

一种前视红外视觉导航连续跟踪导航区选取方法

郑刚¹, 杨小冈¹, 刘云峰², 王雪梅¹, 付阁¹

(1. 第二炮兵工程大学, 西安 710025; 2. 中国兵器工业第209研究所, 成都 610041)

摘要: 针对飞行器前视红外视觉导航技术中导航区选取这个关键问题, 提出一种实用的连续跟踪导航区选取方法。首先对前视红外视觉导航任务进行了分析, 总结了常用的4种导航模式; 然后针对连续跟踪导航任务, 通过图像方差计算、连续直线特征检测、Frieden灰度熵分析, 设计了一种粗选、精选与稳定性分析相结合的导航区选取方法, 给出了方法的基本原理、实现步骤及选取流程图; 最后结合典型场景图像数据进行了仿真实验, 验证分析了该方法在连续跟踪导航区选取上的有效性、实用性及适应性。

关键词: 前视红外; 导航区选取; 连续特征检测; Frieden灰度熵

中图分类号: V271.4; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)12-0102-05

An Approach for Selecting Continuous Tracking Navigation Area for FLIR Visual Navigation

ZHENG Gang¹, YANG Xiao-gang¹, LIU Yun-feng², WANG Xue-mei¹, FU Ge¹

(1. The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China;

2. The 209th Research Institute of Weapon Industry, Chengdu 610041, China)

Abstract: An approach for the selecting continuous tracking navigation area was proposed to solve the problem of navigation area selecting for FLIR visual navigation of air vehicles. The mission of FLIR visual navigation was analyzed, and 4 kinds of commonly used navigation modes were summarized. Then, a navigation area selecting method integrating rough selecting, accurate selecting with stability analysis was designed as for the mission of continuous tracking navigation area selection, based on image variance calculation, continuation straight line feature detection and Frieden gray level entropy. The basic principle, implementation steps and flow chart are given here. The application experiments indicate the practicability, efficiency and adaptability of the designed approach.

Key words: FLIR; navigation area selection; continuation straight feature detection; Frieden gray level entropy

0 引言

近年来,随着传感器技术、计算机技术、图像处理技术的飞速发展,视觉导航技术格外得到国内外研究人员的重视。视觉导航实质上是一种模拟人类视觉定位、定向功能的导航模式,它可在卫星导航受干扰、地形环境受限、地磁特征不显明等条件下自主导航或者辅助惯性导航^[1-2]。

可见光下视景象匹配导航是当前飞行器视觉导航

的重要形式,已成为导航领域的一个研究热点^[2-3],但可见光不能全天时工作,且受环境因素影响较大,限制了其应用范围。红外成像传感器的发展有效地提高了飞行器的环境适应性,特别是采用前视成像模式,对于增强飞行器的特情感知、规避机动、航迹变更,以及自主起降等能力具有重要意义^[4-5]。综合飞行器导航发展需求及目前国内外相关问题的研究,表明前视红外视觉导航具有独特的优势与发展潜力,是实现飞行器自主智能导航的重要研究方向之一。

导航区的选取是视觉导航的基础,没有特征明显、信息量大、稳定性好、重复模式少的区域作为导航区,就无法实现导航点的检测、识别,也就无法获取准确的导航定位参数。当前,国内对前视红外视觉导航的研

收稿日期:2015-01-08

修回日期:2015-02-24

基金项目:国家自然科学基金(61203189,61374054)

