

目 录

一、工作简况	1
二、标准编制原则和确定主要内容的论据	5
三、主要试验(或验证)的分析、综述报告、技术经济论证及预期的经济效果	22
四、采用国际标准和国外先进标准的程度及与国际、国外同类标准水平的对比（或与测试的国外样品、样机的有关数据对比）	46
五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系	46
六、重大分歧意见的处理经过和依据	46
七、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议	46
八、贯彻国家标准的要求和措施建议	46
九、废止现行有关标准的建议	47
十、其他应予说明的事项	47

一、工作简况

1. 任务来源

根据《国家标准化管理委员会关于下达2023年第四批推荐性国家标准计划及相关外文版的通知》（国标委发〔2023〕63号）、全国地理信息标准化技术委员会《关于下达11项地理信息国家标准制修订计划项目及编报实施方案的通知》（SAC/TC230/SEC [2024]03号）的要求，《无人机视频测绘技术规程》列入地理信息国家标准计划项目，计划编号为20231725-T-466。

2. 立项背景

无人机视频测绘是利用无人机视频流数据和位姿数据，生成地理信息成果的一种新型测绘技术，可用于应急、军事侦察等诸多要求实时、同步测绘的场景。当前的应急保障、城市管理、生态监测、军事侦察等对地理信息产品的时效性提出了新的要求，而常规的摄影测量多是属于事后静态的数据处理，需要在数据采集完成后才能够进行产品生产，而这往往需要数小时时间，缺少实时性，影响了决策。

无人机技术的发展以及小型化视频摄像机和视频无线传输技术的推广，使得无人机视频流数据和位姿数据的实时回传成为可能。利用无人机视频与位姿数据，开展无人机视频测绘，实现地理信息产品的实时生产，具有重要的应用价值。

由于无人机视频测绘是近些年新发展起来的技术，目前还缺少统一的标准，存在使用场景不明确、工作流程不统一，成果内容不清晰等问题，制约了无人机视频测绘的应用效率。无人机视频测绘属于实时在线服务技术体系，与常规的静态摄影测量在任务规划、设备要求、数据链路、业务处理软件功能、数据产品类型和精度、数据产品发布等方面都存在很大差异，已有的《低空数字航

空摄影规范》、《低空数字航空摄影测量内业规范》、《低空数字航空摄影测量外业规范》以及《数字航空摄影测量 控制测量规范》等不能适用于指导无人机视频测绘工作的开展，亟需制定无人机视频测绘技术规范。本文件将规范和指导无人机视频流数据进行测绘，推动无人机视频测绘技术的发展和升级，丰富和完善测绘、遥感、无人机标准化体系，促进军民通用视频测绘的应用。

本标准在申报时名称中误用规程二字，但实际上应该为规范，向国标委申请立项前也拟向国标委申请名称变更，因此编写时按照规范的要求编写，并在标准的技术评审会议上提出要求变更名称为“无人机视频测绘技术规范”。

3. 起草单位及主要起草人

(1) 起草单位：中测新图（北京）遥感技术有限责任公司、武汉中测晟图遥感技术有限公司、浙江省测绘科学技术研究院、浙江华东测绘与工程安全技术有限公司、核工业湖州勘测规划设计研究院股份有限公司、中电建（广东）工程监测检测技术有限公司、东方通用航空摄影有限公司、北京建筑大学、四川中水成勘院工程物探检测有限公司、核工业金华勘测设计院有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、深圳赛尔智控科技有限公司、中水珠江规划勘测设计有限公司、中国测绘科学研究院（国家测绘工程技术研究中心）。

(2) 主要起草人及分工

表 1 主要起草人及分工

序号	姓名	工作单位	任务分工
1	李英成	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司、中国测绘科学研究院（国家测绘工程技术研究中心）	主编。负责组织标准编制大纲、主要内容的讨论、修改及标准文本的统稿定稿、附录编写等工作。
2	李西林	武汉中测晟图遥感技术有限公司	副主编。协助组织标准编制大纲、主要内容的讨论、修改、定稿等工作，起草引言内容

序号	姓名	工作单位	任务分工
3	余华芬	浙江省测绘科学技术研究院	负责工作流程章节的编写
4	刘见礼	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司	负责术语和定义章节的编写
5	任亚锋	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司	负责基本要求章节的编写
6	刘飞	北京建筑大学	负责无人机视频测绘系统要求章节的编写
7	蒋经天	东方通用航空摄影有限公司	负责视频测绘实施要求章节的编写
8	吕宝雄	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	负责无人机视频流数据接收与实时处理要求章节的编写
9	郭伟	浙江省测绘科学技术研究院	负责无人机视频流数据事后处理要求章节的编写
10	曹钧恒	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	负责成果整理与提交要求章节的编写
11	李昌柯	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司	参与工作流程章节的编写
12	刘强	浙江华东测绘与工程安全技术有限公司	参与术语和定义章节的编写
13	范恩强	深圳赛尔智控科技有限公司	参与基本要求章节成果类型的编写
14	刘元勋	中水珠江规划勘测设计有限公司	参与基本要求章节成果质量要求的编写
15	曹萌	四川中水成勘院工程物探检测有限公司	参与基本要求章节成果时效性要求、成果空间基准、成果时间基准的编写
16	彭望	中电建（广东）工程监测检测技术有限公司	参与无人机视频测绘系统要求章节无人机平台要求、视频摄像机要求的编写
17	王斐	东方通用航空摄影有限公司	参与无人机视频测绘系统要求章节位姿系统要求、激光测距装置要求的编写
18	龚玉泉	核工业湖州勘测规划设计研究院股份有限公司	参与无人机视频测绘系统要求章节地面控制系统要求、数据传输系统要求的编写

序号	姓名	工作单位	任务分工
19	钟华	核工业金华勘测设计院有限公司	参与无人机视频测绘系统要求章节视频测绘数据处理系统要求的编写
20	赵薛强	中水珠江规划勘测设计有限公司	参与无人机视频测绘实施要求章节飞行前准备、时间同步的编写
21	邓廷起	浙江省测绘科学技术研究院	参与无人机视频测绘实施要求章节飞行质量要求、视频质量呀的编写
22	郑安武	武汉中测晟图遥感技术有限公司	参与无人机视频流数据接收与实时处理要求章节融合编码视频流数据接收、显示与存储的编写
23	徐萍	武汉中测晟图遥感技术有限公司	参与无人机视频流数据接收与实时处理要求章节位姿数据接收、视频关键帧影像提取的编写
24	任延旭	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司	参与无人机视频流数据接收与实时处理要求章节目标实时定位、地理信息产品生产的编写
25	李新芝	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司	参与无人机视频流数据事后处理要求章节的编写
26	孟培培	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司	参与成果整理与提交要求章节的编写
27	张丽娜	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司	负责测试验证、数据整理
28	孙晓	中测新图（北京）遥感技术有限责任公司	参与测试验证、数据整理
30	郝宇花	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	参与测试验证、数据整理

4. 主要工作过程

(1) 2024年1月-2月成立起草组并完成标准框架；

(2) 2024年2月-2024年3月，采取分章节编写，集中讨论的方式，形成草案第一稿；

(3) 2024年4月-2024年9月，调研了主流厂家如大疆、华测导航、南方测绘等厂商的设备，如应急无人机、机载位姿系统、视频相机等，对机上搭载的视频摄像机、位姿系统、视频传输系统等进行了详细的调查和分析，主要的技术参数反映在第一稿中。对第一稿多次进行集中讨论和修改，并于6月对武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室无人机摄影测量团队进行调研，形成草案第二稿；

(4) 2024年10月对彩虹无人机科技有限公司应急项目团队进行调研，11月-12月组内多次讨论修改，形成第三稿；

(5) 2024年12月-2025年1月，组内集中讨论形成征求意见稿。

二、标准编制原则和确定主要内容的论据

1. 标准编制原则

本标准编制过程中，认真按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》、GB/T 20001.6-2017《标准编写规则 第6部分：规程标准》的规定进行，在此基础上，主要遵循以下原则：

(1) 科学性与系统性

标准的编制，以科学理论为依据，按无人机视频获取、传输与接收、存储和处理的作业流程，针对不同场景、不同任务的无人机视频测绘设备的要求（包括无人机平台、视频相机、数据链路、位姿系统的精度、视频数据处理系统）、成果（包括定位和成图）要求、成果的几何精度等进行系统性的规范。

(2) 通用性与灵活性

不依赖于特定的设备和处理方法，仅规定必要的参数和精度，具有通用性和灵活性。

(3) 实用性和可操作性

本标准依托测绘地理信息公益性行业科研专项项目“应急测绘低空无人机遥感关键技术与装备”、十三五国家重点研发计划“时空信息获取与处理技术方法标准研制”、十三五国家重点研发计划“高频次迅捷无人航空器区域组网遥感观测”、十四五国家重点研发计划“边境社会安全风险防控关键技术与示范”以及中测新图（北京）遥感技术有限责任公司博士后科研工作站的成果和成熟技术进行编制，并吸纳了参编各单位的项目经验；已编制相关的数据处理系统软件，并在生产实践中得到运用，因此考虑了实际生产作业中可能出现的问题，便于实际作业的操作。

2. 主要内容及确定依据

本文件规定了使用无人机视频流数据进行测绘的基本要求、无人机视频测绘系统要求、工作流程、无人机视频测绘实施要求、无人机视频流数据接收要求、无人机视频流数据实时处理要求、无人机视频流数据事后处理要求、成果整理与提交要求。

本文件适用于使用无人机搭载可见光或红外视频传感器、GNSS/IMU 设备的平台进行应急保障、城市管理、巡检、取证等场景的视频获取、实时定位与数字正射影像图（DOM）、数字表面模型（DSM）、数字高程模型（DEM）的生产，使用高光谱和多光谱传感器时可参照执行。

由于无人机视频测绘是近些年新发展起来的技术，目前还缺少统一的标准，存在使用场景不明确、工作流程不统一，成果内容不清晰等问题，制约了无人机视频测绘的应用效率。无人机视频测绘属于实时在线服务技术体系与常规的静态摄影测量在任务规划、设备要求、数据链路、业务处理软件功能、数据产品类型和精度、数据产品发布等方面都存在很大差异，已有的《低空数字航空摄影规范》、《低空数字航空摄影测量内业规范》、《低空数字航空摄影测量

外业规范》、《数字航空摄影测量 控制测量规范》等不能完全适用于指导无人机视频测绘工作的开展。本标准在编制过程中参考引用了相关的标准规范，确保与这些标准的衔接和协调，具体如下：

(1) GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范：参考引用其中的相机几何检校方法、事后处理方法。

(2) GB/T 40768 视频流与时空信息融合编码规范：引用其中的相关术语，支撑本标准融合编码视频流数据的生成、从无人机视频流中提取视频关键帧影像的基本要素信息和变化信息。

(3) CH/T 1057 应急测绘基本技术要求：参考引用快速影像镶嵌图的纸质图印刷、成果的时效性。

(4) CH/T 3007.1 数字航空摄影测量 测图规范 第1部分 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型 数字正射影像图 数字线划图：参考引用事后处理方法、质量检查报告。

(5) CH/T 3007.2 数字航空摄影测量 测图规范 第2部分 1:5000 1:10000 数字高程模型 数字正射影像图 数字线划图：参考引用事后处理方法、质量检查报告。

(6) CH/T 9008.2 基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字高程模型：参考引用事后处理生成数字表面模型 1:500、1:1000、1:2000 成图比例尺的规定。

(7) CH/T 9009.2 基础地理信息数字成果 1:5000、1:10000、1:25000、1:50000、1:100000 数字高程模型：参考引用事后处理生成数字表面模型 1:5000、1:10000、1:25000、1:50000、1:100000 成图比例尺的规定。

