

Research on the construction of real-time mapping system for UAV video mapping in case of emergency

Dadong Yang

Hebei Third Surveying and Mapping Institute, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

In emergency response scenarios, rapid and accurate acquisition of spatial geographic information at the scene is crucial for ensuring scientific decision-making and effective handling. Drones, with their mobility, rapid deployment capabilities, and cost-effectiveness, have become a vital tool for emergency mapping. This paper addresses the high-time-demand and precision requirements of emergency mapping by proposing an integrated real-time video mapping system architecture. The proposed closed-loop system follows the core workflow of "sensing-processing-geodetic mapping-transmission". By integrating multi-source sensing devices, visual-inertial navigation systems, edge computing platforms, and video mapping algorithms, the system significantly enhances both mapping response speed and image accuracy. The study explores three key aspects: overall system architecture, critical technical pathways, and functional module design, providing theoretical support and technical solutions for optimizing drone-based emergency mapping systems.

Keywords

emergency; UAV mapping; video mapping; edge computing; system construction

面向突发事件的无人机视频成图实时测绘系统构建研究

杨大东

河北省第三测绘院, 中国·河北 石家庄 050000

摘要

在突发事件应急响应中, 快速、准确获取现场空间地理信息是保障科学决策与有效处置的关键。无人机因其机动灵活、部署迅速、低成本等特点, 成为突发事件测绘的重要手段。本文面向突发事件应急测绘的高时效、高精度需求, 提出一种集成化的视频成图实时测绘系统架构, 构建以“感知—处理—建图—传输”为主线的闭环系统。研究从系统整体结构、关键技术路径及功能模块设计三方面展开探讨, 为无人机应急测绘系统的构建与优化提供理论支持与技术路径。

关键词

突发事件; 无人机测绘; 视频成图; 边缘计算; 系统构建

1 引言

随着自然灾害、事故灾难和突发公共卫生事件频发, 应急测绘作为获取地理信息和支持应急决策的重要环节, 其智能化、快速化水平已成为衡量应急响应能力的重要标志。传统测绘方法虽在精度上具备保障, 但其依赖布控站、后处理流程等手段, 难以满足应急场景中“分钟级”数据采集与“小时级”决策需求。无人机凭借其可快速起飞、低空近距、高清成像等特点, 在应急遥感领域逐渐被广泛应用。本文提出构建面向突发事件的视频成图实时测绘系统, 通过融合感知、导航、处理、传输等多环节关键技术, 实现从现场感知到地图输出的全流程自动化、快速化、智能化, 推动应急测绘由静态作业向动态响应转型。

【作者简介】杨大东(1987-), 男, 中国河北唐山人, 本科, 工程师, 从事测绘航空摄影研究。

2 关键技术路径分析

2.1 多源融合感知与视频采集机制

在突发事件测绘场景中, 测绘对象通常处于动态演化或不稳定状态, 例如火灾区域烟雾遮挡、水灾区域水体反光或地震塌方区域碎片覆盖等^[1]。因此, 单一光学传感器很难全面获取有效信息。为此, 系统在无人机平台集成多源传感设备, 包括可见光摄像机、热红外成像仪、电磁干扰探测器及 IMU (Inertial Measurement Unit) 模块, 通过传感器协同感知, 实现对目标区域的全光谱、多维度、多时段信息捕获。可见光相机为系统提供基础的图像数据支持, 选用具备高动态范围、高像素密度和宽视角特性的工业级传感器, 具备 1080p、4K 及以上的视频采集能力, 最大帧率可达 60fps, 适应突发事件中目标快速运动或场景变化的需求。为增强系统适应性, 相机还支持自动曝光控制、镜头抗抖优化及 HDR 图像融合, 以提高在逆光、烟尘或暗光环境下的成像质量。

红外热成像设备作为辅助视觉源,可在低可见度环境中识别热源目标,尤其适用于夜间监测、火情感知或人员搜寻等场景。系统采用中波红外波段探测器(3-5 μm),通过热量分布图生成红外图像,并通过图像融合模块与可见光图像实现多源信息叠加表达。IMU模块承担对无人机姿态、加速度与角速度的实时感知,是后续惯性导航和图像纠正的核心数据源。通过三轴加速度计与陀螺仪的协同解算,系统能够高频捕捉平台姿态变化信息,并实时与图像采集时间戳对齐,确保每帧图像拥有完整且同步的空间属性数据。在视频成图工作中,系统以“关键帧提取一位姿匹配一几何校正一地图生成”为主线,通过从视频流中抽取具备代表性与信息量的帧图像,并结合无人机平台获取的GNSS/INS姿态与位置数据,实现影像与空间信息的精准绑定。与传统单幅影像成图相比,这一模式更强调采集与处理的同步性,可在飞行过程中完成数据的初步配准与建模。为满足突发事件“分钟级”数据产出需求,系统在无人机端集成了多源传感器(可见光、红外、IMU等)与高动态范围工业级视频采集设备,支持4K/60fps采集能力,并具备自动曝光、HDR融合与电子防抖功能,确保在火灾烟雾、洪水反光、低照度等复杂环境下依然获得高质量视频源。

