

铁路视频序列的 FOE 的估计

胡燕花 唐 鹏 金炜东 何正伟

(西南交通大学电气学院 成都 610031)

摘 要 在结构化场景的轨道交通中,车载视频观测因相机平移运动而呈现出图像内容以某点为中心向四周扩散的现象,该点被称为 FOE (Focus of Expansion)。当前计算 FOE 的算法对噪声敏感且计算量大,不能准确地计算铁路场景中的 FOE。鉴于此,文中提出一种铁路视频序列的 FOE 估计方法。该方法首先利用金字塔光流法对检测的 Harris 角点进行跟踪和粗匹配,并在此基础上利用 RANSAC 算法进行精确的匹配,求得基础矩阵,然后提取图像中的极线束并计算 FOE。实验结果表明,所提算法比 Hough 直线求得的 FOE 误差小,适于实时应用。

关键词 FOE,极线束,基础矩阵,金字塔光流法,RANSAC 算法

中图分类号 U283.1 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.07.039

Estimation of FOE for Railway Video Sequences

HU Yan-hua TANG Peng JIN Wei-dong HE Zheng-wei

(College of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract In the rail transit of the structured scene, due to the movement of camera, the objects in the image captured by the on-board camera will spread around the center of this image, which is called FOE (Focus of Expansion). In view of the current technology based on FOE, which is sensitive to noise and has a large amount of computation, it can not accurately calculate the FOE in the railway scene. This paper presented a method for estimating the FOE of railway video sequences. This method uses the Pyramid optical flow method to track and coarsely match the detected Harris corner points, and makes accurately matching with RANSAC algorithm based on the computation of fundamental matrix. Then the epipolar lines are extracted in the image, and the FOE is obtained at last. The experimental results show that the FOE error of this algorithm is smaller than that of the Hough line, and the proposed algorithm is suitable for real-time application.

Keywords FOE, Epipolar harness, Fundamental matrix, Pyramid flow algorithm, RANSAC algorithm

1 引言

在铁路场景中,FOE 表示图像平面中对应于描述相机运动的三维(3D)速度向量与投影平面相交的点^[1]。如图 1 所示,假设 C 和 C' 表示摄像机的光心, M 为三维空间中的任意一点,摄像机获得的图像分别为 I 和 I' ,当摄像机沿着 CC' 方向平移运动时,矢量 CC' 与像平面 I 的交点即为 FOE。铁路接触网巡检图像的采集设备安装于司机台上,对着列车行进方向采集视频图像信息。在这种视角下得到的图像具有视野广阔、目标众多、几何信息突出等特点。当广阔视野的三维景物投影到二维图像上时便产生了明显的近高远低、近大远小、近宽远窄的透视效果,而利用透视形成的 FOE 可将二维图像上景物的距离、大小等相对空间信息恢复至原三维场景中的相对状态。另外,FOE 可以用来推算机车的运动方式,预防机车的蛇形运动造成的危害;还可以对巡检图像进行区域分割,提高对重点区域的检测效率,并尽量排除易干扰源。

因此,对 FOE 的研究尤为重要。

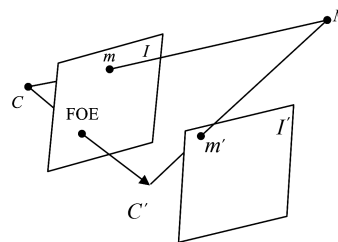


图 1 平移相机的 FOE

Fig. 1 FOE of translation camera

目前,研究者们将计算机视觉技术应用于铁路检测方面,并取得了很好的效果。Li 等^[2]提出了一种轨道表面缺陷检测的实时视觉检测系统。段汝娇等^[3]提出了一种基于计算机视觉的接触网定位器倾斜度自动测量装置,其应用了图像分割、剔除干扰线、图像细化等算法。王君可^[4]利用 CCD 成像测量技术、图像处理理论和计算机控制等相关技术,提出了一

到稿日期:2017-05-04 返修日期:2017-08-07 本文受国家重点自然科学基金项目(61134002),中央高校基本科研业务费创新项目(2682014CX027),国家重点研发计划(2016YFB1200401-102F)资助。

胡燕花(1991—),女,硕士生,主要研究方向为智能信息处理、图像处理,E-mail:hu_yanhua@126.com;唐 鹏(1979—),男,博士,讲师,主要研究方向为图像处理;金炜东(1959—),男,博士,教授,主要研究方向为智能信息处理、模式识别,E-mail:wdjin@home.swjtu.edu.cn(通信作者);何正伟(1994—),男,硕士生,主要研究方向为图像处理。

