

# 1. 用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置、系统及方法

申请号

CN202211385598

申请日

2022. 11. 07

公开（公告）日

2023. 04. 04

ipc分类号

G01S7/38

申请（专利权）人

江西理工大学

发明人

樊宽刚；侯浩楠；李伟超

摘要

– ABSTRACT：本发明属于人工智能和无人机技术领域，公开了一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置、系统及方法，包括：使用五帧差分法和YOLOv5算法进行目标识别与检测，实现对入侵无人机的识别与跟踪；基于无人机声源定位系统进行实时的定位，将航线轨迹传输给视觉云台舵机进行实时同步跟踪；将无人机坐标信息传送至树莓派中，根据坐标信息计算偏差，输出控制信号；控制舵机朝着特定方向旋转，带动干扰装置瞄准无人机，发射干扰信号，实现对入侵无人机的反制、干扰与拦截。本发明搭建了一种使用方便、控制灵活、高精度、低成本的入侵无人机声学追踪与反制拦截系统设备，拦截效率高，能够全天候运行，适用于城市、森林和山区等现实场景的反制拦截需求。

权利要求

1. 一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法，其特征在于，包括：

基于深度学习的远距离、快速移动状态下小目标识别技术，获取入侵无人机信号的机理特征，采用双系统麦克风阵列的无人机声学定位系统，结合ODAS开放嵌入式系统，构建三维空间立体动态数学模型，搭建双电机多维度灵活定向跟踪伺服控制系统，从多个维度实现对入侵无人机的识别、定位、跟踪和反制拦截，实现全天候探测识别定位追踪入侵无人机，驱离或者迫降入侵无人机。

2. 如权利要求1所述的用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法，其特征在于，具体包括：

步骤一，计算机通过云台摄像头获取探测场景的实时图像，对所获图像信息进行分析处理，采用五帧差分法，框定运动目标，将其所在位置作为需要进一步处理的子区域，然后对该区域像素信息进行特征提取并采用机器学习算法识别；在子区域中，如果多旋翼无人机目标被成功检测识别，为了获取无人机的坐标信息，通过YOLO-v5跟踪算法对该目标进行跟踪实时跟踪；

步骤二，利用所述声学定位模块对目标无人机进行实时的定位，基于TDOA声学定位算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模

型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中，同时传输给所述视觉云台舵机模块进行实时同步跟踪；

步骤三，计算机通过无线局域网实时发送最新的目标位置信息至树莓派控制器，树莓派控制器收到坐标信息后进行计算、输出控制量，将控制量送往舵机的控制端口；

步骤四，无人机反制设备随舵机平台联动，实时跟踪瞄准无人机，并对无人机发射干扰信号，实现对入侵目标无人机的干扰拦截。

3. 如权利要求2所述的用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法，其特征在于，所述五帧差分法进行目标预识别的具体过程为：

选取连续的五帧无人机图像 $f_{t-2}(x, y)$ ， $f_{t-1}(x, y)$ ， $f_t(x, y)$ ， $f_{t+1}(x, y)$ ， $f_{t+2}(x, y)$ ，其中， $f_t(x, y)$ 为中间帧，首先将五帧无人机图像进行灰度化处理，然后采用中值滤波的方法对无人机灰度化图像进行去噪，去噪后的无人机图像为 $I_{t-2}(x, y)$ ， $I_{t-1}(x, y)$ ， $I_t(x, y)$ ，和 $I_{t+2}(x, y)$ ， $I_t(x, y)$ 为中间帧；接着将连续两帧入侵无人机图像对应像素的像素值相减得到差分图像，差分公式如下所示：

其中， $(x, y)$ 为对应像素的坐标， $D_1(x, y)$ 为第一帧图像 $I_{t-2}(x, y)$ 和中间帧图像 $I_t(x, y)$ 的差分结果， $D_2(x, y)$ 为第二帧图像 $I_{t-1}(x, y)$ 和中间帧图像 $I_t(x, y)$ 差分结果， $D_3(x, y)$ 为第四帧图像 $I_{t+1}(x, y)$ 和中间帧图像 $I_t(x, y)$ 的差分结果， $D_4(x, y)$ 为第五帧图像 $I_{t+2}(x, y)$ 和中间帧图像 $I_t(x, y)$ 的差分结果；

对四张差分结果图做自适应二值化处理得到四幅二值图 $B_i(x, y)$ ，如下式所示：

当对应像素的差分结果 $D_i(x, y)$ 小于已确定的阈值 $T$ 时，则像素属于目标空域的背景像素，将二值图中对应像素的像素值设为0；当对应像素的差分结果 $D_i(x, y)$ 大于已确定的阈值 $T$ 时，则像素属于目标空域的前景像素，将二值图中对应像素的像素值设为1，利用标记的像素区域确定入侵无人机的实时具体位置。

4. 如权利要求2所述的用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置，其特征在于，步骤二中，基于TDOA声学定位算法的具体过程为：

针对牛顿迭代解初值估计问题，构造多组维数较小的线性方程组；利用聚类算法剔除线性方程求解过程中的异常点，并将初值估计值代入迭代解得到定位结果；

先分别在空间坐标中放置三个声源信号源进行采样，方位角为 $30^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $70^\circ$ ，俯仰角为 $20^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $60^\circ$ ，信噪比均设定为10dB，进行MATLAB仿真模拟实验，基于TDOA声学定位算法的谱峰搜索原理寻找出三维空间坐标中3个波峰的位置，以及谱峰分别所对应的方位角和俯仰角的信息，从而获得定位结果；

输入待检测的入侵无人机图像后，YOLO v5中的卷积神经网络将其以网格的形式划分为较小的单元格。对于待检测目标，每个单元格负责检测其中心点，预测产生多个边界框和对应的置信度。置信度反映两个方面的信息：一是边界框中目标的可信程度，二是边界框本身的置信度。最后，使用非极大值抑制算法依次剔除重合度较高的预测框，直至全部处理完成。

5. 如权利要求4所述的用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法，其特征在于，使用YOLO v5算法识别入侵无人机，首先以无人机目标及复杂环境背景为对象构建数据集，然后基于预训练模型进行强化训练，最后生成一个图像推理模型，用于后续的识别流程。采用训练好的模型对入侵无人机进行识别，获得多个目标识别框。若只考虑对单目标进行识别，可调整返回识别框的数量。选择类别概率最高的识别框作为最终输出结果，获得完整包含入侵无人机目标的最优识别框。为使算法的时间计算复杂度得到降低，在训练过程中适当降低网络的深度和特征图的宽度，在保证识别准确率的同时进一步降低模型体积。

6. 一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统，其特征在于，包括：

识别与检测模块，通过五帧差分法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识别，而后结合YOLO-v5运动目标检测算法，对入侵无人机进行目标图像检测；

智能预警播报模块，当检测到无人机入侵时，分别采用声、光报警两种方式发出警报；

声学定位模块，包括基于麦克风阵列的声学定位双系统，采用基于TDOA声学定位算法得到定位结果；

视觉跟踪云台模块，用于将获取到的声源信息传输到PC端，结合KCF跟踪算法，并通过socket通信和WiFi通信，将输出位置信息发送至二维度微云台控制端，达到对目标领空内入侵无人机同步跟踪的目的；

舵机旋转控制模块，包括控制单元和驱动单元，使用树莓派四代利用控制单元对目标位置的计算，然后将计算结果输出到驱动单元，转化为舵机旋转信号，实现系统的旋转搜索，并基于PID进行舵机云台跟踪；

反制拦截干扰模块，通过发射高频电磁波信号，干扰无人机的遥控、GPS、图传等信号发送和接收，从而影响入侵无人机正常飞行，实现对入侵无人机的有效拦截；

多端协同云共享模块，采用近端、远端和移动端控制相结合的方式，通过WiFi组网，实现多终端数据实时云共享。

7. 如权利要求6所述的用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统，其特征在于，所述智能预警播报模块具体包括：

预警灯，所述预警灯有三种颜色，分别为绿灯、黄灯和红灯，设计继电器并结合树莓派去控制三种灯的亮灭以及响应时间；通过变压器，将220V电压变换为5V电压，给预警灯进行供电；当装置处于巡检待机状态时，绿灯长亮，表示检测区域没有发现入侵无人机，当黄灯闪烁时，表示检测区域发现入侵无人机，当红灯亮起，表示已发射拦截信号，入侵无人机已经被成功反制；

预警灯带，所述预警灯带有三种颜色，分别为绿、黄和红灯，通过树莓派与整体装置连接，同时，用树莓派控制三种灯带随三色灯预警灯同步变化，当绿色灯带闪烁的时候，表示整个装置处于待机的状态，检测曲线没有发现无人机，当黄色灯带闪烁的时候，表示检测区域发现入侵无人机；

预警蜂鸣器，所述预警蜂鸣器和所述预警灯通过同一树莓派控制，通过树莓派控制继电器从而控制预警蜂鸣器工作，同时通过多个树莓派与整个装置连接；当继电器的指示灯亮红灯时，说明继电器已经接通，随之蜂鸣器工作，当蜂鸣器响时表示，装置已经发射拦截无人机信号，入侵无人机已被成功拦截；

语音播报，所述语音播报和所述预警灯带通过同一树莓派控制，同时，与整

个装置连接，当目标检测领空区域内发现入侵无人机时，反制拦截装置启动，红灯快闪，红灯带闪烁，蜂鸣器报警，扬声器播报，播报内容为发现入侵无人机，智能反制拦截系统已启动。

8. 如权利要求6所述的声学追踪与反制拦截系统，其特征在于，所述基于麦克风阵列的声学定位双系统由ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列和ODAS开放嵌入式测试系统组成，用于对入侵无人机的声源进行坐标定位与目标轨迹追踪；子系统二是由MEMS MIC麦克风阵列和K210嵌入式平台组成，根据检测出的目标无人机声强图，判断其飞行位移姿态属性；将所述ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列采集到的入侵无人机实时声源信息，传输到在树莓派上运行的odas live系统上，结合ODAS web开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将入侵无人机的声源信息显示在空间坐标系中，进行位置定位与目标轨迹追踪；通过Python编程将检测到的声源信息显示在LCD屏幕中，根据声源的声强图，用于判断该入侵无人机飞行位移与姿态属性；

所述DAS开放嵌入式测试系统分为两个模块，ODAS核心系统和ODAS图形演示系统，odasweb安装于windows系统，odas live安装于树莓派上的Linux系统，树莓派通过WiFi局域网将数据发到windows系统上的odas web图形演示界面端；