(8) CH/T 9022 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 1:5000

1:10 000 数字表面模型：参考引用事后处理生成数字高程模型 1:500 1:1 000 1:2 000 1:5 000 1:10 000 成图比例尺的规定。

(9) CH/T 9023 基础地理信息数字成果 1:25 000 1:50 000 1:100 000 数字表面模型：参考引用事后处理生成数字高程模型 1:25 000 1:50 000 1:100 000 成图比例尺的规定。

2.1 术语

本文件定义了以下术语：

(1) 无人机视频测绘：首先对无人机视频测绘进行了定义，强调了无人机视频流数据和实施定位，以区别于无人机航空摄影测量方式。例如，航空摄影测量的定义为“在航空遥感平台上，利用航空像机对地面连续摄取像片或影像，结合地面控制点测量、调绘、纠正和立体量测等步骤，生产数字高程模型（DEM）、数字正射影像图（DOM）、数字矢量地图（DLG）等产品的摄影测量方式”。

(2) 视频测绘数据处理系统：对无人机视频测绘中获取的数据进行处理的计算机软件系统，可生成地理信息产品或进行定位。其功能由文件相应的章节（5.7）进行了细化。

(3) 无人机视频测绘系统：在“无人机视频测绘”、“视频测绘数据处理系统”的基础上，明确了无人机视频测绘的软硬件、构成等，包括无人驾驶飞行器、视频摄像机、位姿系统、地面基站、数据传输系统、地面控制系统和视频测绘数据处理系统。

(4) 视频关键帧影像：从无人机视频流提取的某个特定时间节点的影像。可用于纠正后迭加或拼接生成快速影像镶嵌图。

(5) 融合编码视频流：与普通的视频流相区别，特指含有时间、位置、姿态信息和传感器参数的视频流。可在无人驾驶航空器上或者地面的处理系统中

生成，应符合GB/T 40768的要求。

(6) 实时定位：用无人机视频测绘系统获取无人机视频流的同时，当发现特定目标后，对特定目标进行定位的过程。此过程是与常规摄影测量方法相区别的标志之一，强调了实时性。

(7) 关键帧影像纠正：对视频关键帧影像进行纠正生成数字正射影像图的过程。

(8) 快速影像镶嵌：用无人机视频测绘系统获取无人机视频流的同时，利用视频关键帧影像纠正后的数字正射影像图的重叠区域在视频获取的同时进行叠加或拼接的过程，以区别于一般的数字正射影像镶嵌过程。镶嵌时可采用叠加的方法，也可采用拼接的方法。此与CH/T1057的7.1.2的a)的术语一致。

(9) 快速影像镶嵌图：快速影像镶嵌的成果，以区别于常规摄影测量方法生成的数字正射影像镶嵌图，其精度一般较数字正射影像镶嵌图低。

(10) 实时成图：在无人机视频流获取的同时制作如快速影像镶嵌图、数字表面模型等地理信息产品的过程。此过程和实时定位一起，是无人机视频测绘的主要用途，是与常规摄影测量方法相区别的标志之一，强调了实时性。

(11) 事后处理：在视频获取全部完成后，根据常规的摄影测量方法的流程，生成数字正射影像图、数字高程模型和数字表面模型的过程，与实时成图项对应。与常规的摄影测量方法的区别是，数据源为从无人机视频流提取的视频关键帧影像和关键帧时空数据。

2.2 基本要求

本文件对成果的类型、质量要求、时效性要求和时空基准做了规定。

成果按时间顺序包括无人机视频测绘获取的数据成果、无人机视频流数据实时处理成果和无人机视频流数据事后处理成果。无人机视频测绘获取的数据

成果包括无人机视频流数据，位姿数据、融合编码视频流数据（无人机视频流数据与位姿数据融合得到）；无人机视频流数据实时处理成果包括实时定位成果、快速影像镶嵌图、数字表面模型；无人机视频流数据事后处理成果包括数字正射影像图、数字高程模型、数字表面模型。视频关键帧影像、关键帧时空数据作为中间成果本文件不做规定。

2.2.1 无人机视频测绘获取的数据成果

包括了无人机视频测绘系统获取的视频流数据（可见光和红外）、位姿数据，以及两者融合后的融合编码视频流数据。

（1）无人机视频流数据

按CH/T 1057的规定，光学传感器获取的视频其分辨率不低于 1920×1080 ；热红外传感器获取的视频其分辨率不低于 640×512 ，地面分辨率不低于0.5m（与普通航摄1:5000成图比例尺的分辨率相当）。目前的视频流摄像机如DJI Mavic 3T红外相机、飞马D-TIRV1000热红外模块都可以达到上述分辨率。

640×512 像素的热成像分辨率意味着图像能够显示更多的细节和温度差异。这种高分辨率使得用户能够更准确地识别和分析目标物体的温度分布和变化，对于火灾、夜间或光照条件不足的情形下十分有益。

（2）位姿数据

对位姿数据的格式进行了规定，其精度与采用的定位定姿系统相关，在本文件的6.3中进行规范。

（3）融合编码视频流数据

应满足GB/T 40768的要求。其融合可在无人飞行器上完成，亦可在地面的无人机视频测绘系统中完成，更具有灵活性。

2.2.2 无人机视频流数据实时处理成果

包括实时定位成果、快速影像镶嵌图、数字表面模型（可以用点云的形式表现）。

（1）实时定位成果

此处考虑了多种定位算法：

a) GNSS/IMU数据定位：不低于10米；

b) GNSS/IMU数据融合激光测距辅助定位：不低于1米；

c) GNSS/IMU数据融合参考影像匹配定位：卫星影像为参考地图时定位精度应不低于4米，无人机影像为参考地图时定位精度应不低于3米。

对无人机定位时延，本文件规定为不超过3s。

（2）快速影像镶嵌图

按照试验成果以及实时处理生成的快速影像镶嵌图，平面精度优于5米。

快速影像镶嵌图的纸质图输出时应满足CH/T 1057的相应规定。

（3）数字表面模型

实时处理生成的数字表面模型，格网间距优于5米，高程精度优于10米，符合CH/T 1057的要求。

2.2.3 无人机视频流数据事后处理成果

包括数字正射影像图、数字高程模型、数字表面模型。

（1）数字正射影像图

按照试验成果以及事后处理生成的数字正射影像图平面位置中误差优于1米，拼接误差不大于平面位置中误差的2倍，数字正射影像图输出时可根据需要选择比例尺，比例尺可为1: 1 000、1: 2 000、1: 5 000、1: 10 000，并可根据需要选择图廓要素进行整饰。

(2) 数字高程模型

事后处理生成的数字高程模型，成图比例尺1:500 1:1 000 1:2 000 1:5 000 1:10 000时应符合CH/T 9022的规定，成图比例尺1:25 000 1:50 000 1:100 000时应符合CH/T 9023的规定。

(3) 数字表面模型

事后处理生成的数字表面模型，成图比例尺1: 500、1: 1 000、1: 2 000时应符合CH/T 9008.2的规定，成图比例尺1: 5 000、1: 10 000、1: 25 000、1: 50 000、1: 100 000时应符合CH/T 9009.2的规定。

2.2.4 空间基准

无人机视频测绘实时成图时，所使用的平面坐标系采用2000国家大地坐标系，高斯-克吕格投影，按3°分带；高程则位姿系统只能获取的高程为大地高，因此成果只能采用CGCS2000大地高，事后处理时因由地面控制点，采用1985国家高程基准。

2.3 无人机视频测绘系统要求

2.3.1 无人机平台要求

无人机平台应当集成视频摄像机、位姿系统以及数据传输系统，以确保飞行器能够同时进行图像采集、定位和数据实时传输，满足无人机视频测绘所需的精度和实时性。

无人机平台应具备在一般气象条件下的安全飞行能力，抗风能力应不低于4级（约8m/s）。根据市场调研，DJI无人机做为市场典型代表，其最大抗风风速可达12m/s，等同于6级风。

仿地飞行是指无人机平台在低空飞行时，能够自动保持与地面一定的距离，有效避免因高度波动或地形起伏导致的飞行风险。感知避障能力是指飞行器能

够通过搭载传感器（如激光雷达、视觉传感器等）感知周围环境并自动避开障碍物，确保飞行过程中的安全性。华测与DJI等典型品牌均具备此项技术，确保飞行器能够在复杂环境中进行稳定作业。

续航时间不宜少于30分钟。续航时间直接影响到无人机执行任务的时效性与经济性。DJI等典型品牌的无人机平台续航一般可达到40至50分钟，且能够在工作环境温度-20° C至50° C的范围内稳定工作。华测飞行器的最大续航能力为40分钟，且支持最大6kg的载荷。

2.3.2 视频摄像机要求

a) 集成三轴稳定云台与电子防抖功能

视频摄像机应集成三轴稳定云台，并具备电子防抖功能，稳定度应不低于 $100 \mu\text{rad}$ 。这一要求旨在确保飞行器在高动态飞行过程中，摄像机能够保持稳定的画面质量，避免因飞行器运动导致的视频图像模糊。三轴稳定云台可以通过调节云台的角度，实时补偿无人机平台的运动，保证画面稳定。电子防抖功能则通过软件算法进一步优化图像稳定性，尤其在飞行过程中遇到震动或不稳定因素时。这一技术在华测和彩虹等无人机品牌中得到了广泛应用，提升了视频测绘任务中的图像质量。

大疆公司典型产品Zenmuse X7的角度抖动量为 0.005° ，即 $0.005 * \pi / 180 = 87.25 \mu\text{rad}$ ，H30角度抖动量更是达到了悬停 0.002° ，飞行 0.004° ，均优于 $100 \mu\text{rad}$ 。

b) 几何检校与焦段检校

视频摄像机应按GB/T 39612标准进行几何检校，特别是在使用变焦镜头时，应分焦段进行检校。这一要求确保视频摄像机在执行视频测绘时，图像质量和几何精度达到标准要求。变焦镜头由于其不同焦段的特性，在不同焦段下可能

存在不同的畸变和像差，因此需要分别进行检校，以确保全焦段的图像质量稳定。对于不同焦段的检校，相关检校参数应提供，以便满足不同测绘任务的需求。

c) 时空信息融合编码功能

摄像机宜具备时空信息融合编码功能，宜采用H. 265编码标准，编码时延不大于1s。编码可在摄像机上实施，亦可在地面控制系统接收无人机视频流数据、位姿数据后实施。时空信息融合编码功能可以同步地将位置、姿态信息与无人机视频流结合，适应高精度视频测绘的需求。H. 265标准相比H. 264具有更高的压缩效率，其压缩倍率提高至400倍，且视频质量不会因压缩过度而明显下降。H. 265能够提升30%-50%的编码效率，并且有效降低带宽需求，相比H. 264节省50%的传输带宽，这对于远距离传输高清无人机视频流非常关键。

国家重点研发计划“新型遥感信息获取及处理装备检测技术研究”中研究成果表明，摄像机时空信息融合编码可以做到平均延时319.9363ms，因此约定时间不大于1秒具有实践基础。

d) 视频分辨率与激光测距装置

视频分辨率不应低于1920 x 1080，并可集成激光测距装置。这一要求确保飞行器拍摄的视频画面清晰度符合视频测绘的精度要求。高清视频分辨率能够提供足够的细节信息，确保图像分析和测量结果的精确度。激光测距装置的集成能够实时获取地面目标的距离信息，有助于提高图像和空间数据的准确性，准确计算地面目标的位置信息。

