

无人机监测系统

一、 设备概述

无人机监测系统

监测频率范围为：30-6000MHz；
具有无线信号搜索、截获，信号识别，频谱分析，信号测向、定位等各项无线电监测业务所需功能，自动对预设频段搜索扫描，对符合特征信号进行特征识别判断，对指定信号进行测向，并将测向结果显示在显控终端上，经特征识别确认的无人机信号，将自动向控制终端进行报警。



二、 功能特点

1. 将天线、模块集成在一个天线罩内，一体化程度高；
2. 可单机工作和组网工作模式；
3. 频率范围：30MHz~6000MHz（此功能下可以自动探测 2.4、5.8 频段，以及非标准频段无人机）；
4. 探测到无人机时发出声音报警，并在地图上指示出无人机方位；
5. 能够在操作终端主屏地理地图上显示侦测到无人机的方位、和发现时间等信息；
6. 工作状态、以及自检功能：网络、天线、接收机、数字处理版；
7. 设备软件可存储被侦测到无人机入侵记录，进行实时场景的回放；
8. 具有自动校北及定位功能；
9. 在城市复杂电磁信号环境中截获远距离、大范围微型无人机飞行器的遥控信号、图传信号能力；
10. 对无人机图传信号和飞控信号进行参数设置的功能；
11. 无人值守功能，设备处于无人值守状态时，在有效距离内自动探测无人机信号；
12. 扫描参数支持两种侦察发现方式：多频段扫描和全频段扫描（多频段扫描：可设置 30MHz-6000MHz 范围内多个扫描监测频段，每个频段的带宽可根据实际需要进行设置，建议每段带宽不超过 200MHz，比如 2400MHz-2500MHz、5700MHz-5900MHz。全频段扫描：可设置 30MHz-6000MHz 范围内的任意大于 100MHz 频段范围，比如 800MHz-6000MHz，用于发现未知频段无人机。）；

13. 可在离线或在线地图上显示设备站点；
14. 支持工作模式选择（城市环境模式、郊区环境模式、复杂环境模式）；
15. 扫描方式（扇扫是对选定天线扇区（方位）进行快速扫描，可提高扫描发现速度周扫是对所有扇区（方位）进行轮询扫描，保证 360 度全方位覆盖）；
16. 对无人机进行跟踪发现，在操作端显示无人机方位并且声音报警，并对其记录保存，通过回放界面进行回放；
17. 支持 GPS 定位功能，可以读取设备当前位置信息。

三、 技术参数

1. 侦测方式:无源侦测；
2. 探测距离: $\geq 5\text{km}$ ；
3. 探测方位角度精度: $\leq 3^\circ$ （均方根）；
4. 探测方位角度为: $0\sim 360^\circ$ ；
5. 多目标探测: ≥ 7 架；
6. 探测响应时间: $\leq 3\text{s}$ ；
7. 可选择 1-8 个方位内任意一个或多个方位进行扫描扇区设置；
8. 无人机监测系统最低探测高度: 10m(空视环境)；
9. 多频段设置: ≥ 10 个
10. 工作温度: $-40^\circ\text{C}\sim +80^\circ\text{C}$ ；
11. 防护等级: $\geq \text{IP65}$ ；
12. 尺寸重量: $\phi 450*650$, 23 kg；
13. 供电方式: AC220V 或 DC12V, 功耗 80W。

四、 设计方案

1. 功能

无线电侦测分系统除具备侦测锁定民用无人机的遥控信号和图传信号，并对其判别跟踪定位以及轨迹显示；能实现全天候、无盲区、远距离的对非法入侵的信号和常规无线电信号进行自动搜索发现、测向及跟踪定位等功能。

- 1) 系统建立 30~6000MHz 频段的无线电信号样本库，并具备学习功能，可动态补充完善，并在今后根据用户需要免费不断充实信号特征和型号样本库。
- 2) 系统在 30~6000MHz 频段内能主动侦测发现、识别多种类型的无线电信号(如：无人机、遥控设备、移动通信设备、数字对讲)，主动对比无线电信号样本库识别信号类型，通过主动测向功能给出方位等信息。
- 3) 系统能够实现对无人机遥控信号实时发现识别、持续监控和跟踪测向，对无人机操控者快速发现和查找定位。