所述MEMS MIC麦克风阵列由多个数字麦克风组成，分布在四周不同方向以及模块正中央，用于识别各个方向声源；还包括多个LED指示灯，用于指示声源位置。

9. 如权利要求6所述声学追踪与反制拦截系统，其特征在于，所述舵机旋转控制模块包括：

树莓派控制装置，树莓派使用控制算法对目标位置进行处理，将YOLO-v5算法输出的无人机实时坐标与画面中心的距离作为偏差信号，而后根据偏差信号进行PID控制，输出驱动信号，使控制舵机旋转一定角度；接收控制单元输出的PWM信号，驱动舵机旋转相应的角度，进而联动舵机平台上的反制设备，完成入侵目标地对准；

基于PID舵机跟踪装置，从声学定位模块获取无人机目标实时的横坐标值，设定期望坐标值为图像中心横坐标，所述图像中心横坐标为图像宽度的一半；根据获取到的坐标值与期望值得到偏差距离，PID控制器将根据送入的偏差信息计算输出占空比；将占空比输入至电机的控制单元，使得电机旋转至对应的角度；在入侵无人机偏离画面中心的过程中，始终执行上述控制程序，直至无人机当前坐标值与期望值的偏差处于规定的合理区间内，至此舵机停止转动，入侵无人机目标位于画面中心附近，干扰装置也已瞄准无人机；

所述多端协同云共享模块采用Socket协议实现树莓派和Python之间的信号传输，并且使用WiFi组网实现对组件的控制和远端、近端和移动端的连接；所述近端用于近距离检测和观察装置各项数据的变化，对装置本身出现的问题做出反应；所述远端用于通过多终端PC连接通信，对采集到的各类数据进行算法的分析处理，下达指令，将输出信号返回至控制端，进行拦截操作；所述移动端用于查看系统的工作状态，将监控到的画面实时传输至移动端。

10. 一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统，其特征在于，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统包括无人机探测子系统和无人机反制子系统；

所述无人机探测子系统中，计算机根据摄像头送回的实时画面，采用相关算法对入侵无人机进行识别、检测、定位、跟踪，实时计算和跟踪入侵目标的

位置信息，并发出警报；

所述无人机反制子系统中，计算机通过无线局域网实时发送最新的目标位置信息至控制端，控制端收到坐标信息后送入相关控制算法进行计算、输出控制量；将控制信息送往舵机的控制端口，舵机根据具体的信号量开始旋转，舵机轴连接有一平台，平台上放置着反制设备与摄像设备，此时无人机反制设备跟随舵机联动，实时跟踪瞄准无人机，当满足瞄准精度要求时反制设备开始发送干扰电磁波，完成对入侵无人机的干扰拦截。

11. 如权利要求10所述声学追踪与反制拦截系统，其特征在于，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统由图像采集单元、计算处理单元、无线通信单元、声学定位单元、树莓派控制单元、舵机驱动单元、干扰拦截单元、智能预警单元组成；

所述图像采集单元用于完成检测画面的实时采集和传输任务；

所述计算处理单元用于计算机对采集到的画面进行计算分析，实现对入侵画面的无人机进行检测、识别和跟踪，无线传输实时的探测结果和目标位置；

所述无线通信单元用作计算机设备和控制器之间的通讯枢纽，负责系统数据间的实时交换；

所述声学定位单元用于通过麦克风阵列采集无人机声源信号，基于TDOA声学定位算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中，同时传输给视觉云台，进行实时同步跟踪；

所述树莓派控制单元用于进行数据传输并发出相应指令，使用PID控制算法，对目标位置进行计算处理，输出舵机转动信号；

所述舵机驱动单元用于接收控制单元输出的PWM信号，驱动舵机旋转相应的角度，进而联动舵机平台上的反制设备，完成入侵目标地对准，为无人机成功拦截提供有效保障；

所述干扰拦截单元用于发射高频电磁波信号，干扰无人机的遥控、GPS、图传等信号发送和接收，从而影响无人机正常飞行，实现入侵无人机反制拦截；

所述智能预警单元用于接收控制单元的信号，在发现无人机入侵后，警报灯发出不同颜色的光，并发出蜂鸣警报和语音播报进行提醒。

12. 一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法，其特征在于，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法包括无人机探测部分和无人机反制部分；

所述无人机探测部分用于进行无人机运动目标检测、特征提取与分类和目标跟踪与坐标数据发送；

所述无人机反制部分用于接收目标位置数据、生成控制信号、旋转拦截平台以及发送干扰信号。

13. 如权利要求12所述声学追踪与反制拦截方法，其特征在于，所述无人机探测部分的具体过程为：

利用摄像头采集监控画面图像，随后使用五帧差分法分割出画面中正在运动的目标，计算灰度变化，若未检测到运动目标，则读取下一帧图像继续检测，若检测到画面中存在运动目标，则自动框定目标，记录运动目标所在画面中的位置信息；

根据位置信息在原图像中提取相应区域的子图像，将图像送入YOLO-v5算法中进行识别，若识别结果判定该目标不是无人机时，则中止后续工作并重新进行下一帧图像的目标提取工作，若识别结果表示该运动目标为无人机目标

时，进行基于TDOA声学定位算法的声源定位，对入侵无人机进行位置定位与轨迹跟踪；

树莓派控制器为计算、控制的中枢，用于接收无人机坐标、计算舵机驱动信号、控制舵机旋转及控制干扰信号的发射；采用多线程方法将接收坐标、计算控制量、电机转动过程并行运行，控制算法时刻获得最新的坐标值，从而输出合适的驱动信号，树莓派控制器通过Socket通信时刻接收无人机坐标；PID控制模块则是根据最新的坐标信息计算与期望中心存在的偏差，而后根据偏差进行PID控制、输出舵机驱动信号，所述舵机驱动信号为占空比的PWM波；舵机根据PWM波旋转一定角度，舵机平台上的反制设备随之旋转，瞄准无人机，并进行对入侵无人机的干扰拦截。

14. 一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置，其特征在于，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置外部采用一个金属箱，表面涂有一层绿色迷彩涂层，其内部放有供设备运行的移动电源；在金属箱的上端装有一个直径为25cm金属圆盘，金属圆盘通过敦煌电子DHLG-03X型磁编码舵机与金属箱连接，其驱动电机与控制主板置于金属箱内部；作为一种反无人机装置，整套金属箱与金属圆盘上均涂有一层绿色迷彩涂层；

在金属箱上面，分别固定有ReSpeaker Mic Array v2.0和MEMS MIC两块不同型号的麦克风阵列，结合ODAS开放嵌入式测试系统和K210嵌入式平台，通过数据线与PC端连接；

在金属箱上固定有220v-5v变压器和8路-24端口继电器，通过连接三色警示灯，以及贴于金属箱边缘的警示灯带；在金属箱上边缘处，装有一个视觉跟踪云台，通过获取到的声源信息传输到PC端，结合KCF跟踪算法，实现对入侵无人机的快速跟踪，并通过socket通信和WiFi通信，将输出位置信息送至云台控制端。

## 说明书

用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置、系统及方法

技术领域

本发明属于人工智能和无人机技术领域，尤其涉及一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置、系统及方法。

背景技术

随着无人机相关的技术体系的发展完善、无人机应用解决方案的成熟促使无人机的应用场景从最初的军事领域逐渐探索扩大到民用领域，民用领域对无人机产品的消费需求逐年升高，呈现快速增长趋势，无人机产业规模也随之扩大。

因此，为了应对无人机所引发的一系列安全问题，杜绝民用无人机带来的潜在的威胁，国家相关机构制定了一系列无人机飞行相关的法规，加强对无人机的管控力度。除了相关政策的管控外，针对入侵无人机的反制技术研究和应用也是目前较为有效的途径，它在重大活动保障、处理突发事件、国家边界守卫时发挥着巨大的作用。近些年来，针对具有“低小慢”特点的无人机的探测、识别、跟踪和干扰等技术研究已陆续开展，一系列先进的反制无人机技术和低空防御解决方案诞生，反无人机系统的需求程度逐年上升。

通过上述分析，现有技术存在的问题及缺陷为：

现有方法针对入侵无人机的标记精度不高、系统实时性较差；现有的单一的声源定位模型对目标领空内入侵无人机的声源识别效率和跟踪精度不高；现

有拦截装置的控制方式单一，难以满足不同场景、不同时间的布设要求，难以适用于城市、森林和山区等现实场景的反制拦截需求。

## 发明内容

针对现有技术存在的问题，本发明提供了一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置、系统及方法。

本发明是这样实现的，一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置包括：

识别与检测模块，通过五帧差分法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识别，而后结合YOLO-v5运动目标检测算法，对入侵无人机进行目标图像检测；

智能预警播报模块，当检测到无人机入侵时，分别采用声、光报警两种方式发出警报；

声学定位模块，包括基于麦克风阵列的声学定位双系统，采用基于TDOA声学定位算法得到定位结果；

视觉跟踪云台模块，用于将获取到的声源信息传输到PC端，结合KCF跟踪算法，并通过socket通信和WiFi通信，将输出位置信息发送至二维度微云台控制端，达到对目标领空内入侵无人机同步跟踪的目的；

舵机旋转控制模块，包括控制单元和驱动单元，使用树莓派四代利用控制单元对目标位置的计算，然后将计算结果输出到驱动单元，转化为舵机旋转信号，实现系统的旋转搜索，并基于PID进行舵机云台跟踪；

反制拦截干扰模块，通过发射高频电磁波信号，干扰无人机的遥控、GPS、图传等信号发送和接收，从而影响入侵无人机正常飞行，实现对入侵无人机的有效拦截；

多端协同云共享模块，采用近端、远端和移动端控制相结合的方式，通过WiFi组网，实现多终端数据实时云共享。

进一步，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置的工作原理为：

步骤一，计算机通过云台摄像头获取探测场景的实时图像，对所获图像信息进行分析处理，采用五帧差分法，框定运动目标，将其所在位置作为需要进一步处理的子区域，然后对该区域像素信息进行特征提取并采用机器学习算法识别。在子区域中，如果多旋翼无人机目标被成功检测识别，为了获取无人机的坐标信息，后续将通过YOLO-v5跟踪算法对该目标进行跟踪实时跟踪；

步骤二，利用所述无人机声源定位系统对目标无人机进行实时的定位，基于TDOA声学定位算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中，同时传输给视觉云台舵机进行实时同步跟踪；

步骤三，计算机通过无线局域网实时发送最新的目标位置信息至树莓派控制器，树莓派控制器收到坐标信息后进行计算、输出控制量；将控制量送往舵机的控制端口，舵机根据控制量开始旋转，舵机轴连接有一平台，平台上放置着反制设备和警报灯；系统正常运行时，指示灯为绿灯，并常亮，若发现入侵的无人机，那么指示灯变黄色，5秒后转为红色，此时蜂鸣器响，语音播报：发现入侵无人机，智能反制拦截系统已启动；

