

空地协同编队系统包含以下七大功能：

- 1、无人机、无人车自主编队，实现三角队形、横向一字、纵向一字队形变换。
- 2、单车单机协同；
- 3、三车单机协同；
- 4、多车多机协同；
- 5、可通过地面站控制单机；
- 6、支持无人机组网扩展；
- 7、可支持地面站集群编队仿真；

一、硬件资源。

需包含不少于四台移动平台，单台移动平台参数如下：

- ▲1、底盘基于三轮全向驱动结构。
- 2、主体净重 $\leq 6\text{kg}$ ，尺寸不超过 $320\text{mm}\times 300\text{mm}\times 200\text{mm}$ （长 \times 宽 \times 高）。
- 3、最大载重 $\geq 4\text{kg}$ ，最大速度 $\geq 0.5\text{m/s}$ ，最大爬坡角度 $\geq 10^\circ$ ，最小拐弯半径 0m （原地自转）。
- 4、电池电压 $\geq 12\text{V}$ ，容量 $\geq 9500\text{mAh}$ ，整机续航时间 2-4 小时，待机时长 5-7 小时，充电时间 2-3 小时，具有电池充放电保护、过流过压保护、电压显示、电量显示等功能。
- ▲5、搭载 1 台性能不低于英伟达 Jetson Nano 的设备作为机载主机，4GB 内存。安装有高性能无线网卡，传输速率 $\geq 700\text{Mbps}$ ，且支持蓝牙 4.2。
- 6、搭载不少于 1 个 2D 单线激光雷达，激光雷达扫描角度 $\geq 270^\circ$ ，测量范围 $\geq 20\text{m}$ ，测量误差 $\leq \pm 30\text{mm}$ 。
- 7、配备不少于 1 个深度立体相机，深度范围 $\geq 3\text{m}$ ，深度视场角度 $\geq 65^\circ$ ，深度图像帧率 $\geq 30\text{fps}$ ，RGB 视频支持 1920×1080 分辨率，且帧率 $\geq 30\text{fps}$ 。
- 8、搭载不少于 2 个高清摄像头，像素 ≥ 700 万，视角 $\geq 100^\circ$ ，分辨率 $\geq 2048\times 1024$ ，接收的视频分辨率为 1920×1080 时，视频帧率 $\geq 15\text{fps}$ 。
- 9、USB 扩展接口数量 ≥ 2 个，电源扩展接口数量 ≥ 2 个，可提供 5V 和 12V 的电源输出，通信拓展接口支持 CAN 和 SBUS。
- 10、安装有 1 块触摸显示屏，屏幕尺寸 ≥ 7 英寸，分辨率不低于 1024×600 。
- ▲11、车身具有不少于 2 个 RGB 灯带，可显示机器人实时运行状态。
- 12、安装语音识别相关硬件，包含不少于 1 个立体扬声器和不少于 2 个麦克风。
- ▲13、搭载不少于 2 个超声波传感器，探测范围 $\geq 400\text{cm}$ ，探测精度 $\leq 1\text{cm}$ ，探测频率 $\geq 20\text{Hz}$ 。
- 14、搭载姿态传感器，提供包括：俯仰、滚转、航向、旋转四元数航姿信息，传感器模块内部自带标定数据和数据处理，可直接输出三维姿态信息。
- ▲15、采用一体化结构设计，高集成度，支持 ROS 的教育机器人。（提供专利证书）

