一种基于角点引导的快速立体边缘匹配方法

李海超 张广军

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100083)

摘 要: 提出了一种新的基于角点引导的快速立体边缘匹配方法. 在匹配过程中, 为了保证其快速性引入了两种新约束: 角点约束与边缘约束. 首先, 利用匹配的角点信息引导边缘的匹配, 对如何利用已匹配的角点引导边缘匹配进行了详细的阐述, 同时, 在引导过程中提出了只利用8个方向的区域扩张方法, 进一步保证快速性. 其次, 提出边缘约束实现点与点的匹配, 使搜索范围仅限制在几个像素内, 再利用极线约束实现点的匹配, 必要时可结合灰度相关约束. 结果表明: 该算法取得比较好的匹配效果, 引入的两种约束在很大程度上提高了速度和正确率, 边缘点匹配的正确率高达97%以上.

关 键 词: 立体视觉; 立体匹配; 快速边缘匹配; 角点约束; 边缘约束

中图分类号: TP 391. 41

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2007)05-0557-04

Fast stereo edge-matching algorithm based on corner-guidance

Li Haichao Zhang Guangjun

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A new fast and robust edge-matching algorithm guided by matched corners was presented. In the whole matching process, the corner constraint and the edge constraint were proposed to guarantee the matching speed. First, the matched corners were used to guide the edge matching. How to use the previous matched corners to guide the edge matching was shown. Furthermore, region-growing idea was introduced to get matched edges quickly. Second, the edge constraint was proposed to limit the search area in several pixels, then epipolar constraint was used to achieved matched points, if necessary the cross correlation was also utilized. Numerous experimental results with various images clearly demonstrate that the benefit of integrating matched corners into the edge matching procedures is obvious, and with the two new constraints this method seriously improves the speed and the correct matching ratio is higher than 97%.

Key words: stereo vision; stereo matching; fast edge-matching; corner constraint; edge constraint

与二维信息相比, 三维结构信息具有场景结构的不变性, 在三维目标识别、视觉导航、动态场景分析以及运动分析等方面具有很大的应用前景. 获得三维结构信息的关键技术是快速、可靠的立体特征匹配.

用于匹配的特征主要有角点、边缘等. 角点是一种重要的局部特征, 具有较好的鲁棒性, 常用的主要是Harris角点[1]. 角点通过极线约束、灰度相关、松弛法[2]等一系列匹配技术, 能够获得100%的正确匹配率.

人眼对未知物体的认识主要通过跟踪物体的边缘轮廓特征, 并且边缘比角点含有更丰富的信息, 更有利于三维结构重建以及三维目标识别. 边缘匹配是立体视觉中一项重要的研究内容, 但是边缘匹配存在许多困难, 例如, 在边缘匹配中没有更多的几何不变性可以利用, 对边缘很难进行空间约束[3]; 左右图像中连接的边缘可能并不一致, 有时甚至差别很大, 导致了对边缘匹配的研究

收稿日期: 2006-09-15

基金项目: 武器装备预研基金资助项目(6140517)

作者简介: 李海超(1979-), 男, 山东日照人, 博士生, lihaichao2000@163.com.

并没有得到很大程度上的突破. 为了减少计算量, 研究人员利用了各种约束来限制搜索范围, 主要有外极线约束、惟一性约束、顺序约束等[4].

文献[3]提出利用极线约束、末端点、长度信息进行边缘匹配, 对噪声敏感, 若边缘的末端点差别很大, 该方法失效. 文献[5]采用极线约束和灰度相关进行边缘匹配, 交互使用已匹配的点和边缘信息, 克服了文献[3]中的不足, 但匹配过程繁琐. 文献[6-7]利用视差方向梯度实现快速边缘匹配, 但需要两摄像机光轴平行获得图像, 使用条件受限.

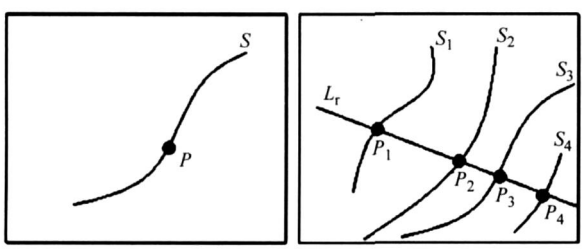
本文提出利用匹配的角点引导边缘匹配, 能够得到更多的匹配信息量. 提出了两种新的约束: 角点约束和边缘约束, 使得匹配边缘点的搜索范围大大减少, 同时提出只利用 8个方向的区域扩张思想, 保证了匹配的快速性并且得到了比较高的正确匹配率.