步骤四，无人机反制设备随舵机平台联动，实时跟踪瞄准无人机，并对无人机发射干扰信号，实现对入侵目标无人机的干扰拦截。

进一步，所述五帧差分法进行目标预识别的具体过程为：

选取连续的五帧无人机图像 $f_{t-2}(x, y)$ ,  $f_{t-1}(x, y)$ ,  $f_t(x, y)$ ,  $f_{t+1}(x, y)$ ,  $f_{t+2}(x, y)$ , 其中,  $f_t(x, y)$ 为中间帧, 首先将五帧无人机图像进行灰度化处理, 然后采用中值滤波的方法对无人机灰度化图像进行去噪, 去噪后的无人机图像为 $I_{t-2}(x, y)$ ,  $I_{t-1}(x, y)$ ,  $I_t(x, y)$ , 和 $I_{t+2}(x, y)$ ,  $I_{t+1}(x, y)$ 为中间帧; 接着将连续两帧入侵无人机图像对应像素的像素值相减得到差分图像, 差分公式如下所示:

其中,  $(x, y)$ 为对应像素的坐标,  $D_1(x, y)$ 为第一帧图像 $I_{t-2}(x, y)$ 和中间帧图像 $I_t(x, y)$ 的差分结果,  $D_2(x, y)$ 为第二帧图像 $I_{t-1}(x, y)$ 和中间帧图像 $I_t(x, y)$ 差分结果,  $D_3(x, y)$ 为第四帧图像 $I_{t+1}(x, y)$ 和中间帧图像 $I_t(x, y)$ 的差分结果,  $D_4(x, y)$ 为第五帧图像 $I_{t+2}(x, y)$ 和中间帧图像 $I_t(x, y)$ 的差分结果;

对四张差分结果图做自适应二值化处理得到四幅二值图 $B_i(x, y)$ , 如下式所示:

当对应像素的差分结果 $D_i(x, y)$ 小于已确定的阈值 $T$ 时, 则像素属于目标空域的背景像素, 将二值图中对应像素的像素值设为0; 当对应像素的差分结果 $D_i(x, y)$ 大于已确定的阈值 $T$ 时, 则像素属于目标空域的前景像素, 将二值图中对应像素的像素值设为1, 利用标记的像素区域确定入侵无人机的实时具体位置。

进一步, 所述YOLO-v5运动目标检测算法具体过程包括:

基于YOLO-v5的检测原理进行一个无人机数据集的制作, 采用的无人机数据集格式通常为VOC格式, 利用YOLO-v5目标检测网络模型对已经制作成功的无人机数据集进行训练;

采用了无锚框机制来减少设计参数的数量, 将每个位置的预测从3个减少到1个, 并使他们直接预测4个值, 包括网格左上角的两个偏移量、预测框的高度和宽度; 同时指定中心, 将每个物体的阳离子作为正样本, 并预先定义一个刻度方位以指定每个物体的FPN级别, 只为每个对象的平均值选择了一个正样本, 所述正样本为中心位置;

所述YOLO-v5目标检测网络模型包括CSPDarkNet网络结构、FPN网络结构和YOLO-v5 Head网络结构; 所述CSPDarkNet网络结构是YOLO-v5的主干特征提取网络, 输出有效特征层; 所述FPN网络结构是YOLO-v5的加强特征提取网络; 所述YOLO-v5 Head网络结构是YOLO-v5的分类器和回归器; 通过所述FPN网络结构输出的三个特征图来判断是否有物体与特征点对应, YOLO-v5 Head将分类和回归分开实现, 最后再整合在一起。

本发明的基于YOLO-v5算法对图像中的入侵无人机目标进行预识别方法对于入侵无人机目标, 其形态特征更加复杂多样, 特征提取的难度更高。除此之外, 识别场景的多样性也导致了数据集的体积庞大, 对于传统的图像分类网络而言, 须在识别精度与识别效率间寻找平衡。提升对小目标入侵无人机的识别效果, 难免会造成识别模型网络结构复杂, 识别效率低下的问题, 难以应对实时的入侵无人机视频检测需求。

采用YOLO-v5算法快速实现民用无人机图像实时识别, 进一步提高识别的灵活性和速度, 可以在正确识别目标的同时保持极高的帧率。其使用的Pytorch框架可以方便地训练自己的数据集, 降低了部署的技术成本, 整合了大量的



计算机视觉技术。YOLO v5算法将整张图像放在一个实例中，预测目标边界及其所属的类别。

输入待检测的入侵无人机图像后，YOLO v5中的卷积神经网络将其以网格的形式划分为较小的单元格。对于待检测目标，每个单元格负责检测其中心点，预测产生多个边界框和对应的置信度。置信度反映两个方面的信息：一是边界框中目标的可信程度，二是边界框本身的置信度。最后，使用非极大值抑制算法依次剔除重合度较高的预测框，直至全部处理完成。

使用YOLO v5算法识别入侵无人机，首先以无人机目标及复杂环境背景为对象构建数据集，然后基于预训练模型进行强化训练，最后生成一个图像推理模型，用于后续的识别流程。采用训练好的模型对入侵无人机进行识别，获得多个目标识别框。若只考虑对单目标进行识别，可调整返回识别框的数量。选择类别概率最高的识别框作为最终输出结果，获得完整包含入侵无人机目标的最优识别框。为使算法的时间计算复杂度得到降低，在训练过程中适当降低网络的深度和特征图的宽度，在保证识别准确率的同时进一步降低模型体积。

进一步，所述智能预警播报模块，具体包括：

#### (1) 预警灯

所述预警灯有三种颜色，分别为绿灯、黄灯和红灯，设计继电器并结合树莓派去控制三种灯的亮灭以及响应时间；通过变压器，将220V电压变换为5V电压，给预警灯进行供电；

当装置处于巡检待机状态时，绿灯长亮，表示检测区域没有发现入侵无人机，当黄灯闪烁时，表示检测区域发现入侵无人机，当红灯亮起，表示已发射拦截信号，入侵无人机已经被成功反制；

#### (2) 预警灯带

所述预警灯带有三种颜色，分别为绿、黄和红灯，通过树莓派与整体装置连接，同时，用树莓派控制三种灯带随三色灯预警灯同步变化，当绿色灯带闪烁的时候，表示整个装置处于待机的状态，检测曲线没有发现无人机，当黄色灯带闪烁的时候，表示检测区域发现入侵无人机；当启动反制拦截系统后，红灯快闪，红灯带快闪，蜂鸣器报警，扬声器播报：“发现入侵无人机智能反制拦截系统已启动”。

#### (3) 预警蜂鸣器

所述预警蜂鸣器和所述预警灯通过同一树莓派控制，通过树莓派控制继电器从而控制预警蜂鸣器工作，同时通过多个树莓派与整个装置连接；当继电器的指示灯亮红灯时，说明继电器已经接通，随之蜂鸣器工作，当蜂鸣器响时表示，装置已经发射拦截无人机信号，入侵无人机已被成功拦截；

#### (4) 语音播报

所述语音播报和所述预警灯带通过同一树莓派控制，同时，与整个装置连接，当目标检测领空区域内发现入侵无人机时，反制拦截装置启动，红灯快闪，红灯带闪烁，蜂鸣器报警，扬声器播报，播报内容为发现入侵无人机，智能反制拦截系统已启动。

进一步，所述基于TDOA声学定位算法的具体过程为：针对牛顿迭代解初值估计问题，构造多组维数较小的线性方程组；利用聚类算法剔除线性方程求解过程中的异常点，并将初值估计值代入迭代解得到定位结果；基于声达时间

差(TDOA)的声源定位方法一般分为二个步骤进行, 先进行声达时间差估计, 并从中获取传声器阵列中阵元间的声延迟(TDOA); 再利用获取的声达时间差, 结合已知的传声器阵列的空间位置进一步定出声源的位置。

本发明的方法再具体图示的时候, 可以利用红点是入侵无人机声源, 黑点是麦克风位置, 无人机声源到两个麦(如麦1, 麦3)的时延是一个常数, 通过这个常数, 我们可以画出绿色的双曲线, 无人机声源到麦3, 麦2的时延是另一个常数, 同样地, 可以画出黑色曲线, 两条曲线相交, 就是入侵无人机声源的位置。先分别在空间坐标中放置三个声源信号源进行采样, 方位角为 $30^{\circ}$ 、 $50^{\circ}$ 、 $70^{\circ}$ , 俯仰角为 $20^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ , 信噪比均设定为10dB, 进行MATLAB仿真模拟实验, 基于TDOA声学定位算法的谱峰搜索原理寻找出三维空间坐标中3个波峰的位置, 以及谱峰分别所对应的方位角和俯仰角的信息, 从而获得定位结果。

进一步, 所述基于麦克风阵列的声学定位双系统由两个子系统构成, 子系统一是由ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列和ODAS开放嵌入式测试系统组成, 用于对入侵无人机的声源进行坐标定位与目标轨迹追踪; 子系统二是由MEMS MIC麦克风阵列和K210嵌入式平台组成, 根据检测出的目标无人机声强图, 判断其飞行位移姿态属性;

所述DAS开放嵌入式测试系统分为两个模块, ODAS核心系统(odas live)和ODAS图形演示系统(odas web), odas web安装于windows系统, odas live安装于树莓派上的Linux系统, 树莓派通过WiFi局域网将数据发到windows系统上的udas web图形演示界面端;

所述MEMS MIC麦克风阵列由多个数字麦克风组成, 分布在四周不同方向以及模块正中央, 用于识别各个方向声源; 还包括多个LED指示灯, 用于指示声源位置。

进一步, 所述子系统一的具体过程包括:

将所述ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列采集到的入侵无人机实时声源信息, 传输到在树莓派上运行的udas live系统上, 结合ODAS web开放嵌入式测试系统, 构建三维立体的动态数学模型, 将入侵无人机的声源信息显示在空间坐标系中, 进行位置定位与目标轨迹追踪;

通过Python编程将检测到的声源信息显示在LCD屏幕中, 根据声源的声强图, 用于判断该入侵无人机飞行位移与姿态属性; MEMS MIC麦克风阵列由7个数字麦克风组成, 其中6个分布在四周不同方向, 1个在模块正中央, 便于识别各个方向声源。另外12个LED指示灯, 方便指示声源位置。

PyAI-K210嵌入式开发平台是由01Studio设计研发, 基于嘉楠科技边缘计算芯片K210(RSIC-V架构, 64位双核)方案的一款开发板。

将麦克风阵列模块与PyAI-K210使用FPC 10P排线进行连接, 通过python编程可实现将检测到的声源信息, 实时显示在LCD屏幕中, 根据声源的声强图, 可判断该入侵无人机飞行位移与姿态属性。

