
变电站自追踪式驱鸟机器人 开发技术方案

编写： 杜军

校对： _____

审核： _____

2019 年 1 月

序号	版本	编写/修订说明	修订人	修订日期	备注
1	V1.0	编写创建	杜军	201811	
2	V1.1	增加章节 4，完善了部分详细设计	杜军	201901	

1 项目背景与目标

1.1 项目背景介绍

近年来，随着输电线路、变电站的建设以及生态环境的改善，特别是变电站面积较大、建设区域一般规划在人烟稀薄地区，无人干扰，周边环境缺少植被覆盖，因此，变电站的输变电设备和杆塔构架等就成为了鸟类筑巢和栖息、活动的天然理想场所，鸟害导致的电网事故呈上升趋势，不仅使电网的安全运行受到严重威胁，也使运行维护部门在人力、物力上蒙受较大的损失。因此，对变电站鸟害导致的故障进行分析，并制定对应的防治措施，对变电站以及输电线路的安全保障具有重要作用

传统方式对鸟害从发现到处理闭环过程存在很大的提升空间。以往仅以“治、拆”为主，设备运行人员发现鸟害无差异区别的上报，处理鸟害无针对性，治理过程稍显被动。鸟类具有良好记忆能力，往往拆除鸟巢重建，起不到治理鸟害的预期效果。驱鸟方法不能持续长久。是现在市场上现行的驱鸟器效果不佳的关键原因。例如防鸟刺、防鸟风车等装置它们的防护距离有限，不能主动探测鸟类，被动式盲目性防鸟，短期内能实现驱鸟的作用。并且不能主动探测鸟类，驱鸟方式单一，短时间内能取得一定的驱鸟效果，但是时间一长，被鸟类适应，反而会成为鸟类的栖息场所，甚至鸟类会在那里筑巢。

根据变电站所需达到的安全要求，针对上述研究现状分析，目前实现局域范围驱鸟技术的方法主要问题有：

- （1）保护区域有限，未能考虑鸟的自身适应性，只能针对特定范围进行防范保护；
- （2）针对性不强，未能得到有效的反馈信号，实现多方位驱鸟；
- （3）智能型欠缺，无法判别鸟的运动轨迹，实现跟踪驱鸟。

而目前实现全局范围驱鸟技术的方法主要问题有：

- （1）采用声音驱鸟的方式造成噪声污染，无法适用于变电站工作场所；
- （2）智能综合式驱鸟方式则表现出机动性不够，若在大型变电站则安装成本较大。

综上所述，本项目要求研发一套变电站自追踪式驱鸟巡检机器人，通过机器人巡检方式实现变电站的全局范围的鸟患排除。

1.2 产品概述及目标

针对变电站的全局巡检要求，设计机器人需达到自主导航系统，实现建立地图、路径规划、自主避障和高精度定位等功能，实现监控区域的全局覆盖；建立变电站鸟类活动智能化探测识别技术，开发基于图像分析、声音、雷达探测等多种鸟类活动识别技术；建立鸟类特征信息数据库对鸟类活动进行分析；利用激光驱鸟、定向超声波驱鸟等驱鸟措施实现对鸟类的驱离；自追踪式驱鸟巡检机器人通过自主巡检、任务巡检的方式对变电站内的鸟类进行主动探测和驱赶，达到最佳驱鸟效果，有效解决鸟害对电网运行的影响。

2 系统总体目标

2.1 系统目标

- (1) 研发出应用于变电站自追踪式驱鸟巡检机器人一套，通过国家认可检测机构的认证；
- (2) 提交“变电站自追踪式驱鸟巡检机器人的研究与应用”技术报告和工作报告各 1 份；
- (3) 受理发明专利 2 项，实用新型专利 2 项；
- (4) 发表核心期刊论文 3 篇。

2.2 主要技术指标要求

- (1) 研发出应用于变电站自追踪式驱鸟巡检机器人一套，通过国家认可检测机构的认证；
- (2) 能够完成变电站 70%以上的驱鸟工作；
- (3) 驱鸟过程中对变电站工作中的人及被驱赶的鸟类无伤害。

2.3 最终成果

- (1) 研发出应用于变电站自追踪式驱鸟巡检机器人一套；
- (2) 提交“变电站自追踪式驱鸟巡检机器人的研究与应用”技术报告和工作报告各 1 份；
- (3) 受理发明专利 2 项，实用新型专利 2 项；
- (4) 发表核心期刊论文 3 篇。