作者简介:郑刚(1991—),男,四川绵阳人,硕士生,研究方向为图像识别与精确制导技术。

究主要集中在匹配算法上,而对导航区选定方法方面的研究并不多见,公开发表的文章也都是针对下视可见光影像匹配区的选定。文献[6-7]分别依据图像特征与匹配概率之间的二维、三维关系,采用多个独立特征,通过层层筛选、曲面拟合的方法确定最终匹配区;文献[8-9]以匹配区内的影像信息、稳定性和重复模式等特征参数为指标,以匹配概率和定位精度为验证指标,给出了快速匹配区选取方法;文献[10]将图像边缘密度与自匹配系数相结合,给出了一个异源图像匹配的匹配区选取方法;文献[11]从信息论的角度提出了基于信息熵的匹配区选取方法;文献[12]定义了图像的自匹配性能参数,并把该方法引入到影像匹配区的选取方法中;文献[13]提出了一种多尺度的匹配区选取方法。这些文献所提出的方法大都是选取一个或几个图像特征来对图像是否可以作为匹配区进行分析,而且都是针对下视可见光的图像,那么这些方法是否也适用于前视红外导航区的选定呢?总之,要从下视可见光影像匹配区选定扩展至前视影像匹配区选定,再扩展至前视状态下的导航区选定,考虑到前视红外影像匹配区选定准则的研究现状,特别是保障信息与实时信息的异源特性,相关问题研究尚待深入。

基于以上分析,本文首先对前视红外视觉导航任务性质进行了分析,并重点针对其中连续跟踪任务的导航区选取问题进行了研究,提出了一种适用于前视红外视觉导航连续跟踪导航区的选取方法。通过理论分析及仿真试验,验证了该方法的可行性及有效性。

1 前视红外视觉导航任务分析

飞行器要实现可靠准确的视觉导航,就必须选取合适的导航区,为此,本文根据飞行器飞行任务需求,对飞行过程中需要完成的导航任务进行了总结,归纳出 3 个典型的导航任务,分别是区域起降、定点修正、和连续跟踪。对于区域起降,应该选取机场等平坦、开阔、无遮挡的区域作为导航区;对于定点修正,应该选取有特征明显、辨识度高且唯一地标的区域作为导航区;对于连续跟踪,那就必须选取具有连续特征的区域作为导航区。显然这 3 种导航任务对于其需要的导航区具有各自截然不同的要求,所以很难找到一种具有普适性的导航区选取方法,对于不同的导航任务,需要研究适应其导航任务的导航区选取方法。本文主要针对连续跟踪进行了导航区选取方法的研究,涉及的问题主要体现在以下两方面。

1) 导航区红外保障数据难获取的问题。目前,在下视影像匹配的匹配区选取中,都是通过对卫星图片

或者航拍的图片进行相关处理来完成的。如果前视红外视觉导航区的选取采用场景的红外图片,那么其获取难度大,代价也高;如果采用卫星/航拍图像,就必须对其可行性进行分析,并研究对应的选取方法。

2) 导航区选取准则确立的问题。要选作导航区,必须选取特征明显、信息量大、稳定性好、重复模式少的区域,而要作为连续跟踪的导航区,除了要满足上述条件外,还必须具有连续性特征,需要选取合适的指标参数来衡量。

2 连续跟踪导航区选取准则

为了使选取得到的前视红外导航区能够满足连续跟踪导航任务的需求,该任务的导航区选取准则必须能够对图像中包含的连续特征进行检测、识别、分析。

2.1 基于图像方差的导航区粗选

由于选作导航区的图像必须具备一些必要条件,在选取过程中通过这些必要条件的筛选可以快速地对图像进行分类,提高选取效率,图像信息量就是常用的一种衡量指标。图像的信息量是指所含具有类间差异的灰度、结构等信息的多少。对于图像的信息量,常见的描述参数有图像方差、独立像元素、边缘密度、累加梯度等。图像方差的定义为

$$V_{\text{var}} = \sqrt{\frac{1}{mn-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f(i,j) - \bar{f})^2} \quad (1)$$

式中: $f(i,j)$ 表示图像在点 (i,j) 处的灰度; \bar{f} 表示图像的灰度均值; m, n 分别为图像的行、列像元素。图像方差能够直观地对图像的信息量进行反映,如果图像区域影像分布均匀,即地物特征差异不明显,则图像方差小,说明匹配的性能差。