1 角点引导的匹配算法

边缘匹配的过程中, 利用外极线约束能极大地减少搜索范围, 把搜索空间从二维减少到一维的外极线上[8]. 图 1a中边缘 S 上的一点 P 在图 1b中的对应点一定在 P 对应的极线 L_r 上. 所有与 L_r 相交的边缘 $S_1 \sim S_4$ 可能是 S 的候选匹配边缘, 分别与 L_r 相交于点 $P_1 \sim P_4$. 考虑到获得的摄像机内外参数存在一定的误差, 在利用极线约束时只要求侯选匹配点到极线 L_r 的距离小于一定的阈值即可. 利用匹配的角点得到摄像机之间的极线几何关系[2], 可在边缘匹配过程中利用极线约束. 进一步考虑能不能把匹配的角点也很好的利用起来作为匹配的一种约束. 本文从该思路入手, 提出了角点引导的边缘匹配算法, 实现了边缘的快速匹配. 本文所有的匹配是在基本矩阵 $\boldsymbol{F}$ 已知的前提下进行的.

1.1 角点的提取、匹配及边缘的探测

采用 Harris角点探测器[1]和 Canny边缘探测器[9]分别提取左右图像的角点和边缘. 针对 Canny边缘检测速度慢的特点, 在提取边缘时采用分块提取的方法; 在算法的程序具体实现中采用了大量的指针运算, 使得边缘提取的速度得到提高. 利用外极线约束、灰度相关约束等一系列匹配技术实现角点的匹配, 最后经过松弛迭代法[2]去除误匹配.



a 左图像 b 右图像

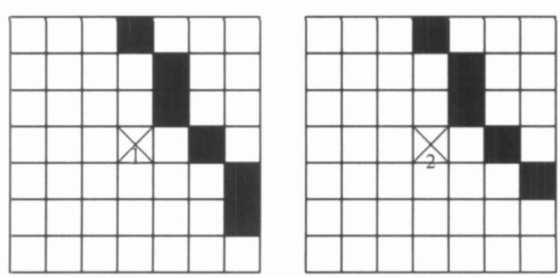
图 1 边缘匹配中的极线约束

1.2 角点引导的边缘匹配

如何利用已匹配的角点来引导边缘匹配是首先需要考虑的问题. 由于角点与边缘探测的原理不一样, 导致了角点不可能正好落在边缘上. 但是, 根据提取角点和边缘的原理可知, 它们都是梯度变化剧烈的位置, 角点一般大都落在边缘的附近. 本文利用这一原理把边缘分成两类: 角点附近(比如相距小于 4个像素)的边缘; 离角点距离远的边缘. 下面详细叙述怎样利用角点引导边缘的匹配.

1) 角点附近的边缘匹配. 角点距边缘点的最近距离很小(比如小于 4个像素), 在这么小的范围内几乎可以不考虑反映在图像上的变形. 图 2给出了角点与边缘点距离 1个像素的示意图(大于 1个像素的示意图与此类似), 从匹配的角点 1和 2同时只向 8个方向扩张, 扩张的第 1层有 8个像素, 若扩张的第 1层在某一个方向上同时遇到边缘上的点, 则该两条边缘为匹配边缘, 否则继续扩张到第 2层, ……, 直到第 4层. 如果该对匹配角点的附近没有对应的匹配边缘, 则在下一对匹配角点附近进行搜索, 直到所有的匹配角点都在其附近搜索一遍, 获得了已经匹配角点附近可能存在的匹配边缘. 如图 2中, 边缘点落在匹配角点扩展的第 1层并且都在 45°方向上, 图 2中的这两条边缘得到匹配.

2) 离角点远的边缘的匹配. 在角点距离边缘远的情况下, 反映在图像上可能存在一定的形变, 需要单独考虑匹配策略. 如图 3a所示, 对角点 1用与 1)中同样的方式向外扩张, 不过这次扩张的范围要大(比如 100个像素), 以适合搜索距离远

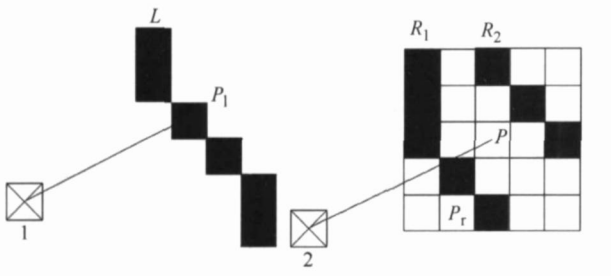


a 左图像 b 右图像

×—左右图像中匹配的角点 1和 2; ■—待匹配边缘上的点.