3 系统总体设计方案

3.1 设计原则

模块化设计

变电站自追踪式驱鸟巡检机器人系统采用模块化设计，模块设计简洁，便于操作和维护；功能模块独立设计，使得系统能够适用不同的变电站。

（1）基于 ROS 平台的变电站巡检机器人系统。针对变电站自追踪式驱鸟巡检机器人的需求，设计一套基于 ROS 平台的具有自动导航系统机器人，能够应对变电站复杂地面情况的通行，并且具有建立地图、路径规划、自主避障以及高精度定位等功能。

（2）鸟类探测系统。鸟类探测系统主要由鸟类视觉识别模块、鸟类声音探测模块和激光雷达阵列探测模块等。

（3）鸟类驱离系统。鸟类驱离系统主要包含激光驱鸟模块、超声波驱鸟模块等。

（4）主控系统。驱鸟巡检机器人主控系统主要包含数据采集模块、驱鸟数据分析及策略处理模块；数据采集模块负责连接机器人巡检系统、鸟类探测系统、鸟类驱离系统，并将上述各系统的数据传送至驱鸟数据分析及策略处理模块，驱鸟数据分析及策略处理模块对采集到的各种数据信息进行分析，并采取相应驱鸟防护策略调动鸟类驱离系统进行主动式驱鸟。

3.2 整体设计方案

变电站自追踪式驱鸟巡检机器人系统包含了四个部分，第一部分是基于 ROS 平台的机器人，包括 3D 激光，自主导航系统，全向移动平台，能够建立地图、进行路径规划及自主避障。第二部分是探测模块，包括雷达探测模块、视觉识别模块、音频识别模块；第三部分是驱鸟模块，包括激光驱鸟模块和定向超声波驱鸟模块；第四部分是核心处理模块，包括数据采集部分、工控机系统部分、数据分析及电源管理部分等。

整机设计：

（1）360 度摄像阵列

360 度视觉同时识别，结合领先的人工智能视觉分析算法，能够独立精确“读懂”视觉信息，快速高效地从视觉图像中识别鸟类，并估算出位置和距离。

（2）激光雷达阵列

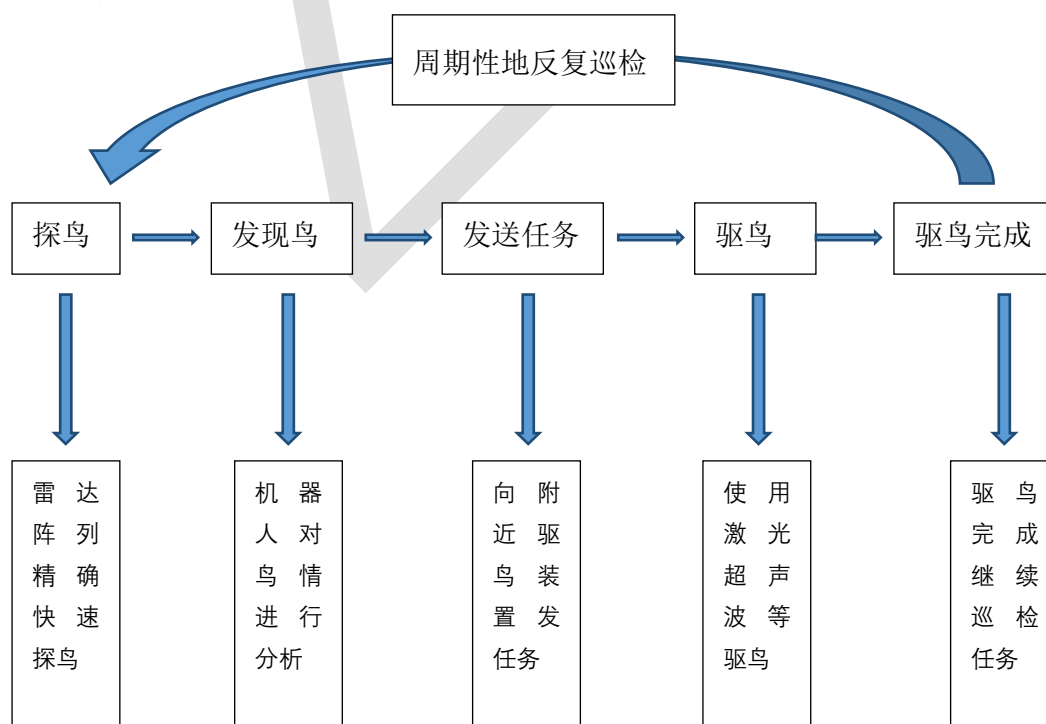
激光雷达阵列可对变电站周边进行全方位快速探测，跟踪飞鸟，实时显示鸟类的活动水平和准确位置，实现鸟类飞行轨迹的跟踪，并对数据进行记录和保存，全方位持续地、远距离探测鸟情

