工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

应急救援热成像无人机精准定位

张海燕　申万敏　杨玉婷　李想　郭振涵
集宁师范学院 物理与电子信息工程学院　内蒙古乌兰察布市　012000

DOI：10.32629/ems.v8i10.22596

［**摘　要**］考虑到复杂状况下传统搜救所遇的定位困难，本文提出以热成像无人机为媒介开展应急定位技术的研究。对异构传感器配置、热源识别方法、几何光学定位及可视化指挥调度诸项内容作较完整的分析和讨论。按调研设计、程序编写、系统调试、成果归纳的思路处理问题，最后给出有关无人机像素地理映射的算法实例及系统样例，同时完成论文写作与结题材料的整理。文中所涉技术是内蒙古森林防护、牧地人员走失类救援的可行辅助手段，具有实际应用价值；

［**关键词**］应急救援；热成像无人机；像素-地理坐标映射；可视化调度

引言

内蒙古所辖区域宽广，山地草原并存，牧区人员走失或发生森林草原火灾的情况不少。按传统方式徒步搜索受夜间、浓雾、植被遮蔽限制，用可见光观测不甚可靠，救援时机可能因此被延误，又存在冻伤、摔落类安全问题，效率一般。热成像无人机能全天候追踪热源，对野外搜救很有价值，但目前市场上多数机型 SDK 所用接口封闭，仅作红外显示，不能直接得出目标地理坐标的数值。本地昼夜间极端温差使得一般红外方法易有曝光过度、识别错误或遗漏现象，适应性较弱。以低空经济和北斗体系、国产红外器件为技术背景，结合牧区山林实际情况来思考，本文提出软硬协同的热成像无人机定位思路，将多传感器、热源分析、坐标解算及地面控制纳入研究范围，经模型试验检验可行性，就相关技术对应急救援的意义做具体说明。

1.异构传感器融合架构设计

1.1 传感器融合技术原理

有关热成像无人机的定位要依靠多种传感器同时获得各类信息，不能把位置测量、姿态确定及热图获取都归于单个传感器。北斗 GPS 模块所用技术可以给出无人机实际的经度、纬度和飞行所处高度（相对于地面）；惯性导航装置 IMU 对无人机本体及所载热成像云台作姿态分析（包括俯仰、滚转诸角）；红外热像仪器对自然环境做灰度式扫描，记下各处热源的实际状态。上述三种传感器分别提供数据，所获资料是目标辨识及坐标计算的基本来源。

各种类型的传感器都自有其固有缺点：山林或峡谷所处区域的卫星信号多被植被、山岩遮蔽，因而 GPS 定位会出现跳变、漂移现象；惯性导航用久之后有累积性误差，单靠它不能保证姿态数据精确；红外成像易因环境温差而质量下降。异构传感器融合即利用各器件之长来补足对方的不足。GPS 失锁时间短时由惯性装置对姿态做临时估算；以姿态信息为标准检查图像结论，由此使所用系统更趋稳定。

1.2 架构实现关键因素

系统所用的全部硬件要按机载、地面来分作两部分。机载部分装在无人机上，以一定方式取得位置及图像并做基本缓存；地面部分负责信息接收、计算和人机沟通。从高校实际开发能力出发思考硬件问题，尽量采用国产元件，把各项功能与成本都纳入合理的控制范围之内。

多源数据所涉的时间同步是本架构的重点。GPS、惯性导航、红外相机三者数据更新的频率有差别，若以非同时的坐标状态配合图像帧作分析，定位结果会有明显错误。文中所提系统用软件方式处理时间戳的一致性，按红外图像出现的时刻同时记下 GPS、IMU 的数值，把图像和传感器资料连结起来。对机载、地面两种情况分别安排无线信道（分属不同流），传输时做基本校验，把丢包所失的数据可能性控制到较低程度。

1.3 融合架构在应急救援中的优化

就内蒙古野外所遇的低温情况而论，应采用能宽温运行的硬件，对软件做温度补偿设计，以减低低温导致的零点偏移现象。软件要规定异常数据的过滤方式，即若 GPS 的数值有大范围突变或姿态角已非正常值，则不把相关数据带入后续计算步骤。考虑到山林中无线通信的不稳定性，飞行器上配置本地缓存装置，在无线连接短时失效、数据不能发回地

