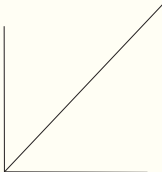


面向灾害应急救援场景的通导控探一体化终端设计与实现

文 ◆ 中国电子科技集团公司第五十四研究所 综合时空网络与装备技术全国重点实验室
曹士龙 秦明峰 马立烨 李一凡

引言

地震、滑坡和泥石流等地质灾害往往会对人类生产、生活设施以及生命财产造成严重破坏^[1]。一方面，地质灾害会导致地上地下空间原有通信、照明和供电等基础设施瘫痪，原有建筑空间结构被破坏，救援通道阻塞。另一方面，在灾害应急救援过程中，现场搜救装备的实时组网通信和精确定位导航是开展科学高效搜救的核心环节^[2-4]。传统单一的通信、导航和无人控制设备体积大，不便于携带，各装备功能单一，相互之间协同性差，严重影响搜救工作效率^[5]。基于此，本文提出了一种基于无人平台的通信、导航、控制和探测（简称通导控探）一体化通用终端设计方案。该方案以北斗导航和短报文功能为核心，分别从硬件和软件两方面进行设计，解决灾害场景下遮蔽空间内外连续定位、应急组网通信、无人平台控制和智能化探测等核心问题，实现通信、导航、控制和探测的四位一体服务，为应急灾害救援中的综合一体化装备设计和应用提供参考。



1 系统总体设计

通导控探一体化通用终端集通信、导航、控制和探测功能于一体。终端由天线模块、通信模块、导航模块、控制模块、探测模块、综合处理模块和电源模块组成。通导控探一体化通用终端系统组成图如图 1 所示。

天线模块主要包含北斗天线、4G 天线、短报文天线和自组网天线，分别负责接收北斗卫星信号、4G 通信信号、短报文卫星信号和自组网通信信号。

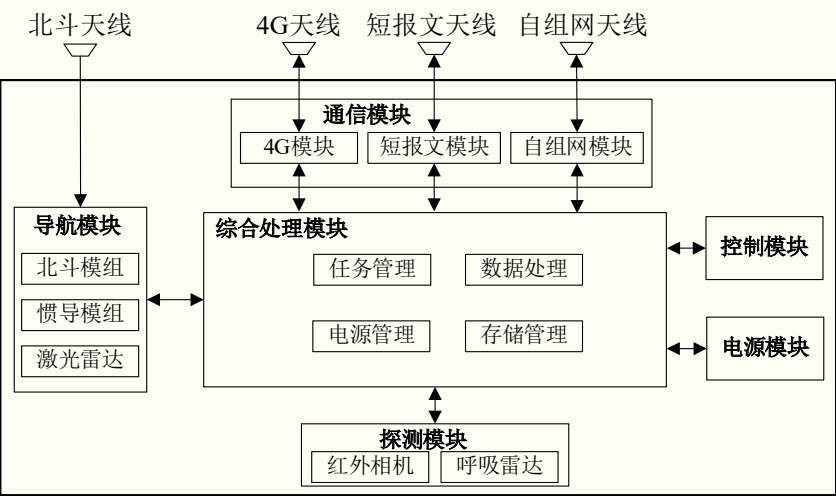


图 1 通导控探一体化通用终端系统组成图

【作者简介】曹士龙（1986—），男，河北石家庄人，博士，从事 GNSS 多源融合定位技术及智能导航硬件技术研究工作。

通信模块主要由 4G 模块、短报文模块和自组网模块组成。4G 模块负责常规场景下的数据通信服务，短报文模块和自组网模块负责灾害场景下的应急通信服务。

导航模块主要由北斗模组、惯导模组和激光雷达组成。北斗模组负责在开阔的室外区域提供高精度定位服务，为惯导模组和激光雷达提供初始化坐标信息；惯导模组和激光雷达负责在室内遮蔽空间提供导航定位服务。

探测模块主要由红外相机和呼吸雷达组成。红外相机负责在黑暗环境下识别被困人员，配合人体姿态智能识别算法^[6]，可识别被困人员的站立、蹲坐和平躺等体态；呼吸雷达负责探测被困人员的呼吸频率等生命体征。