（3）三维激光导航

具备三维激光导航功能，在行进中遇到障碍物、沟槽、下落台阶时会自动避开障碍物后再继续任务。

任务流程：

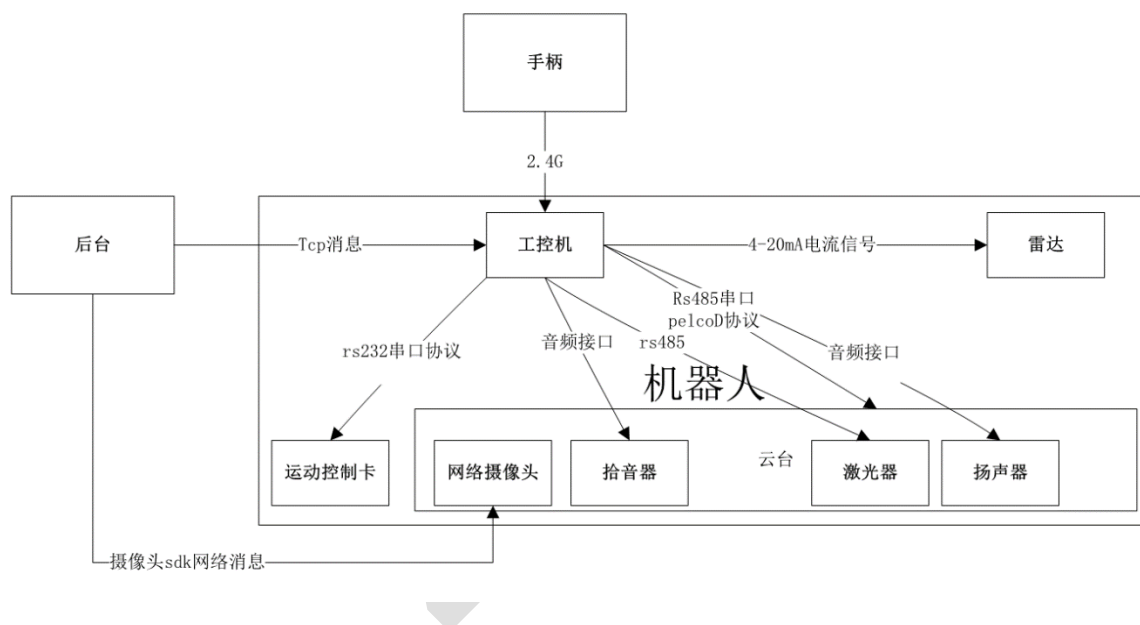
变电站自追踪式驱鸟巡检机器人系统，通过机器人巡检的方式实现变电站的全范围自动驱鸟，通过雷达追踪的方式实时掌握区域内的鸟类，确认鸟类情况立即向附近激光、超声波驱鸟装置发送任务，鸟类进行针对性的驱逐，并在成功驱赶后自动关闭驱鸟装置，实现对变电站全局范围内的鸟患排查，以及定点定时无人化驱鸟和巡检。



系统工作流程：

系统采用模块化设计，根据变电站实际应用场景，可以进行相应组合搭配，从而加大系统的灵活性和适用性。通过全方位移动平台实现机器人在变电站的行径，实现全范围覆盖，有效解决了变电站的监控盲区。通过自主导航实现机器人的无人操控，并建立主要和重点监控防护区域，可提高监控效率。通过雷达探测、视觉识别、声音识别对鸟类进行探测，并结合自主移动平台，建立全局鸟类监控网，对范围内存在的鸟类进行实时监测追踪。并通过驱鸟模块对变电站内的鸟类进行有效驱赶，同时根据雷达追踪与移动平台实现持续性、针对性的鸟类驱赶。

原理结构：



3.2.1 基于 ROS 平台的机器人研究

变电站自追踪式驱鸟巡检机器人能在高压、高磁环境下自主完成导航定位、自动充电及智能驱鸟巡检等功能。针对机器人的技术需要，并且为了实现变电站全局范围监控，机器人需要在自主巡检过程中的各种复杂路况，具有自主导航，并实现建立地图、路径规划、自主避障和高精度定位等功能。