2.3.3 位姿系统要求

a) 输出接口

位姿系统应具备时间、经纬度、高度、横滚角、俯仰角和旋偏角的输出接口，用于摄像机的时空信息融合编码。这些信息对于确保无人机视频流与无人机平台实时位置、姿态的同步至关重要，可以有效支持时空信息融合和后期数据处理。

b) GNSS定位功能与精度要求

位姿系统应具备CORS支持下的GNSS定位功能，并且具备多频接收能力，实时定位精度应优于厘米级。这一要求确保飞行器能够支持CORS定位，是实现厘米级快速定位的主流技术。多频接收能力不仅可以提高定位精度，还能增强抗干扰能力，保证定位系统在各种环境下的稳定性。

c) GNSS与IMU采样频率

GNSS采样频率不应低于5Hz，IMU采样频率不应低于64Hz。较高的采样频率能够提高位姿系统的实时性和精度，尤其是在高速或高动态飞行状态下，确保飞行器的定位和姿态信息快速、准确地反馈到系统中，以供实时控制和数据记录。

GB/T 27919《IMU/GPS辅助航空摄影技术规范》中对机载IMU/GNSS系统的要求中提出 GNSS接收机, 最小采样间隔不应大于1s，即不低于1Hz，现阶段常用GNSS模块如u-blox NEO-M8N支持最高10Hz的更新频率，广泛应用于无人机和导航系统。Trimble BD990高精度GNSS接收机，支持最高20Hz的更新频率，适合高动态场景。因此将GNSS采样频率定为不低于5Hz。

GB/T 27919《IMU/GPS辅助航空摄影技术规范》中对机载IMU/GNSS系统的要求中提出IMU 数据记录频率不应小于64Hz，本标准参照这一参数。目前常用I的MU模块InvenSense MPU-6050，集成6轴传感器（3轴加速度计+3轴陀螺仪），支

持最高100Hz的采样频率，广泛应用于消费级无人机。Bosch BMI160则支持最高1600Hz的陀螺仪采样频率和800Hz的加速度计采样频率，适合高动态场景。

d) 姿态和航向精度

姿态测量精度应优于0.01度，航向测量精度应优于0.1度。高精度的姿态和航向测量能够确保飞行器在飞行过程中保持精准的飞行姿态，避免出现因姿态不稳定或航向偏离导致的误差。更主要的是为融合编码时，为视频关键帧影像提供姿态初值，较高的精度对于视频数据的图像采集和后期数据处理提供辅助作用，GB/T 27919《IMU/GPS辅助航空摄影技术规范》中提出IMU测角中误差：侧滚角和俯仰角不应大于0.01°，航偏角不应大于0.02°。

2.3.4 激光测距装置要求

激光测距系统的最大测程不应低于500米，测距精度不应低于1米。该要求确保激光测距系统能够在较远的距离内进行精确测量，并且具备较高的测量频率，以满足动态环境下的实时定位需求。DJI的经纬M30系列激光测距仪可支持最大1200米的测程，这些设备可以有效支持高精度的视频测绘目标定位任务。

2.3.5 地面控制系统要求

地面控制系统在进行视频测绘时，除了具备无人驾驶航空器的基本监控功能外，还应具有以下附加功能，以确保在飞行过程中对无人机和设备的有效控制：

a) 对摄像机的远程操控

地面控制系统应具备对摄像机的远程操控能力，包括但不限于拍照、录像、调参、旋转等模式切换。这一功能对于实时取证和高效执行任务至关重要。具体操作包括在发现目标后，能够通过远程指令控制摄像机进行可见光或热成像拍摄，以及执行拍照、开始录像、关闭录像、调焦距、聚焦等操作。此功能确

保了地面控制人员能够在不同任务需求下，迅速调整飞行器的拍摄模式，并及时获取清晰的视频和图像数据。这一技术在执行应急监控、环境调查、灾后评估等任务时尤为重要。

b) 对激光测距装置的远程操控

可对发现的目标进行测量并定位。

c) 对无人机视频流数据、位姿数据、摄像机的融合编码成果的接收、存储、转发功能以及使用无人机视频流数据和位姿数据进行编码融合的功能

地面控制系统应具备接收、存储和转发无人机视频流数据、位姿数据和融合编码视频流的能力。地面控制系统应不仅能够实时接收飞行器传输的视频流和位姿数据，还需要能够存储和处理无人机视频流数据，支持后续的数据分析与应用。同时，系统应能够将处理后的数据转发到相关部门或平台，以便进行进一步的处理、分析和应用，支持更广泛的决策制定或远程操作。无人机视频流的接收与存储是确保无人机视频测绘和监控任务能够顺利进行并获得高效成果的基础。

2.3.6 数据视频传输系统要求

数据视频传输系统是无人机进行视频流、位姿数据、目标定位等信息实时传输的核心组成部分。其性能直接影响到无人机视频测绘任务的执行效果和数据的处理效率。

a) 数据传输方式

数据视频传输系统应支持短波图传、移动网络、卫星等独立或组合方式，能够传输位姿数据、无人机视频流数据、融合编码视频流和目标位置信息等。不同的传输方式提供了多种选择，能够在不同地理环境、不同通信条件下进行任务执行。例如，在城市区域可能使用移动网络进行数据传输，而在偏远或没

有网络覆盖的区域则可能依赖卫星通信进行数据传输。这一灵活的传输方式确保无人机能够在各种环境下稳定、高效地进行数据传输。

b) 传输距离

传输距离应不小于5km。对于远程监控和测绘任务，数据传输的稳定性和传输距离至关重要。DJI、华测的无人机传输距离均可达10km甚至更远。较远的传输距离使得无人机在执行大范围区域测绘时，能够保持稳定的数据连接，确保数据不丢失。

c) 传输带宽

数据传输的带宽应不低于2Mbps，宜为4Mbps。更高的带宽能够支持更高质量的无人机视频流传输，尤其在需要传输高清视频（如4K或高清实时图像）时，充足的带宽是保证传输质量的基础。带宽提升不仅能够提供更清晰的画面，还能在视频压缩后减少传输延迟，提高实时性。通常的1080P的视频，经实验验证，最低2Mbps的带宽即可满足。

d) 实时图传质量

无人机视频流的实时图传质量不应低于720p/30fps，尤其是在执行高清视频监控、测绘任务时，720p分辨率和30fps的帧率能够保证画面足够清晰流畅，适应绝大多数应用场景。DJI的无人机系统已能保证在此标准下进行高效传输，为实时任务提供可靠支持。

更高分辨率（如1080p或4K）和更高帧率（如60fps）也已逐步在应用，但720p/30fps在清晰度和流畅度之间取得了平衡，同时对带宽的要求相对较低，适合在无线图传环境中高效传输。

e) 时延

数据传输的时延不应大于1秒。低延迟对于实时监控、快速反应任务尤为重要，尤其在应急响应和远程操作中，时延的增加会直接影响决策的时效性。DJI的传输系统，尤其是使用SDR传输技术的设备，能够在1080p/60fps的视频流传输中，保持仅约130毫秒的延迟，这在行业中是非常优秀的表现。而彩虹品牌的无人机系统则能保持50毫秒的低延迟，这进一步提高了数据的实时性和精准度。

f) 抗干扰技术

数据传输系统应采用抗干扰技术，确保视频信号的稳定性和可靠性。抗干扰能力对于在复杂电磁环境下保证无人机视频流的质量至关重要。尤其在大规模城市监控等应用场景中，电磁干扰源广泛存在，因此，系统必须具备抗干扰设计，以确保信号在各种干扰下仍能保持稳定和流畅。

g) 视频完整性与自动重连功能

数据传输系统应确保传输的无人机视频流完整，并具备链路中断后的自动重连功能。无论是在长时间的飞行中，还是在出现信号弱或环境复杂的情况下，视频传输链路可能会中断。此时，系统应能够自动识别并恢复连接，确保数据的连续性和完整性，防止关键任务信息的丢失。

2.3.7 数据测绘数据处理系统要求

视频测绘数据处理系统是视频测绘中的重要系统，应能够在视频获取的同时实时接收、显示、存储无人机视频流数据和位姿数据、融合编码视频流数据，以及特定目标的地理定位数据、取证影像或视频，并具有基于GNSS/IMU位姿数据和高程数据的视频关键帧影像正射纠正功能以及增量式实时快速影像镶嵌功能；以及基于GNSS/IMU位姿数据和高程数据的目标实时地理定位功能。此外，随着GPU硬件和SLAM技术的发展，实时密集匹配、实时生成数字表面模型的功能以及GPS加速处理的功能集成在系统中已非难事。当任务区由参考影像或者继承

了激光测距装置时，使用GNSS/IMU位姿、激光测距辅助、参考影像匹配的多种方式融合的目标实时地理定位功能页应考虑进来。

2.4 视频测绘实施要求

2.4.1 飞行前准备

飞行前应根据任务区的地形、气候、时间以及具体任务的需求，选择适当的无人机平台、摄像机和激光测距装置，并确定飞行航高和航线，获取可用的参考影像、数字高程模型或平均高程等数据。飞行前的准备工作至关重要，因为地形和气候变化可能对无人机的飞行性能和测绘精度产生直接影响，并且使用已有数据可使得数据处理精度更高。

2.4.2 时间同步

起飞前，摄像机、位姿系统、激光测距装置和视频测绘系统的时钟应进行同步。时间同步是确保多个传感器采集的数据可以准确配合的重要环节，尤其是在高精度测绘任务中。不同设备在数据采集时，若时间不同步，可能会导致视频关键帧影像、位姿和激光测距数据之间的时空不一致，从而影响最终的测量精度和数据融合效果。

2.4.3 飞行质量要求

a) 实时成图时

俯仰角一般宜小于等于3度，最大应小于等于5度；旋偏角一般宜小于等于10度，最大应小于等于15度。

飞行器的姿态控制对实时成图的质量至关重要，这一指标参考了GB/T 39612-2020《低空数字航摄与数据处理》对于飞行的质量要求。

b) 定位和监视时

对于定位和监视任务，飞行器应保持云台的增稳功能，俯仰角和旋偏角没有硬性要求。此时的重点是确保视频图像的稳定和清晰，以便进行实时监控和定位数据的收集。云台增稳功能能够有效抑制飞行器的震动和不稳定性，确保摄像机捕捉到的画面保持清晰和稳定。

2.4.4 视频质量要求

a) 图像传输

视频传输应稳定流畅，不应出现雪花、噪点、条纹等影响图像质量的问题。视频传输的稳定性是视频测绘任务中非常重要的指标。如果无人机视频流在传输过程中出现不稳定现象（如丢帧、雪花、噪点等），将直接影响到数据的质量和后期的处理效果。因此，无人机视频测绘系统应具备较强的抗干扰能力，确保在长时间、远距离传输过程中图像不丢失，且质量保持稳定。

b) 无人机视频流要求

清晰度与层次感：无人机视频流应清晰、层次丰富、反差适中，色调柔和。无人机视频流的图像质量对于测绘任务的精度至关重要，图像的清晰度和细节层次直接影响后期的数据处理效果。

帧率：无人机视频流的帧率应不低于30fps。较高的帧率能够保证视频在快速运动或动态场景中的流畅性，减少运动模糊或卡顿现象。尤其是在进行高动态的测绘任务时，保持无人机视频流的流畅性是确保数据精度和实用性的前提。

30fps是视频行业的常见标准，广泛应用于电视、在线视频和监控等领域。采用这一标准，确保无人机视频流与主流设备和平台兼容。将帧率定为不低于30fps，是为了在流畅度、兼容性、实时性和技术可行性之间取得平衡。