进一步, 舵机旋转控制模块包括树莓派控制装置以及基于PID舵机跟踪装置, 所述树莓派控制装置的具体过程为:

树莓派使用控制算法对目标位置进行处理, 将YOLO-v5算法输出的无人机实时坐标与画面中心的距离作为偏差信号, 而后根据偏差信号进行PID控制, 输出驱动信号, 使控制舵机旋转一定角度; 接收控制单元输出的PWM信号, 驱动舵机旋转相应的角度, 进而联动舵机平台上的反制设备, 完成入侵目标地对准;

所述基于PID舵机跟踪装置的具体过程为:

首先，控制装置从声学定位模块获取无人机目标实时的横坐标值，设定期望坐标值为图像中心横坐标，所述图像中心横坐标为图像宽度的一半；

其次，根据获取到的坐标值与期望值得到偏差距离，PID控制器将根据送入的偏差信息计算输出占空比；

然后，将占空比输入至电机的控制单元，使得电机旋转至对应的角度；

最后，在入侵无人机偏离画面中心的过程中，始终执行上述控制程序，直至无人机当前坐标值与期望值的偏差处于规定的合理区间内，至此舵机停止转动，入侵无人机目标位于画面中心附近，干扰装置也已瞄准无人机。

进一步，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置表面涂有一层绿色迷彩涂层。反制拦截装置主体是一个60x60x40cm的金属箱，其内部放有供设备运行的移动电源；在金属箱的上端装有一个直径为25cm金属圆盘，其目的是为承载和固定智能无人机驱离器，金属圆盘通过敦煌电子DHLG-03X型磁编码舵机与金属箱连接，其驱动电机与控制主板置于金属箱内部。作为一种反无人机装置，整套金属箱与金属圆盘上均涂有一层绿色迷彩涂层，具有良好的掩蔽与伪装效果。

在金属箱上面，分别固定有ReSpeaker Mic Array v2.0和MEMS MIC两块不同型号的麦克风阵列，结合ODAS开放嵌入式测试系统和K210嵌入式平台，通过数据线与PC端连接，实现了对入侵无人机声源定位的目的。

同样在金属箱上，固定有220v-5v变压器和8路-24端口继电器，通过连接三色警示灯，以及贴于金属箱边缘的警示灯带，可以达到智能预警播报的目的。

在金属箱上边缘处，装有一个视觉跟踪云台，通过获取到的声源信息传输到PC端，结合KCF跟踪算法，实现对入侵无人机的快速跟踪，并通过socket通信和WiFi通信，将输出位置信息送至云台控制端，达到同步跟踪的目的。

进一步，所述多端协同云共享模块的具体过程为：

采用Socket协议实现树莓派和Python之间的信号传输，并且使用WiFi组网实现对组件的控制和远端、近端和移动端的连接；

所述近端用于近距离检测和观察装置各项数据的变化，对装置本身出现的问题做出反应；所述远端用于通过多终端PC连接通信，对采集到的各类数据进行算法的分析处理，下达指令，将输出信号返回至控制端，进行拦截操作；所述移动端用于查看系统的工作状态，将监控到的画面实时传输至移动端。

本发明的另一目的在于提供一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统包括无人机探测子系统和无人机反制子系统；

所述无人机探测子系统中，计算机根据摄像头送回的实时画面，采用相关算法对入侵无人机进行识别、检测、定位、跟踪，实时计算和跟踪入侵目标的位置信息，并发出警报；

所述无人机反制子系统中，计算机通过无线局域网实时发送最新的目标位置信息至控制端，控制端收到坐标信息后送入相关控制算法进行计算、输出控制量。将控制信息送往舵机的控制端口，舵机根据具体的信号量开始旋转，舵机轴连接有一平台，平台上放置着反制设备与摄像设备，此时无人机反制设备跟随舵机联动，实时跟踪瞄准无人机，当满足瞄准精度要求时反制设备开始发送干扰电磁波，完成对入侵无人机的干扰拦截。

进一步，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统由图像采集单元、计算处理单元、无线通信单元、声学定位单元、树莓派控制单元、舵机驱动单元、干扰拦截单元、智能预警单元组成；

所述图像采集单元用于完成检测画面的实时采集和传输任务；

所述计算处理单元用于计算机对采集到的画面进行计算分析，实现对入侵画面的无人机进行检测、识别和跟踪，无线传输实时的探测结果和目标位置；

所述无线通信单元用作计算机设备和控制器之间的通讯枢纽，负责系统数据间的实时交换；

所述声学定位单元用于通过麦克风阵列采集无人机声源信号，基于TDOA声学定位算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中，同时传输给视觉云台，进行实时同步跟踪；

所述树莓派控制单元用于进行数据传输并发出相应指令，使用PID控制算法，对目标位置进行计算处理，输出舵机转动信号；

所述舵机驱动单元用于接收控制单元输出的PWM信号，驱动舵机旋转相应的角度，进而联动舵机平台上的反制设备，完成入侵目标地对准，为无人机成功拦截提供有效保障；

所述干扰拦截单元用于发射高频电磁波信号，干扰无人机的遥控、GPS、图传等信号发送和接收，从而影响无人机正常飞行，实现入侵无人机反制拦截；

所述智能预警单元用于接收控制单元的信号，在发现无人机入侵后，警报灯发出不同颜色的光，并发出蜂鸣警报和语音播报进行提醒。

本发明的另一目的在于提供一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法，所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法包括无人机探测部分和无人机反制部分；

所述无人机探测部分用于进行无人机运动目标检测、特征提取与分类和目标跟踪与坐标数据发送；

所述无人机反制部分用于接收目标位置数据、生成控制信号、旋转拦截平台以及发送干扰信号。

进一步，所述无人机探测部分的具体过程为：

首先利用摄像头采集监控画面图像，随后使用五帧差分法分割出画面中正在运动的目标，计算灰度变化，若未检测到运动目标，则读取下一帧图像继续检测，若检测到画面中存在运动目标，则自动框定目标，记录运动目标所在画面中的位置信息；

然后，根据位置信息在原图像中提取相应区域的子图像，将图像送入YOLO-v5算法中进行识别，若识别结果判定该目标不是无人机时，则中止后续工作并重新进行下一帧图像的目标提取工作，若识别结果表示该运动目标为无人机目标时，进行基于TDOA声学定位算法的声源定位，对入侵无人机进行位置定位与轨迹跟踪；

所述无人机反制部分的具体过程为：

树莓派控制器为计算、控制的中枢，用于接收无人机坐标、计算舵机驱动信号、控制舵机旋转及控制干扰信号的发射；采用多线程方法将接收坐标、计算控制量、电机转动过程并行运行，控制算法时刻获得最新的坐标值，从而输出合适的驱动信号，树莓派控制器通过Socket通信时刻接收无人机坐标；PID控制模块则是根据最新的坐标信息计算与期望中心存在的偏差，而后根据偏差进行PID控制、输出舵机驱动信号，所述舵机驱动信号为占空比的PWM波；舵机根据PWM波旋转一定角度，舵机平台上的反制设备随之旋转，瞄准无人机，并进行对入侵无人机的干扰拦截。

本发明的另一目的在于提供一种计算机设备，所述计算机设备包括存储器和

处理器，所述存储器存储有计算机程序，所述计算机程序被所述处理器执行时，使得所述处理器执行所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截的方法步骤。

本发明的另一目的在于提供一种计算机可读存储介质，存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时，使得所述处理器执行所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截方法的步骤。

本发明的另一目的在于提供一种信息数据处理终端，所述信息数据处理终端用于实现所述用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统。

结合上述的技术方案和解决的技术问题，本发明所要保护的技术方案所具备的优点及积极效果为：

本发明通过五帧差分法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识别，而后结合YOLO-v5算法，针对入侵无人机的标记精度不高、系统实时性差等问题，实现对入侵无人机进行目标图像检测。当训练样本量达到10000时，识别正确率为99.43%。五帧差分法识别+YOLOv5检测的方案，检测速度达25.32fps，而采用现有的HOG识别+线性SVM检测的处理速度为7.14fps，与现有的检测方法相比较，通过测试发现处理速度提升接近4倍。同时加入了预警单元，当检测到无人机入侵时，分别采用声、光报警两种方式发出警报。

本发明基于双系统麦克风阵列的无人机声源定位系统对入侵目标无人机进行实时的定位，基于TDOA声学定位算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中。同时应用于两个麦克风阵列的子公司中，分别是：由

ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列和ODAS开放嵌入式测试系统组成的子系统一，主要对入侵无人机的声源进行坐标定位与目标轨迹追踪；由MEMS MIC麦克风阵列和K210嵌入式平台组成的子系统二，主要作用是根据检测出的目标无人机声强图，判断其飞行位移姿态属性。将获取到的声源信息传输到PC端，通过连接多台树莓派，将位置信息送至云台控制端，达到同步跟踪的目的。采用子系统一与子系统二相结合的方法，采用两种不同型号的麦克风阵列和两套不同的声源定位跟踪的方案，使系统功能更加全面、完善。与现有的单一的声源定位模型相比较，本系统对目标领空内入侵无人机的声源识别效率和跟踪精度提高了81.95%。

本发明将入侵无人机迫降精度控制在0.5米范围内；有效拦截距离最远可达1500米。拦截舵机平台旋转精度最小可精确到0.1度。该拦截装置可实现对入侵无人机定位、遥控、图传信号进行电磁波干扰。其中GPS频率干扰无人机导航定位信号，频率范围为1560-1580MHz；2.4G和5.8G频率主要干扰无人机遥控和图传信号，其干扰频率范围分别为：2400-2500MHz和5700-5800MHz。

本发明基于KCF跟踪算法和PID控制算法，实现对入侵无人机进行跟踪拦截。先使用KCF跟踪算法实现对入侵无人机的快速跟踪并通过socket通信输出位置信息至控制器，舵机根据接收到的坐标信息，计算其与期望中心存在的偏差值，而后根据偏差进行PID控制，输出驱动信号，控制舵机旋转一定角度。随着控制舵机旋转，其平台上的反制设备将会同步旋转，瞄准无人机，进行反制拦截干扰。采用跟随式干扰法，只干扰无人机通信信号，能量集中并且功率小，对其他设备干扰小。

本发明采用近端、远端和移动端多端控制相结合的方式，相比现有拦截装置的单一控制方式，本系统的应用场景广，可以满足不同场景、不同时间的布设要求，适用于城市、森林和山区等现实场景的反制拦截需求，并使用WiFi组网，实现多终端数据实时云共享。