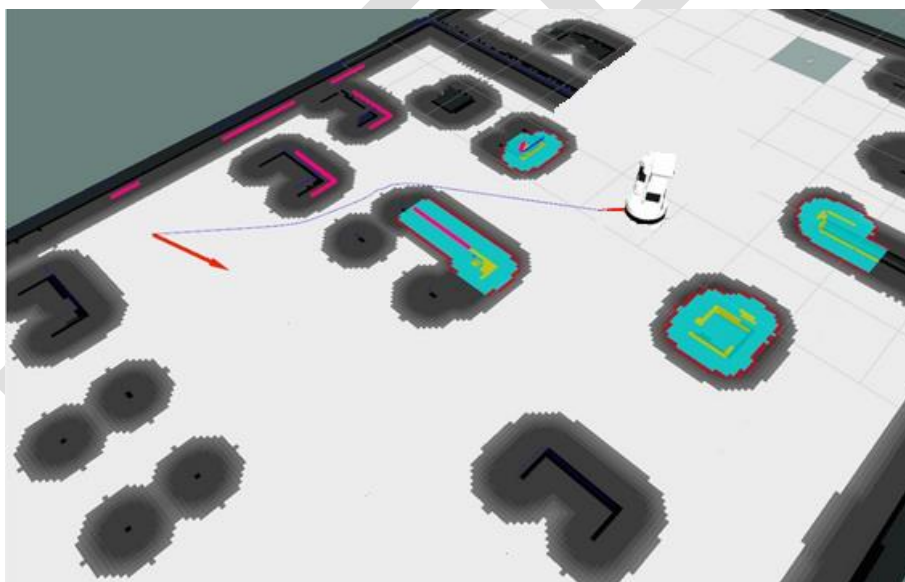
我们主要研究的内容：

- 研究适用于复杂室内外环境的智能机器人全向移动平台。
- 研究基于 ROS 平台的机器人三维激光导航系统。
- 搭建地图建立、路径规划和自主避障的系统框架。

3.2.2 机器人自主导航方式研究

自主导航是驱鸟巡检机器人的重要功能。变电站环境复杂，且对机器人导航方式稳定性要求很高，不允许机器人在变电站中随意运动，因此只能采用基于离线地图的导航方式。

机器人基于离线地图的导航时，首先对自己所处的环境建立地图，然后根据已有的地图，运用特定机器人的定位算法，实现机器人在所处环境的定位，最后结合自己建立的地图和对自己的定位，通过导航算法规划自己将要行走的路径，

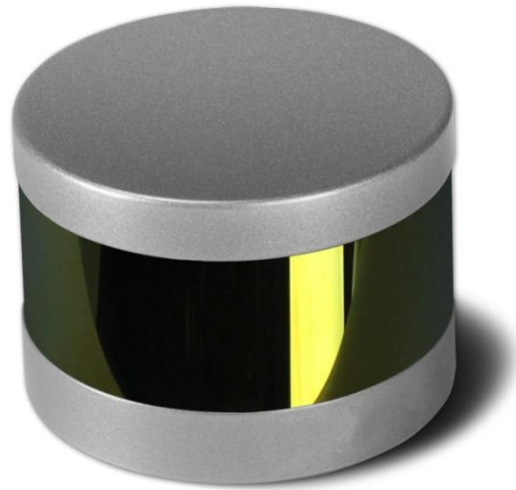


实现机器人到达指定任务位置的导航。该方式智能化程度较高，只需要机器人入驻阶段，带领机器人在变电站运行一圈，即可实现机器人自主导航，且不会受变电站复杂的电磁场影响。

基于地图的导航

1、传感器选择

电子地图是机器人实现路径规划以及精确定位的必要条件，机器人系统根据现场的实际情况及需求生成直观的可视化现场电子地图，用以显示机器人的巡检路径及所在位置。



(1) 三维激光雷达

360 度精准激光导航，实现精准定位及智能避障，为机器人保驾护航。

技术参数：

激光线数：16 线

测量范围：高达 100m

测量精度：±3cm

支持两次回波

垂直测量角度范围：30°（+15° 到 -15°）

垂直方向角度分辨率：2°

水平方向测量角度范围：360°

水平方向角度分辨率：0.1° 到 0.4°

测量频率：5 到 20Hz

激光安全等级：1 级（人眼安全）

激光波长：905nm

传感器功率：8W（典型值）

工作电压：9-32V

重量：830g

防护等级：IP67

工作温度：-10℃到+60℃

输出：

每秒高达 30 万个测量点输出

100M 快速以太网连接

数据包包含：距离值、物体反射率、旋转角度、同步时间

支持外接 GPS

（2）倒车雷达

变电站自追踪式驱鸟巡检机器人采用内嵌式倒车雷达，主要用于测距以及复杂地形的避障。

为了机器人能自动避障行走，就必须装备测距系统，以使其及时获取距障碍物的距离信息。倒车雷达探头用于测距优势在于其方便迅速，计算简单，易于做到实时控制，是一种非接触检测技术，并且在测量精度方面能达到工业实用的要求。

