机视觉、智能调度与控制,E-mail:wwl@zjut.edu.cn;金亦挺(1989—),男,硕士生,主要研究方向为计算机视觉;赵燕伟(1959—),女,教授,博士生导师,主要研究方向为机器视觉、数字化设计与制造;郑建炜(1982—),男,博士,讲师,主要研究方向为计算机视觉、模式识别。

取,然后利用角点匹配对来引导边缘匹配,但是由于角点和边缘探测原理不一样,导致角点不可能都正好落在边缘上,文中把边缘匹配分为两种:角点附近的边缘匹配和离角点远的边缘匹配,这就导致了边缘匹配的不准确。文献[12]首先对图像进行分割,利用区域匹配和角点匹配来获取边缘匹配,并通过角点匹配对来进一步获取边缘点的匹配。这些算法的角点检测都是基于灰度的,其检测原理跟边缘检测原理并不一致,导致所检测的角点并不一定在边缘上,在这样的匹配角点对的引导下来匹配边缘曲线准确率并不高。

本文主要研究基于边缘的角点对匹配方法,为了能更好地对边缘处的角点进行匹配,提出了基于边缘相关性距离约束的角点对匹配算法,其通过结合角点自身特征和角点所在边缘的信息来提高角点的匹配正确率。算法具体步骤如表1所列,主要贡献有以下3个方面:

1)采用基于边缘的角点检测算法来提取图像角点,使得角点完全落在边缘曲线上,这有利于后期有关于边缘曲线的相关应用处理。

2)提出了“边缘相关性”约束,基于角点距离来构造候选角点匹配对的贡献值来对角点进行精匹配,以有效地剔除误匹配角点对。

3)再次基于角点距离构造了角点特征向量,通过子向量匹配方法来对候选角点匹配集合进行检验,以进一步降低误匹配率。

表1 匹配算法的步骤

算法步骤	
Step1	由基于边缘的角点检测算子来获取左右两幅图像的角点集合,利用极线约束和角点特征值约束来获取候选角点匹配集合
Step2	提出“边缘相关性”约束,基于角点距离来构造角点匹配对边缘贡献值 $S(p_l, p_r)$,采用松弛方法对候选角点匹配对进行精匹配
Step3	引入角点特征向量,采用子向量匹配方法再一次对候选角点匹配对进行检验,得到最终角点匹配集合

1 角点检测及匹配初始化

角点匹配算法一般分为3步骤:角点检测、角点描述、角点匹配。角点检测作为角点匹配的第一个步骤,是非常重要的,目前通常采用的角点检测算法都是基于灰度的,如 Harris 算子,由于其角点检测算法和边缘探测(如 canny 算子)的原理不一样,导致检测出的角点不一定落在边缘上,而很多应用如机器人工业操作等都是针对物体边缘进行的,因此本文采用基于边缘的角点检测算法来进行角点检测,如 CPDA (Chord-to-Point Distance Accumulation)角点检测算法^[13],但本文匹配算法并不局限于角点检测算法的选择,也可以选择其他基于边缘的角点检测算法,如基于 CSS (Curvature Scale Space)的角点检测算法等,只需改动算法参数阈值即可。

CPDA 角点检测算法是在 Han 和 Poston^[14]提出的点到弦距离累加(CPDA)原理上发展起来的。下面简单介绍角点的 CPDA 值的定义,如图1所示: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 是曲线上的 n 个像素点, P_1 是曲线上第一个像素点, P_n 是曲线上最后一个像素点。计算像素点 P_k 的点到弦距离累加的原理为:由一条弦 C_L 从 $P_{k-L}P_k$ 位置开始,计算点 P_k 到弦 $P_{k-L}P_k$ 的距离 $d_{k,k-L}$,然后弦 C_L 右移一个像素到 $P_{k-L+1}P_{k+1}$,再计算点 P_k 到弦 $P_{k-L+1}P_{k+1}$ 的距离 $d_{k,k-L+1}$,以此类推,最后弦 C_L

移动到 P_kP_{k+L} 位置结束,求得所有距离之和,即为点 P_k 处的点到弦距离累加 $h_L(k)$ 。由于 $d_{k,k-L} = d_{k,k} = 0$,点到弦距离累加计算公式可简化,如式(1)所示。

$$h_L(k) = \sum_{j=k-L+1}^{k-1} d_{k,j} \quad (1)$$

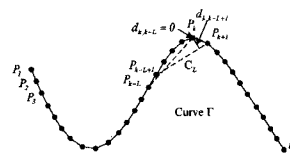


图1 点到弦距离累加原理图

角点的匹配过程即首先在左图 I_1 上选择一个角点,然后根据相关准则在右图 I_2 上寻找对应的匹配角点,如图像中存在大量的角点,则匹配过程将非常耗时,并且角点的错误匹配率很大。双目相机捕获的图像在经过标定和矫正后,已基本处于行对准状态,本文首先采用极线约束来获取候选角点的匹配集合,即角点到所对应的极线的欧氏距离小于一个阈值 ϵ_1 。极线约束可以将搜索空间从二维平面降低到一维直线,这样能很大程度上降低匹配过程中的计算量,并提高匹配的准确率。