4) 系统采用单通道相关干涉仪及空间谱估计测向体制, 可实现垂直/水平极化单频点测向、宽带实时测向、多占交会定位及虚拟交会定位。可测量目标无人机方位等参数, 实时显示方位角等信息。

5) 探测到无人机时应能发出声光报警;

系统探测识别到有入侵无人机时, 处理模块会自动上传一组报警数据给中心控制平台, 中心控制驱动声光喇叭放出报警声音同时闪烁红光。

6) 能够在操作终端主屏地理地图上显示侦测到无人机的方位和发现时间信息;

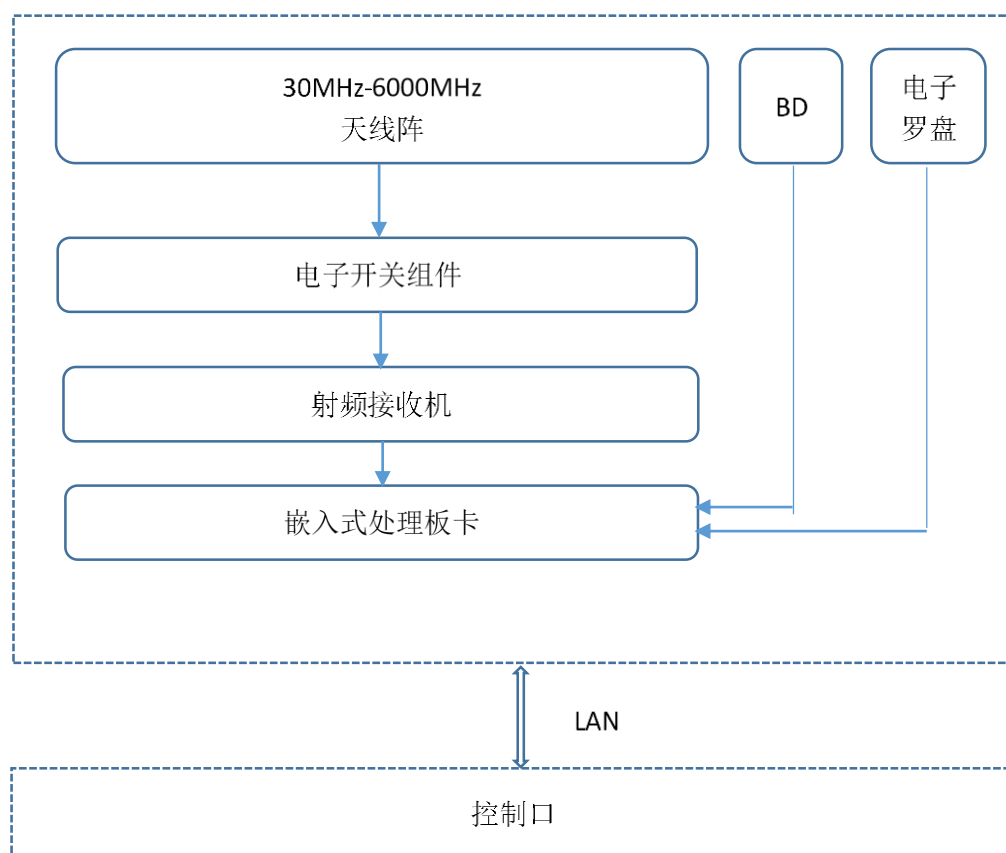
系统探测识别到有入侵无人机时, 处理模块会自动上传一组入侵方位数据给中心控制平台, 中心控制地图界面上相应的方位显示入侵无人机图标及方位时间等信息。

7) 可存储被侦测到的入侵记录, 能够进行记录回放。

系统具备 128G 的存储盘, 可以存储记录侦测的信息便于事后回放。

2. 组成

系统主要由天线单元、侦测接收机模块、数据处理模块组成, 集成在一体化的便携式设备中, 完成所有的数据采集、分析和处理, 然后通过 LAN 口输出结果数据, 在显示端软件进行展示。



组成框图

3. 工作原理

1) 侦测工作原理

系统执行侦测任务时，采用 10MHz~6000MHz 侦测天线阵或外接侦测天线接收信号，实现侦测和测量。当系统接收到由控制终端发出的侦测命令后，射频切换矩阵选通天线，根据工作频率接收相应的侦测信号，由接收机完成对信号进行放大、变频、滤波、A/D 采样、中频处理及信号解调，接收机通过 LAN 接口把结果送控制终端，由控制终端完成信号 ITU 等参数显示，完成识别等任务。侦测分系统的工作原理总体框架图如下：