图 2 角点附近的边缘匹配示意图

的边缘, 当遇到未匹配的边缘 L 上的一点 P 时, 到图 3b中寻找相同距离与相同方向的对应点 P. 由于可能存在一定的形变, 点 P 未必在边缘上, 限定一个以点 P 为中心的搜索窗口 (比如大小为 5×5像素), 在该窗口内判断每个像素是否是边缘点. 如果是边缘点, 又因为在限定的搜索窗口内可能存在着多条边缘上的边缘点, 需要再利用极线约束和灰度相关约束[2] 判断该边缘点是否是 P 对应的匹配点, 确定为匹配点后, 该点 P_r 所在的边缘 R_i 确定为左图像边缘 L 的匹配边缘. 对于其他的已匹配角点采取同样的搜索扩张方法, 得到所有的匹配的边缘.



a　左图像　　b　右图像

×—左右图像中匹配的角点 1和 2; ■—待匹配边缘上的点.

图 3　角点离边缘远的边缘匹配示意图

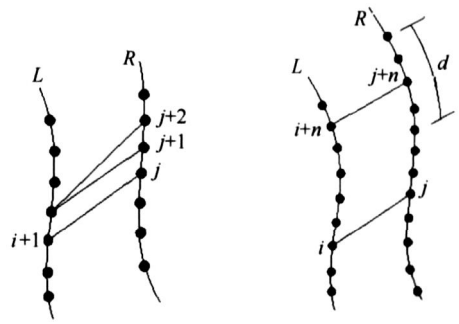
2　利用边缘约束实现点的匹配

经过上述两个阶段的边缘匹配得到了匹配的边缘, 该匹配速度是相当快的, 对大部分的实验图像只需要花费几十 ms 要实现三维重建以及三维识别必须要得到每个空间点的三维坐标, 即要获得边缘上点与点的匹配. 一般边缘不具有直线所具有的几何特征, 直线重建中只要得到两个端点的三维坐标, 然后通过插值法就能得到整条直线上的三维点坐标[10- 11], 一般边缘重建需要得到每个对应匹配点. 本文提出了一种充分利用边缘约束, 实现边缘上点与点的快速匹配.

考虑一对匹配的边缘 L 和 R, 通过角点引导的匹配得到了一对匹配点, 如图 4中的点 $L[i]\rightarrow R[j]$. 把点对 $(L[i], R[j])$ 作为参考匹配对, 去引导该对边缘上其他点的匹配. 如图 4a所示, 根据顺序性约束, 可能有 $L[i+1]\rightarrow R[j+1]$, 考虑到两幅图像之间存在一定的差别, 点 $i+1$ 可能与 $j+1$ 邻域的点匹配, 即可能满足 $L[i+1]\rightarrow R[j+1+d]$, d 表示一个小的邻域. 在程序中采用了 $d=\{0, 1, 2\}$, 也就是说参考点对的邻域点对的匹配应该在小于两个像素的范围内. d 的具体大小应该根据图像的差别程度来决定.

同理, 该方法可以应用到参考匹配点 i, j 的第 n 个邻域, 如图 4b所示, 若 $L[i]\rightarrow R[j]$, 那么有 $L[i+n]\rightarrow R[j+n+d]$, n 称为偏移量, 考虑图像之间存在差别, 点 $L[i+n]$ 也可能对应到点 $R[j+n]$ 的邻域几个点, 本文取 $d=\{-2, -1, 0, 1, 2\}$, 具体情况视两幅图像差别程度来确定.