由于通过极线约束后的角点匹配候选集合还是存在很多误匹配,而角点的 CPDA 值能够比较好地代表每个角点的特征,具有较好的区分度,因此根据角点特征值约束可以去除候选匹配集合中的误匹配角点对。将候选匹配集合中的左图角点都经过下述步骤来进一步进行筛选:

1)初始化 CPDA 差值的阈值 $\epsilon_2 = 0$;

2)通过式(2)来对其进行约束,计算约束后的角点匹配对个数;

$$|h_L'(k) - h_R'(k)| \leq \epsilon_2 \quad (2)$$

3)若候选匹配角点个数不为零或 $\epsilon_2 > 0.1$,则返回得到的匹配对,否则 $\epsilon_2 = \epsilon_2 + 0.02$,转到步骤2)。

式(2)中, $h_L'(k), h_R'(k)$ 分别为左右候选角点 CPDA 归一化后的值, ϵ_2 为角点特征值的差值阈值。由于图像的光照和噪声等影响,并且角点的特征值的计算依赖于边缘检测器,因此左右图像中相互匹配的角点的特征值往往也存在差异,在步骤3)中为避免正确角点匹配对的丢失,允许角点特征值差异的存在,由此带来的角点误匹配将在下面的步骤中剔除。

2 “边缘相关性”精匹配

经过极线约束和角点特征值约束产生的初始匹配集合中,很多角点匹配对还是一对多的,特别是当一幅图像存在的角点较多且角点类型较为相似时,误匹配的机率就比较大。

现在很多角点匹配算法基本上都将角点和它所处的边缘信息隔离开来,通常只考虑角点的局部信息,并未结合角点所处的边缘位置信息。在双目视觉系统中,由于相机在标定和矫正后只存在横向平移,因此在所拍摄的图像中提取出来的边缘是非常相似的,而边缘曲线上的角点能很好地代表该曲线,并且角点距离具有平移不变性。本文提出基于“边缘相关性”约束来对角点对进行精匹配,“边缘相关性”约束可以表述为:候选角点匹配对如果是正确的,那么它们所在的边缘曲线上将存在较多的正确角点匹配对,反之,则其边缘曲线上将会存在很少正确角点匹配对。即对于一个候选角点匹配对

(P_i^L, P_j^R) , 其中 P_i^L 是左图中的一个角点, P_j^R 是其在右图中的对应匹配点, $\Gamma(P_i^L)$ 和 $\Gamma(P_j^R)$ 分别为点 P_i^L 和 P_j^R 在其所对应的曲线上的角点集合, 如果 P_i^L 和 P_j^R 是一对正确的角点匹配点对, 那么 $\Gamma(P_i^L)$ 和 $\Gamma(P_j^R)$ 上能够正确匹配的角点将较多, 即获得的贡献值较大, 反之候选角点匹配对所获得的贡献值将非常小, 甚至为 0。

下面来定义候选角点匹配的贡献值, 若 (P_i^L, P_j^R) 为一对候选匹配角点对, 并且在 $\Gamma(P_i^L)$ 和 $\Gamma(P_j^R)$ 中, 如果角点匹配对 (P^L, P^R) 也为正确匹配点对, 那么左图中角点 P_i^L 和 P^L 的距离与右图中角点 P_j^R 和 P^R 的距离应当是相近的, 它们的距离之差相对较小, 所以角点的贡献值定义如式(3)所示:

$$S(P_i^L, P_j^R) = \sum_{P^L \in \Gamma(P_i^L)} [\max_{P^R \in \Gamma(P_j^R)} C(P_i^L, P_j^R, P^L, P^R)] \quad (3)$$