需包含不少于三台无人机平台，单台无人机参数如下：

- ▲1、机身采用四旋翼结构， $280\text{mm}\leq$ 对角轴距 $\leq 320\text{mm}$ ，机架主体采用碳纤维材料，机身净重 $\leq 1.35\text{Kg}$ （含机载主机、机载摄像头和电池），载荷 $\geq 1\text{kg}$ ，最大飞行速度 $\geq 8\text{m/s}$ ，最大飞行时间 ≥ 20 分钟，悬停精度不低于 $\pm 20\text{cm}$ ，且支持自稳，定高等飞行模式。
- 2、飞控含有加速度计、陀螺仪、磁力计，且具备 UART 接口。
- 3、搭载 1 台性能不低于 Nvidia Jetson Nano 的设备作为机载主机，4GB 内存。安装有高性能无线网卡，传输速率 $\geq 700\text{Mbps}$ ，且支持蓝牙 4.0。
- 4、搭载 Wi-Fi 数传模组，通信距离 $\geq 40\text{m}$ ，要求支持 AP 与 STA 模式。
- 5、搭载至少 2 个高清摄像头，像素 ≥ 700 万，分辨率 $\geq 1920\times 1080@30\text{fps}$ 。
- ▲6、装备光流 ToF 测距一体模块，量程 $\geq 6\text{m}$ ，距离分辨率 $\geq 2\%$ 。
- 7、无人机所搭载的电机功率 $\geq 900\text{W}$ ，力效 ≥ 1.5 。
- ▲8、电调为独立电调，瞬时电流 $\geq 50\text{A}$ ，持续电流 $\geq 40\text{A}$ ，且支持 DShot 模式。

- 9、无人机具备 CAN、TELEM、GPS、I2C 等通信接口。
- 10、配备桨叶保护罩。
- ▲11、无人机使用半固态动力锂电池，总电压 $\geq 16.8V$ ，放电倍率 $\geq 15C$ 。
- 12、无人机遥控器信号传输距离 $\geq 400m$ ，通道数 ≥ 10 。

定位系统主机：

- ▲1、搭载处理器不低于 Intel 酷睿 i7 系列的电脑，内存 $\geq 32GB$ ，安装有容量 $\geq 1000GB$ 的固态硬盘。
- 2、配备高性能无线网卡，传输速率 $\geq 700Mbps$ ，且支持蓝牙 4.0。
- 3、屏幕分辨率 $\geq 1920 \times 1080$ 。
- 4、屏幕尺寸 ≥ 13 英寸。
- 5、屏幕刷新率 $\geq 60Hz$ 。

地面站平台：

- ▲1、搭载处理器不低于 Intel 酷睿 i7 系列的电脑，内存 $\geq 32GB$ ，安装有容量 $\geq 1000GB$ 的固态硬盘。
- 2、配备高性能无线网卡，传输速率 $\geq 700Mbps$ ，且支持蓝牙 4.0。
- 3、屏幕分辨率 $\geq 1920 \times 1080$ 。
- 4、屏幕尺寸 ≥ 13 英寸。
- 5、屏幕刷新率 $\geq 60Hz$ 。

组网路由器模组：

- ▲1、方案需包含至少 1 个组网路由器，路由器天线协议需支持 Wi-Fi6。
- 2、需具备外置天线，千兆 WAN 接入口，支持 USB 接口，支持 IPV6。

UWB 定位套装：

- ▲1、配备 UWB 定位模组 1 套，包含不少于 4 个基站，不少于 8 个标签。
- 2、最大通信距离 $\geq 100m$ ；

室内飞行防护框架：

- 1、包含 1 个无人机防护框架，尺寸不低于 $800cm \times 600cm \times 270cm$ （长 x 宽 x 高）。
- ▲2、主体结构需为铝合金型材。
- 3、整体需被尼龙网覆盖。
- 4、配备 1 套光流定位垫，可覆盖防护框架地面部分。

二、软件资源

移动平台：

- 1、URDF 模型描述：具备完整的 URDF 模型描述，包含了机器人所有元素的模型文件，可在 ROS 系统里直接加载，便于在 rviz 中直接观察机器人关节等元素。
- 2、SLAM 环境建图：搭配激光雷达可实时扫描终端周围的障碍物分布状况，借助 HectorSLAM、Gmapping、Cartographer、Karto 等算法实时创建环境地图。
- 3、自主定位导航：支持将激光雷达扫描的距离信息与电机里程计数据进行融合，使用 AMCL