本发明采用Socket协议实现树莓派和Python之间的信号传输，并且使用WIFI组网实现对组件的控制和远、近端和移动端的连接。系统使用Socket通信将来自控制单元的入侵无人机快速跟踪信号输出位置信息至舵机，实现对无标无人机的干扰；使用WIFI组网，实现多终端数据实时云共享，数据传输速度快，灵活性高，移动性强，网络规划和调整方便，易于扩展，方便快捷。

本发明的技术方案转化后的预期收益和商业价值为：本发明对于守护公民生命财产、维护公共秩序、保卫国家安全等方面来说都极具重大意义。对于举办大型活动的公共场所而言，本系统可有效维护公共安全秩序，杜绝无人机意外坠毁给群众生命财产安全带来的威胁。对于机场、车站而言，本系统可以及时识别检测定位并拦截入侵的无人机，同时向工作人员发出预警，因此可以降低因不明航空器所导致的航班延误、旅客大面积滞留等事件的发生概率和保障铁路沿线环境的安全。因此，本发明具有巨大的商业价值。

本发明的技术方案填补了国内外业内技术空白：本发明基于双系统麦克风阵列的无人机声源定位系统对入侵目标无人机进行实时的定位，基于TDOA声学定位算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中，同时应用于两个麦克风阵列的子公司中，弥补了目前业内单一的声源定位模型声源识别效率和跟踪精度不高的空白。

本发明的技术方案解决了人们一直渴望解决、但始终未能获得成功的技术难题：本发明通过五帧差分法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识别，而后结合YOLO-v5算法，针对入侵无人机的标记精度不高、系统实时性差等问题，实现对入侵无人机进行目标图像检测，与现有的检测方法相比较，通过测试发现处理速度提升接近4倍。本发明采用近端、远端和移动端多端控制相结合的方式，相比现有拦截装置的单一控制方式，本系统的应用场景广，可以满足不同场景、不同时间的布设要求，适用于城市、森林和山区等现实场景的反制拦截需求，并使用WiFi组网，实现多终端数据实时云共享，破解了传统技术偏见，极大提升了本发明的实用价值。

基于国内的优势资源，集成多学科理论的综合运用，为可靠的无人机拦截系统实施提供一条简单易行的技术途径。

本发明应用场景广，满足不同场景、不同时间的布设要求。

本发明所采用的方法能够实现对入侵无人机进行多维度的声学追踪和反制拦截。

本发明通过五帧差分法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识别，而后结合YOLO-v5算法，对入侵无人机进行目标图像检测识别。

本发明设计了智能预警模块，当检测到无人机入侵时，分别采用声、光报警两种方式发出警报。

本发明设计了双系统麦克风阵列的无人机声学定位系统对目标无人机进行实时的定位，基于TDOA算法，结合ODAS开放嵌入式系统，构建三维空间立体动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中。

本发明通过多树莓派进行数据传输，使用PID控制算法，实现对目标无人机进行追踪拦截，采用跟随式干扰法，能量集中，对其他设备干扰小。

本发明采用近端、远端和移动端相结合的多端控制方式，适用于城市、森林和山区等现实场景的反制拦截需求，使用WiFi组网，实现多终端数据实时云共享。

本发明搭建了一种使用方便、控制灵活、高精度、低成本的多维一体化入侵无人机声学定位追踪和反制拦截设备，拦截效率高，并能够全天候运行。

## 附图说明

图1是本发明实施例提供的系统功能运行模块图；

图2是本发明实施例提供的五帧差分法流程图；

图3是本发明实施例提供的五帧差分法检测图，(a)、原图，(b)、五帧差分法得到结果图；

图4是本发明实施例提供的YOLO-v5网络结构图；

图5是本发明实施例提供的实时检测界面；

图6是本发明实施例提供的目标检测跟踪效果图；

图7是本发明实施例提供的智能预警播报模块；

图8是本发明实施例提供的三维空间声学定位建模图；

图9是本发明实施例提供的训练目标数据集；

图10是本发明实施例提供的双系统声学定位完整系统结构示意图；

图11是本发明实施例提供的声学信号采样波峰图；

图12是本发明实施例提供的声学信号采样散点图；

图13是本发明实施例提供的二维度视觉跟踪微云台示意图；

图14是本发明实施例提供的ODAS开放嵌入式测试系统；

图15是本发明实施例提供的三维动态轨迹追踪球模型示意图；

图16是本发明实施例提供的PID控制舵机系统框图；

图17是本发明实施例提供的舵机装置整体图；

图18是本发明实施例提供的无人机驱离装置整体图；

图19是本发明实施例提供的近端、远端、移动端控制示意图，(a)、近端，(b)、远端，(c)、移动端；

图20是本发明实施例提供的系统硬件装置图；

图21是本发明实施例提供的无人机检测子系统算法流程图；

图22是本发明实施例提供的无人机反制子系统算法流程图。

## 具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

本发明实施例突破常规“反无人机技术”单纯用设备实现拦截的目的，本发明提出一种全方位立体化声学定位与深度拦截入侵无人机方法，提出全方位、立体化深度拦截电子侦测入侵无人机的新方法，从多个维度实现对入侵无人机的识别、定位、跟踪和反制拦截，可有效实现全天候探测识别定位追踪入侵无人机，达到最终驱离或者迫降入侵无人机的目的。从根本上改变了目前使用“反无人机技术”费时费力且效果不理想的状态，该研究思路是本发明的创新之处。

为满足全方位立体式声学定位与深度拦截入侵无人机的需要，提出基于深度学习的远距离、快速移动状态下小目标识别技术，获取入侵无人机信号的机理特征，设计了双系统麦克风阵列的无人机声学定位系统，结合ODAS开放嵌入式系统，构建三维空间立体动态数学模型，搭建双电机多维度灵活定向跟踪伺服控制系统，提高了系统的针对性和运行效率，更符合实际应用的要求，更好地体现出对入侵无人机声学定位与深度反制拦截技术创新性。



针对无人机反制需求，本发明设计了一种入侵无人机声学追踪与反制拦截系统。本系统对目标空域内的入侵无人机进行识别、预警、声学定位、云台跟踪，舵机平台能够对入侵无人机进行实时瞄准、反制和拦截。

首先，计算机通过云台摄像头获取目标空域内的实时图像，对所获图像信息进行分析处理，实现对入侵无人机的识别。采用深度学习算法对入侵无人机进行预识别，先框定运动目标，将其所在位置作为需要进一步处理的子区域，然后对该区域内像素信息进行特征提取。在子区域中，当入侵无人机目标被成功识别后，为了获取无人机的坐标信息，本发明采用机器学习识别跟踪算法对该目标进行实时追踪。

其次，设计了双系统麦克风阵列的无人机声学定位系统对目标无人机进行实时的声学定位，基于TDOA算法，结合ODAS开放嵌入式系统，构建三维空间立体动态数学模型，将入侵无人机航线轨迹直观显示在空间坐标系中，同时传输给视觉云台舵机进行全天候同步跟踪。

接着，加入了智能预警播报模块，当检测到目标空域内有无人机入侵时，本系统设备分别采用声、光报警两种方式发出警报。当系统正常运行时，指示灯为绿灯，若发现入侵无人机后，指示灯变黄色，当启动反制拦截系统后，红灯闪烁，此时蜂鸣器报警，语音播报：“发现入侵无人机，智能反制拦截系统已启动”。

随后，舵机根据接收到的入侵无人机实时坐标信息，计算其与期望中心存在的偏差值，根据偏差进行PID控制，输出驱动信号，控制舵机旋转一定角度。随着控制舵机的旋转，其平台上的反制设备将会同步旋转，瞄准无人机，发射干扰电磁波，进行反制拦截。

最后，本发明采用近端、远端和移动端——多端结合的控制方式，通过WiFi组网，实现多终端数据实时云共享。

通过深度学习算法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识别，而后结合YOLO-v5算法，对入侵无人机进行目标图像检测。本发明采用了的五帧差分法，实现对无人机的实时识别，针对入侵无人机的标记精度不高、系统实时性差等问题，本发明采用YOLO-v5算法，在进行入侵无人机识别前，通过训练生成目标检测数据集，可实现对入侵无人机的运动实时的识别。同时加入了智能预警播报模块，当检测到无人机入侵时，分别采用声、光报警两种方式发出警报。

采用基于TDOA(Time Difference of Arrival)声学定位算法，设计了双系统的麦克风阵列的无人机声学定位系统，分别是：由

ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列和ODAS开放嵌入式测试系统组成的子系统一，主要对入侵无人机的声源进行坐标定位与目标轨迹追踪；由

MEMS MIC麦克风阵列和K210嵌入式平台组成的子系统二，主要作用是根据检测出的目标无人机声强图，判断其飞行位移姿态属性。将获取到的声源信息传输到PC端，通过连接多台树莓派，将位置信息送至云台控制端，达到全天候同步跟踪的目的。

本发明基于KCF跟踪算法和PID控制算法，实现对入侵无人机进行跟踪拦截。先使用KCF跟踪算法实现对入侵无人机的快速跟踪并通过socket通信输出位置信息至控制器，舵机根据接收到的坐标信息，计算其与期望中心存在的偏差值，而后根据偏差进行PID控制，输出驱动信号，控制舵机旋转一定角度。随着控制舵机旋转，其平台上的反制设备将会同步旋转，瞄准无人机，进行反制拦截干扰。采用跟随式干扰法，只干扰入侵无人机通信信号，能量集中并且功率小，对其他设备干扰小。



采用Socket协议实现树莓派和Python之间的信号传输，并且使用WIFI组网实现对组件的控制和远、近端和移动端的连接。专利使用Socket通信将来自控制单元的入侵无人机快速跟踪信号输出位置信息至舵机，实现对无标无人机的干扰；使用WIFI组网，实现多终端数据实时云共享，数据传输速度快，灵活性高，移动性强，易于扩展，方便快捷。

(5) 针对多端控制问题，本发明设计了远端、近端和移动端控制相结合的方案。考虑到作品的使用场景问题，本发明适用于城市、森林和山区等现实场景的反制拦截需求。

(6) 针对当前反无人机设备成本高、体积大的问题，本发明搭建了一种使用方便、控制灵活、低成本、高精度、一体化的入侵无人机声学追踪与反制拦截系统。

本发明通过五帧差分法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识别，而后结合YOLO-v5算法，对入侵无人机进行目标图像检测。当训练样本量达到10000时，识别正确率为99.43%。五帧差分法识别+YOLOv5检测的方案，检测速度达25.32fps，而采用现有的HOG识别+线性SVM检测的处理速度为7.14fps，与现有的检测方法相比较，通过测试发现处理速度提升接近4倍。