其中:

$$C(P_i^L, P_j^R, P^L, P^R) = \begin{cases} e^{-l/\epsilon_3}, & \text{if } l < \epsilon_3 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

$$l = |d(P_i^L, P^L) - d(P_j^R, P^R)| \quad (5)$$

式中, $S(P_i^L, P_j^R)$ 为候选匹配点对 (P_i^L, P_j^R) 在其所在边缘的贡献值总和, $C(P_i^L, P_j^R, P^L, P^R)$ 为候选匹配点对 (P_i^L, P_j^R) 所在边缘中的一对角点 (P^L, P^R) 对其的贡献值, \max 算子为取其其中的最大贡献值, $d(P_i^L, P^L)$ 表示角点 P_i^L 和角点 P^L 之间的距离, ϵ_3 表示距离之差的阈值, 如果距离之差大于 ϵ_3 , 则认为 (P^L, P^R) 为误匹配对, 其贡献值为 0, 一般 ϵ_3 取值为 5。若曲线上角点数小于 2, 则加入曲线端点来计算该曲线上的角点对贡献值。

在双目匹配中, 角点匹配对须满足顺序一致性约束: 即指位于两幅图像中的不同匹配对具有相同的顺序。本文结合图像边缘的性质, 将顺序一致性约束表述为: 在寻找角点 P^L 对匹配对 (P_i^L, P_j^R) 贡献值最大的匹配点 P^R 时, 若点 P^L 在曲线上位于点 P_i^L 的前/后方, 则点 P^R 也应该位于点 P_j^R 的前/后方, 即“边缘顺序一致性”约束, 该约束条件使得在寻找贡献度最大的匹配点时, 计算时间节省了一半, 并且减少了误匹配的发生。由于 $\Gamma(P_i^L)$ 和 $\Gamma(P_j^R)$ 中的角点个数并不一定一致, 若调换 $S(P_i^L, P_j^R)$ 中 P_i^L 和 P_j^R 的位置, 则得到的贡献值总和将不同, 因此分别计算两种情况下的贡献值总和, 取其较大值, 使结果满足对称性。

在获取每对候选角点匹配对的 S 值后, 去除误匹配实际上就是使所有候选匹配点对的贡献值 S 之和最小化, 本文采用文献[9]提出的“部分赢者通吃”策略的松弛方法来对角点进行精匹配。

首先选取候选角点匹配对中贡献值最大的候选匹配点对为准匹配点对, 用集合 $M = \{(P_i^L, P_j^R)\}$ 表示。定义 U 来表示准匹配点对的区分度, 如式(6)所示:

$$U = 1 - S_2/S_1 \quad (6)$$

式中, S_1 是当前最佳匹配的贡献值, S_2 是次最佳匹配的贡献值。建立两个表 M_S 和 U_S , 其中表 M_S 是将集合 M 中的元素从大到小进行排序, 表 U_S 是将集合 U 中的元素从大到小进行排序。从表 M_S 和 U_S 中选择前 60% 的元素, 取其交集作为正确的匹配角点对, 再把这些正确匹配点对所对应的其他候选匹配点对认定为错误匹配, 从候选集合中将其剔除; 更新表 M_S 和 U_S , 继续前述操作, 直到所有候选匹配点对都通过

了筛选, 这时候候选角点匹配对已经是一对一的。

3 匹配检验

在经过“边缘相关性”精匹配后, 候选匹配角点对已经是一对一的形式, 但由于在左右图像边缘中检测出来的角点不一致等问题, 候选匹配点对中还是存在着错误匹配对。在实际应用中, 错误匹配对是要严格控制的, 如机器视觉在工业方面的应用中, 允许出现少量遗漏的匹配点对, 这些遗漏的角点匹配对可以通过插补或重新测量来获得, 但是如果存在错误匹配点对, 将引起边缘曲线的匹配错误, 那么测量出的三维坐标将是错误的, 机器人的执行轨道也将不准确。所以所提算法在经过以上处理后, 引入了角点特征向量, 再一次对候选匹配点对进行检验, 使匹配结果的正确率进一步提高。具体步骤如下:

1) 取候选匹配对 (P_i^L, P_j^R) , 计算 P_i^L 和 P_j^R 与其边缘曲线上其他角点的距离, 得到角点 P_i^L 和 P_j^R 的特征向量 D_i 和 D_j , 若该条边缘上角点小于两个, 则加入曲线端点来获取角点特征向量。