正常解析：无人机视频流应能够正常解析，且图像应没有因压缩过度或传输中断而出现失真。无人机视频流的解码效率和传输能力是影响图像质量的重

要因素。确保无人机视频流能在后期处理过程中被准确解析，且无任何图像丢失或损失，是确保视频测绘任务成功的关键。

三、主要试验(或验证)的分析、综述报告、技术经济论证及预期的经济效果

1. 无人机视频测绘的特点以及与常规摄影测量的区别

无人机视频测绘是利用无人机视频流数据和位姿数据，对遥感影像中感兴趣目标的**自动检测和地理定位**，进行实时地图构建以提供“力所能及”的成果和服务，在保障时效性的前提下，尽可能提高精度。无人机视频测绘特别适用于弱纹理、弱光、大面积应急保障、快速巡检/监测、取证等场景。这里的无人机视频流既包括可见光的，也包括红外的。红外摄像机能够在夜间和恶劣天气条件下观测目标，通过探测目标的热辐射来生成热图像，对于伪装和隐蔽目标的识别特别有效，因为它不依赖于光照条件。如结合AI算法，可以对不同热源进行智能分析和识别，是侦察和应急的重要手段。

使用无人机视频流进行测绘的流程如下图所示。

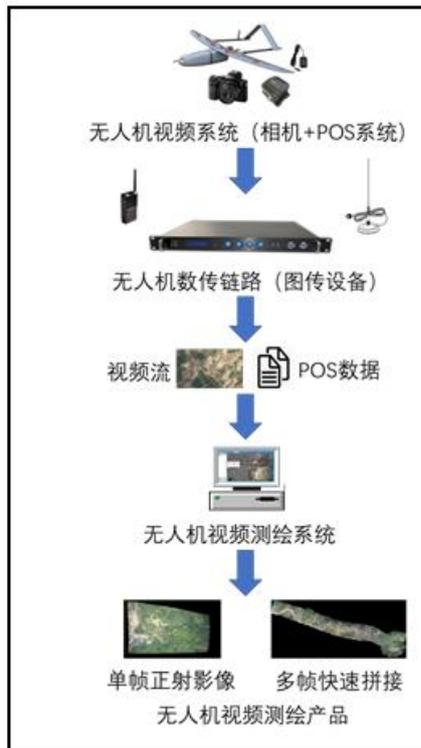


图 1 无人机视频测绘流程

无人机视频测绘与无人机航空摄影测量的主要区别如下表所示。

表 2 无人机视频测绘与无人机航空摄影测量的区别

比较项	无人机视频测绘	常规无人机摄影测量
数据源	无人机视频流数据、位姿数据 (POS)	影像、位姿数据 (POS)
数据处理	视觉SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 为主	基于共线方程的摄影测量方法为主
处理时间	实时或准实时	小时级
目的	用于应急保障、军事侦察或对地理信息产品时效性要求高的场景, 包括成图或定位	测制精度要求高的基本比例尺地形图, 数字正射影像图、数字高程模型等
工作流程	实时、同步的进行数据获取、处理与成果发布	注重标准化, 作业流程通常包括数据获取、控制测量、数据处理和成果服务等
精度要求	时效性优先, 产品精度根据需要可适当降低	成果要求明确, 精度控制严密
成果内容	整个测区的DOM、DSM, 定位坐标等	标准分幅的DLG、DOM、DSM、DEM、三维模型等

2. 无人机视频流数据接收与实时处理试验分析

本节以测绘地理信息公益性行业科研专项项目“应急测绘低空无人机遥感关键技术与装备”、十三五国家重点研发计划“时空信息获取与处理技术标准研制”、十三五国家重点研发计划“高频次迅捷无人航空器区域组网遥感观测”、十四五国家重点研发计划“边境社会安全风险防控关键技术研究示范”以及中测新图（北京）遥感技术有限责任公司博士后科研工作站的成果和成熟技术进行说明。在本文件中，仅仅规定了需要完成的工作内容和相应的技术指标以及实证手段，并未对具体处理方法做出限值，因此本文件的规定具有灵活性和通用性。

在上述课题研究中，研制了“无人机视频测绘系统”，突破了无人机视频帧影像拼接与地理参考中的误差累计问题、GNSS漂移问题、GNSS与视频帧不匹配问题等，实现了高效实时的无人机视频测绘制图。2019年的国家应急测绘保障能力建设项目，采用团队研发的“无人机视频测绘系统”在全国8个重点省份进行了部署，开展了业务化运行，有力的支撑了国家的应急保障工作，并在2019年4月四川凉山木里森林火灾中、2021年7月河南省极端强降雨灾情中得到应用。

2.1 地理信息产品生产

2.1.1 方法原理介绍

基于无人机视频流的地理信息产品生产的流程如下图所示，主要由三个关键模块组成：位姿解算、三维重建、地图生成。

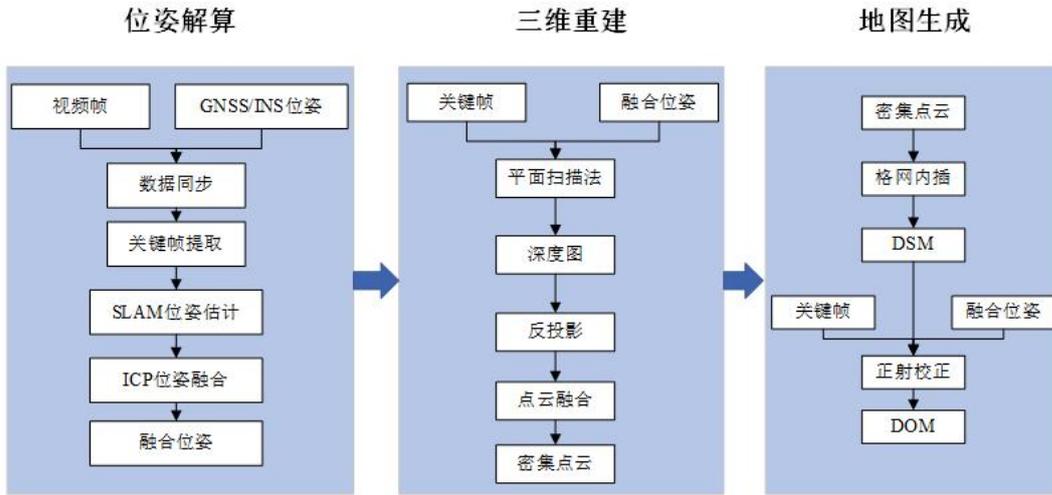


图 2 基于无人机视频流的地理信息产品生产的流程

(1) 位姿解算

a) 数据同步

首先，处理系统同步接收视频帧数据和GNSS/IMU位姿数据，并记录各自的接收时间。通过时间戳对视频帧和GNSS/IMU位姿数据进行时间对齐。此外，由于GNSS/IMU位姿数据的采样频率通常低于视频帧的帧率，这导致两者之间存在延迟，不能实现时间戳的一一对应。

为了实现视频帧与GNSS/IMU的频率同步，采用线性插值法，具体步骤如下：

- 1) 记录每个视频帧的接收时间 $T_i (i = 1 \cdots n)$ 。
- 2) 记录每个GNSS/IMU位姿数据的接收时间 $t_i (i = 1 \cdots n)$ 。
- 3) 将视频帧的时间 T_i 与GNSS/IMU位姿数据时间 t_i 进行比较，找到 T_i 所在的时间区间 $[t_m, t_{m+1}]$ 。

4) GNSS/IMU数据中的经度、纬度、海拔高度、横滚角、俯仰角、航向角分别是时间的函数，由此可得线性插值函数为：

$$\begin{cases} L = k_L * t + b_L & B = k_B * t + b_B & Z = k_Z * t + b_Z \\ \Psi = k_\Psi * t + b_\Psi & \Theta = k_\Theta * t + b_\Theta & \Phi = k_\Phi * t + b_\Phi \end{cases} \quad (1)$$

式中：L为经度、B为纬度、Z为海拔高度、 Ψ 为横滚角、 Θ 为俯仰角、 Φ 为航向角、 k_i 、 b_i ($i = L, B, Z, \Psi, \Theta, \Phi$)分别为插值方程斜率和系数、 t 表示某一时刻的接收时间。将 t_m 、 t_{m+1} 时刻的GNSS/IMU位姿数据值分别代入方程式求出方程系数与常数项，得出最终的插值方程为：

$$\begin{cases} L = \frac{L_{m+1}-L_m}{t_{m+1}-t_m} * t + \frac{t_{m+1}L_m-t_mL_{m+1}}{t_{m+1}-t_m} \\ B = \frac{B_{m+1}-B_m}{t_{m+1}-t_m} * t + \frac{t_{m+1}B_m-t_mB_{m+1}}{t_{m+1}-t_m} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} Z = \frac{Z_{m+1}-Z_m}{t_{m+1}-t_m} * t + \frac{t_{m+1}Z_m-t_mZ_{m+1}}{t_{m+1}-t_m} \\ \Psi = \frac{\Psi_{m+1}-\Psi_m}{t_{m+1}-t_m} * t + \frac{t_{m+1}\Psi_m-t_m\Psi_{m+1}}{t_{m+1}-t_m} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Theta = \frac{\Theta_{m+1}-\Theta_m}{t_{m+1}-t_m} * t + \frac{t_{m+1}\Theta_m-t_m\Theta_{m+1}}{t_{m+1}-t_m} \\ \Phi = \frac{\Phi_{m+1}-\Phi_m}{t_{m+1}-t_m} * t + \frac{t_{m+1}\Phi_m-t_m\Phi_{m+1}}{t_{m+1}-t_m} \end{cases} \quad (4)$$

4) 将 T_i 分别代入上述公式，计算对应的GNSS/IMU位姿数据。

通过以上步骤，能够实现视频帧和GNSS/IMU位姿数据的有效同步，如下图所示。

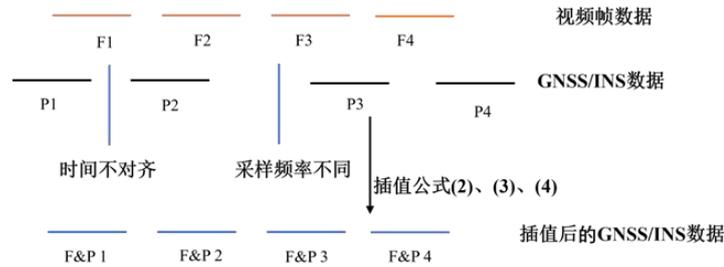


图 3 无人机视频帧与 GNSS/IMU 数据同步示意图 (F 为视频帧，P 为 GNSS/IMU 记录，F&P 为插值后的 GNSS/IMU 记录)

(2) 视频关键帧影像提取

视频关键帧影像的提取对地图的覆盖范围、精度以及SLAM（即时定位与地图构建）系统的计算效率至关重要。通常，视频关键帧影像的提取是通过计算两帧之间的重叠率来实现的。此处可采用ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) 特征来计算重叠率，首先统计两幅图像之间的匹配点数量及各自的特征点总数，

然后用匹配点数量除以两幅图像特征点数量的平均值，从而得到重叠率。重叠率与视差紧密相关，较大的视差有助于提高位姿估计的精度，但过大的视差也可能使特征匹配变得困难。因此，必须保持重叠率在一个合理的范围内，根据任务区地表的纹理情况调整参数，例如设置重叠率阈值在0.8到0.9之间。

(3) 视频关键帧影像 SLAM 位姿估计

视频关键帧影像 SLAM 位姿估计的过程是首先从使用 ORB 特征在视频关键帧影像之间进行特征点提取与匹配开始；随后基于这些特征匹配结果，通过 PnP (Perspective-n-Point) 算法估计相机的位姿；接下来系统初始化地图，并通过三角测量方法生成稀疏点云；最后，结合后端优化技术 (BA 光束法平差和图优化等)，对位姿和稀疏点云进行协同优化，以提升视频关键帧影像位姿估计的精度和稳定性。