由于图像方差相对于其他几个描述参数来说,方法简单,且计算量相对较小,能够在粗选中体现快速性,因此选取图像方差来衡量导航区信息量的多少,进行导航区图像的粗选。

2.2 Hough 变换直线检测

Hough 变换是从二维空间到参数空间的一种映射,对于直线变换,这种映射表现为从二维空间上的某点到参数空间上的某条曲线的对应关系,由数学对偶性原理知二维空间上的点的共线性对应于参数空间上的曲线的共点性,以此为依据来提取直线的相关参数。其原理如图 1 所示,其映射关系表达式为

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

式中: $\rho \geq 0$, ρ 为 l 到原点的距离; $0 \leq \theta < 2\pi$, θ 为 ρ 与 x 轴的夹角。检测直线的具体过程就是让 θ 取遍可能的值,然后计算 ρ 的值,再根据 θ 和 ρ 的值对累加数组累加,从而得到共线点的个数。

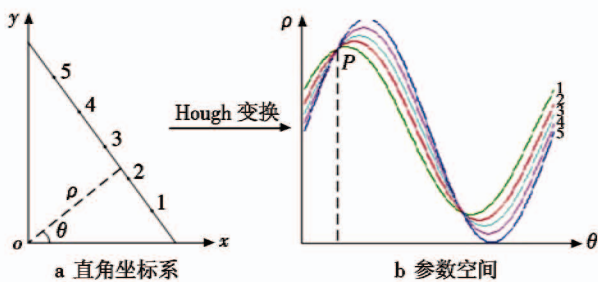


图1 直线检测的 Hough 变换原理图

Fig.1 Schematic diagram of Hough transform

要利用 Hough 变换检测图像中的直线,需首先对图像进行边缘检测得到二值边缘图像。通过对 Sobel, Prewitt, Roberts, Log, Canny 等 5 种常用的边缘检测算子进行大量对比实验分析发现, Sobel 算子计算量较小并且对后续的直线检测效果较好,所以本文采用 Sobel 边缘检测算子。然后,对得到的二值边缘图像进行 Hough 变换,最后得到直线检测结果。直线检测算法的具体步骤为:

- 1) 读入 Sobel 边缘检测后的二值图像;
- 2) 根据图像尺寸确定 Hough 变换累加器的大小并分配内存;
- 3) 对图像做 Hough 变换,并将变换结果存入 Hough 变换累加器;
- 4) 设定阈值,并根据阈值大小将 Hough 变换累加器中累加值小于阈值的点清零,即认为这些点并不对应图像域中的一条直线;
- 5) 查找 Hough 变换累加器中累加值最大的点,记录该点并将其领域清零,继续查找并记录下一个累加器最大的点,直到累加器中所有的累加值都为零,记录的这些点对即对应了检测到的图像中的直线;
- 6) 根据检测到的点在图像域中绘出直线。

根据检测结果,就可以确定该图像是否具有基本的可用于连续跟踪的线特征。

2.3 基于 Frieden 灰度熵的图像稳定性分析

图像的稳定性是指图像灰度、结构等信息的连续、稳定程度。实际上,由保障数据制作而来的基准图与飞行器实时图一般是在不同时间、不同拍摄条件下得到的,所以导航区图像的特征还必须具有一定的稳定性。一般用于衡量图像稳定性的参数有边缘密度、稳定强度、累加梯度、边缘连续度以及灰度熵等。

Frieden 灰度熵的定义为

$$H(f) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} p_{ij} e^{-p_{ij}} \quad (3)$$

式中, f 表示大小为 $M \times N$ 的图像; $p_{ij} = f(i, j) / \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j)$, $f(i, j) \geq 0$ 。由于红外图像的边缘一般比较模糊,特

征不明显,通过对常见参数的对比实验发现, Frieden 灰度熵对于图像模糊不清时,衡量效果更明显,因此选取灰度熵来进行导航区的稳定性分析。

2.4 导航区选取流程设计

通过对红外图像、卫星图像、航拍图像等的分析研究可以发现,在飞行器上可分辨的、具有连续特征的地物常见的主要有公路、铁路、河流等,这些地物的线特征非常明显,而且具有连续性,非常适合作为连续跟踪的导航区。因此本文选取线特征作为连续跟踪导航区选取参数之一,设计了以图像方差为指标进行粗选,结合 Hough 变换直线检测进行二次精选,并通过 Frieden 灰度熵进行稳定性分析的连续跟踪导航区选取方案。这里给出连续跟踪导航区选取的基本思路:

- 1) 根据实时图大小确定导航区分析的子图大小及搜索的步长;
- 2) 根据任务需求及待分析图像的条件设置粗选分析参数、精选参数以及稳定性分析的相应门限值;
- 3) 按照确定的搜索策略、子图大小对整幅图像进行各位置的参数计算,完成粗选参数获取;
- 4) 判断计算得到的分析参数是否满足相应门限要求,并对满足要求的区域进行标记,如果不满足粗选要求则更换下一幅分析图像并跳至第 3) 步;
- 5) 按照搜索策略对第 4) 步得到的满足要求的区域进行连续特征检测,并记录检测指标参数;
- 6) 判断检测得到的指标参数是否满足精选门限值要求,并标记满足要求区域,如果不满足,则更换下一幅分析图像并跳至第 3) 步;
- 7) 按照搜索策略对第 6) 步得到的满足要求的区域进行导航区稳定性分析,并记录检测指标参数;
- 8) 判断检测得到的指标参数是否满足导航区稳定性门限值要求,并标记满足要求区域,如果不满足,则更换下一幅分析图像并跳至第 3) 步;
- 9) 分析结束,得到满足要求的连续跟踪导航区。

通过对各个参数的分析研究以及大量的实验验证,现给出各个参数的阈值:1) 方差, $V_{\text{var}} > 25$; 2) 连续特征检测中, Hough 线段合并距离阈值为 $0.02 \times l_{\text{min}}$, 线段保留阈值为 $0.6 \times l_{\text{min}}$, 其中 l_{min} 表示待分析图像最短边的像素大小; 3) Frieden 灰度熵, $H < 15$ 。

归纳起来,针对前视红外视觉导航连续跟踪导航区的选取,本文提出的选取方法简要流程如图 2 所示。

基于上述选取方案,避免了对不满足基本条件的图像区域再进行其他的参数计算,从而大幅减小导航区分析的计算量,有效地提高了导航区分析的速度和效率。粗选、精选与稳定性分析相结合的策略也极大地提高了导航区分析的准确性、可靠性。

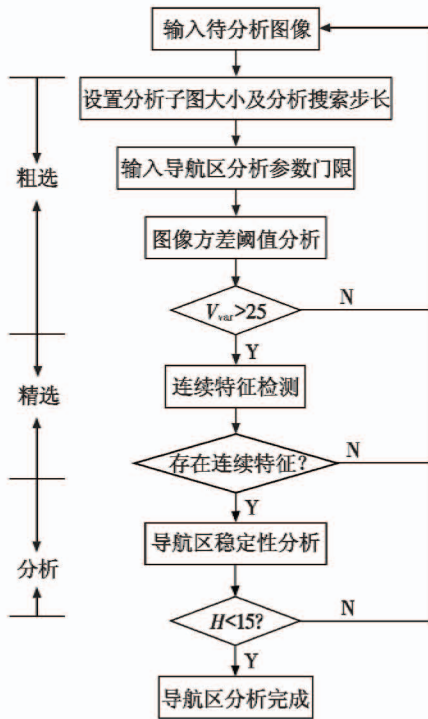


图 2 导航区选取流程图
Fig. 2 Flowchart of navigation area selecting

3 仿真实验与分析

为了验证方法的有效性,本文设计了两个实验。

实验 1 对比实验:用于验证本文方法对于下视与前视、红外与可见光等不同保障数据的适应性。在进行大量对比实验的基础上,给出了两个场景的对比实验结果,见图 3、图 4。