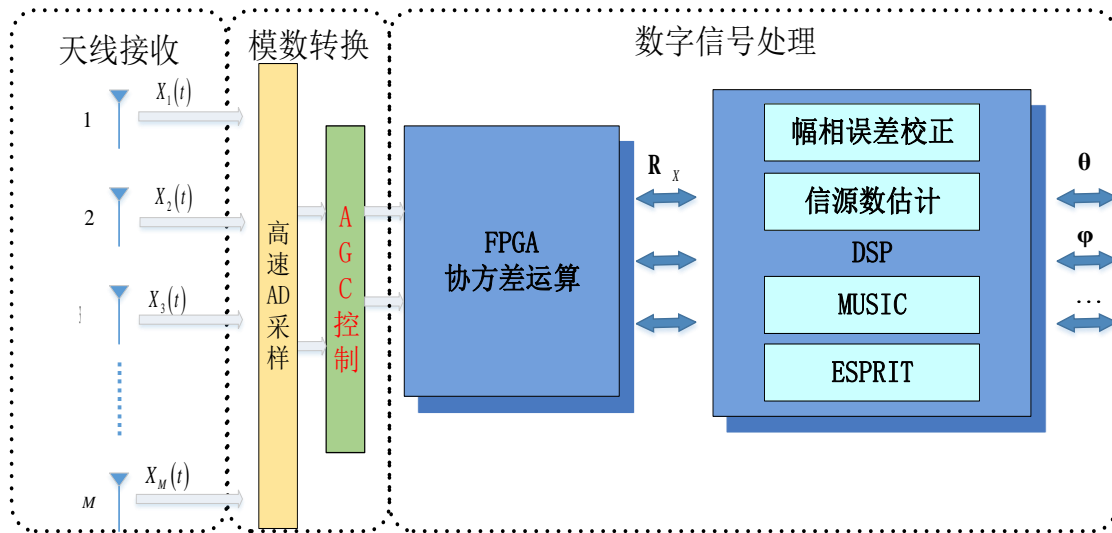


图1 系统工作原理框图

2) 侦测测向工作原理

系统采用相关干涉仪体制实现测向，系统执行测向任务时，由本地控制终端发出测向命令，通过网络传输给侦测处理主机，同时控制射频切换单元选通测向路，将测向频率下发双通道接收机，由侦测处理机实现对测向天线阵控制切换，分别接收不同天线阵元信号，经过预处理后下变频及中频滤波、放大处理，输出模拟中频信号给中频采集卡，由采集卡实现中频 A/D、滤波及测量信号复数电压的测量，将 I/Q 数据通过网络传送给高性能处理主板，后者完成相关干涉仪测向体制算法与样本相关运算，实现信号方向的测量，再通过 LAN 口将结果送入客户端软件进行本地实时操作及数据显示和测量等信息。

比幅侧向测向原理：

利用 8 个电性能相同的扇区定向天线围成一个圆周，实现对电磁波信号的空间方位采集。当循环采集一周时，我们可以获得接收电平最大的相邻三个天线单元电平幅度 P1、P2 和 P3，其中 P2 为极大值，而每个天线单元的方向图特性已事先测定，再利用 P1、P2 和 P3 与方向图曲线进行拟合运算，则可估计出电磁波的辐射方位（参见图 2）。

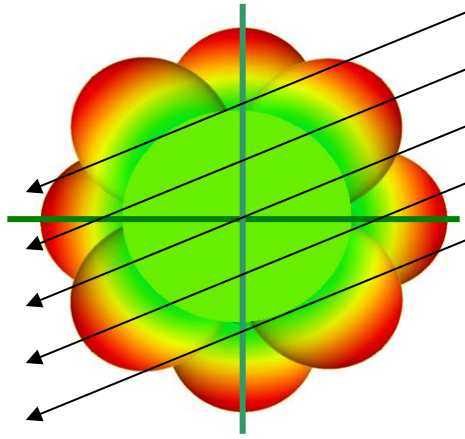


图2 扇区天线扫描测向

一般 8 个扇形天线循环一周的时间应小于信号持续时间，以期能完整地采集出电磁波在各天线单元上呈现的幅度特性。对于 FHSS 脉冲型信号，则需要多次循环扫描，让大多数子载波在每个天线单元均能获得有效的采集电平。