2.2 视觉惯导组合定位与数据对准

由于突发事件多发生在通信中断或GNSS信号遮蔽严重区域(如高密度城区、森林山地或灾后废墟),单一GPS定位存在漂移大、失锁频繁等问题,严重影响图像空间配准与地图精度。为此,系统采用视觉-惯性组合导航(Visual-Inertial Odometry, VIO)方式,将图像中提取的视觉特征与IMU传感器数据进行融合,形成高鲁棒性、高稳定性的组合定位方案。VIO系统采用稀疏特征点提取与追踪方式,以SURF(Speeded Up Robust Features)作为基础算法,对图像帧中具备局部稳定性与旋转尺度不变性的关键点进行标记。通过帧间特征点匹配与三角测量计算,实现图像平移与旋转的估计,为后续图像拼接提供高精度运动补偿参数。同时,系统采用RANSAC算法对匹配特征点进行外点剔除与鲁棒性优化,提升在场景杂乱与噪声干扰下的定位可靠性^[2]。

惯性导航部分通过IMU的三轴加速度与角速度数据建立短时姿态解算模型,采用扩展卡尔曼滤波器(Extended Kalman Filter, EKF)融合IMU与视觉观测值,在状态空间中同步优化位置、速度与姿态变量,从而实现平台飞行轨迹的连续估计。为确保图像数据在空间上具备一致性,系统在视觉惯导基础上引入图像配准误差控制模块,通过与地面控制点(GCP)或可识别地物点进行空间配准,进一步修正累积漂移误差,确保长航程、长时序视频数据的图像拼接精度稳定在亚米级范围内。

2.3 实时图像处理与视频成图算法

传统测绘流程通常依赖于离线图像采集与后期处理,

不适用于突发事件“即采即用”的应急需求。为此,系统研发了基于实时视频流的动态图像拼接与成图算法,整体流程包括:图像预处理、特征点匹配、帧间运动估计、图像几何校正、图像缝合优化及正射影像输出等六个步骤,确保地图产出具实时性与空间精度兼具的双重优势。图像预处理阶段主要完成畸变矫正、直方图均衡、边缘增强等操作,统一图像灰度与光照条件,提升后续特征提取的鲁棒性。特征点匹配阶段采用SURF+FLANN算法快速提取并匹配帧间图像特征,并通过图像金字塔与尺度空间多层次分析提升匹配精度。

帧间运动估计部分采用稀疏直接法(Sparse Direct Method)估算相邻帧间的相对姿态变化,并基于变换矩阵完成图像几何校正。在图像缝合阶段,系统采用基于泊松融合(Poisson Blending)与图像羽化的混合拼接策略,有效解决图像边缘接缝问题,提升成图连贯性与视觉一致性。为提高整体处理效率,系统核心图像处理流程在GPU上完成并行加速,通过CUDA接口将图像金字塔构建、特征点描述子计算、匹配矩阵求解等任务交由GPU执行,使得每秒处理图像帧数提升至3-5帧,确保图像与地图更新频率满足现场实用需求。最后,在正射投影输出阶段,系统利用航姿解算结果与预置DEM数据进行图像几何纠正,并输出GeoTIFF等标准格式地图产品,可直接对接应急指挥平台或GIS系统进行可视化展示与空间分析。视频成图生成的产品类型多样,包括数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)、数字表面/地物模型(DSM/DAM)等。结合多传感器数据,还可生成高密度点云、热红外热源分布图等多模态成果,为应急指挥提供二维、三维与多光谱的综合地理信息支撑。在精度方面,传统静态影像成图在无控制点条件下可达到亚米级,而视频成图受限于视频压缩与姿态漂移等因素,通常平面精度在1-3米、垂向精度在3-5米范围内。考虑到突发事件的高时效要求,本系统在分钟级响应条件下,保持平面精度优于3米,已能满足绝大多数应急态势研判与决策需求。通过引入视觉-惯性组合导航(VIO)、实时稳像与多源融合配准,系统进一步缩小了视频成图与传统成图在精度上的差距。

3 边缘计算与传输控制机制

3.1 机载边缘计算平台设计与部署

无人机平台的算力普遍受限于载重、功耗与稳定性等因素,传统轻量化飞控平台难以支持高分辨率图像的实时处理需求。为此,系统在飞行平台搭载专用的边缘计算节点,采用具备GPU并行处理能力的嵌入式平台(如NVIDIA Jetson Xavier NX或TX2),以满足图像处理、算法推理与数据调度等高密度计算任务^[1]。