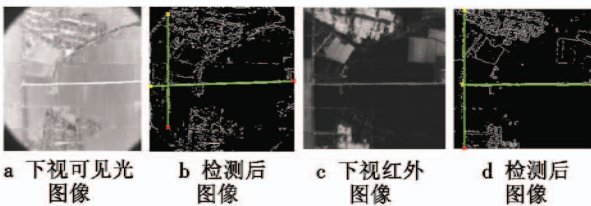


图 3 场景 1 对比图像
Fig. 3 Image contrast of scene 1

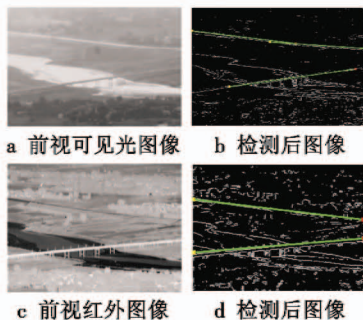


图 4 场景 2 对比图像
Fig. 4 Image contrast of scene 2

从图 3、图 4 的检测结果来看,本文提出的连续特征检测方法具有良好的适应性,能够适用于各种保障数据。对于前视红外视觉导航连续跟踪任务,该方法可以解决前文提出的第一个问题,也就是在缺乏红外保障数据的情况下,可以通过下视卫星图像进行连续跟踪导航区的选取。

实验 2 连续跟踪导航区选取实验:用于验证本文方法的有效性,并以通过归一化积相关算法计算得到的自匹配误差和自匹配概率作为选取效果的评价指标。

图 5 为某区域的卫星图像(场景 3),大小为 1024×1024 ,子图大小为 64×64 ,按照本文提出的选取流程,先进行基于图像方差的粗选,再通过连续跟踪线特征指标对导航区进行精选,然后在满足条件的区域进行图像稳定性分析,最终得到可用于连续跟踪的导航区域。图 5a 为第一步方差粗选检测结果,蓝色部分表示满足粗选条件的区域;图 5b 为对粗选结果图像进行连续跟踪线特征检测精选后的结果。对比两幅图像可以发现,虽然粗选结果有三块区域满足方差条件,但是在精选后排除了其中两块不具备连续线特征的区域。虽然图 5b 中 CD 段线特征也较明显,但是它不满足方差指标要求,不适宜作为导航区,所以选取 AB 段区域作为连续跟踪导航区。将 AB 段区域按导航基准图大小要求进行基准图制作,然后计算其 Frieden 灰度熵进行稳定性分析。图 6 为截取的部分基准图,表 1 分别给出了其稳定性参数,以及评价选取效果的自匹配误差和自匹配概率。

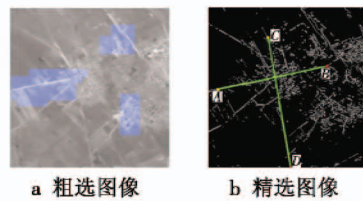


图 5 场景 3 实验结果图像
Fig. 5 Images of scene 3

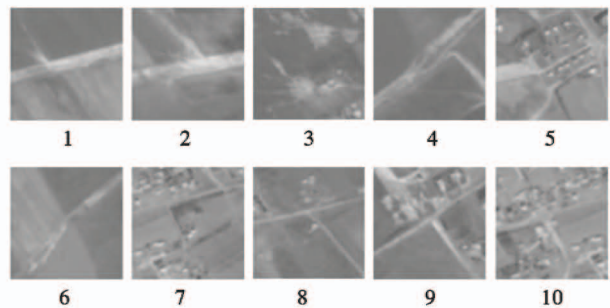


图 6 待选基准图
Fig. 6 Reference maps

表 1 待选基准图参数表

Table 1 The parameter list of the reference map

待选基准图	稳定性参数	自匹配误差方差	自匹配概率/%	选取结果
1	15.023 9	438.764 2	76.921 8	×
2	14.998 0	9.132 9	98.128 0	√
3	15.241 2	1 254.873 5	61.184 3	×
4	15.035 7	572.978 3	70.783 8	×
5	14.801 9	1.578 3	99.328 1	√
6	15.110 3	142.972 8	83.374 8	×
7	15.082 6	98.142 7	87.821 4	×
8	14.591 0	3.812 9	99.183 2	√
9	14.337 7	0.193 2	99.732 1	√
10	14.247 5	8.382 8	98.493 4	√