总体上讲，倒车雷达探头可以分为两大类：一类是用电气方式产生超声波，一类是用机械方式产生超声波。目前较为常用的是压电式超声波发生器，其有两个压电晶片和一个共振板。当它的两极外加脉冲信号，其频率等于压电晶片的固有振荡频率时，压电晶片将会发生共振，并带动共振板振动，便产生超声波。反之，如果两电极间未外加电压，当共振板接收到超声波时，将压迫压电晶片作振动，将机械能转换为电信号，这时它就成为倒车雷达探头了。

倒车雷达探头在某一时刻发出超声波信号，遇到被测物体后反射回来，被倒车雷达接收到。只要计算出超声波信号从发射到接收到回波信号的时间，知道在介质中的传播速度，就可以计算出距被测物体的距离。

（3）超声波传感器

超声波传感器是利用超声波的特性研制而成的传感器。超声波是一种振动频率高于声波的机械波，由换能晶片在电压的激励下发生振动产生的，它具有频率高、波长短、绕射现象小，特别是方向性好、能够成为射线而定向传播等特点。超声波对液体、固体的穿透本领很大，尤其是在阳光不透明的固体中，它可穿透几十米的深度。超声波碰到杂质或分界面会产生显著反射形成反射回波，碰到活动物体能产生多普勒效应。以超声波作为检测手段，必须产生超声波和接收超

声波，完成这种功能的装置就是超声波传感器，或者超声探头。

超声波传感器的核心是其塑料外套或者金属外套中的一块压电晶片，主要性能指标包括：

工作频率。工作频率就是压电晶片的共振频率。当加到它两端的交流电压的频率和晶片的共振频率相等时，输出的能量最大，灵敏度也最高。

工作温度。由于压电材料的居里点一般比较高，特别时诊断用超声波探头使用功率较小，所以工作温度比较低，可以长时间地工作而不产生失效。医疗用的超声探头的温度比较高，需要单独的制冷设备。

灵敏度。主要取决于制造晶片本身。机电耦合系数大，灵敏度高；反之，灵敏度低。

在高频率探测中，必须使用垂直厚度振动模式的压电陶瓷。在这种情况下，压电陶瓷的声阻抗与空气的匹配就变得十分重要。压电陶瓷的声阻抗为 $2.6 \times 10^7 \text{kg/m}^2\text{s}$ ，而空气的声阻抗为 $4.3 \times 10^2 \text{kg/m}^2\text{s}$ 。5 个幂的差异会导致在压电陶瓷振动辐射表面上的大量损失。一种特殊材料粘附在压电陶瓷上，作为声匹配层，可实现与空气的声阻抗相匹配。这种结构可以使超声波传感器在高达数百 kHz 频率的情况下，仍然能够正常工作。

2、地图建模

机器人导航是一项融合机械、电子、信息和软件的综合技术，而在机器人的基础上实现机器人的两种导航方式，则主要涉及机器人的地图构建技术、机器人定位技术、机器人环境感知技术和机器人控制决策技术。

机器人的地图构建技术根据使用传感器数据源不同可以分为激光雷达地图构建技术和视觉地图构建技术。

（1）导航系统架构

机器人导航是一种具有环境地图构建、机器人实时定位、机器人运动路径规划、运动控制以及动态避障等多功能的复杂系统。系统由 Ubuntu16.04 操作系统 + ROS kinetic 软件平台组成，对 3D 激光雷达搜集的数据进行处理、计算工作。并向机器人发送运动指令的功能。

（2）激光雷达地图构建

基于激光雷达的地图构建技术采用激光测距原理不断扫描机器人距离周围环境的距离信息。当机器人在其所处环境运动时，运用距离匹配技术，不断将当前机器人激光雷达扫描的距离信息与它历史扫描的距离信息匹配，最终形成一幅