2 系统设计

通导控探一体化通用终端中集成了多种异构传感器，为了满足多个传感器差异化供电需求，保证系统稳定性，同时保持各个模块间的相互功能协同，需要进行整机电源设计和数据接口设计。

2.1 电源设计

通导控探一体化通用终端主要应用于灾害应急救援场景。在灾害现场往往没有常规供电设施，因此终端采用锂电池供电为主、外部直流供电为辅的电源方式，既能满足便携使用时移动性需求，又能在有外部电源接入时保证设备持续运行并为锂电池充电。

(1) 锂电池供电。锂电池的选型需要考虑合适容量和电压、充放电特性、能量密度、循环寿命等因素。根据终端功耗以及工作时长要求，选择 18650 锂电池组，其标称电压为 DC24V，容量为 20Ah。充电电路采用专用充电

芯片 ME4084，该芯片支持“恒流—恒压”充电模式，充电电流可通过外接电阻设置。锂电池放电过程中，监测电池电压，当电池电压低于设定的欠压保护值时，发出告警信号，并降低终端功耗或自动关机，以保护锂电池和终端。

(2) 外部 DC 供电。为了适应不同外部电源输入，采用 9V ~ 36V 宽压输入方式。接口处设置滤波电容，滤除电源输入的杂波和干扰信号，采用 DC-DC 降压芯片 LM2596，将外部电压转换为适合终端工作的稳定电压，具备过压、过流保护功能，确保外部电源异常时不损坏终端设备。外部 DC 供电优先级高于锂电池供电，确保在有外部供电电源时，优先使用外部供电，提供终端的稳定性和可靠性。

(3) 供电无缝切换。利用二极管的单向导电性和 MOS 管的开关特性实现锂电池供电和外部 DC 供电间的无缝切换。当外部 DC 电源接入时，外部电源电压高于锂电池电压，二极管导通，外部电源为终端供电，并通过充电电路为锂电池充电。同时，MOS 管在控制信号的作用下截止、切断锂电池供电回路。当外部 DC 电源断开时，二极管截止，锂电池电压高于外部电源的输入端口电压，MOS 管在控制信号作用下导通，锂电池为终端供电。

2.2 接口设计

通导控探一体化通用终端的接口设计是实现“异构传感器数据融合、高效协同工作、灵活对接外部系统”的核心环节，需重点解决多类型传感器兼容、数据同步、高可靠传输、环境适应性 4 个关键问题，在设计阶段需要考虑兼容性、实时性、同步性和可扩展性。接口由内部集成接口与外部交互接口两部分组成。内部集成接口是传感器与终端综合处理模块的交互接口，需解决多类型传感器的高效接入与同步；外部交互接口是终端与外部系统间的交互通道，需满足多样化场景的交互需求，实现即插即用、数据互通、协同工作的目标。

(1) 射频接口。北斗天线、4G 天线、短报文天线和自组网天线的射频接口前端均为 SMA 接口，后端与主机板块接口为 mcx 和 mmcx 两种类型，这样便于连接和安装。外壳开孔较小，提高了终端的密封性。

(2) 数字接口。数字接口主要用于各模块之间的控制指令和原始数据传输，通常采用 uart、I2C 和 USB 等接口。激光雷达和自组网模块传输的数据量较大，对实时速率要求较高，因此采用 RJ45 网口进行传输。

(3) 时间同步接口。北斗模组可提供北斗卫星授时功能，采用“PPS+TOD”方式对外授时。同时，将北斗模组的 PPS 分路给激光雷达和惯导模组，可实现北斗模组、惯导模组和激光雷达 3 种原始采样数据的时间同步。

2.3 结构设计

通导控探一体化通用终端内部采用基于硅转接板的叠层立体组装技术，通过异构多模块再集成，让多源异质传感器实现即插即用，大幅简化系统搭建；外部采用优质铝合金型材加工，具有质量轻、成本低和散热好等优点。前面板包括电源开关、指示灯和 USB 等接口，后面板包括射频、网口等接口。