本文提出的边缘约束把搜索范围限定在几个像素之内, 再利用极线约束, 实现了快速且比较可靠的点与点之间的匹配. 如果图像中提取的边缘与极线接近平行, 那么极线约束失效, 此时还需要引进灰度相关约束[2 8] 完成匹配.



a　参考匹配点对的附近　　b　参考匹配点对的第 n 个邻域

图 4　基于边缘约束的点的匹配

3　实验结果

对本文提出的算法进行了大量实验, 结果表明该算法快速可靠. 实验环境为 CPU P4 2 4, 内存 512M, 操作系统 W indow s XP SP2, 编译工具 V isualC++ 6. 0. 图 5为通过某种方式得到的



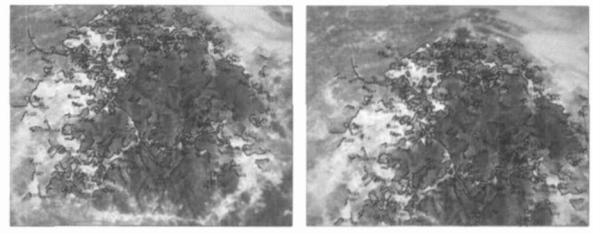
a　左图像

b　右图像

图 5　Pentagon的匹配结果图

Pentagon图像的边缘匹配结果图, 画出的边缘线是最后匹配的点. 使用本算法的匹配结果是: 匹配的边缘对数为 212即得到 212个参考匹配对, 其中存在 5对误匹配, 这 5对误匹配边缘上对应的匹配点数共 43对; 根据统计数据, 由于极线与边缘方向接近平行产生的误匹配对个数大约 200对. 匹配结果表明, 正确匹配率达到 97%.

图 6是通过某种方式得到的仿真航空地形图像, 本算法得到的匹配边缘数为 398对即得到 398个参考匹配点对, 通过分析得知有 4对是误匹配, 这些边缘上共有 22对误匹配点; 由于极线约束失效造成的误匹配点很少, 大约为 120对, 结果表明, 正确匹配率高达 99%. 表 1列出了两对景象的各个阶段所需时间 (单位: s)以及匹配的边缘点数.



a 左图像 b 右图像

图 6 地形的匹配结果图

表 1 各阶段所消耗时间和匹配的边缘点数

景象	图像分辨率	角点提取 /s	角点匹配 /s	边缘提取 /s	边缘点匹配 /s	总时间 /s	匹配点数
Pentagon	512× 512	0. 26	0. 266	0. 321	0. 25	1. 097	9558
地形图像	768× 576	0. 50	0. 628	0. 535	0. 35	2. 013	15286

4 结束语

本文从提高匹配速度和可靠性考虑, 提出了基于角点引导的立体视觉边缘快速匹配算法. 利用匹配的角点信息得到匹配的边缘, 具体到每条边缘上的点的匹配过程中又提出了边缘约束, 充分利用了提取的边缘信息. 实验结果验证了本文匹配方法的快速性和可靠性, 在速度要求高的情况下具有很好的应用价值. 匹配过程中利用了灰度相关, 当两幅图像存在较大的旋转和缩放时, 本方法就不能适用, 需探讨新的方法.

参考文献 (References)

[1] Harris C, Stepens M. A combined corner and edge detector [C] // Matthews M M. Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. England University of Manchester, 1988: 147- 152

[2] Zhang Z, Deriche R, Faugeras O, et al. A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of the unknown epipolar geometry [J]. Artificial Intelligence Journal, 1995, 78: 87- 119

[3] Han J H, Park J S. Contour matching using epipolar geometry [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(4): 358- 370

[4] Klette R, Schluns K. Computer vision: three-dimensional data from images [M]. Singapore: Springer-Verlag, 1998

[5] Yuan M L, Xie M, Yin X M. Robust cooperative strategy for contour matching using epipolar geometry [C] //The 5th Asian Conference on Computer Vision. Australia: Asian Federation of Computer Vision Societies, 2002

[6] Moallem P, Faez K. Effective parameters in search space reduction used in a fast edge-based stereo matching [J]. Journal of Circuits, Systems, and Computers, 2005, 14(2): 249- 266

[7] Moallem P, Ashourian M, Mirzaeian B. A novel fast feature based stereo matching algorithm with low invalid matching [J]. WSEAS Transactions on Computers, 2006, 5(3): 469- 476

[8] 张广军. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 108- 119
Zhang Guangjun. Machine vision [M]. Beijing: Science Press, 2005: 108- 119 (in Chinese)

[9] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679- 698

[10] Baillard C, Schmid C, Zisserman A, et al. Automatic line matching and 3D reconstruction of buildings from multiple views [J]. IAPRS, 1999, 32(3-2): 69- 80

[11] Habib A, Lee Y R, Morgan M. Automatic matching and three-dimensional reconstruction of free-form linear features from stereo images [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2003, 69(2): 189- 197

(责任编辑: 刘登敏)