种非接触式的在线测量系统。近年来,针对 FOE 方面的研究,国内外已有一些具有代表性的工作。德国基尔大学的 Zhang 和 Koch^[5]提出了一种依赖精准矫正的相机参数来获得曼哈顿结构照片的灭点和直线分类;ITTI 基准^[6]、CMU 视觉定位数据集^[7]等方法对相机要求高,易受环境的影响,不适用于复杂的铁路场景。段旺旺^[8]提出的方法对摄像头的安装和图像的要求较高,且该方法利用了 Hough 检测出的直线,存在不可避免的误差,因此得到的灭点有偏差。文献[9-10]对灭点进行了研究,提出了探测灭点的计算方法,但其主要依赖于相机,对相机的设置要求较高。这些方法都不能准确、快速地计算出铁路场景下的 FOE。

针对以上情况,本文提出了铁路视频序列的 FOE 的估计方法。在铁路场景中,两条平行的铁轨是铺在石子路基上的,纹理较深,可以用金字塔光流场来研究视频帧间的关键点的运动轨迹。所提方法利用 RANSAC 算法来减少噪声干扰,得到较准确的图像中对应关键点之间的关系,进而提取图像的极线,求得视频序列的 FOE。所提方法的主要流程如图 2 所示。

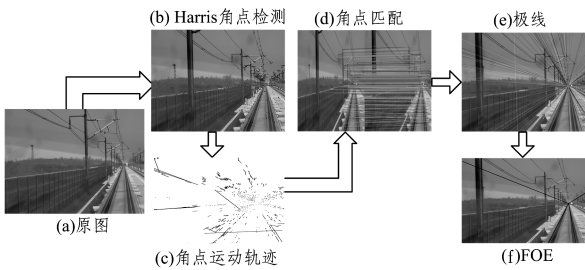


图 2 所提算法的示意图
Fig 2 Schematic of proposed algorithm

2 车载观测图像的特征提取与匹配

2.1 基于金字塔 LK 算法的特征提取与粗匹配

在深纹理的铁路场景下,使用一个经典的高效 Harris 检测器^[11]来寻找图片中的角点,对每一帧图像进行角点检测,角点的水平方向和竖直方向的梯度都比较大,因此主要计算方向梯度,然后根据特定门限判断其是否是最大值,确定 Harris 角点。

检测到兴趣点后,便估计两个连续帧之间的每个点的运动。这项任务的一种常见技术是光流 LK(Lucas-Kanade)方法^[12],但是标准 LK 算法只能处理连续帧亮度不变以及区域一致性的问题。由于装载摄像机的机车速度比较快,连续帧之间的关键点的位移较大,此时标准 LK 算法会出现较大的误差,因此需要基于图像金字塔在不同分辨率的图层下进行跟踪。为了提高 Lucas-Kanade 光流法的效率并降低图像中物体的运动速度,在应用中将其与高斯金字塔分层算法相结合(即金字塔 LK 算法^[13]),来对提取的特征轨迹进行跟踪以及粗匹配。金字塔 LK 算法对对应的特征点进行粗匹配,为了精确地求出图像的极线,需对特征点进行精确的匹配,以去除错误匹配的特征点。

2.2 基于 RANSAC 算法的关键点的精确匹配

为了精确地求出视频图像中的 FOE 点,需要对角点进行

精确的匹配。本文利用 RANSAC 算法来剔除上文错误匹配的角点,求得对应角点的准确关系——基础矩阵^[14]。利用 RANSAC 算法计算基础矩阵的思路^[15]如下:

- 1)所有的匹配点集中随机采样,利用 8 点法估计基础矩阵;
- 2)计算匹配点到对应极线的距离并与门限值比较,将数据划分为局内点和局外点;
- 3)记录基础矩阵和对应的内点数目,保存局内点数目最多的基础矩阵;
- 4)迭代 M 次,记录内点数目最多的投影矩阵和对应的内点位置;
- 5)利用保存得最多的局内点重新利用 8 点算法估计基础矩阵。