本发明设计了双系统麦克风阵列的无人机声学定位系统对入侵目标无人机进行实时的定位，基于TDOA算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维空间立体动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中。采用子系统一与子系统二相结合的方法，采用两种不同型号的麦克风阵列和两套不同的声学定位跟踪的方案，使系统功能更加全面、完善。与现有的单一的声源定位模型相比较，本发明对目标领空内入侵无人机的声源识别效率和跟踪精度提高了81.95%。

本发明将入侵无人机迫降精度控制在0.5米范围内；有效拦截距离最远可达1500米。拦截舵机平台旋转精度最小可精确到0.1度。该拦截装置可实现对入侵无人机定位、遥控、图传信号进行电磁波干扰。其中GPS频率干扰无人机导航定位信号，频率范围为1560-1580MHz；2.4G和5.8G频率主要干扰无人机遥控和图传信号，其干扰频率范围分别为：2400-2500MHz和5700-5800MHz。

本发明通过多树莓派进行数据传输，使用PID控制算法，实现对目标无人机进行跟踪拦截，采用跟随式干扰法，与现有的干扰方法相比较，能量更集中，对其他设备干扰小。

采用近端、远端和移动端相结合的方式，相比现有拦截装置的单一控制方式，本发明的应用场景广，可以满足不同场景、不同时间的布设要求，适用于城市、森林和山区等现实场景的反制拦截需求，并使用WiFi组网，实现多终端数据实时云共享。

本发明是针对目前入侵无人机大量使用导致的危险情况而提出的专门用于保护区域及人身安全而设计的入侵无人机反制拦截系统，具有很强的针对性。

本发明紧密结合国家经济建设以及地方经济发展对无人机开发、利用的战略需求而提出，所提出的无人机拦截新思路是基于民用无人机拦截市场空白及军用无人机拦截系统代价极高而提出的一种低成本的无人机拦截方法，满足国民经济建设和国防建设的需要。

为了使本领域技术人员充分了解本发明如何具体实现，该部分是对权利要求技术方案进行展开说明的解释说明实施例。

如图1所示，本发明实施例提供了一种用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截装置，包括：

识别与检测模块，通过五帧差分法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识

别，而后结合YOLO-v5运动目标检测算法，对入侵无人机进行目标图像检测；

智能预警播报模块，当检测到无人机入侵时，分别采用声、光报警两种方式发出警报；

声学定位模块，包括基于麦克风阵列的声学定位双系统，采用基于TDOA声学定位算法得到定位结果；

视觉跟踪云台模块，用于将获取到的声源信息传输到PC端，结合KCF跟踪算法，并通过socket通信和WiFi通信，将输出位置信息发送至二维度微云台控制端，达到对目标领空内入侵无人机同步跟踪的目的；

舵机旋转控制模块，包括控制单元和驱动单元，使用树莓派四代利用控制单元对目标位置的计算，然后将计算结果输出到驱动单元，转化为舵机旋转信号，实现系统的旋转搜索，并基于PID进行舵机云台跟踪；

反制拦截干扰模块，通过发射高频电磁波信号，干扰无人机的遥控、GPS、图传等信号发送和接收，从而影响入侵无人机正常飞行，实现对入侵无人机的有效拦截；

多端协同云共享模块，采用近端、远端和移动端控制相结合的方式，通过WiFi组网，实现多终端数据实时云共享。

本发明搭建了一种使用方便、控制灵活、高精度、低成本的入侵无人机声学追踪与反制拦截系统设备，拦截效率高，并能够全天候运行。

进一步，所述识别与检测模块通过五帧差分法，进行对目标领空内入侵移动物体的预识别，而后结合YOLO-v5的运动目标检测算法，对入侵无人机进行目标图像检测。本系统采用了五帧差分法，实现对无人机的实时识别，针对入侵无人机的标记精度不高、系统实时性差等问题，本系统采用YOLO-v5运动目标检测算法，在进行入侵无人机识别前，通过训练生成目标检测数据集，可实现对入侵无人机的运动实时的检测。包括如下部分：

#### 1、基于五帧差分法的目标识别

五帧差分法是对所截获到目标空域内入侵无人机的连续两帧图像序列采用基于像素的时间差分通过闭值化来提取图像中的运动区域。首先将连续两帧入侵无人机图像对应像素相减得到差分后的图像，接着进行二值化处理，在空域背景亮度变化很小的情况下，如果对应像素值变化小于已确定的既定阈值时，可以认为此处为目标空域的背景像素；如果所截获入侵无人机图像区域的目标像素值变化很大，已经超过一定阈值时，可以认为是由于目标领空图像中有移动物体所引起的，将这些图像区域标记为前景像素，利用标记的像素区域可以确定目标空域内入侵无人机的实时具体位置。

本发明采用五帧差分法，该帧差法是在三帧差分的基础上改进，使用三帧差分法进行无人机视频检测时，会出现一些“空洞”现象和背景噪声，使用五帧差分法对无人机进行检测，一定程度上可以提高对无人机识别的准确率。

如图2所示，五帧差分法识别的基本流程图中，连续的五帧无人机图像 $f_{t-2}(x, y)$ ， $f_{t-1}(x, y)$ ， $f_t(x, y)$ ， $f_{t+1}(x, y)$ ， $f_{t+2}(x, y)$ ，其中， $f_t(x, y)$ 为中间帧，首先将五帧无人机图像进行灰度化处理；然后采用中值滤波的方法对无人机灰度化图像进行去噪，无人机视频在传输的过程中因各种因素的影响，会含有大量 $I_{t+1}(x, y)$ 的噪声，使用中值滤波法去除无人机灰度化图像中所包含的噪声，可以提高无人机的准确率和召回率。

去噪后的无人机图像为 $I_{t-2}(x, y)$ ,  $I_{t-1}(x, y)$ ,  $I_t(x, y)$ , 和 $I_{t+2}(x, y)$ ,  $I_t(x, y)$ 为中间帧；接着进行差分操作，其差分公式如下公式1所示：

其中， $D_1(x, y)$ 为第一帧 $I_{t-2}(x, y)$ 和中间帧 $I_t(x, y)$ 的差分结果， $D_2(x, y)$ 为第二帧 $I_{t-1}(x, y)$ 和中间帧 $I_t(x, y)$ 差分结果， $D_3(x, y)$ 为第四帧 $I_{t+1}(x, y)$ 和中间帧 $I_t(x, y)$ 的差分结果， $D_4(x, y)$ 为第五帧 $I_{t+2}(x, y)$ 和中间帧 $I_t(x, y)$ 的差分结果。

把四张差分结果图做自适应二值化处理，如公式2所示：

阈值的选择对二值化无人机灰度图很重要，如果阈值选择得比较得比较高，检测出的无人机会出现严重碎化现象；如果阈值选择比较低，检测后的无人机图像含有大量的噪声。将五帧差分法中的固定阈值改为自适应阈值，可以按照无人机灰度图像的灰度特性，算出比较合适的阈值，把图像分成背景和入侵无人机。在自然环境下采集入侵无人机视频，用五帧差分法检测结果如图3所示。

## 2、基于YOLO-v5算法的目标检测

本发明采用YOLO-v5算法对入侵无人机的运动进行检测和跟踪。YOLO-v5的网络主要由三个部分组成，分别是CSPDarkNet网络结构、FPN网络结构和YOLO-v5 Head网络结构。

CSPDarkNet网络结构是YOLO-v5的主干特征提取网络，其输出为三个有效特征层。FPN网络结构是YOLO-v5的加强特征提取网络，其作用是将CSPDarkNet输出的三个不同尺度的有效特征层进行融合。YOLO-v5 Head网络结构是YOLO-v5的分类器和回归器，YOLO-v5Head通过FPN输出的三个特征图来判断特征点是否有物体与其对应，传统的YOLO Head是分类和回归在一个卷积里实现的，YOLO-v5 Head则将分类和回归分开实现，最后再整合在一起。如图4所示为YOLO-v5网络结构图。

YOLO-v5算法采用了无锚框机制来减少设计参数的数量，具体实现方式为：将每个位置的预测从3个减少到1个，并使他们直接预测4个值(即网格左上角的两个偏移量、预测框的高度和宽度)。同时指定了中心，每个物体的阳离子作为正样本，并预先定义一个刻度方位以指定每个物体的FPN级别，可以降低探测器的参数和GFLOPs，使其速度更快，性能更好。

基于多个正样本结构的YOLO-v5算法，参照FCOS中的‘中心取样’，只为每个对象的平均值选择了一个正样本(中心位置)，忽略其他高质量的预测。该方式优点是有利于梯度回归与缓解训练中的正负样本不均衡情况。

在本发明中，首先基于YOLO-v5的检测原理进行一个无人机数据集的制作，采用的无人机数据集格式通常为VOC格式，利用YOLO-v5目标检测模型对已经制作成功的无人机数据集进行训练。经过对多组无人机数据集的训练，同时对不同场景下数据集的训练可知，数据集训练所用的样本越多，识别正确率越高，当训练样本量达到100000时，识别正确率为99.43%。在训练结果中选择检测精度与准确度最优的训练模型，如图5所示为YOLO-v5训练目标检测数据集。

在本识别与检测系统中的网络输入端，基于改进的YOLO-v5算法主要采用了Mosaic、Mixup两种数据增强方法，通过采用这两种数据增强的方法，直接将传统的YOLO v3baseline性能提升了2.4个百分点，对目标领空内入侵无人机的检测效率与识别精度有大幅提升。

将选择好的训练模型按照单张图片一视频一摄像头的顺序进行测试，并将五

帧差分法+YOLO-v5检测识别算法与传统的HOG+线性SVM检测识别算法做对比，通过对同样的视频进行处理分析，计算比较两方案检测入侵无人机目标期间的平均处理速度，结果如表1对比结果所示。

实验结果表明，利用五帧差分法+YOLO-v5检测识别算法的性能优于传统的HOG+线性SVM检测识别算法的性能，处理速度提升接近4倍，达到25.32fps，满足本系统实时性的要求。

在用于入侵无人机的声学追踪与反制拦截系统中，使用五帧差分法与YOLO-v5算法互补的原则来实现对入侵无人机高精度、高识别率、高准确率的检测与识别。如图6、图7所示，通过高清USB摄像头，检测到目标领空内出现入侵无人机后，实时传输到PC端显示界面。

本发明设计了智能预警播报模块，当检测到无人机入侵时，分别采用声、光报警两种方式发出警报。预警播报模块包括预警灯、预警灯带、蜂鸣器和语音播报，通过树莓派与整个系统进行连接。其中一个树莓派控制预警灯和蜂鸣器，另一个树莓派控制预警灯带和语音播报装置。