(4) 位姿融合

SLAM 位姿是相对位姿，为了将其转换为含地理信息的绝对位姿，需要与 GNSS/IMU 位姿进行融合，采用迭代最近点 (Iterative Closest Point, ICP) 方法。ICP 方法是一种常用的松耦合策略。该方法通过迭代优化两个数据序列之间的匹配误差，直到误差最小化，从而确定最优的变换参数。具体算法实现如下：

算法 1 计算变换矩阵

输入:源点集 src_points , 目标点集 dst_points

输出:旋转矩阵 R . 平移向量 t

1: $src_center = \text{mean}(src_points)$

2: $dst_center = \text{mean}(dst_points)$

3: $src_centered = src_points - src_center$

4: $dst_centered = dst_points - dst_center$

5: $H = src_centered \times dst_centered^T$

```

6: [U, V] = SVD(H)
7: R = V × UT
8: if det(R) < 0 then
9:   V[:, 2] = -V[:, 2]
10: R = V × UT
11: end if
12: t = dst_center - R × src_center
13: return (R, t)

```

通过算法 1，可以得到 SLAM 位姿与 GNSS/IMU 位姿之间最佳变换矩阵 T ，进而将 SLAM 的相对位姿转换为绝对位姿，通过视频关键帧影像的视觉位姿与 T 的融合实现，如下图。

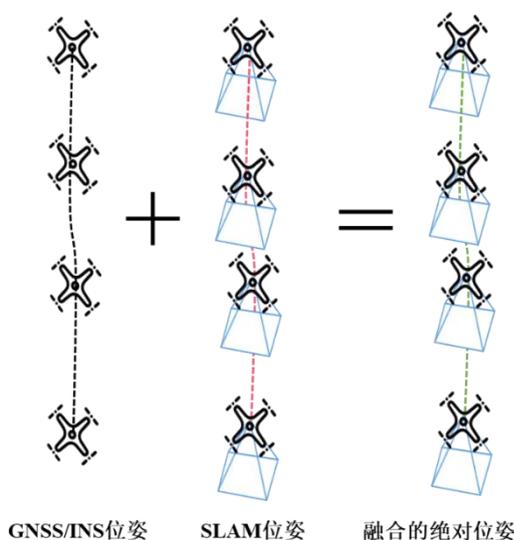


图 4 位姿融合示意图

(5) 三维重建

a) 深度图

深度图的生成可以有多种方式，包括：立体匹配法、基于光流的方法、多视图重建以及基于深度学习的方法。在中采用平面扫描算法，如下图所示，该算法是一种流行的多视图立体匹配技术，能够从重叠的图像中重建三维场景的深度信息。以下是该方法的具体步骤：

- i. 定义投影变换：利用每个相机的投影矩阵，将三维点投影到图像平面上。
- ii. 平面移动和深度假设：设定一个平面，并通过改变深度参数，计算该平面上各点的投影。
- iii. 计算投影匹配和成本：在不同深度下，将三维点映射到每个相机图像上，计算匹配度，通常使用亮度或颜色相似度。
- iv. 选择最佳深度：选择使成本函数最小的深度作为每个像素的最终深度值。

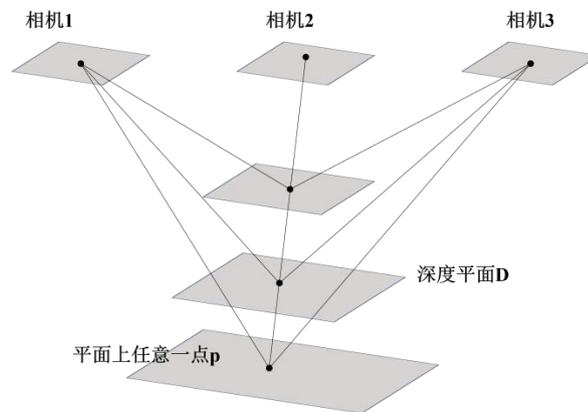


图 5 基于平面扫描方法的深度图生成示意图

b) 密集点云

在通过平面扫描法建立视频关键帧影像的深度图之后，采用反投影方法将当前帧的深度图转换为密集点云：

i. 深度图像素遍历：

处理深度图中的每一个像素。对于深度图中的每个像素位置 (u, v) 和其对应的深度值 Z ，可以使用以下公式将其转换为三维空间中的点：

$$\begin{cases} X = \frac{(u-c_x) \times Z}{f_x} \\ Y = \frac{(v-c_y) \times Z}{f_y} \\ Z = Z \end{cases} \quad (5)$$

式中： (X, Y, Z) 表示在相机坐标系中的三维点， (f_x, f_y) 是焦距、 (c_x, c_y) 是像

主点坐标。

ii. 点云后处理:

为了提高生成点云的整体质量，对点云进行了多步骤的后处理。首先，采用了公式（6）所示的高斯滤波方法来去除点云中的噪声和离群点。高斯滤波通过平滑处理，有效减少了点云中的高频噪声，使得点云表面更加连续光滑。

$$G(x, y, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^3}} \exp\left(-\frac{x^2+y^2+z^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

式中：(x,y,z) 表示点云中每个点的坐标， σ 为高斯函数的标准差。

在完成初步的噪声和离群点去除后，进一步采用最近邻方法来处理点云中重叠区域的重复点。具体而言，首先定义了一个距离阈值，当两点间的距离小于该阈值时，将其视为重复点。并且通过构建 KD 树空间索引以提高空间搜索的效率，利用最近邻搜索方法，找出所有位于设定距离阈值内的点，并将这些重复点删除：

$$P_{filtered} = \{p_i \in P \mid \forall p_j \in P, p_j \neq p_i \Rightarrow \|p_i - p_j\| \geq \varepsilon\} \quad (7)$$

式中：P 表示点云集合， $\|p_i - p_j\|$ 表示点 $p_i = (x_i, y_i, z_i)$ 和点 $p_j = (x_j, y_j, z_j)$ 之间的欧几里得距离， ε 为定义的距离阈值， $P_{filtered}$ 表示最终的点云集合。

通过上述点云后处理步骤，系统能够从每帧深度图中生成高质量的密集点云，如下图。这些处理措施不仅显著提升了点云数据的精度与可靠性，还为后续三维重建及相关分析提供了更为可靠的数据基础。

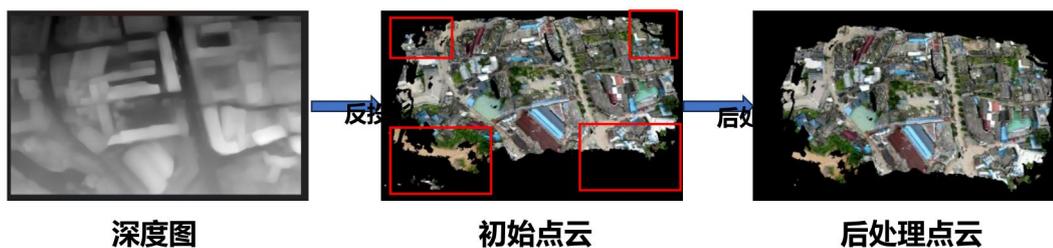


图 6 密集点云生成示意图

2.1.2 地理信息产品生成

采用格网插值法从密集点云中生成数字表面模型（DSM），利用其高精度和高密度特性，为影像校正提供可靠基础。在生成数字正射影像图（DOM）过程中，结合 DSM 与视频关键帧影像及其位姿信息，通过投影转换实现正射校正。同时，引入增量式处理方法，动态更新 DSM 和 DOM，提高处理效率，确保系统实时反映最新地形信息，从而提升影像校正的准确性和一致性。

(1) 系统搭建

根据上述算法原理设计并开发了一个无人机视频实时测绘系统 Vmapper，主界面如下图。

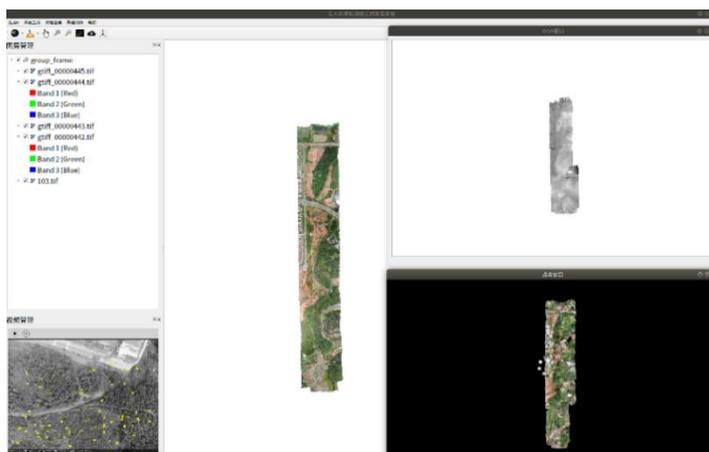


图 7 系统主界面

该系统采用一站式处理流程，从接收无人机视频流和 GNSS/IMU 位姿数据开始，依次进行位姿解算、三维重建，最终生成 DSM 和 DOM。为了提升数据处理效率并满足快速响应需求，引入了基于消息队列的异步处理机制，使各节点能够独立处理，从而显著加快了整体数据处理速度。系统分为三个主要层次：处理层、传输层和显示层。

i. 处理层：包含位姿解算、三维重建和地图生成三个核心节点，分别对应框架中的主要功能。每个节点都在独立的线程中运行，以保证相互之间无干扰。

ii. 传输层：负责在各处理节点之间高效传输数据。当前采用基于消息队列的异步处理机制，确保了数据传输的高效性和系统响应的及时性。

iii. 显示层：负责将生成的地图数据进行二维和三维的展示。

此外，针对系统中提出的增量式生成 DOM 和 DSM 的策略，设计了一种新的动态显示逻辑。在展示过程中，系统能够动态地对 DOM 和 DSM 数据进行层叠显示，从而为用户提供实时更新的视觉信息。

(2) 实验验证

使用大疆 M300 无人机搭载 H20T 相机在江西共青城样区与云南临沧样区，以及中测新图研发的 ZC-3V 型无人机搭载 G1030 光电吊舱在河南许昌样区进行了数据采集。采集的数据包括无人机视频流及 GNSS/IMU 位姿数据，进而生成了 DOM 和 DSM。如下图所展示，从生成的 DOM 和 DSM 中可以观察到，无人机视频测绘实时处理系统生成的数据在航带间的拼接表现良好，无明显的位移现象，说明了标准内容和指标设计的合理性。其中江西共青城样区为丘陵地形，云南临沧样区为山地地形，河南许昌样区为平原地形，验证了对不同地形的普适性。