由于采用了高增益定向天线，扇区扫描测向具有较高的接收灵敏度和测向距离。但由于扇区天线的波束宽度不能做得很小，因而测向精度难于做得很高。天线波束宽度越小，天线副瓣越大，造成较大的电平测量误差，进而影响拟合计算出来的测向误差。并且天线波束宽度越小就需要较多的天线单元才能覆盖全方位，加工成本上升。因此扇区扫描一般用于远距离预警测向，给出目标的活动的扇区范围，当无人机逼近到较近距离时，再用相关干涉仪进行高精度测向。

4. 信号识别原理

通过建立无人机信号特征库，将实测无人机信号与特征库进行对比，从而实现无人机信号的智能识别。

通信技术的快速发展使得数字通信信号的调制类别变得愈加多样化，通信信号调制识别不仅在民用方面发挥着巨大的作用而且军用方面同样扮演着重要的角色。调制识别在信号处理领域已成为热点研究课题，它的主要任务是在对截获的未知信号进行处理之后从中提取出来合适的特征参数，然后根据提取出来的特征参数再采用适当的算法来对调制信号做出判决，确定出信号的调制方式，为之后信号的处理及分析提供依据。针对现有基于高阶累积量调制识别方法存在的识别信号数量少、抗噪声性能差等问题，我们采用基于高阶谱和高阶累积量结合的方式，利用信号的四阶、八阶累积量以及信号二次方谱的谱线特征构造出了四个特征参数，实现了对 4ASK、2PSK、QPSK、OQPSK、8PSK、 $\pi/4$ -QPSK、2FSK、4FSK、8FSK、8QAM、16QAM、32QAM 等 12 种信号的识别。

Awgn 信道中 OFDM 信号呈现高斯性，单载波信号没有高斯性，利用高斯信号的高阶累积量为零来区分单载波与 OFDM 信号。由中心极限定理知，OFDM 信号在时域

服从渐近高斯分布，它的近似高斯性与其子载波个数有关，与各子载波的调制方式无关，子载波数目越多，所呈现出的高斯性越强。

理论值： $c_{42_ofdm}=0$ ； $c_{42_qpsk}=-1$ ； $c_{42_qam16}=-0.6800$ ； $c_{42_qam64}=-0.6190$ 。