根据文中提出的选取准则,通过稳定性分析,对满足粗选、精选的基准图进一步进行筛选,剔除稳定性不足($H > 15$)的基准图 1, 3, 4, 6, 7。

自匹配的仿真结果表明,本文方法选取得到的基准图具有较高的正确匹配概率(大于 97.5%)和较小的自匹配误差(小于 10)。基本能够满足基准图各项指标要求,从而进一步验证了本文方法的有效性。

与文献[6-11]中依据传统指标选取的方法相比,本文提出的方法对于前视红外连续跟踪导航区的选取具有更强的针对性和适应性,并且采用本文提出的选取策略,可以有效地减小导航区选取的计算量,提高选取效率。实验结果表明,本文提出的导航区选取方法能够有效地进行前视红外视觉导航连续跟踪导航区的选取。

4 结论

采用前视红外的视觉导航方法对于未来无人机发展自主智能导航具有重要意义。本文针对飞行器前视红外视觉导航,首先对其导航任务进行了详细的分析,然后主要对其中的连续跟踪任务进行了导航区选取方法的研究。提出了一种实用的基于图像方差、连续特征检测以及 Frieden 灰度熵的导航区选取方法,设计了一种可行的选取策略,并结合保障数据进行了导航区选取实验,为前视红外视觉导航技术的发展提供了一些新思路。目前,本文的连续特征检测方法对于直线特征检测效果较好,而对于连续的曲线特征效果欠佳,这也是下一步研究的方向。

参 考 文 献

[1] 张进. 无人机载光电/红外载荷的现状和发展[J]. 飞航导弹, 2008(4): 34-38. (ZHANG J. The present situation and development of unmanned aerial vehicle photoelectricity and infrared load[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2008(4): 34-38.)

- [2] 黄显林, 姜肖楠, 卢鸿谦, 等. 自主视觉导航方法综述[J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2010, 28(2): 158-165. (HUANG X L, JIANG X N, LU H Q, et al. Survey of vision for autonomous navigation[J]. Journal of Jilin University: Information Science Edition, 2010, 28(2): 158-165.)
- [3] WU L, HU Y A. Vision-aided navigation for aircrafts based on road junction detection[C]//IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, 2009, 4: 164-169.
- [4] GUPTA A, KR GUPTA A, BOCANIALA C, et al. Avoidance of threat zone by UAV for automated navigation [C]//INDICON 2008, Annual IEEE, India Conference, 2008, 2: 531-535.
- [5] KIM J, KWEON I S. Vision-based navigation with pose recovery under visual occlusion and kidnapping[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010: 1921-1927.
- [6] 刘扬, 赵峰伟, 金善良. 景象匹配区选择方法研究[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(3): 168-170. (LIU Y, ZHAO F W, JIN S L. Research on selection for scene matching area[J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 30(3): 168-170.)
- [7] 杜菁, 张天序. 景象匹配区的选择方法[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(4): 368-371. (DU J, ZHANG T X. Selection of matching region for scene matching[J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(4): 368-371.)
- [8] ZHANG G Z, SHENG L C. Rule-based expert system for selecting scene matching area [C]//LNCIS2006, 2006: 546-553.
- [9] 王莉, 赵龙. 基于模糊推理的景象匹配区选取方法[J]. 中国惯性技术学报, 2008, 16(5): 599-603. (WANG L, ZHAO L. Selection method for SMA based on fuzzy inference[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2008, 16(5): 599-603.)
- [10] 李俊山, 李旭辉, 罗蓉, 等. 不同传感器图像的景象匹配区选取准则研究[J]. 微电子学与计算, 2007, 24(1): 210-213. (LI J S, LI X H, LUO R, et al. Research on selection criterion of scene matching field for different sensors [J]. Microelectronics & Computer, 2007, 24(1): 210-213.)
- [11] 张晓晨, 付梦印. 基于信息熵的景象匹配区选取方法[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(5): 1089-1093. (ZHANG X C, FU M Y. Selection method for scene matching area based on information entropy[J]. Systems Engineering and Electronics, 2011, 33(5): 1089-1093.)

(下转第 116 页)