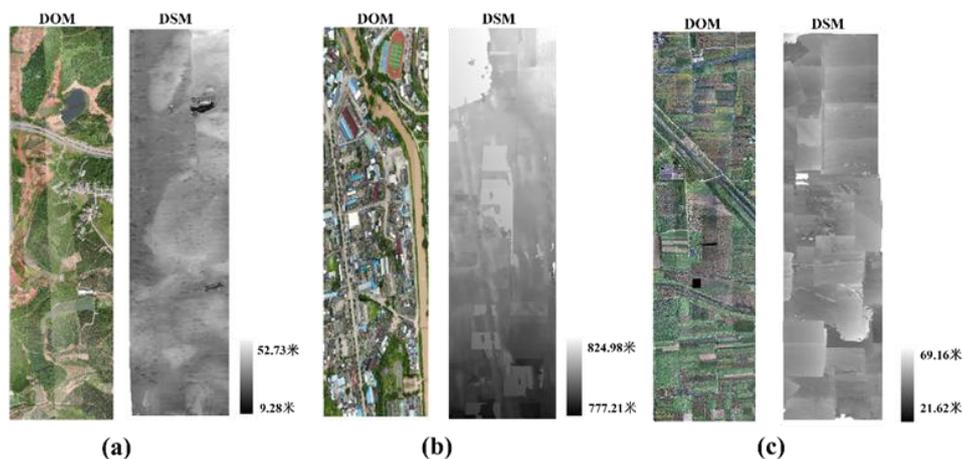


图 8 中心区域 DOM 和 DSM ((a)为江西共青城样区, (b)为云南临沧样区, (c)为河南许昌样区)

a) 运行效率分析

系统部署于一台配备 Intel i7-13700H CPU、32GB RAM 和 NVIDIA RTX4060 GPU 的计算机上进行。为验证系统的处理效率，进行了以下实验：从无人机进入航线的瞬间开始计时，直到无人机飞出航线时停止，以此获取无人机的飞行时间。同时，也从无人机进入航线时开始计时，直至最后一张视频关键帧影像处理完成并拼接结束后停止，以此获取系统的处理时间。通过比较这两个时间，来评估系统的处理效率与性能。具体数据及处理情况如下表所示。可以看出，使用大疆无人机的处理时间与其真实飞行时间相比，延迟为 3.93%和 3.41%；而使用 ZC-3V 无人机的处理时间与真实飞行时间相比，延迟为 6.66%。平均延迟仅为 4.66%，基本实现了实时处理目标的需求。

表 3 系统处理效率情况表

区域	飞行平台+ 载 荷	飞行完成 时间(秒)	视频关键帧 影像分辨率	重 叠 度	视频关键 帧影像数 量	处理完 成时间 (秒)	延 时 (秒)	延时比例
江西共青 城	M300+H20T	916	1 920*1 080	85%	906	952	36	3.93%
云南临沧	M300+H20T	381	1 920*1 080	85%	388	394	13	3.41%
河南许昌	ZC-3V+ G1030	1 440	1 920*1 080	90%	1 440	1 535	95	6.66%

b) 几何精度验证

为验证系统的处理精度，在实验飞行前分别在三个测试地点获取了显著地标的坐标信息。随后，在系统处理并生成的 DSM 和 DOM 中，再次采集了这些相同地标的坐标信息。通过比较这些坐标信息，可以精确地验证两者之间的精度。

i. DSM 高程精度验证

下表展示了 DSM 高程精度与实际测量值之间的误差情况，其中江西共青城样区最大误差为 1.81 米，最小误差为 0.65 米，平均误差 1.04 米。云南临沧样

区最大误差为 1.8 米，最小误差为 0.39 米，平均误差 0.99 米。河南许昌样区最大误差为 1.13 米，最小误差为 0.32 米，平均误差 0.77 米。

表 4 DSM 高程精度误差

	江西共青城 ($\Delta S/m$)	云南临沧 ($\Delta S/m$)	河南许昌 ($\Delta S/m$)
1	0.65	0.50	0.32
2	0.69	1.80	1.07
3	1.81	0.92	0.73
4	0.81	0.39	0.62
5	1.24	1.37	1.13
最大误差值	1.81	1.80	1.13
最小误差值	0.65	0.39	0.32
平均误差值	1.04	0.99	0.77

ii. DOM 平面精度验证

下表展示了 DOM 中平面精度与实际测量值之间的误差情况，其中江西共青城样区最大误差为 0.98 米，最小误差为 0.13 米，平均误差 0.53 米。云南临沧样区最大误差为 0.91 米，最小误差为 0.29 米，平均误差 0.54 米。河南许昌样区最大误差为 0.96 米，最小误差为 0.34 米，平均误差 0.78 米。

表 5 DOM 平面精度误差

	江西共青城 ($\Delta S/m$)	云南临沧 ($\Delta S/m$)	河南许昌 ($\Delta S/m$)
1	0.74	0.91	0.96
2	0.98	0.29	0.34
3	0.13	0.74	0.90
4	0.53	0.43	0.92
5	0.27	0.36	0.76
最大误差值	0.98	0.91	0.96
最小误差值	0.13	0.29	0.34
平均误差值	0.53	0.54	0.78

(3) 结论

a) 无人机视频测绘可通过整合无人机视频流和GNSS/IMU位姿数据，快速生成密集点云、DSM及DOM。

b) 生成的 DSM 的平均高程精度在2米以内，DOM的平均平面精度在1米以内，满足本文件规定的指标。

c) 在江西共青城、云南临沧以及河南许昌的现场测试表明，在保证精度的同时，处理时间相对飞行时间的平均延迟仅为4.66%，实现了目标的高效实时处理。

2.2 目标地理定位

2.2.1 方法原理介绍

(1) 相机投影模型

无人机影像投影定位的核心在于准确的相机成像模型。通过建立相机成像模型来计算投影区域的中心和四角的地理坐标，可以得到投影区域的覆盖范围内的地理参考。下图展示了相机投影到地面的成像模型。在该模型中，相机垂直向下与地面的交点被定义为原点，分别沿正北、正东方向建立直角坐标系(xoy)，以此构建出投影的几何关系。此外，相机朝着偏航角的方向，并沿着俯仰角度发射出光线，与地面形成的交点即为投影区域的中心位置。相机的视场角、俯仰角和飞行高度等参数共同作用，决定了投影范围的大小。下面将详细介绍投影中心与四角坐标的计算原理。

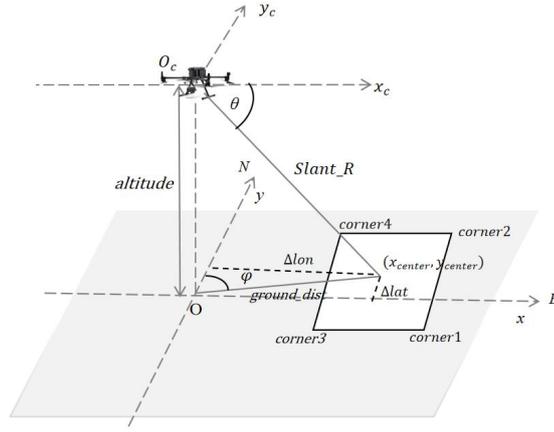


图 9 相机到地面的投影

(2) 影像投影中心点的坐标计算

相机的飞行高度决定了相机与地面之间的垂直距离。俯仰角则进一步确定了相机到投影中心的实际距离。同时，偏航角进一步确定投影中心在空间中相对于相机的方位（即在 xoy 坐标系中的具体象限位置）。这些参数共同作用，可以实现对相机在世界坐标系中的投影位置进行初步估计。具体的投影中心点坐标计算过程如下所示：

$$\left\{ \begin{array}{l} ground_dist = altitude * \tan\left(\left(\frac{\pi}{2} - \theta \times \frac{\pi}{180}\right)\right) \\ \Delta lat = \frac{ground_dist * \cos\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right)}{R_{earth}} \times \frac{180}{\pi} \\ \Delta lon = \frac{ground_dist * \sin\left(\varphi \times \frac{\pi}{180}\right)}{R_{earth}} \times \frac{180}{\pi} \\ (lat_{center}, lon_{center}) = (lat_{UAV} + \Delta lat, lon_{UAV} + \Delta lon) \end{array} \right. \quad (8)$$

在上述公式中， θ 表示相机的俯仰角、 φ 表示相机的偏航角、 $altitude$ 表示飞行高度、 R_{earth} 表示地球半径、 (lat_{UAV}, lon_{UAV}) 表示相机当前的经纬度坐标。该过程首先结合了 θ 和 $altitude$ 来计算投影中心与坐标原点间的直线距离。然后，通过分析 φ 的值来确定投影中心在 xoy 平面上的具体方位，即确定投影中心点所在的象限。并利用三角函数，计算其在 x 轴和 y 轴的平移分量。将计算得到的平移分量转换为以经纬度为单位的偏移量 $(\Delta lat, \Delta lon)$ 。这些偏移量是相对于相机

当前经纬度坐标的偏移。通过将其与 (lat_{UAV}, lon_{UAV}) 相加，便可以获取到投影中心在世界坐标系中的真实位置。

(3) 影像四角点的坐标计算

在确定了投影中心的坐标之后，进一步利用相机视场角来计算投影区域的覆盖范围。水平视场角和垂直视场角对确定相机视野的覆盖范围方面起着决定性的作用。当相机垂直地面向下拍摄时，所捕捉的投影范围如下图所示。

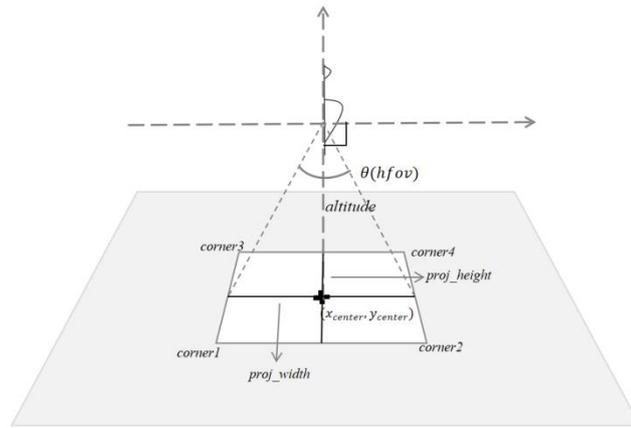


图 10 $\theta = 90^\circ$ 投影范围

忽略光学畸变与地形变化等外界干扰因素，在理想的条件下，相机以垂直下视的姿态(俯仰角 $\theta = 90^\circ$)进行拍摄时，其捕获的投影区域可以近似为一个矩形。该矩形区域的宽度和高度的计算公式如下：

$$\begin{cases} proj_width = altitude \times \tan\left(\frac{\theta(hfov)}{2} \times \frac{\pi}{180}\right) \\ proj_height = altitude \times \tan\left(\frac{\theta(vfov)}{2} \times \frac{\pi}{180}\right) \end{cases} \quad (9)$$

在公式(9)中， $\theta(hfov)$ 、 $\theta(vfov)$ 分别表示相机的水平视场角和垂直视场角。然而，相机的俯仰角以及飞行高度对投影范围也存在着显著影响。随着俯仰角的变化，相机拍摄视线与地面的夹角也进行了相应的调整，进而改变了投影的覆盖范围。具体来说，当相机镜头向下或向上倾斜时，其在地面上的投影范围将随着倾斜角度的增加或减小而相应地缩小或扩大，如下图所示。