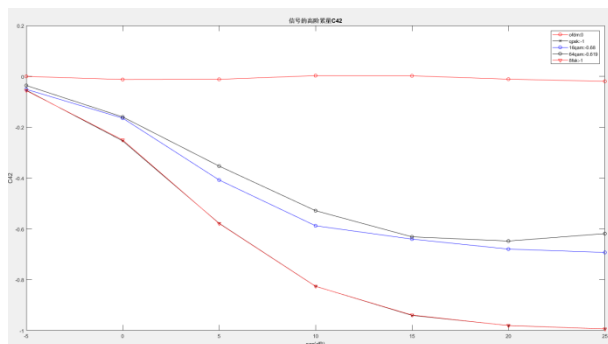


图3 高阶累积量

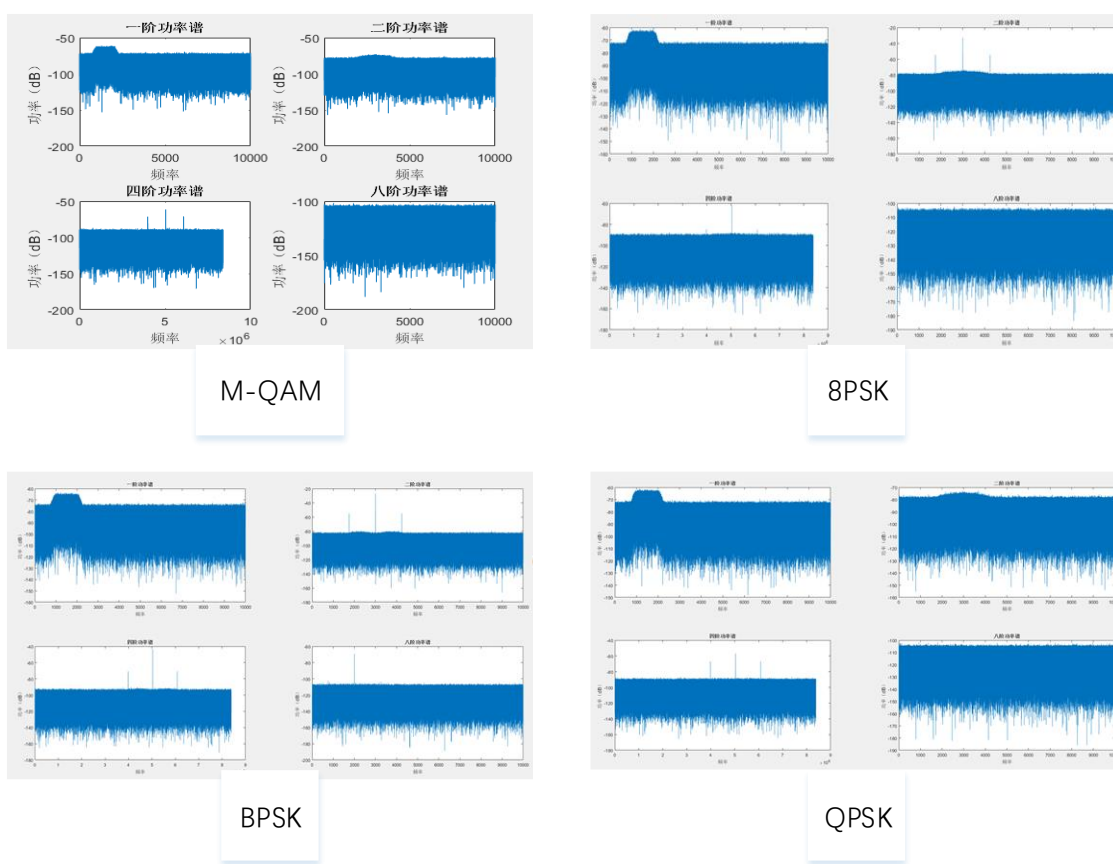


图4 高阶谱

5. 软件介绍

系统开机即进入全自动侦察模式，无需人工干预，24 