如图8所示，智能预警播报模块具体包括：

#### (1) 预警灯

预警灯有三种颜色，分别为绿灯、黄灯和红灯，通过树莓派去控制三种灯的亮灭。由于要分别控制着三种灯，从而加入继电器。设计引入8路24引脚继电器，用8路继电器中的某三个继电器来分别控制着三种灯，结合树莓派，可以有效控制三种灯的亮灭以及时间长短。通过变压器，将220V电压变换为5V电压，给预警灯进行供电。在树莓派上进行编程，对预警灯的三种颜色分别进行控制，控制亮灭和响应时间。

当前系统处于巡检待机状态时，绿灯长亮，表示检测区域没有发现入侵无人机。当黄灯闪烁时，表示检测区域发现入侵无人机，预警检测人员注意，准备发射拦截信号进行反制拦截无人机。当红灯亮起，表示已发射拦截信号，入侵无人机已经被成功反制。使用8路24引脚继电器，采用贴片光耦隔离，驱动能力强性能稳定。

#### (2) 预警灯带

预警灯带有三种颜色，分别为绿、黄和红灯，通过树莓派与整体系统连接。同时，用树莓派控制三种灯带随三色灯预警灯同步变化。

当绿色灯带闪烁的时候，表示整个系统处于待机的状态，检测曲线没有发现无人机。当黄色灯带闪烁的时候，表示检测区域发现入侵无人机。

#### (3) 预警蜂鸣器

预警蜂鸣器和预警灯通过一个树莓派控制。通过树莓派控制继电器从而控制蜂鸣器工作，同时通过多个树莓派控制与整个系统连接。蜂鸣器工作并不是一直工作，而是断断续续响。使用8路24引脚继电器，当继电器的指示灯亮红灯时，说明继电器已经接通，随之蜂鸣器工作。当蜂鸣器响时表示，系统已经发射拦截无人机信号，入侵无人机已被成功拦截。

#### (4) 语音播报

语音播报和预警灯带通过同一个树莓派控制，同时，与整个智能拦截系统连接。当目标检测领空区域内发现入侵无人机时，反制拦截系统启动，红灯快闪，红灯带闪烁，蜂鸣器报警，扬声器播报：“发现入侵无人机，智能反制拦截系统已启动”。

当系统处于巡检待机状态，实时检测目标领空是否有入侵无人机时，绿灯长亮，绿灯带长亮。当系统发现入侵无人机飞入目标领空内时，黄灯闪烁，黄

灯带闪烁。当启动反制拦截系统后，红灯快闪，红灯带快闪，蜂鸣器报警，扬声器播报：“发现入侵无人机，智能反制拦截系统已启动”。无人机反制设备随舵机平台联动，以实现实时跟踪瞄准无人机，并对无人机发射干扰信号，实现对入侵无人机的反制拦截。

进一步，所述声学定位模块包括：

#### 1、基于TDOA(Time Difference of Arrival)声学定位算法

本发明基于到达时间差(Time Difference of Arrival, TDOA)的声学定位算法，充分利用冗余TDOA信息，并针对牛顿迭代解初值估计问题，构造多维数较小的线性方程组，避免了原始模型中非线性和稀疏性的问题；然后利用聚类算法剔除线性方程求解过程中的异常点，并将初值估计值代入迭代解得到定位结果。为了处理方便、减小计算量、提高精确度和加强代表性，本系统将声源信号表示为如图9所示的简化模型，中心位置为传感器采集装置，四周为入侵无人机声源的位置分布。

本发明先分别在空间坐标中放置三个声源信号源进行采样(方位角： $30^{\circ}$ 、 $50^{\circ}$ 、 $70^{\circ}$ ；俯仰角： $20^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ )，信噪比均设定为10dB，MATLAB仿真实验结果图如图10所示。通过仿真模拟，可以根据基于TDOA(Time Difference of Arrival)声学定位算法的谱峰搜索原理，来寻找出三维空间坐标中3个“波峰”的位置，以及谱峰分别所对应的方位角和俯仰角的信息。如图11所示，可以明显地检测出来3个声源的位置信息，分别对应DOA角度约为：方位角( $30^{\circ}$ 、 $50^{\circ}$ 、 $70^{\circ}$ )；俯仰角( $20^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ )，与实际声源信号位置完全相符。

#### 2、基于麦克风阵列的声学定位双系统结构

基于麦克风阵列的无人机声学定位双系统主要由两个子系统构成，子系统一是由ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列和ODAS开放嵌入式测试系统组成，主要对入侵无人机的声源进行坐标定位与目标轨迹追踪；子系统二是由MEMS MIC麦克风阵列和K210嵌入式平台组成，主要作用是根据检测出的目标无人机声强图，判断其飞行位移姿态属性。

##### (1) 子系统一

ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列基于XMOS的XVF-3000智能麦克风开发的。该板集成了4个PDM麦克风，集成了先进的DSP算法，包括声学回声消除(AEC)、波束成形(BeamForming)、去混响、噪声抑制和增益控制等。

ODAS是一个声学定位系统，用于在麦克风阵列上识别、分离不同的声源并加以追踪。该模型的理论实现主要分为两个部分：SSL和SST，前者用于分离不同的声源，后者对声源进行追踪和过滤。

ODAS分为两个模块：ODAS核心系统(odas live)和ODAS图形演示系统(odas web)。这两个系统通过TCP通信，即它们之间可以远程工作。树莓派上运行的ODAS图形演示系统比较吃CPU资源，因此本系统把odas web放到了windows上安装运行，将odas live核心系统安装到树莓派上的Linux系统上运行，然后通过WiFi局域网让树莓派把数据发到windows上的odas web图形演示界面端，对目标声源进行实时定位与轨迹追踪。

将ReSpeaker Mic Array v2.0麦克风阵列采集到的入侵无人机实时声源信息，传输到在树莓派上运行的odas live系统上，结合odas web开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将入侵无人机的声源信息直观显示在空间坐标系中，进行位置定位与目标轨迹追踪。如图12、13所示，三维立体空间中，移动的绿色大球代表着入侵无人机声源的实时位置与飞行轨迹，其余蓝色小球表示为无人机多旋翼旋转带来的噪声源干扰；两个曲线图

代表着入侵无人机的声源在X、Y轴水平面方向上的方位角和Z轴方向上的俯仰角。

## (2) 子系统二

MEMS MIC麦克风阵列由7个数字麦克风组成，其中6个分布在四周不同方向，1个在模块正中央，便于识别各个方向声源。另外12个LED指示灯，方便指示声源位置。通过python编程可实现将检测到的声源信息，实时显示在LCD屏幕中，根据声源的声强图，可判断该入侵无人机飞行位移与姿态属性。

本发明通过将子系统一与子系统二相结合的方法，如图14所示，采用两种不同型号的双系统麦克风阵列和两套不同的声源定位跟踪的方案，使系统功能更加全面、完善，与传统单一的声源定位模型相比较，本系统对目标领空内入侵无人机的声源识别效率和跟踪精度提高了81.95%，为接下来的反制拦截做好准备。

如图15所示，所述视觉跟踪云台模块采用的二维度微云台是可以实现360度检测的图像设备，传统的摄像头只能实现水平或竖直方向的转动，在对运动物体检测时容易产生监控死角，留有安全隐患和漏洞。本发明则使用了二维度的云台摄像头，转动速度快，满足快速捕捉无人机的应用场合；转动角度广，满足全方位监控的应用要求。同时，相比于传统的摄像头，云台平衡性和稳定性优越，在实际应用中能够更加快速、稳定、准确的捕捉快速飞行的入侵无人机的航线轨迹。

进一步，所述舵机旋转控制模块包括：

### 1、树莓派控制装置

舵机旋转控制装置主要由控制单元和驱动单元组成，本系统使用到两块Raspberry Pi 4B，即树莓派四代，实现对目标位置的计算；然后将计算结果输出到电机驱动单元，转化为舵机旋转信号，实现系统的旋转搜索。

树莓派使用控制算法对目标位置进行处理，计算目标无人机与期望中心存在的偏差值，而后根据偏差进行PID控制，输出驱动信号，使控制舵机旋转一定角度。接收控制单元输出的PWM信号，驱动舵机旋转相应的角度，进而联动舵机平台上的反制设备，完成入侵目标地对准，为无人机成功拦截提供有效保障。

### 2、基于PID舵机跟踪装置

为了使干扰设备瞄准无人机、发射干扰信号，设计了基于PID的舵机云台跟踪算法。干扰设备能否对准无人机是能否成功拦截无人机的决定性因素，因此将YOLO-v5算法输出的无人机实时坐标与画面中心的距离作为偏差信号，利用此偏差信号进行PID控制，实现舵机旋转，以使无人机目标位于画面中央附近，从而实现反制设备对无人机目标的瞄准。在瞄准精度处于一个合理的范围后，便发射电磁波干扰信号实现无人机的反制，PID控制舵机系统如图16所示。

首先，控制系统从声源定位跟踪模块获取无人机目标实时的横坐标值，设定期望坐标值为图像中心横坐标，即图像宽度的一半。其次，根据获取到的坐标值与期望值可得到偏差距离，PID控制器将根据送入的偏差信息计算输出占空比。最后，将占空比输入至电机的控制单元，使得电机旋转至对应的角度。在入侵无人机偏离画面中心的过程中，始终执行上述控制程序，直至无人机当前坐标值与期望值的偏差处于规定的合理区间内。至此舵机停止转动，入侵无人机目标位于画面中心附近，干扰装置也已瞄准无人机。

本发明作为一种反无人机拦截装置，表面涂有一层绿色迷彩涂层，具有良好的伪装和隐藏效果，舵机装置整体图如图17所示。

进一步，所述反制拦截干扰模块的具体过程为：

GPS的干扰拦截分为压制式和欺骗式两大类。压制式干扰发射与GPS卫星同频率的大功率信号，使无人机GPS接收机模块饱和。本系统中干扰装置采用博创时刻BCSK-ST001型反无人设备。

欺骗式干扰发射与GPS信号相类似的干扰信号，误导GPS接收机偏离准确的导航，欺骗式干扰主要分为转发式欺骗干扰和生成式欺骗干扰。转发式欺骗干扰利用信号的延迟对GPS进行干扰，技术难度低。生成式欺骗干扰是由干扰机产生能够被GPS接收设备识别的欺骗信号，产生GPS码型和当时的卫星电文数据，对于C/A码和半公开的P码，生成式欺骗干扰是可行的。本系统的干扰装置主要是通过发射高频电磁波信号，干扰无人机的遥控、GPS、图传等信号发送和接收，从而影响入侵无人机正常飞行，实现对入侵无人机的有效拦截，驱离装置如图18所示。

进一步，所述多端协同云共享模块具体过程为：

考虑到现实环境中城市、森林和山区等不同的应用场景和不同的用户群体的需求，本系统使用了近端、远端和移动端控制相结合的方式，如图19所示，通过WiFi组网，实现多终端数据实时云共享。现代的移动终端已经拥有极为强大的处理能力、内存、固化存储介质以及像电脑一样的操作系统。整体是一个完整的超小型计算机系统。可以完成复杂的处理任务。移动终端也拥有非常丰富的通信方式，即可以通过无线局域网进行便携式移动端实时监控。