2) 利用子向量匹配来计算候选匹配角点 P_i^L 和 P_j^R 的特征向量的相关系数 $R(D_i, D_j)$, 如式(7)所示, 其中 m, n 分别为左右曲线上的角点个数。

$$R(D_i, D_j) = \frac{d_{i1}d_{j1} + d_{i2}d_{j2} + \dots + d_{in}d_{jn}}{\sqrt{d_{i1}^2 + d_{i2}^2 + \dots + d_{in}^2} \sqrt{d_{j1}^2 + d_{j2}^2 + \dots + d_{jn}^2}}, \quad (7)$$

$$s = \min(m, n)$$

3) 得到所有候选角点匹配对的相互系数后, 设定阈值 ϵ_4 , 本文取值 0.9, 小于阈值的匹配对被认定为错误匹配对, 从候选匹配集合中删除。

在步骤 2) 中, 由于不同曲线之间, 即使是相对应的曲线, 曲线上的角点个数也可能是不一致的, 因此采用子向量匹配的方法来计算两特征向量的相互系数。子向量匹配: 角点 P_i^L 和 P_j^R 的特征向量 D_i 和 D_j , 维数分别为 m, n , 取维数较小的特征向量为模板向量, 如 $m < n$, 则 D_i 为模板向量, 遍历向量 D_j 中任一 m 维向量, 计算它与向量 D_i 的相关系数, 取最大值作为角点 P_i^L 和 P_j^R 的特征向量的相关系数。经过角点的匹配检验后, 角点误匹配基本上被去除。

4 实验结果及分析

图 2(a)、图 2(b) 所示为 Venus 灰度图, 图 2(c)、图 2(d) 为其边缘检测和角点提取, 为了减少角点数使结果便于观察, 只保留图像中长度大于 60 像素的边缘曲线。下面采用所提算法对 Venus 图像进行分步角点匹配, 以更好地解析算法去除误匹配的过程, 取图 2(c)、图 2(d) 中标记为曲线 L 和曲线 R 的两条曲线来演示所提算法的 3 个步骤。对曲线采用算法 Step1 操作, 如对图 2(c) 中曲线上标记为 a 的角点进行匹配, 在图 2(d) 中, 由于角点 a_1, a_2, a_3 都在角点 a 的对应极线附近, 得到候选匹配点对 $(a, a_1), (a, a_2)$ 和 (a, a_3) , 由角点特征值约束可以去除错误匹配点对 (a, a_3) 。在算法 Step2 中, 分别计算候选匹配点对的边缘贡献值, 其中 $S(a, a_1) = 5.1251$, $S(a, a_2) = 2.175$, 根据部分赢者通吃松弛方法可以得到角点 a 的唯一匹配点对 (a, a_1) 。接着在算法 Step3 中, 计算角点 a 在曲线 L 上和角点 a_1 在曲线 R 上的角点特征向量, 角点 a

特征向量为 (210.0905, 156.3714, 150.2332, 68.0661, 24.6982, 20.5913, 24), 角点 a1 的特征向量为 (209.0933, 155.9263, 150.0533, 25.5539, 21.9545, 23.0217), 采用子向量匹配计算两角点的相互系数 $R(a, a1) = 0.996$, 即经检验此匹配为正确匹配点对。

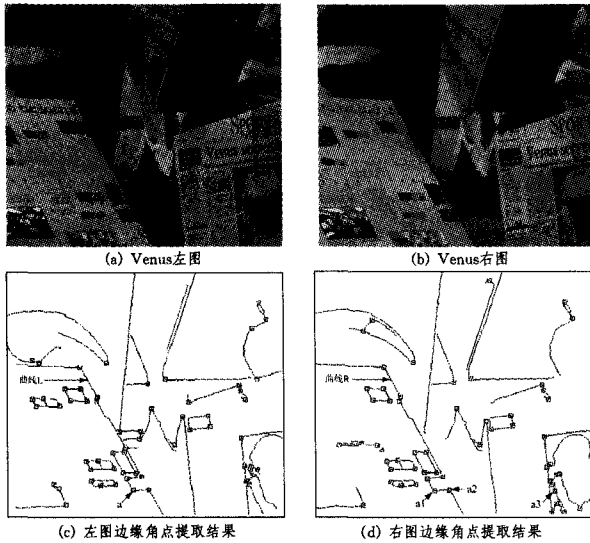


图2 算法分步解析图

图3是对 Venus 图进行角点匹配的结果, 实验中对左右图像分别提取出 60 对和 55 对角点, 所提算法共匹配出 42 对角点对, 其中 1 对错误匹配对, 由于左右图像中提取出来的边缘并不完全相同, 并且在边缘曲线上受噪声等影响, 左右图像中会不同地出现错误角点的检测和丢失正确角点的现象, 因此仅 42 对角点得到匹配, 但是角点匹配的正确率为 97.6%, 并且不存在漏匹配角点对。从实验结果可以看出, 基于边缘相关性距离约束的角点匹配算法能很好地对图像边缘角点进行匹配。