匹配结果如图 3 所示,经过精确匹配后,RANSAC 减少了关键点的错误匹配,得出了准确的基础矩阵。



图 3 角点提取、轨迹及匹配图
Fig. 3 Corner extraction, trajectory and matching graph

3 极线束的 FOE 的估计

在图 4 中,摄像机做刚体运动,从 C 平移到 C' 。假设 C 和 C' 表示摄像机的光心;摄像机获得的图像分别为 I 和 I' ; M 为三维空间中的任意一点; m 和 m' 是点 M 在两个图像上的像点,称 m 和 m' 为一对对应点。连接光心 C 和 C' 的直线被称为基线。空间点 M 和两个光心 C 和 C' 共面,所在面为极平面 π 。极平面与图像平面的交线 l 和 l' 被称为极线。计算点 m 在另外一幅图像上的极线,如式(1)所示:

$$l' = Fm \tag{1}$$

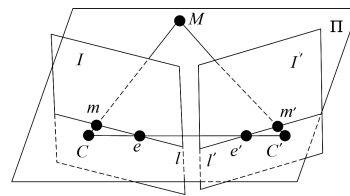


图 4 两幅图像的对极几何图
Fig. 4 Opposite polar geometry of two images

求得的极线如图 5(a)所示。计算已获取极线的交点,该交点即为极点,亦即 FOE。

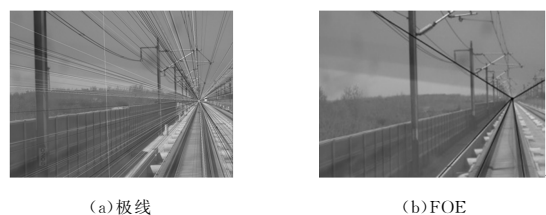


图 5 FOE 的计算
Fig. 5 Calculation of FOE

4 实验分析

实验数据来自于车载设备拍摄的北方地区的铁轨图片。为了验证方法的有效性,选择了铁轨左转弯道、直道、右转弯道的视频图像;在每帧图像中提取了 890 个角点,此时角点匹配率较高,金字塔层数为 3;某点寻找光流的最大迭代次数为 20。在检测图像中,铁轨并不一直都是以直线形式存在的,弯路也是比较常见的,如图 6(b)和图 6(c)所示,但通过比较可以发现,铁轨只处在图像的一侧,因此在求取 FOE 的过程中可只截取与铁轨相关的部分,从而避免大量的干扰因素。FOE 的检测结果如图 6 所示。

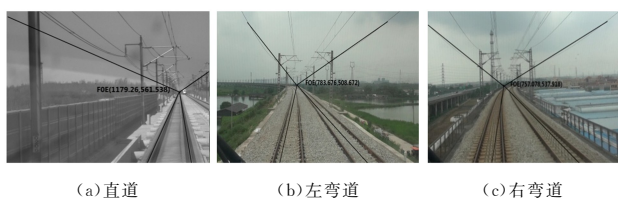


图 6 FOE 检测结果

Fig. 6 FOE detection results

经过左转弯道、直道、右转弯道的数据集实验验证,本文算法能够准确地求出 FOE 的坐标。为了验证本文算法比其他算法更适于所研究的内容,将其与文献[8]算法得到的 FOE 进行对比,结果如表 1 和图 7 所示。

表 1 本文算法和文献[8]算法得到的 FOE 与真实 FOE 的欧氏距离及两种算法的耗时比较

Table 1 Comparison of Euclidean distance and time consuming between FOE and real FOE obtained by proposed algorithm and literature [8]

	左弯道	直道	右弯道	耗时/s
文献[8]算法	10.7559	11.2118	18.3469	2.51
本文算法	7.3414	10.1262	12.2580	3.02

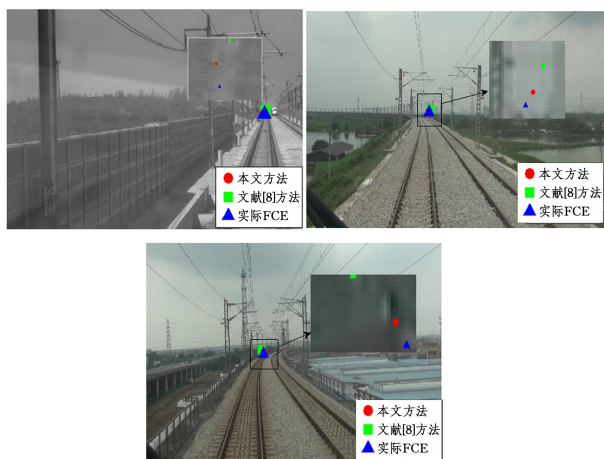


图 7 本文算法与文献[8]算法的比较

Fig. 7 Comparison between algorithms in this paper and literature[8]