本发明采用Socket协议实现树莓派和Python之间的信号传输，并且使用WIFI组网实现对组件的控制和远、近端和移动端的连接，数据传输速度快，灵活性高，移动性强，网络规划和调整方便，易于扩展，方便快捷。

本发明采用近端、远端和移动端检测相结合的方式，使得通信更加快捷，数据传输量大，且实时性高。近端可实时近距离检测和观察系统各项数据的变化，便于对系统本身出现的问题做出反应；远端控制则可以通过多终端PC连接通信，对采集到的各类数据进行算法的分析处理，下达指令，将输出信号返回至控制端，进行拦截操作；移动端可以随时查看系统的工作状态，并且系统还会将监控到的画面实时传输至移动端，无需用户人工监视，提高管理效率，减少资源的浪费，满足系统针对入侵无人机多维一体化的识别、检测、定位、跟踪与拦截的要求，同时为突发事件应急处理方面增添了新手段。

为了证明本发明的技术方案的创造性和技术价值，该部分是对权利要求技术方案进行具体产品上或相关技术上的应用实施例。

本发明实施例还提供了一种无人机拦截系统，主要包含无人机探测子系统和无人机反制子系统。在无人机探测子系统中，计算机根据摄像头送回的实时画面，采用相关算法对入侵无人机进行识别、检测、定位、跟踪，实时计算和跟踪入侵目标的位置信息，并发出警报。而后，在无人机反制子系统中，计算机通过无线局域网实时发送最新的目标位置信息至控制端，控制端收到坐标信息后送入相关控制算法进行计算、输出控制量。将控制信息送往舵机的控制端口，舵机根据具体的信号量开始旋转，舵机轴连接有一平台，平台上放置着反制设备与摄像设备，此时无人机反制设备跟随舵机联动，实时跟踪瞄准无人机，当满足瞄准精度要求时反制设备开始发送干扰电磁波，完成对入侵无人机的干扰拦截。

如图20为入侵无人机自动拦截系统硬件装置图。入侵无人机拦截系统由图像采集单元、计算处理单元、无线通信单元、控制单元、舵机驱动单元、干扰单元、预警单元等组成。



(1) 图像采集单元：完成检测画面的实时采集和传输任务。

(2) 计算处理单元：计算机对采集到的画面进行计算分析，实现对入侵画面的无人机进行检测、识别和跟踪，无线传输实时的探测结果和目标位置。

(3) 无线通信单元：是计算机设备和控制器之间的通讯枢纽，负责系统数据间的实时交换。

(4) 声学定位单元：通过麦克风阵列采集无人机声源信号，基于TDOA声学定位算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中，同时传输给视觉云台，进行实时同步跟踪。

(5) 树莓派控制单元：多树莓派进行数据传输并发出相应指令，使用PID控制算法，对目标位置进行计算处理，输出舵机转动信号。

(6) 舵机驱动单元：接收控制单元输出的PWM信号，驱动舵机旋转相应的角度，进而联动舵机平台上的反制设备，完成入侵目标地对准，为无人机成功拦截提供有效保障。

(7) 干扰拦截单元：发射高频电磁波信号，干扰无人机的遥控、GPS、图传等信号发送和接收，从而影响无人机正常飞行，实现入侵无人机反制拦截。

(8) 智能预警单元：接受控制单元的信号，在发现无人机入侵后，警报灯发出不同颜色的光，并发出蜂鸣警报和语音播报，以提醒监控人员。

本发明实施例还提供了一种入侵无人机自动拦截系统的算法，分成无人机探测和无人机反制两大部分。无人机检测部分主要实现无人机运动目标检测、特征提取与分类和目标跟踪与坐标数据发送。入侵无人机反制部分主要实现接收目标位置数据、生成控制信号、旋转拦截平台以及发送干扰信号。

如图21是无人机检测子系统的算法流程图。首先利用摄像头采集监控画面图像，随后使用五帧差分法分割出画面中正在运动的目标，计算灰度变化。若未检测到运动目标，则读取下一帧图像继续检测。若检测到画面中存在运动目标，则自动框定目标，记录运动目标所在画面中的位置信息。然后，根据位置信息在原图像中提取相应区域的子图像，将图像送入YOLO-v5算法中进行识别，若识别结果判定该目标不是无人机时，则中止后续工作并重新进行下一帧图像的目标提取工作。若识别结果表示该运动目标为无人机目标时，进行基于TDOA声学定位算法的声源定位，对入侵无人机进行位置定位与轨迹跟踪。

如图22所示入侵无人机反制子系统算法流程图。在无人机反制子系统中，树莓派控制器为计算、控制的中枢，完成无人机坐标接收、舵机驱动信号计算、控制舵机旋转及控制干扰信号的发射等任务。在这里，值得注意的是一个问题是在舵机单元在收到树莓派输出的PWM驱动信号后会进行旋转，由于旋转到特定的角度需要一定的时间，如果依次进行接收坐标、计算控制量、电机转动过程，将会和无人机检测子系统计算过程存在延时，即反制子系统滞后于检测子系统，无法实现反制设备的实时瞄准。因此，考虑采用多线程方法解决上述问题。将上述三个过程独立、程序并行运行，保证控制算法时刻获得最新的坐标值，从而输出合适的驱动信号，舵机也就更加及时瞄准、跟随对象。无人机接收模块，主要通过Socket通信时刻接收无人机坐标，时刻保持坐标信息的更新。PID控制模块则是根据最新的坐标信息计算与期望中心存在的偏差，而后根据偏差进行PID控制、输出舵机驱动信号，即一定程度占空比的PWM波。舵机旋转则根据最新的PWM波旋转一定角度，其平台上的反制设备随之旋转，瞄准无人机，并进行对入侵无人机的干扰拦截。

本发明实施例在研发或者使用过程中取得了一些积极效果，和现有技术相比



的确具备很大的优势，下面内容结合实验过程的数据、图表等进行描述。

根据以上系统硬件选型设计和算法设计，搭建出了一种针对目标空域内入侵无人机声学追踪与反制拦截系统平台。

本发明中，计算机通过云台摄像头获取探测场景的实时图像，对所获图像信息进行分析处理，从而实现对入侵的多旋翼无人机进行检测、识别及跟踪。无人机的检测是采用五帧差分法，框定运动目标，将其所在位置作为需要进一步处理的子区域，然后对该区域像素信息进行特征提取并采用机器学习算法识别。在子区域中，如果多旋翼无人机目标被成功检测识别，为了获取无人机的坐标信息，后续将通过YOLO-v5跟踪算法对该目标进行跟踪实时跟踪。基于麦克风阵列的无人机声源定位系统对目标无人机进行实时的定位，基于TDOA声学定位算法，结合ODAS开放嵌入式测试系统，构建三维立体的动态数学模型，将飞行器航线轨迹直观显示在空间坐标系中，同时传输给视觉云台舵机进行实时同步跟踪。而后，计算机通过无线局域网实时发送最新的目标位置信息至控制端，控制器收到坐标信息后送入相关控制算法进行计算、输出控制量。将控制信息送往舵机的控制端口，舵机根据具体的信号量开始旋转，舵机轴连接有一平台，平台上放置着反制设备和警报灯。系统正常运行时，指示灯为绿灯，并常亮，若发现入侵的无人机，那么指示灯变黄色，5秒后转为红色，此时蜂鸣器响，语音播报：“发现入侵无人机，智能反制拦截系统已启动”。无人机反制设备随舵机平台联动，以实现实时跟踪瞄准无人机，并对无人机发射干扰信号，实现对入侵目标无人机的干扰拦截。本系统还通过搭建局域网，实现了近端、远端和移动端三端控制，具有方便性和灵活性，满足不同条件、不同需求下的应用场景。

本发明平台搭建完成后，对整个系统运行效果进行多次验证，经过不断调试后，实验结果取得初步成功。结果表明，系统能够对入侵无人机目标进行快速检测与识别，对其进行实时声学定位跟踪，并采取有效反制拦截。

在本发明中，首先基于YOLO-v5的检测原理进行一个无人机数据集的制作，采用的无人机数据集格式通常为VOC格式，利用YOLO-v5目标检测模型对已经制作成功的无人机数据集进行训练。经过对多组无人机数据集的训练，同时对不同场景下数据集的训练可知，数据集训练所用的样本越多，识别正确率越高，当训练样本量达到10000时，识别正确率为99.43%。在训练结果中选择检测精度与准确度最优的训练模型，如图9所示为YOLO-v5训练目标检测数据集。

在本识别与检测系统中的网络输入端，基于改进的YOLO-v5算法主要采用了Mosaic、Mixup两种数据增强方法，通过采用这两种数据增强的方法，直接将传统的YOLO v3baseline性能提升了2.4个百分点，对目标领空内入侵无人机的检测效率与识别精度有大幅提升。

将选择好的训练模型按照单张图片—视频—摄像头的顺序进行测试，并将五帧差分法+YOLO-v5检测识别算法与传统的HOG+线性SVM检测识别算法做对比，通过对同样的视频进行处理分析，计算比较两方案检测入侵无人机目标期间的平均处理速度，结果如表1对比结果所示。

表1多系统组网技术路线图

实验结果表明，利用五帧差分法+YOLO-v5检测识别算法的性能优于传统的HOG+线性SVM检测识别算法的性能，处理速度提升接近4倍，达到25.32fps，满足本系统实时性的要求。

应当注意，本发明的实施方式可以通过硬件、软件或者软件和硬件的结合来实现。硬件部分可以利用专用逻辑来实现；软件部分可以存储在存储器中，

由适当的指令执行系统，例如微处理器或者专用设计硬件来执行。本领域的普通技术人员可以理解上述的设备和方法可以使用计算机可执行指令和/或包含在处理器控制代码中来实现，例如在诸如磁盘、CD或DVD-ROM的载体介质、诸如只读存储器(固件)的可编程的存储器或者诸如光学或电子信号载体的数据载体上提供了这样的代码。本发明的设备及其模块可以由诸如超大规模集成电路或门阵列、诸如逻辑芯片、晶体管等的半导体，或者诸如现场可编程门阵列、可编程逻辑设备等的可编程硬件设备的硬件电路实现，也可以用由各种类型的处理器执行的软件实现，也可以由上述硬件电路和软件的结合例如固件来实现。

以上所述，仅为本发明的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，凡在本发明的精神和原则之内所做的做的任何修改、等同替换和改进等，都应涵盖在本发明的保护范围之内。