方法进行地图定位，基于 ROS 的 move_base 功能包实现自主导航。

▲4、图像处理：可支持基于 OpenCV 实现颜色识别、视觉巡线等 10 多个功能案例，提供相应的开源代码。（提供证明材料）

5、3D 立体视觉：装备立体相机，可用于对室内环境的三维模型重构；支持使用点云库，可获取三维图像传感器的数据在 ROS 中使用。

6、传感器融合：集成霍尔编码器减速电机、IMU、高精度超声波矩阵、深度立体相机、高清单目摄像头、激光测距雷达，传感器可提供最原始的数据，支持传感器数据融合。

7、机器学习实践：系统可支持 MediaPipe 等开源机器学习框架，可实现人体姿态识别、目标检测、二维码识别和跟随等功能，提供对应机器学习框架的开发应用案例。

8、语音交互实践：集成语音模块，支持语音交互、语音播报、语音识别、语音控制以及语音导航等功能，提供语音开发的应用案例和使用教程。

9、仿真实验：提供二维环境和三维环境的仿真平台，支持 Gazebo、Stage 与 ROS 无缝连接进行运动控制、自主导航仿真。

10、Python 编程实践：基于 ROS 提供不少于 10 个机器人相关 Python 编程应用案例，包括对 ROS 部分功能的调用以及对机器人的控制，在学习机器人的同时，提升 Python 编程能力。

11、ORB_SLAM 实践：可支持集成整套 ORB_SLAM 系统，包括视觉里程计、跟踪、回环检测、单目、双目、RGBD 相机的接口，提供相应的使用教程和应用案例。

12、脚本系统：提供一键安装脚本，通过一键安装脚本可快速搭建 ROS 开发环境和编译控制程序，脚本支持选择 ROS Kinetic、ROS Melodic、ROS Noetic 的任意版本搭建开发环境。

13、远程协助系统：集成远程协助系统，提供远程协助支持，实现远程操控、管理等操作，远程协助系统支持快速启动和长时间连接。

14、提供教程：包含套件组成、安装说明、演示 Demo、操作说明，出厂预装系统，提供源代码。

★15、安装了 OpenRE 运动控制系统和 HandsFree 机器人软件系统，提供巡逻系统软件和惯性姿态解算软件，满足 ROS 开发、SLAM 研究、机器视觉研究的需求。（投标时提供视频佐证）

无人机平台：

▲1、机载平台预装完整的 ROS 系统以及 mavros、mavlink，可支持 pixhawk 系统。

2、提供基于 C++ 和 Python 编程的 Offboard 模式飞行 Demo，代码开源。

3、机载平台适配所搭载传感器的相关驱动，可获取传感器原始数据。

▲4、具备目标检测，人体骨骼识别等深度学习功能。

编队软件：

1、可通过 GUI 界面实现对无人车和无人机的控制。

▲2、支持空地协同编队仿真，可将经仿真验证的协同编队算法复现在真实设备上。

3、支持跨设备的集群编队仿真，即在一台设备中运行 Gazebo 仿真程序，在另一台设备中运行协同编队算法程序。

4、系统需支持开机自启动，免去繁琐操作。

5、可使用一键脚本运行系统中的功能。

6、提供使用教程，代码开源。

仿真系统：

本系统基于开源仿真软件 Gazebo 实现，仿真软件与 ROS 紧密集成，提供了强大的工具和接口，使得机器人的算法开发、测试和部署更为便捷。同时，仿真软件中提供了与实际场景高度近似的仿真场景，大大提升了仿真的还原度，用户可在仿真中完成算法的验证后，将其直接迁移至实体机，可以极大地降低设备损坏的风险，同时缩减验证算法的时间。此外，基于仿真，用户可优先在仿真环境中学习无人机、无人车的控制方法以及配套软件（如地面站软件）的使用，之后在通过实体设备学习，在降低用户学习曲线的同时，保障用户学习时的安全。