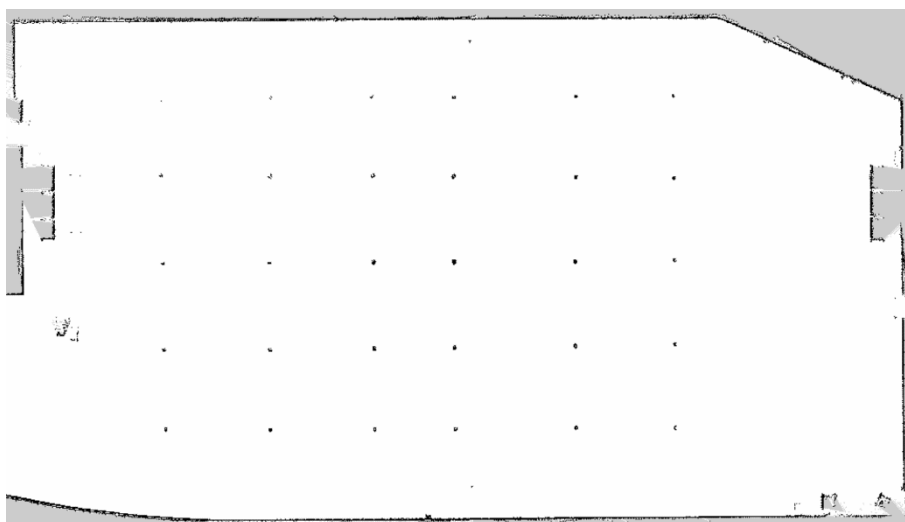
机器人运动环境的地图，如所示：



激光构建地图

激光雷达地图构建有多种技术，典型的如 Hector slam、Gmapping 和 Cartographer。根据变电站实际环境，项目采用 Gmapping 地图构建技术。gmapping 是目前应用最广的 2D slam 方法，利用 RBPF 方法，故需要了解粒子滤波算法。scan-match 方法在于估计机器人位置 (pose)，利用梯度下降的方法，在当前构建的地图，与当前的激光点，和机器人位置 (pose) 为初始估计值。粒子滤波的方法一般需要大量的粒子来获取好的结果，但这必会引入计算的复杂度；粒子是一个依据过程的观测逐渐更新权重与收敛的过程，这种重采样的过程必然会代入粒子耗散问题 (depletion problem)，大权重粒子显著，小权重粒子会消失 (有可能正确的粒子模拟可能在中间的阶段表现权重小而消失)。自适应重采样技术引入减少了粒子耗散问题，计算粒子分布的时候不单单仅依靠机器人的运动 (里程计)，同时将当前观测考虑进去，减少了机器人位置在粒子滤波步骤中的不确定性。其优点是在长廊及低特征场景中建图效果好，缺点是依赖里程计 (odometry)，无法适用无人机及地面小车不平坦区域；无回环。

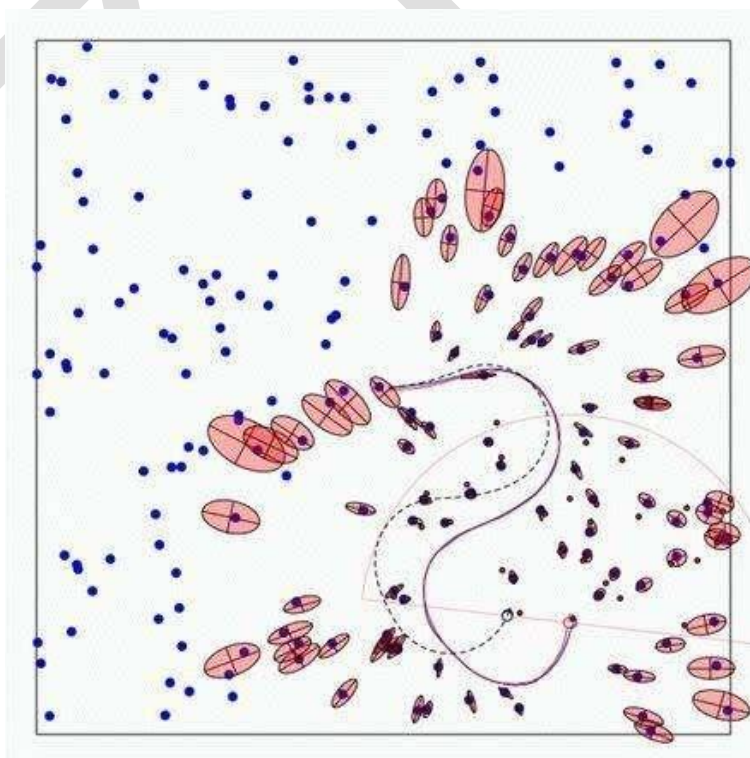
在变电站实验环境中地图构建效果如图，其中地图中间小黑点为地图中设备位置。



变电站实验环境地图

(3) 视觉地图构建

基于视觉地图构建技术主要利用摄像机采集当前的环境信息，当环境中特征明显的物体时，机器人将其标记为参照物。当机器人在环境中运动时，机器人不断将摄像机采集到的特征明显的物体标记为参照物，最终形成一幅基于路标的地图，如图所示。



视觉构建地图

3、导航实现

(1) 机器人的导航定位

机器人的定位技术按实现方式不同，主要卫星定位技术、概率定位技术和无线定位技术。变电站电磁环境复杂，无线定位技术容易收到强电磁信号干扰，定位稳定性差；目前可用的民用卫星定位技术精确不高，误差在米级，达不到变电站较窄的道路对定位的需求；而概率定位技术只依赖机器人自身的传感器，通过一系列优化算法，为机器人实现定位，满足本项目对定位的需求，因此选择概率定位技术。