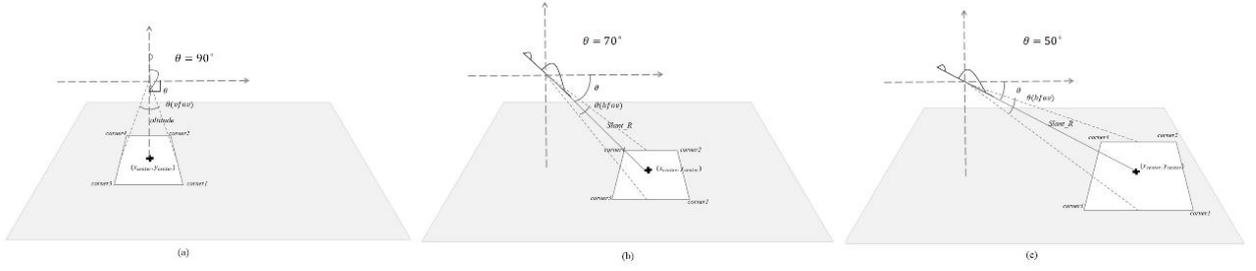


图 11 不同俯仰角对应的投影范围

上图中，(a)、(b)、(c)分别展示了相机俯仰角为 90° 、 70° 和 50° 时，相机对地面的投影成像情况。当俯仰角 $\theta = 90^\circ$ 时，相机的拍摄视线与地面垂直，此时投影中心到相机的距离近似等于相机的飞行高度，其地面上的投影区域较为集中，形状近似于矩形。随着俯仰角减小至 $\theta = 70^\circ$ ，相机视线与地面的夹角减小，导致其在地面上的投影区域相对分散，形状逐渐近似为梯形，并且覆盖范围随之增大。当俯仰角进一步减小至 $\theta = 50^\circ$ 时，相机视线与地面所形成的角度更加平缓，使得投影中心与相机的实际距离增加，其覆盖范围也随视线距离的增加而扩展。因此，在计算相机到地面的投影区域时，必须综合考虑视场角、俯仰角和飞行高度等因素。基于相机成像模型和光学特性原理，提出了一种适用于不同俯仰角度下的投影边界估计方法，具体的计算过程如下所示。

$$\begin{cases} Slant_R = \frac{altitude}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta \times \frac{\pi}{180}\right)} \\ proj_height = Slant_R \times \tan\left(\theta \left(\frac{vfov}{2}\right) \times \frac{\pi}{180}\right) \\ proj_width = Slant_R \times \tan\left(\theta \left(\frac{hfov}{2}\right) \times \frac{\pi}{180}\right) \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} long_SR = \sqrt{altitude^2 + (ground_dist + proj_height)^2} \\ short_SR = \sqrt{altitude^2 + (ground_dist - proj_height)^2} \\ long_width = \tan\left(\theta \left(\frac{hfov}{2}\right) \times \frac{\pi}{180}\right) \times long_SR \\ short_width = \tan\left(\theta \left(\frac{hfov}{2}\right) \times \frac{\pi}{180}\right) \times short_SR \end{cases} \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\theta(NE) = -\arctan\left(\frac{long_width}{proj_height}\right) \\ \Delta\theta(NW) = \arctan\left(\frac{long_width}{proj_height}\right) \\ \Delta\theta(SE) = \pi - \arctan\left(\frac{short_width}{proj_height}\right) \\ \Delta\theta(SW) = -(\pi - \arctan\left(\frac{short_width}{proj_height}\right)) \end{array} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} long_dia = proj_height / \cos(\Delta\theta(NE)) \\ short_dia = proj_height / \cos(\Delta\theta(SE)) \end{array} \right. \quad (13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta lat_{NE} = \frac{long_dia \times \cos(\varphi + \Delta\theta(NE))}{R_{earth} \times \frac{180}{\pi}} \\ \Delta lon_{NE} = \frac{long_dia \times \sin(\varphi + \Delta\theta(NE))}{R_{earth} \times \cos\left(lat_{center} \times \frac{\pi}{180}\right) \times \frac{180}{\pi}} \\ \Delta lat_{NW} = \frac{long_dia \times \cos(\varphi + \Delta\theta(NW))}{R_{earth} \times \frac{180}{\pi}} \\ \Delta lon_{NW} = \frac{long_dia \times \sin(\varphi + \Delta\theta(NW))}{R_{earth} \times \cos\left(lat_{center} \times \frac{\pi}{180}\right) \times \frac{180}{\pi}} \\ \Delta lat_{SE} = \frac{short_dia \times \cos(\varphi + \Delta\theta(SE))}{R_{earth} \times \frac{180}{\pi}} \\ \Delta lon_{SE} = \frac{short_dia \times \sin(\varphi + \Delta\theta(SE))}{R_{earth} \times \cos\left(lat_{center} \times \frac{\pi}{180}\right) \times \frac{180}{\pi}} \\ \Delta lat_{SW} = \frac{short_dia \times \cos(\varphi + \Delta\theta(SW))}{R_{earth} \times \frac{180}{\pi}} \\ \Delta lon_{SW} = \frac{short_dia \times \sin(\varphi + \Delta\theta(SW))}{R_{earth} \times \cos\left(lat_{center} \times \frac{\pi}{180}\right) \times \frac{180}{\pi}} \end{array} \right. \quad (14)$$

上述系列公式详细描述了对投影边界四个顶点坐标的推导过程。其中， $(lat_{center}, lon_{center})$ 表示投影中心点的经纬度坐标。如公式(10)所示，该算法通过结合无人机的飞行高度($altitude$)和俯仰角(θ)，计算出相机到投影中心的斜距($Slant_R$)。 $Slant_R$ 的长度可以进一步推导出投影区域的大致位置。然后，将 $Slant_R$ 和视场角结合，并运用三角函数，可以得到投影中心位置的水平和垂直覆盖长度(即 $2proj_width$ 和 $2proj_height$)，为确定投影区域的覆盖范围提供了关键信息。在投影定位的过程中，确定投影边界四个角点的方位是仅次于

计算投影中心的重要环节。此外，设计了一种解析算法，能够精确的计算出每个顶点相对于投影中心的真实方位角，如下图所示。首先利用三角函数原理，计算出垂直方向的上下投影边界的中心位置与相机间的直线距离(即 $short_SR$ 和 $long_SR$)。随后，通过分析空间立体几何关系，并结合水平视场角，进一步确定投影边界的长度，即梯形的短边 ($2short_width$) 和长边 ($2long_width$)，如公式(11)。最后，通过计算 $long_width$ 、 $short_width$ 与 $proj_height$ 的反正切值，推算出每个顶点相对于中心点的偏移角度，即 $\Delta\theta(NE)$ 、 $\Delta\theta(NW)$ 、 $\Delta\theta(SE)$ 、 $\Delta\theta(SW)$ ，如公式(12)。

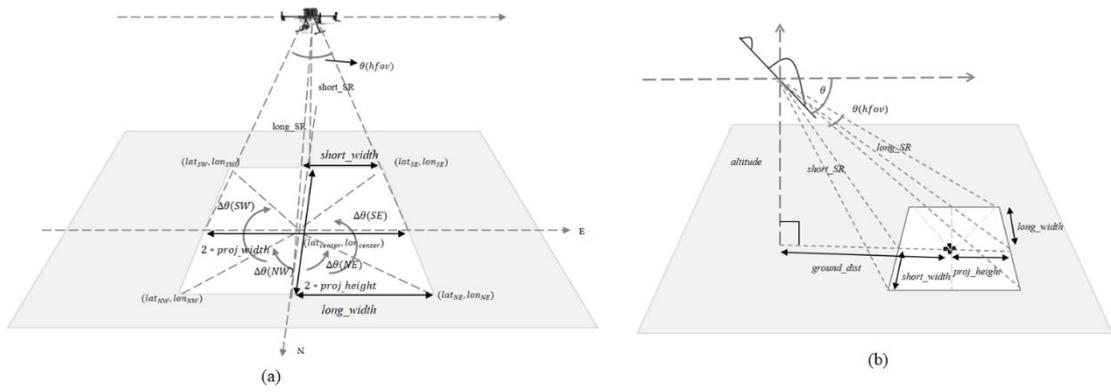


图 12 投影正面解析与侧面解析图

在确定了投影中心及其四个方位角后，通过结合已计算得到的 $proj_height$ 、 $proj_width$ 等参数，可以利用三角函数计算出每个角点相对投影中心的经纬度偏移量，具体过程已在公式(13)、(14)中详细描述展示。最终，公式(15)提供了四个顶点坐标的精确表达式。

$$\begin{cases} (lat_{NE}, lon_{NE}) = (lat_{center} + \Delta lat_{NE}, lon_{center} + \Delta lon_{NE}) \\ (lat_{NW}, lon_{NW}) = (lat_{center} + \Delta lat_{NW}, lon_{center} + \Delta lon_{NW}) \\ (lat_{SE}, lon_{SE}) = (lat_{center} + \Delta lat_{SE}, lon_{center} + \Delta lon_{SE}) \\ (lat_{SW}, lon_{SW}) = (lat_{center} + \Delta lat_{SW}, lon_{center} + \Delta lon_{SW}) \end{cases} \quad (15)$$