另外,在金字塔 LK 算法粗匹配后,若无 RANSAC 方法进行精确匹配,两帧之间会有一些错误的匹配点,进而得到错误的极线,获得的 FOE 的坐标不稳定,误差大;特别地,对于

右弯道来说,鲁棒性及稳定性差。因此,对有 RANSAC 与无 RANSAC 的算法得到的 FOE 进行对比,结果如表 2 所列。

表 2 有 RANSAC 与无 RANSAC 的算法得到的 FOE 与真实 FOE 的欧氏距离比较

Table 2 Comparison of Euclidean distance between RANSAC and non-RANSAC algorithm for FOE and real FOE

	左弯道	直道	右弯道
无 RANSAC	11.6619	14.3178	25.1567
有 RANSAC	7.3414	10.1262	12.2580

通过比较可知,本文使用 RANSAC 算法减少了关键点的错误匹配,提高了整个算法的稳定性。另外,虽然相比于文献[8]的算法,本文算法的速度稍慢,但计算得出的 FOE 与真实的 FOE 更接近;并且文献[8]的方法对摄像头的安装和图像的要求较高,利用 Hough 检测出的直线存在不可避免的误差,导致直线的角点散布在某一个区域,产生的误差要高于本文产生的误差。经验证,本文算法对铁路巡检图像具有良好的适用性。

结束语 本文介绍了铁路视频序列的 FOE 的估计方法,分析了如何利用匹配后的关键点来求得极线和 FOE。通过大量图像数据验证,所提方法优于文献[8]的方法。利用求得的 FOE,可以进一步分析铁路场景,比如分割铁路的场景、选取对研究有用的场景;也可以根据 FOE 是否有变化来研究列车的运动情况等。所提算法尽管优于文献[8]的方法,但是在右弯道检测时还不太稳定。因此,未来将着重解决如何在左右弯道情形下减少误差,提高算法的稳定性。

参考文献

- [1] JAIN R. Direct computation of the focus of expansion[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 1983, 5(1): 58-64.
- [2] LI Q, REN S. A Real-Time Visual Inspection System for Discrete Surface Defects of Rail Heads[C]// IEEE Instrumentation and Measurement, 2012: 1-11.
- [3] DUAN W J, ZHAO W, HUANG S L, et al. Automatic measurement method of the inclination of the contact net positioner based on computer vision [J]. China Railway Science, 2011, 32(4): 82-87. (in Chinese)
- [4] 段汝娇, 赵伟, 黄松岭, 等. 基于计算机视觉的接触网定位器倾斜度自动测量方法[J]. 中国铁道科学, 2011, 32(4): 82-87.
- [4] WANG J K. Train wheelset detection system based on CCD imaging technology [D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2007. (in Chinese)
- 王君可. 基于 CCD 成像技术的火车轮对检测系统[D]. 大连: 大连交通大学, 2007.
- [5] ZHANG L, KOCH R. Vanishing points estimation and line classification in a manhattan world [M]// Computer Vision-ACCV 2012. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 38-51.
- [6] GEIGER A, LENZ P, URTASUN R. Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite [C]// Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2012.