(2) 机器人的环境感知

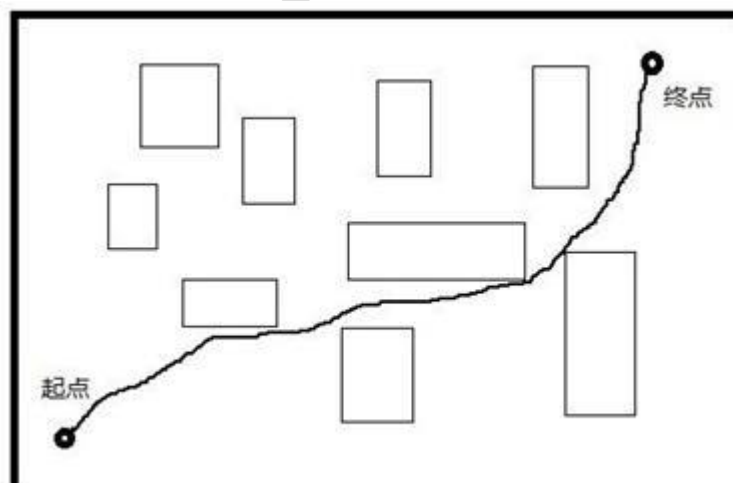
基于激光雷达的环境感知技术可以实时感知机器人周围环境距离机器人的距离，并且当激光雷达分辨率足够高时，可以感知周围环境的形状轮廓，从而识别出环境中的各类信息。

(3) 机器人的控制决策

机器人的控制决策技术主要包括机器人在已知地图中的路径规划技术、在未知地图中的路径探索技术和规避危险的控制技术。

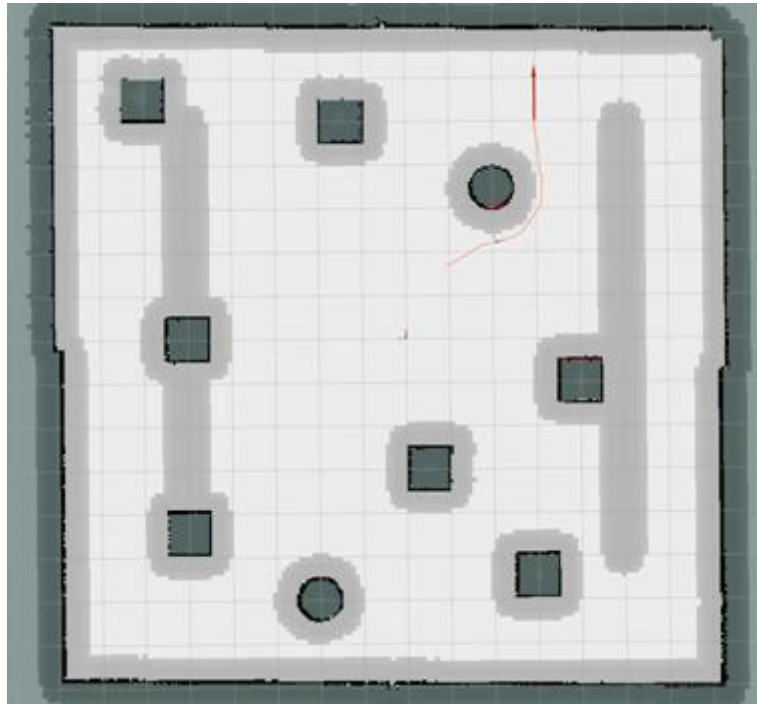
已知地图中的路径规划技术主要是规划一条从机器人当前位置到机器人任务位置的最短且最安全的路径，使机器人沿着该路径就可以到达任务位置。常用的路径规划算法有 Dijkstra 算法、最佳优先搜索（BFS）算法和 A*算法。

综合考虑采用 A*算法作为路径规划算法，A*算法和 Dijkstra 一样，A*能用于搜索最短路径。和 BFS 一样，A*能用启发式函数引导它自己。在简单的情况中，它和 BFS 一样快。而 A*算法的优势在于，它把 Dijkstra 算法（靠近初始点的结点）和 BFS 算法（靠近目标点的结点）的信息块结合起来。其规划路径如图 6 所示：