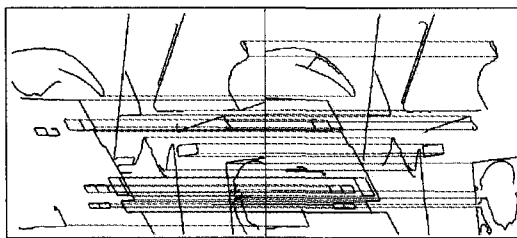


图3 Venus 图的匹配结果

为了验证所提算法的有效性, 本文首先采用双目相机来采集 12 对图像, 分成 2 组, 每组 6 对图像, 实验所采用的双目相机为大恒公司生产的双目摄像机 DH-HV3000UC 系列, 摄像机分辨率为 2048×1536 。其中第一组包含很多类型非常相似的角点, 第二组的角点比较密集。图4所示为采用所提算法对两组图像分别进行分步角点匹配的误匹配率。从图中可以看出, 所提算法角点误匹配率下降到几乎为零。在第一组图像中, 由于含有较多类型非常相似的角点, 如含有很多直角角点, 因此在经过极线约束和特征值约束后, 还是存在着大量的误匹配角点, “边缘相关性”精匹配能很好地去除这些误匹配。在第二组图像中, 由于角点比较密集, 由伪角点等造成的错误角点匹配对也能从其他角点获取很大的贡献值, 因此在经过角点精匹配后, 还是存在着比较多的误匹配角点, 但是

经过匹配检验, 误匹配角点还是很好地被剔除了。

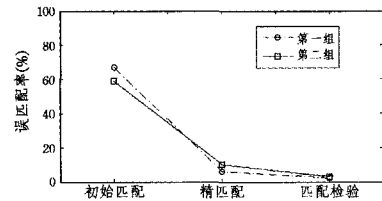


图4 角点误匹配率

结束语 本文算法结合极线约束、特征值约束、“边缘相关性”约束和角点特征向量检验来对图像进行角点匹配。其中提出的“边缘相关性”约束, 有效地结合了边缘上的角点距离约束, 大大降低了错误角点匹配数量。为解决左右角点不一致等因素引起的误匹配问题, 构造了角点特征向量对角点匹配进行进一步验证, 使角点匹配错误率下降到接近于零。并且由于角点提取是基于边缘的, 因此角点完全落于边缘上, 使之后的边缘曲线匹配、边缘点匹配能更加准确。最后对算法进行了分步解析, 并通过对 Venus 图像的匹配和相关实验验证了所提算法具有良好的性能。但所提算法的低误匹配率是以计算量为代价的, 接下来的研究方向为如何降低算法的时间复杂度。

参考文献

- [1] Daniel S, Richard S. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms [J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 47(1): 7-42
- [2] 刘正东, 杨静宇. 自适应窗口的时间规整立体匹配算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(2): 291-294
- [3] 呼艳, 耿国华, 周成全, 等. 基于未标定彩色图像三维重建的立体匹配算法[J]. 计算机科学, 2011, 38(7): 277-279
- [4] Wu Hua, Song Zhan, Yao Jian, et al. Stereo matching based on support points propagation [C]//Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Information Science and Technology. Wuhan, IEEE, 2012: 23-25
- [5] 曾凡志, 鲍苏苏. 一种自适应多窗口的立体匹配算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 519-522
- [6] 吴飞, 蔡胜渊, 郭同强, 等. 三角形约束下的图像特征点匹配方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(3): 503-510
- [7] 管业鹏, 顾伟康. 基于双目视觉的基准差梯度立体匹配法[J]. 传感技术学报, 2004, 17(1): 74-77
- [8] 朱松立, 戴礼荣, 宋彦, 等. 基于角点特征值和视觉梯度约束的角点匹配[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(34): 62-64
- [9] Zhang Z Y, Rachid D, Olivier F. A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of the unknown epipolar geometry [J]. Artificial Intelligence, 1995, 78(1): 87-119
- [10] 张辉, 张丽艳, 陈鉴富, 等. 基于自适应迭代松弛的立体点对匹配鲁棒算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(7): 1378-1385
- [11] 李海超, 张广军. 一种基于角点引导的快速立体边缘匹配方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(5): 557-560
- [12] 李苏祺, 张广军, 魏振忠. 基于区域邻接图的立体视觉边缘匹配算法[J]. 光电工程, 2008, 35(10): 92-97
- [13] Awrangjeb M, Lu G J. Robust image corner detection based on the chord-to-point distance accumulation technique [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2008, 10(6): 1059-1072
- [14] Han J H, Poston T. Chord-to-point distance accumulation and planar curvature: A new approach to discrete curvature [J]. Pattern Recognition Letters, 2001, 22(10): 1133-1144