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

面的情形下，有关图像及传感器信息暂存在机载存储里；等到通信恢复即开始补发缓存内容，不因短时断连失去任务材料，由此提高系统对野外条件的适应程度。

2.热源目标检测与像素--地理精准定位模型

2.1 热源目标检测算法

若到野外考察，昼夜之间温差一般较大，按固定阈值处理的算法不能很好适应两种情况。白天所遇的强光使地表（岩石或土壤）有大范围高温现象，这时虚热源数量多而难辨；到了夜晚背景温度低，人本身热信号不强，固定阈值较易引起漏检。

文中所提的系统是按动态阈值思路设计的，对红外图像的灰度直方图作统计，依环境温差定二值分割阈值。白天高温时段用较高阈值来分割，避免因地表热而误报；夜间低温时调低阈值，使人体微热有足够显示机会。图像先以高斯方式降噪再做分割，把太小的噪声连通域去掉，只保热源可能区域。分割前处理结束后由 YOLOv10 网络辅助识别所获候选热源，对人、火、动物及高温岩分别判断，将误识剔除，给出可信的被检测目标（即像素）位置信息。

2.2 像素--地理映射定位模型构建

所用的定位模型是按小孔成像法及几何光学思路建立的，对于实际空间的热源对象来说红外图像有确定的几何对应点。有关输入的参数有无人机 GPS 的经纬度、飞行所处高度、云台俯仰角、镜头视场大小、图像分辨率和目标像素坐标。借助多个坐标系变换把二维像素点转为相机坐标系的值，然后依无人机状态换算成大地（地理）坐标的数值。

所用模型是按无人机斜向观察的实际情况设计的，不限定目标在无人机正下方，因而能较宽地使用单机巡航。又将姿态微小扰动纳入补偿范围，把飞行抖动对结果的影响予以缓解，最后以实际的经纬度标示目标，给出适合地图用的定位信息。

2.3 算法与定位模型协同作用

对机载部分所获的图像要作采集及初步处理，把目标像素坐标、GPS 和姿态以无线方式发回地面的系统。地面端运用像素地理映射法做计算，由此得出有关目标的地理点信息。

所称的热源检测要作目标识别处理，像素地理映射要作位置换算，二者是耦合模块。一旦检测有误（如漏检或虚警），后面给出的定位点就未必正确；若传感器时间不统一，对目标的辨识也未必能避免定位漂移。要让结果真正可用，必须做到数据完整传递，由此才可获得“红外图像热源识别像素坐标地理经纬度”一类的完整流程，得出有利于救援的点位信息。

3.可视化指挥调度系统开发

3.1 系统功能

可视化指挥调度系统作为地面操作平台，是操作人员和整套无人机系统交互的核心载体。操作人员可以直观查看无人机飞行状态，查看红外画面，直接读取解算得到的目标地理坐标。系统具备完整的数据持久化存储能力，将每一次任务的无人机飞行参数、原始红外图像、识别结果、目标经纬度全部存入数据库，为救援复盘、后续分析留存资料。

系统提供任务数据统计能力，可以统计单次搜救任务中识别到的人体、火源目标数量；任务结束之后自动生成 HTML 标准化救援报告，报告内附带数据统计可视化图表，把任务信息、目标明细、统计图表整合输出，无需人工整理文档，直接可以交付救援指挥人员参考。

3.2 系统实现方式

所用系统是按 Flask 框架设计的上位机程序，用来接收无人机有关图像及定位、姿态信息。后端按顺序利用图像预处理、目标识别、像素地理坐标的各项方法做计算，执行业务逻辑。采用 ECharts 做电子地图的展示部分，对查得的经纬度即刻加以标注，以颜色区别各类目标（人或火），不作混淆；地图本身是动态更新的，不是静态背景。

应同时设立有关参数的配置接口，使所用的热源检测算法能随现场条件作适当调整，适合各搜救场合。数据库是轻量级存储系统，其字段包括任务号、时间、无人机状态（位置与姿态）、目标种类、坐标、原图地址等，允许以时间检索已执行的搜救任务。每轮识别任务结束后由后端对当前数据库内容做分析，构造完整 HTML 报告，把报告写入本地所用的磁盘文件。前端使用 HTML 和 JavaScript 来画界面、更新地图、重排结果，前后端之间靠网络提供的接口传递数据。

3.3 系统与无人机端协同

无人机是前端感知和采集的主体，调度系统处理后端计算及人机关系。它所经过的空中区域要同时取得红外图像、GPS 定位、云台状态诸项原始资料，以无线方式即时地把数据发往地面终端；调度部分做模型分析、图形化说明，对救