3.2 多级协同的数据处理与卸载策略

为解决有限边缘算力与突发事件下处理需求不匹配的

问题,系统采用“分级协同—动态卸载—任务平衡”的协同策略。整个系统构建三层处理体系:第一层为机载边缘预处理节点,第二层为地面接收与中继处理终端,第三层为远程指挥中心的中心服务器。任务根据数据体量、处理复杂度与系统资源动态进行分级转移。具体而言,在飞行过程中,边缘平台完成图像去畸变、直方图均衡与基础特征提取等低耗算处理,并将处理结果以中间特征形式打包上传至地面站;地面站进一步进行特征融合与图像拼接操作;对于高负载计算如正射纠正、热图重建或目标识别任务,则由指挥平台完成最终推理分析。该处理链的核心是任务卸载判断机制,系统综合考虑图像复杂度、当前CPU/GPU占用率、网络带宽状况与任务紧急度四个因素,构建多目标调度模型,通过启发式算法进行任务卸载判定,实现高优先级任务就近处理、低优先级任务后台推送的最优策略配置。此策略显著降低了整体系统的处理负载波动,并有效规避了因边缘过载导致系统延迟飙升的情况。

3.3 通信架构与抗干扰机制设计

在突发事件现场,传统公网通信网络可能受损中断,或存在信号覆盖盲区,严重影响无人机系统的数据回传与远程控制。为确保系统通信的高可靠性与抗干扰能力,本文构建“双链路+多协议+冗余备份”的通信机制,提升数据链路稳定性。系统采用主辅双通道链路模式,其中主链路基于5.8GHz频段高通量通信模块用于视频与地图数据实时回传;辅链路基于LTE公网或LoRa窄带协议传输任务控制指令、导航数据与状态反馈,形成控制与数据的逻辑分离机制。主辅链路间可自动切换并具备容灾转移功能,在主链断链时辅链将自动承担部分压缩图像回传任务,保障核心数据不丢失。在链路协议层面,系统通信模块兼容TCP/UDP、自适应QoS机制与TLS加密通道,可根据当前网络条件智能切换通信模式:在网络状况良好时优先使用UDP传输高频图像帧,提升传输效率;在链路不稳或存在丢包风险时自动切换至TCP保障数据完整性。实践中为防范突发环境下的电磁干扰与信道冲突,通信模块设计中引入跳频抗干扰机制与冗余编码容错机制。跳频技术可使系统在频谱拥挤环境中主动更换信道,避免干扰频点;冗余编码则通过增加数据包头尾CRC检验与回滚重传机制,提高图像数据包在弱信号环境下的恢复能力。

为提升传输效率与图像处理效能,系统引入一套基于场景识别的数据压缩与内容抽象机制。在边缘计算单元中部署轻量级YOLO模型(You Only Look Once)对关键帧图像

进行对象识别,并根据目标密度与图像复杂度动态判断图像保留策略。对于无显著变化区域,仅提取特征向量用于后续建图操作;对于识别出有热源、人员或坍塌物的区域,则保留原始分辨率图像并标记优先级传输。压缩机制方面,图像压缩采用JPEG2000编码结合区域感兴趣(ROI)策略,对非关键区域降低图像质量,仅对ROI区域保持全分辨率;同时引入时间差分压缩与帧内预测编码机制,对视频流中连续帧进行变化区域提取与冗余信息剔除,平均图像传输数据量压缩至原始的1/3以内,大幅减轻链路压力。

4 结语

本文聚焦突发事件中对高效率、高精度空间信息获取的现实需求,提出了一种面向实时视频成图的无人机测绘系统构建方案。系统融合多源感知、视觉组合导航、边缘计算、图像拼接与数据可视化等关键模块,形成完整、可部署、可扩展的无人机应急测绘架构。相比传统模式,本系统显著提升了测绘响应速度、图像处理效率与地图生成质量,具备良好的可推广性与平台适配性。后续研究可围绕多无人协同测绘、深度学习图像理解模型集成、地图语义增强表达等方向展开,进一步推动无人机测绘技术在应急响应与空间感知中的深化应用。在国家“应急测绘保障能力建设项目”中,本系统于2019年起在全国8个重点省份部署并投入业务化运行,有效支撑了森林火灾、洪涝灾害等重大突发事件的应急处置。在2019年4月四川凉山木里森林火灾中,系统实现了火场全景视频采集与快速正射拼接,在30分钟内产出DOM与热源分布图,辅助指挥部规划灭火路线与人员布防。在2021年7月河南省极端强降雨灾情中,系统在洪涝核心区完成了快速起降、实时视频拼接与淹没范围提取,生成DEM与灾情分布图,为防汛救援提供了精确的空间决策依据。这些应用表明,视频成图技术在极端灾害条件下具备可操作性、稳定性与高决策价值,具有在全国范围推广的现实意义。

参考文献

- [1] 董学峰. 面向无人机的实时目标检测系统设计与实现[D]. 天津: 天津工业大学,2023.
- [2] 张继贤,刘飞,王坚. 轻小型无人机测绘遥感系统研究进展[J]. 遥感学报,2021,25(3):708-724.
- [3] 邢晓平,宋彬,张晓龙,等. 无人机视频实时融合技术在威海市应急测绘中的应用[J]. 山东国土资源,2024,40(9):67-73. DOI:10.12128/j.issn.1672-6979.2024.09.009.