小时无间隙对侦测范围内出现的疑似无人机信号进行甄别，并有效排除 WIFI 信号的干扰

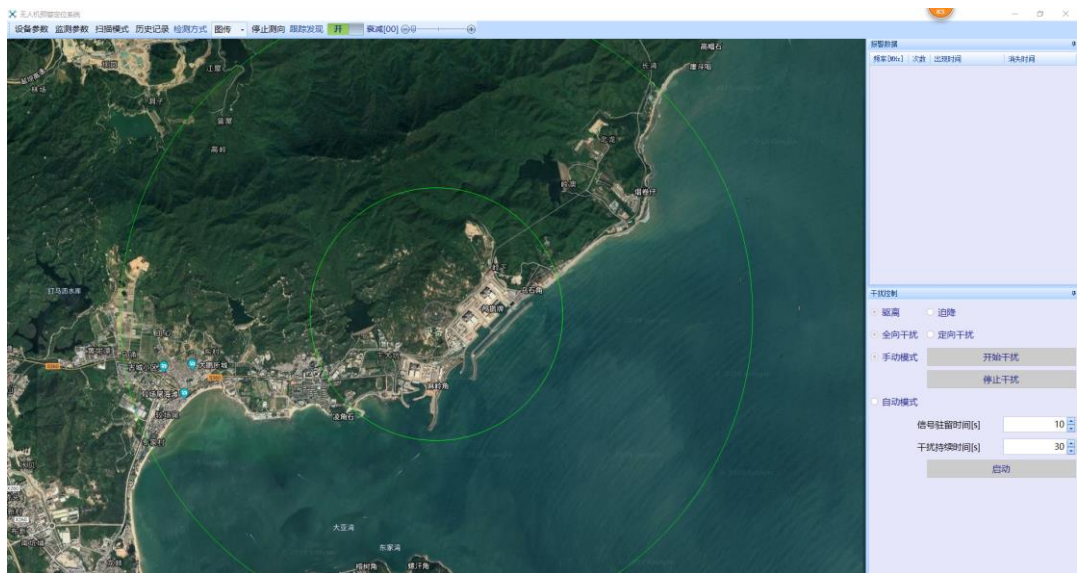
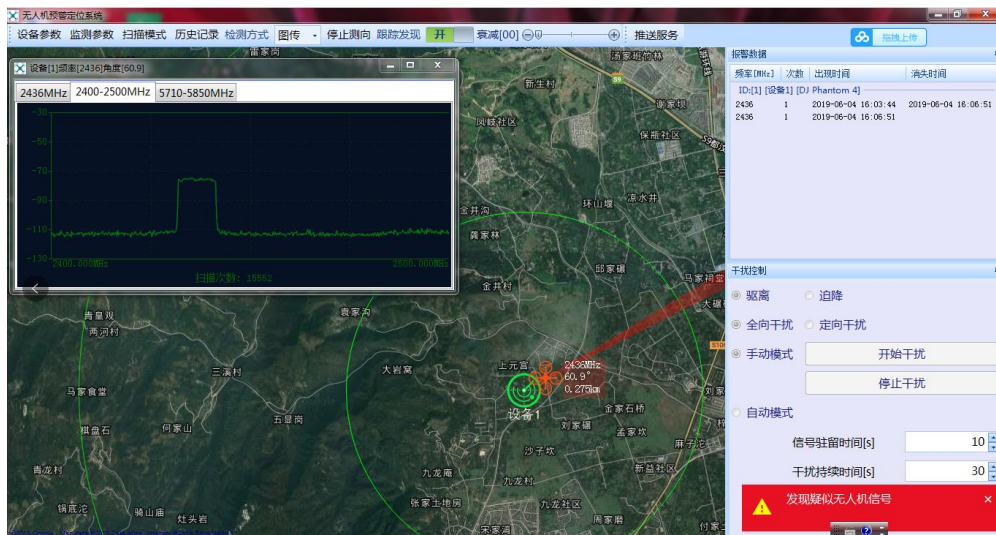