3 软件设计与实现

3.1 软件架构设计

主控软件是基于英伟达 Jetson Orin NX 平台开发。Jetson Orin NX 是一款高性能、低功耗的嵌入式 AI 计算平台，它基于英伟达 Ampere 架构，拥有 1024 个 NVIDIA CUDA 核心和 32 个张量核心，支持外部 NVMe。外形小巧，尺寸仅 69.6mm × 45mm，能提供高达 100TOPS 的 AI 性能。在硬件配置方面，16GB 版本采用 8 核 Arm Cortex-A78AEv8.2 64 位 CPU，“2MB L2+4MB L3”和 2xNVDLA v2.0 的 DL 加速器，能满足复杂视觉任务需求，配有丰富接口，方便与各类设备连接通信。基于英伟达完善的软件堆栈和生态系统，Orin NX 为通导控探一体化终端主控软件的开发提供有力支撑^[7]。

软件采用了面向对象和多线程的设计方式，同时采用模块化和分层化的设计原则，基于 QT 框架开发。主控软件的主程序由用户交互层、任务层、数据层和驱动层 4 部分组成。用户交互层主要为用户提供参数配置、状态显示和查询等功能；任务层主要负责多线程任务创建、任务运行等功能；数据层主要实现数据解析、数据组帧、状态监测、数据融合、时间同步和接口配置等功能；驱动层主要负责 uart、RJ45、USB、I2C 等接口的驱动管理以及 PPS 信号的生成。

通导控探一体化通用终端软件架构示意图如图 2 所示。

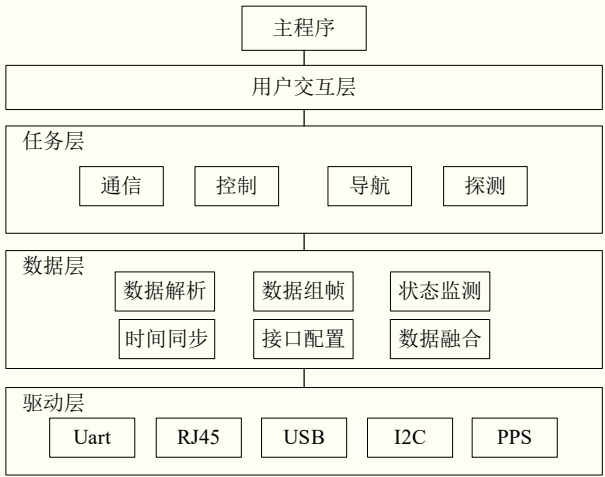


图 2 通导控探一体化通用终端软件架构示意图

3.2 工作流程设计

主控程序启动后，首先进行驱动层的初始化，包括惯导初始化、激光雷达初始化和驱动初始化。其次，程序从数据层的各个传感器接口中读取原始测量数据，分别进行组合导航解算、SLAM 定位解算、人体姿态识别和生命体征检测。再次，在任务层，主要实现导航轨迹生成、3D 点云模型生成，以及被困人员数量、姿态和生命体征提取等任务。最后，进入交互层，实现导航状态和轨迹回传、本地数据存储和飞行控制状态监控等功能。

结语

本文设计了一种适用于灾害应急救援场景的通导控探一体化通用终端，实现了通信、导航、控制和人员探测 4 种功能有机集成。经测试，

该终端样机能实现灾害场景下开阔空间和遮蔽空间的连续无缝定位功能、实时通信和远程控制功能、被困人员的生命体征探测功能，达到了预期目标，对应急灾害救援中的综合一体化装备设计和应用具有一定参考价值。

引用

[1] 付瑞平,丁继民,高文静,等.极端天气灾害应急救援如何更科学更高效[J].中国应急管理,2024(8):48-55.

[2] 于福泉.消防通信在重大灾害应急救援中的应用研究[J].中国减灾,2025(10):56-57.

[3] 徐宏英,徐建华,张晓昊.基于重大灾害使命任务的装备和标准研究[J].中国标准化,2021(11):79-83.

[4] 王梓杨.WLAN技术及无人机在灾害应急救援中的应用[J].消防界(电子版),2021,7(2):112-113.

[5] 陈冠旭,刘经南,刘焱雄,等.海洋通导一体化系统的发展与趋势[J].哈尔滨工程大学学报,2023,44(11):1869-1882.

[6] 袁发培.人工智能在自然灾害应急救援中的应用[J].中国新技术新产品,2019(17):134-135.

[7] 涂宙霖,陈涵深.基于YOLOv7与Jetson Orin的路面破损检测系统的设计与实现[J].电脑知识与技术,2023,19(9):50-52.