- 1、仿真内置 ODE、Bullet 等多种物理引擎，可精确模拟机器人在真实世界中的物理行为，包括重力、碰撞、摩擦等。
- 2、提供多种设备模型，如四旋翼无人机、垂直起降无人机、无人车、无人船等。
- 3、支持自定义无人机模型文件，可自行增加雷达、相机以及 IMU 等多种传感器。
- 4、提供 1:1 还原的仿真场景，此外提供不少于 7 种场景，如机场、赛道、仓库和峡谷等，且支持用户新增场景。
- 5、用户可自定义编队场景中的设备数量，最多可配置不少于 3 台无人车和不少于 3 台无人机。
- 6、用户可基于 ROS 控制仿真中的无人车与无人机，收集数据，实现复杂的机器人应用。
- 7、支持查看仿真中无人机实时运行数据。
- 8、仿真系统控制算法与实体机控制算法一致，支持仿真验证后直接在实体机上运行。
- 9、针对无人车，提供二维环境和三维环境的仿真平台，支持 Gazebo、Stage 与 ROS 无缝连接进行运动控制、激光雷达建图、自主导航仿真。
- ▲10、可实现无人车、无人机自主编队，实现三角队形、横向一字、纵向一字队形变换，支持用户自定义编队队形。
- 11、支持单车单机、三车单机、多车多机协同控制。
- ▲12、支持基于 WebSocket 的跨设备仿真，即一台主机运行仿真场景程序，另一台主机运行编队控制程序。
- ▲13、仿真中适配不少于 2 种无人机路径规划算法，可实现无人机在陌生环境下的自主导航。
- 14、提供一键安装脚本，通过一键安装脚本可快速搭建 ROS 开发环境和编译控制程序。
- 15、集成远程协助系统，提供远程协助支持，实现远程操控
- 16、提供教程、演示 Demo、操作说明以及源代码。

三、教学资源

▲1、ROS 机器人实验课程：

不少于 10 个专题，不少于 150 个实验内容，参考内容如下所示。

- (1)机器人快速上手：准备开始，硬件驱动测试，遥控机器人，重要的 Topic
- (2)Ubuntu 基础讲解：安装 Ubuntu 系统，虚拟机安装 Ubuntu，远程终端连接，远程桌面连接，配置 ROS 和 HandsFree 开发环境，获取工控机 IP 地址
- (3)Python 编程：基于 Python 的传感器数据读取，基于 Python 的运动控制，基于 Python 的自主导航，Python 进阶编程，基于 Python 的机器人自主巡逻。
- (4)机器视觉：简单的视觉案例，二维码识别，二维码跟踪，目标识别，OpenCV 安装与应用
- (5)机器语音：机器语音—语音控制

- (6)SLAM: 四种方式建图, RGBD_SLAM, ORB_SLAM v2
- (7)自主导航: 无人车自主导航, 基于 Python 的自主导航
- (8)仿真实验: rviz 仿真实验
- (9)机械臂应用: 机械臂目标抓取
- (10)APP 控制机器人: APP 使用教程

2、人工智能实验课程

不少于 4 个专题, 不少于 80 课时, 参考内容如下所示。

(1)Linux 编程基础, 不少于 20 节

主要讲述 Linux 系统的一些常用操作, 如 Ubuntu 的安装、shell 命令以及脚本的使用、环境变量和软件安装与卸载等机器人开发中必备的 Linux 操作系统相关知识, 为开发者打下坚实的基础

(2)Python 实践开发, 不少于 20 节

带领开发者全面学习实践从 Python 的基本数据类型到语句、容器、函数、再到面向对象编程, 使开发者掌握开发过程中需要使用的 Python 基础内容

(3)机器学习基础, 不少于 15 节

为开发者介绍人工智能、机器学习的基础知识点, 带领开发者学习并实践一些常见的如 KNN、朴素贝叶斯以及 K-Means 等算法, 达到让开发者快速入门机器学习的目的。

(4)深度学习框架之 TensorFlow, 不少于 20 节

本专题主要介绍深度学习的基础内容如神经网络, 并引入 TensorFlow 框架, 学习该框架的基本使用方法, 在完成神经网络基础和卷积神经网络的学习以后, 尝试设计神经网络来解决问题

3、提供在线开源代码