图5 锁定跟踪模式

系统判别出现无人机信号时，立即自动进入锁定跟踪模式，对无人机进行定位操作，在地图上实时标注出无人机飞行轨迹，并自动锁定无人机通信频率切换，可联动干扰设备对无人机进行实时迫降



支持多个无人机的跟踪发现，并给出飞行轨迹与相关信息

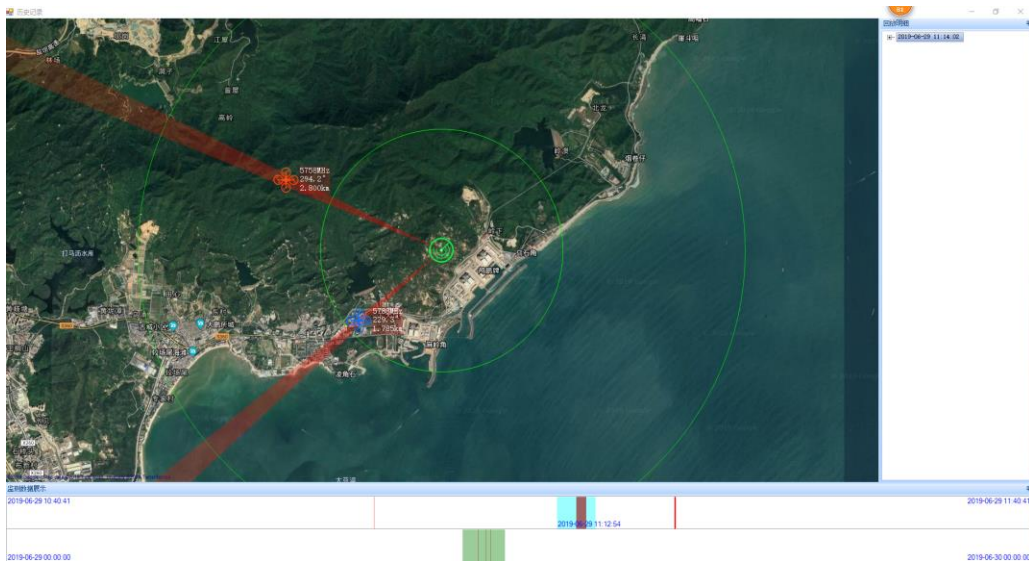


图6 记录回放模式

对发现无人机过程实现数据全程自动记录，包括出现的无人机型号、时间、飞行轨迹

迹、过程动作等信息，事后提供录像回放功能重现当时情景。

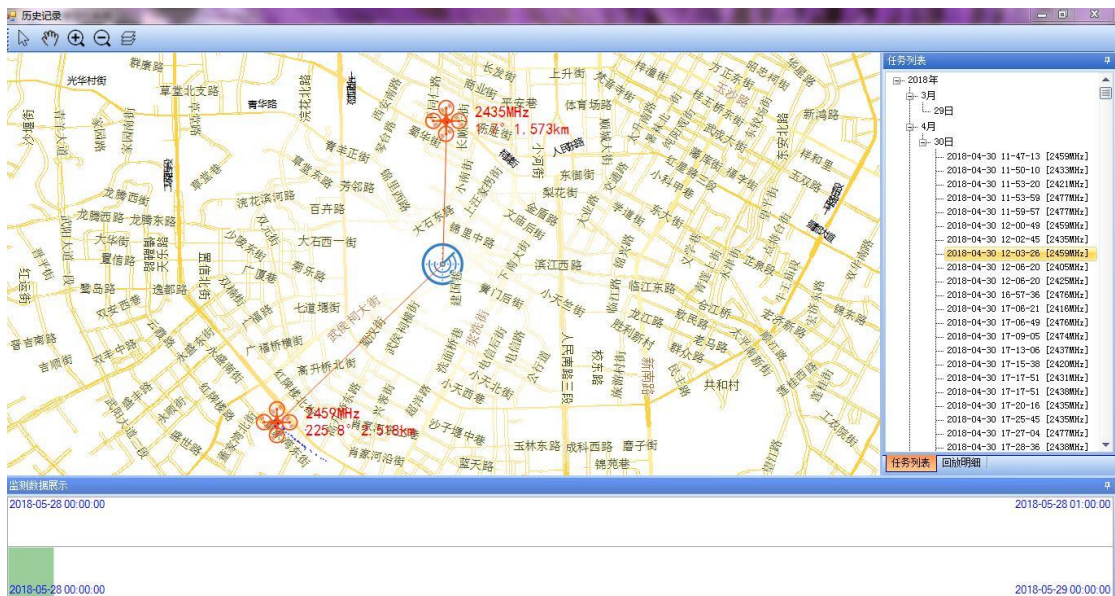
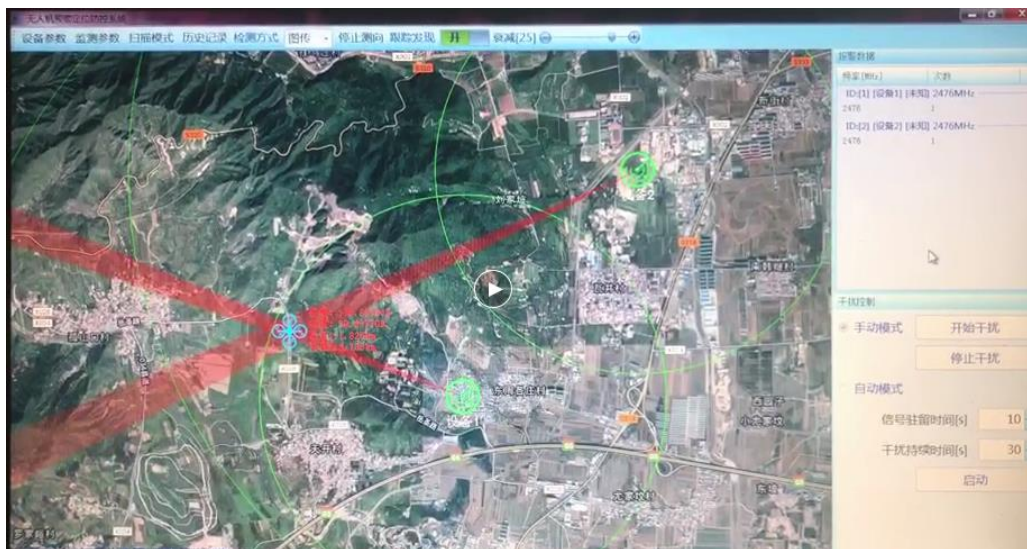


图7 交汇定位功能

多个监测设备组网运行时，中心软件可实现对同一无人机目标进行交汇定位，给出无人机的飞行准确位置区域及飞行轨迹。



6. 外场测试