- [7] BADINO H, HUBER D, KANADE T. The CMU Visual Localization Data Set[OL]. <http://3dvis.ri.cmu.edu/data-sets/localization>.
- [8] DUAN W W. Detection and abnormal recognition of contact network equipment for surveillance video [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016. (in Chinese)
段旺旺. 面向监控视频的接触网设备检测及异常识别[D]. 成都:西南交通大学, 2016.
- [9] HE Z M. Fast detection of vanishing points of the perspective text image [J]. Shanghai University of Engineering and Technology, 2012, 23(2): 229-232. (in Chinese)
贺志明. 透视文本图像的灭点快速探测[J]. 上海工程技术大学学报, 2012, 23(3): 229-232.
- [10] XIE W H, ZHANG Z X, ZHANG J Q. A new camera calibration method based on vanishing points[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(11): 1384-1387. (in Chinese)
谢文寒, 张祖勋, 张剑清. 一种新的基于灭点的相机标定方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(11): 1384-1387.
- [11] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector[C]// Alvey Vision Conference. Manchester, UK, 1988: 147-151.
- [12] LUCAS B D, KANADE T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision[C]// Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence. 1981: 674-679.
- [13] JIANG Z J, YI H R. A feature tracking method based on image pyramid optical flow[J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition), 2007, 32(8): 680-683. (in Chinese)
奖志军, 易华蓉. 一种基于图像金字塔光流的特征跟踪方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(8): 680-683.
- [14] HE M Y, DAI Y C. Three-Dimensional Measurement Algorithm for Uncalibrated Multi-view Images [J]. Microelectronics & Computer, 2010, 27(9): 181-185. (in Chinese)
何明一, 戴玉超. 多视角未标定图像三维测量算法[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(9): 181-185.
- [15] LIANG J J, QIN A K, SUGANTHAN P N, et al. Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2006, 10(3): 281-295.
- [16] HU Z Y, WU F C. Calibration Method Based on Active Vision Camera [J]. Chinese Journal of Computers, 2002, 25(11): 1149-1156. (in Chinese)
胡占义, 吴福朝. 基于主动视觉摄像机标定方法[J]. 计算机学报, 2002, 25(11): 1149-1156.
-
- (上接第 201 页)
- [2] ZADEH L A. Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic[J]. Fuzzy Sets & Systems, 1997, 90(90): 111-127.
- [3] LIN T Y. Granular Computing on binary relations I: Data mining and neighborhood systems[J]. Rough Sets in Knowledge Discovery, 1998(2): 165-166.
- [4] HU Q, YU D, LIU J, et al. Neighborhood rough set based heterogeneous feature subset selection[J]. Information Sciences, 2008, 178(18): 3577-3594.
- [5] CHEN H, YANG J A, ZHUANG Z Q. The Core of Attributes and Minimal Attributes Reduction in Variable Precision Rough Set[J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(5): 1011-1017. (in Chinese)
陈昊, 杨俊安, 庄镇泉. 变精度粗糙集的属性核和最小属性约简算法[J]. 计算机学报, 2012, 35(5): 1011-1017.
- [6] LOU C, LIU Z R, GUO G Z. Quick Attribute Reduct Algorithm on Neighborhood Rough Set Based on Block Set[J]. Computer Science, 2014, 41(S2): 337-339. (in Chinese)
娄畅, 刘遵仁, 郭功振. 基于块集的邻域粗糙集的快速约简算法[J]. 计算机科学, 2014, 41(S2): 337-339.
- [7] XU J C, XU T H, SUN L, et al. Feature Selection for Cancer Classification Based on Neighborhood Rough Set and Particle Swarm Optimization[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2014, 35(11): 2528-2532. (in Chinese)
徐久成, 徐天贺, 孙林, 等. 基于邻域粗糙集和粒子群优化的肿瘤分类特征基因选取[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 35(11): 2528-2532.
- [8] MENG Z Q, SHI Z Z. On quick attribute reduction in decision-theoretic rough set models[J]. Information Sciences, 2016, 330(C): 226-244.
- [9] LIU F, LI T R. Accelerated Attribute Reduction Algorithm Based on Probabilistic Rough Sets[J]. Computer Science, 2016, 43(12): 63-70. (in Chinese)
刘芳, 李天瑞. 一种基于概率粗糙集的属性约简加速算法[J]. 计算机科学, 2016, 43(12): 63-70.
- [10] YAN H C, ZHANG F, LIU B X. Rough decision rules extraction and reduction based on granular computing[J]. Journal on Communications, 2016, 37(Z1): 30-35. (in Chinese)
阎红灿, 张奉, 刘保相. 基于粒计算的粗决策规则抽取与约简[J]. 通信学报, 2016, 37(Z1): 30-35.
- [11] LIU Y, HUANG W, JIANG Y, et al. Quick attribute reduct algorithm for neighborhood rough set model[J]. Information Sciences, 2014, 271(7): 65-81.
- [12] LIU Z R, WU G F. An Algorithm for Sub-optimal Attribute Reduction in Decision Table Based on Neighborhood Rough Set Model[J]. Computer Science, 2012, 39(10): 268-271. (in Chinese)
刘遵仁, 吴耿峰. 基于邻域粗糙集模型的高维数据集快速约简算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(10): 268-271.
- [13] HU Q H, YU D R, XIE Z X. Numerical Attribute Reduction Based on Neighborhood Granulation and Rough Approximation [J]. Journal of Software, 2008, 19(3): 640-649. (in Chinese)
胡清华, 于达仁, 谢宗霞. 基于邻域粒化和粗糙逼近的数值属性约简[J]. 软件学报, 2008, 19(3): 640-649.