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

援对象给出可直接采用的位置提示。若把复杂算法运算安排在地面的上位机中，可使飞行器不必负担过高算力，所用载荷也较轻便。按此思路设计的整套链路即为“机载采集-地面解算-救援应用”所指流程，操作者不用了解细节性算法，单凭调度界面上地图所标即知热源所在，救援力量部署因而能迅速展开。

4.系统可靠性提升设计

4.1 影响系统工作的因素

野外所遇的各种复杂情况对系统涉及的硬件、数据、算法都有影响。山林遮蔽可使 GPS 信号发生波动，定位因而出现跳变现象；低温、水汽及尘埃是红外镜头的污染源，会减低图像信噪比，妨碍对热源的判断；飞行中无人机姿态的抖动本身即有瞬时误差，坐标解算易受影响；野外常见牲畜或高温岩石都是干扰性热源，容易造成虚警状态；无线方式传输信息时有延迟、丢包可能，所获图像未必和传感器同步。上述各项缺陷同时存在，很可能会使识别失准或定位漂移，搜救效率因而下降。

4.2 可靠性提升策略

对硬件所用的机载模块应作防尘、防潮设计，以宽温类器件应对低温情况，将内蒙古野外低温对电子件的损害予以缓解。软件上采用均值滤波方法、加入结果合理性的判断，若所求距离已不在镜头探测能力范围内即认为是误判，不将此作为输出内容。通信中断情形下利用机载缓存暂存数据，通信恢复后补发资料，防止短暂失联导致任务信息遗漏。数据库把所有输入原始资料都完整保存，异常结果可依此回查图像及传感数值，调试时有据可依、容易定位问题。在算法上让动态阈值来分隔温度相关干扰，对连通域加以筛选（去噪），虚警少而真实点位多，源头性错误相应减少。

4.3 调试与维护

系统开发完成后要安排若干次模拟测试，把强光过曝及常温、低温微热源都纳入工况考虑，在 40m、80m、120m 各类模拟飞行高度上对所用算法做识别检验，将各工况准确率作一统计，按实际测试结果调整算法参数，使识别敏感度和抗干扰能力达到平衡。就硬件而言惯性导航部件本身有零点漂移的倾向，应定时予以校正；红外镜头要清理干净，不能让水汽或尘粒损害成像；电池要作好充放电管理。每次执行任务前应对设备通电做自检，检查各传感器、通信部分是否良好，迅速解决已知问题，保证模拟搜救顺利进行，同时为真实环境使用积累测试资料。

结束语

所讨论内容是围绕内蒙古山地牧区实际需要而展开的野外应急搜救课题，提出热成像无人机定位方案。按异构传感器思路设计系统架构，利用时间戳把图像、位置及姿态诸类信息统一起来，以动态阈值分割配以 YOLOv10 网络分析热源（人或火），排除岩石、牲畜所导致的误判；借助几何光学方法由像素确定地理坐标，制作地面调度用的可视化界面，对所见目标加以标记、对任务资料予以归档。从软件和硬件角度分别考虑防护、滤波、缓存措施，使系统能在低温、通信遮蔽或传输中断条件下保持较高可靠性。根据模拟测试结果可知，“机载采集地面解算救援应用”有关流程可被完整执行，系统适合用于森林火灾或牧民走失情况的搜索。目前所用算法基本放在地面主控设备上，之后要着手模型的轻量设计，思考机载计算可能，利用本地区山地植被热图反复训练定位模块，设法减低偏差，为地方救援提供可行的技术帮助。

[参考文献]

[1]李佳.无人机在应急救援中的应用[N].新乡日报,2026- 08- 18(004).

[2]王应敏,罗玉.基于 AI 视觉的微型无人机应急救援系统研究[J].坦克装甲车辆,2026(16):88- 89.

[3]李也,吴志强,尹乐芳.从辅助到主战：构建无人机+智慧应急救援新格局的机遇与挑战[J].中国应急救援,2026(04):55- 61.

[4]欧提库尔 •胡杰,杜生,宁海虹.无人机热成像技术在灾后应急救援中的应用研究[J].中国安防,2026(09):101- 103.

[5]胡梦阳.基于无人机影像的森林火灾信息提取研究与实现[D].长沙:中南林业科技大学,2026.

作者简介：张海燕（1982—），女，汉，内蒙古乌兰察布人，硕士，讲师，研究方向：理论物理，凝聚态物理研究所。

基金项目：内蒙古集宁师范学院大创项目“应急救援热成像无人机精准定位”（项目编号：X202611427032）。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.