以上内容描述了提出的投影定位的完整数学模型，如下图所示。该模型有效的融合了 GNSS/IMU 位姿数据，可以在各种飞行姿态下准确的模拟投影成像过

程，并准确的预估出投影的覆盖区域，从而实现视频关键帧影像的地理参考以及目标的粗定位。

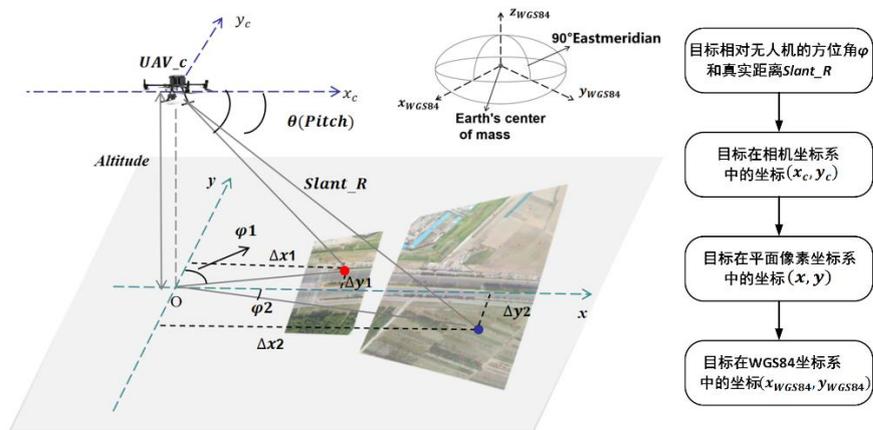


图 13 无人机单目视觉投影定位流程

2.2.2 目标实时定位

(1) 系统搭建

根据上述算法原理设计并开发了一个无人机视频目标定位系统 VLocator，主界面如下图。

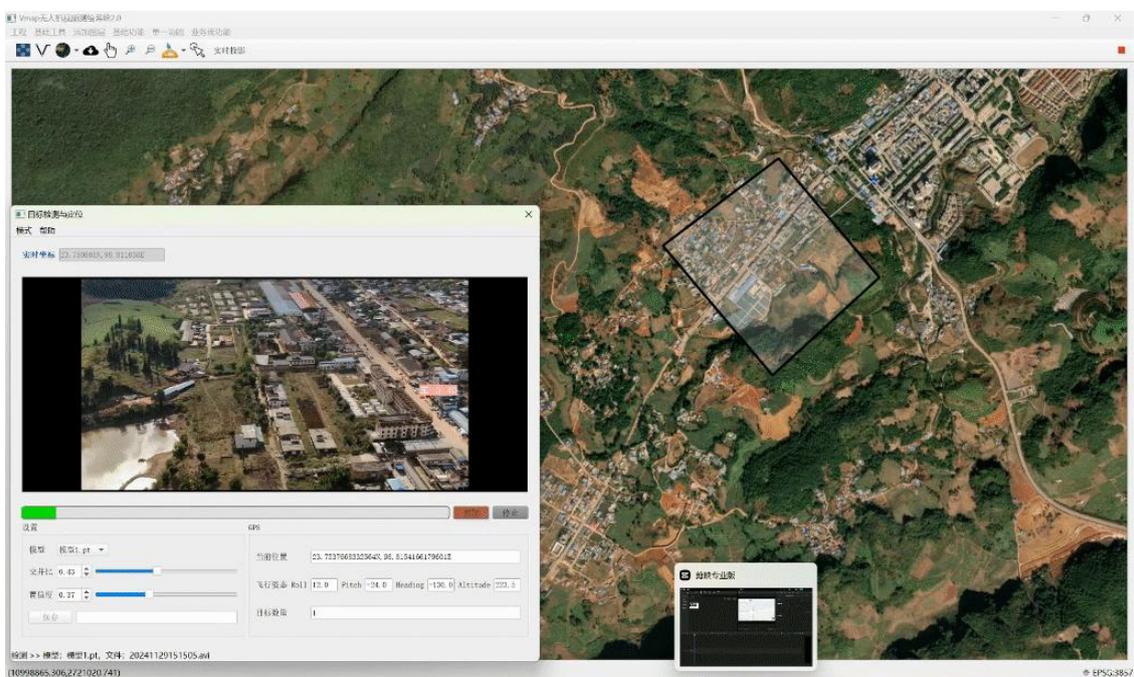


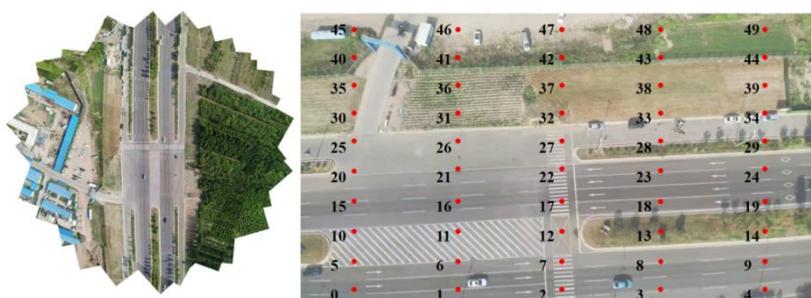
图 14 主界面

(2) 实验验证

a) 直接目标定位

实验中，将数据集中的每组数据按偏航角度均匀划分为四个区间（0, 90, 180 和 270），并从每个区间中随机选取一幅图像，共计选取 36 幅影像，涵盖 1800 个目标点。通过对这些目标点的预测位置与真实位置间的偏差进行定量分析。这种方法确保了实验结果的可靠性，避免了偶然误差的影响，有助于全面、系统地分析影响定位精度的关键因素。

此外，为了对目标定位算法进行全面、公正地评估，避免实验结果的偶然性，对每幅影像采取等距间隔划分的方法选取出 50 个目标点，如下图所示。这样的目标分布设计可以避免实验结果的偶然性，使得实验更具说服力。



(a) 无人机悬停 360°拍摄影像 (b) 目标点分布

图 15 测试数据

实验结果显示，不同的偏航角、飞行高度及倾斜角对无人机目标定位模型的精度均有不同程度的影响。如下表所示，RMSE_1、RMSE_2、RMSE_3、RMSE_4 分别代表四种偏航角度下的定位误差，Avg_RMSE 表示无人机旋转一周所得到的平均定位误差。通过这种方式，不仅可以评估每种姿态的影响，还能观察到不同飞行条件下误差变化的整体趋势。

表 6 目标的粗定位地理坐标与参照坐标的 RMSE 结果

姿态 m°	100-10	100-20	100-30	150-10	150-20	150-30	200-10	200-20	200-30
RMSE_1	3.552	5.504	6.88	8.459	4.969	7.912	14.341	12.194	14.88

RMSE_2	8.608	7.146	8.149	9.513	13.702	7.576	18.825	15.503	10.459
RMSE_3	1.826	2.126	2.508	3.249	7.836	6.963	4.794	2.727	6.037
RMSE_4	3.162	2.636	4.841	5.879	2.562	6.241	6.866	2.692	11.586
Avg_RMSE	4.287	4.353	5.944	6.775	7.267	7.173	11.207	8.279	10.741

根据上表的结果分析，显著的定位误差揭示了无人机目标定位模型在不同飞行姿态下的随机性与不稳定性。通过观察纵向数据的变化，可以发现尽管在相同的飞行高度和倾斜角度下，不同方向计算的定位误差存在显著的差异。这种差异可能源于 GNSS/IMU 测量的固有偏差，以及云台测量误差等导致的定位精度的随机性。通过分析横向数据的变化趋势，可以发现，随着飞行高度的上升、倾斜角的增加，RMSE 逐渐增大。当无人机保持在相同的倾斜角度时，飞行高度越高、RMSE 的值越大，例如，200 米的 RMSE 显著高于 100 米和 150 米的情况。当无人机停留在一定的飞行高度时，倾斜角度越大，RMSE 越大，例如，俯仰角为 30° 的 RMSE 普遍高于 10° 的 RMSE。这些发现验证了本研究的初步结论：无人机的飞行姿态显著影响无人机目标定位模型的粗定位结果。随着无人机飞行高度的增加和俯仰角度的扩大，影像的覆盖范围不断扩大并伴随透视形变、光照和阴影效应，这导致无人机定位模型定位到的目标位置逐渐偏离真实位置。

上述实验结果显示，直接基于 GNSS/IMU 位姿数据的目标定位精度在 4.28-10.74 米之间，说明了 GNSS/IMU 测量的固有偏差导致直接目标定位误差较大。

b) 基于多源影像匹配的目标精定位

由于基于相机投影模型的目标粗定位的精度较差，为了提高目标定位的精度，采用影像匹配实现目标的精确定位，具体过程如下图所示。

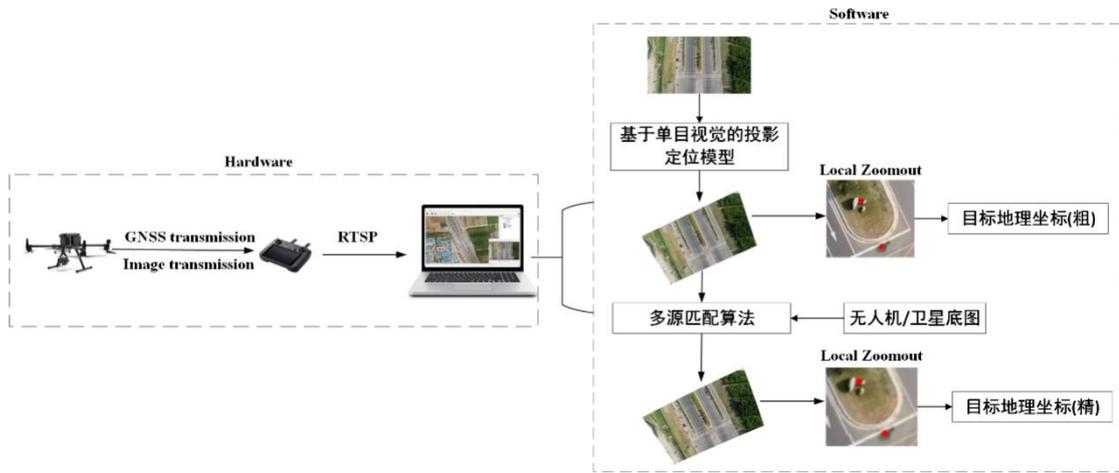


图 16 无人机地面目标精确定位

此处我们采用所提出一种基于 CNN 的多源影像匹配算法 Axial D2-Net，该算法在 D2-Net 的基础上融合了 Axial Attention 机制，显著增强了模型对图像全局信息的学习及深层特征的提取能力，此外使用大数据量的无人机与卫星影像样本数据进行训练。Axial D2-Net 方法的详细描述见下章。

此外，为了比较不同匹配算法的匹配后无人机定位精度的差异，选择当前流行的匹配算法如 HAPCG、WSSF、RIFT、LNIFT 等进行对比。下表详细呈现了各个算法匹配后计算得出的目标地理坐标与真实坐标之间的 RMSE。

表 7 基于无人机底图匹配的目标坐标误差（单位：米）

匹配算法	HAPCG	LNIFT	WSSF	RIFT	Axial D2-Net
100-10	0.681	1.009	1.218	0.697	0.676
100-20	0.919	1.343	2.446	0.692	0.628
100-30	1.842	3.180	2.731	2.223	1.681
150-10	1.913	1.299	5.640	1.21	0.973
150-20	3.226	2.108	5.389	1.272	1.197
150-30	4.132	2.075	5.980	1.643	1.537
200-10	6.778	2.697	5.327	1.307	0.947
200-20	4.211	2.016	7.434	1.868	1.638
200-30	5.225	/	/	5.921	2.577

如上表所示，不同匹配算法在复杂飞行姿态下的定位精度具有显著差异。特别是，WSSF 算法在复杂条件下表现不佳，其 RMSE 随无人机姿态难度的增加而显著上升，特别在 200 米高度和 30° 倾斜角的条件下，由于匹配效果不理想，导致无法有效定位。而 LNIFT 算法虽然波动较小，但总体上定位误差较高。这表明该匹配算法的鲁棒性较差，难以在复杂的条件下保证准确的匹配结果。相较而言，HAPCG、RIFT 和所提出的 Axial D2-Net 算法能够在各种飞行姿态下成功实现目标定位，其中 HAPCG 的定位误差在飞行姿态变复杂时明显增加。RIFT 和 Axial D2-Net 算法为无人机定位系统提供了更稳定的定位性能。当面对倾斜角较大的情况时，Axial D2-Net 的定位误差低于 RIFT，展示了其对透视变形、光照、阴影效应等条件变化的鲁棒性。这证明了匹配效果的优越性直接影响了定位的准确性。Axial D2-Net 算法不仅在匹配效果上表现优异，而且在复杂条件下依然提供了准确度较高的目标坐标，确保了定位误差最小化。定量结果显示，基于无人机参考底图的目标定位误差控制在 0.67-2.57 米之间。

表 8 基于卫星底图匹配的目标坐标误差(单位：米)

匹配算法	RIFT	D2-Net	Axial D2-Net
100-10	1.372	4.287	1.372
100-20	1.798	4.353	1.798
100-30	/	5.944	2.717
150-10	2.551	6.775	2.551
150-20	3.899	7.267	3.312
150-30	/	7.173	3.572
200-10	1.793	11.207	1.793
200-20	5.961	8.279	3.758
200-30	/	10.741	4.042

表 8 是卫星底图匹配的目标坐标误差，由于 HAPCG、LNIFT 和 WSSF 算法在多

源匹配任务中的成功率较低，本部分仅关注 RIFT、原始 D2-Net 和 Axial D2-Net 匹配算法对定位准确性的影响。可以看到 D2-Net 和 Axial D2-Net 的结果要优于 RIFT 方法，此外由于 Axial D2-Net 使用无人机与影像样本数据进行训练，因此其效果要优于原始的 D2-Net。定量结果显示，基于卫星参考底图的目标定位误差控制在 1.37-4.02 米之间。

(3) 结论

上述实验结果显示，直接基于 GNSS/IMU 位姿数据的目标定位精度在 4.28-10.74 米之间，说明了 GNSS/IMU 测量的固有偏差导致直接目标定位误差较大。而采用多源影像匹配的方法，基于无人机参考底图的目标定位误差控制在 0.67-2.57 米之间，基于卫星参考底图的目标定位误差控制在 1.37-4.02 米之间。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度及与国际、国外同类标准水平的对比（或与测试的国外样品、样机的有关数据对比）

经国家标准共享服务平台检索，尚未有相关国际标准、他国国家标准记录情况。

五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准依据《中华人民共和国测绘法》（2017年7月1日起施行，全国人大常委会2017年4月27日修订版）、等有关国家标准和行业标准相协调一致。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议作为推荐性国家标准实施。

八、贯彻国家标准的要求和措施建议

1. 实施主体

应急、城市管理、农林、水利、公安、电力、军事等行业应用单位，测绘地理信息单位等。

2. 实施建议

归口单位：宣贯实施、实施监督；起草单位：宣贯培训、详细解读。

九、废止现行有关标准的建议

无。

十、其他应予说明的事项

无