路径规划示意图

规避危险的控制技术主要是利用机器人的环境感知技术，检测当前所处环境的危险源，然后控制机器人在运动中躲避危险源，如图所示：



导航避障实验仿真图

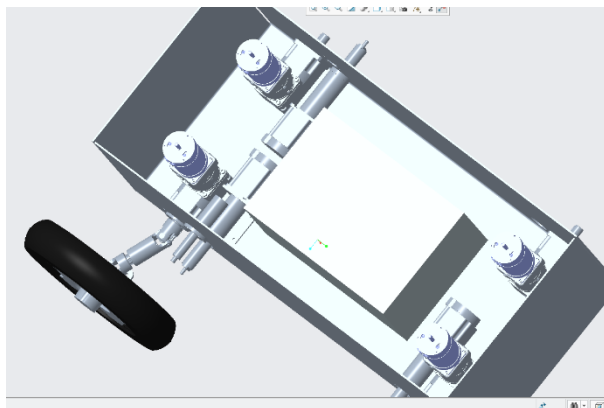
机器人全向移动平台设计

1、四轮驱动

四轮驱动的轮式机器人相比两轮驱动的轮式机器人，有着明显优势：

- （1）提高通过性。由于四轮驱动机器人的四个车轮都传递动力，因此具有更大的驱动力，且前后轮相互支持，提高多种路面的通过性。
- （2）提高爬坡性。四轮驱动的轮式机器人可以爬上更高的陡坡。
- （3）转弯性能。轮胎的附着力与传输至道路的动力大小有关，随着动力增大，轮胎转弯力趋小。动力减少，转弯力升高，因此提高湿滑路面时的性能。
- （4）启动和加速性能。四个车轮都可以同时提供动力，附着力可以被有效利用。所以提高了轮式机器人在启动和加速时候的性能。
- （5）直线行驶稳定性。由于每个车轮的剩余附着力升高，车轮抗外接扰动的能力得到增强。因此四轮驱动机器人具有由于的方向稳定性。

2、独立悬挂



独立悬挂就是左右两个车轮没连在一根刚性车轴上，而是各自通过连杆、弹簧与车身相连，是各走各的路，任何一个轮子受到路面冲击而跳动时不致影响另一个轮子的运作。

独立悬挂弹性较佳，可吸收路面震动；质量轻，减少了车身受到的冲击，并提高了车轮的地面附着力；可以使电机位置降低，机器人重心也得到降低，从而提高巡检机器人的行驶稳定性；左右车轮单独跳动，互不相干，能减小车身的倾斜和震动，具有良好的适应能力。

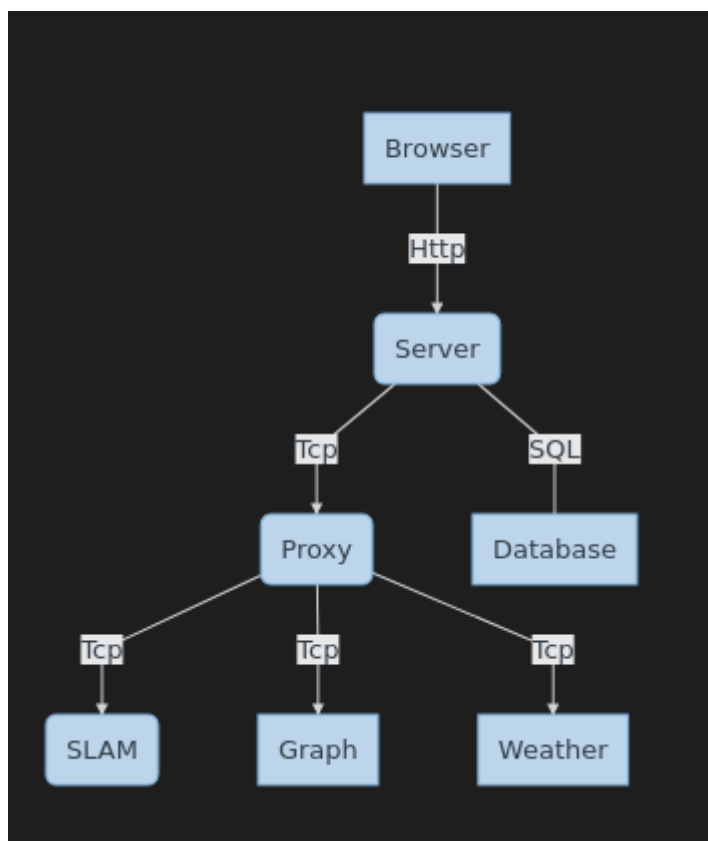
在麦弗逊式独立悬挂结构中，减振器上端与车架铰链联结，下端与转向节联结，螺旋弹簧套在减振器之外，下摆臂内段与车架铰链联结，外端与转向节联结，减震器起导向作用，可以避免螺旋弹簧受力时向前、后、左、右偏移的现象，下摆臂可以承受来自车轮的侧向冲击和纵向冲击载荷。具有简单、轻量、响应速度快等特点，并且在一个下摇臂和支柱的几何结构下能自动调整车轮外倾角，让其在过弯时自适应路面，让轮胎的接地面积最大化。

3、差速转向

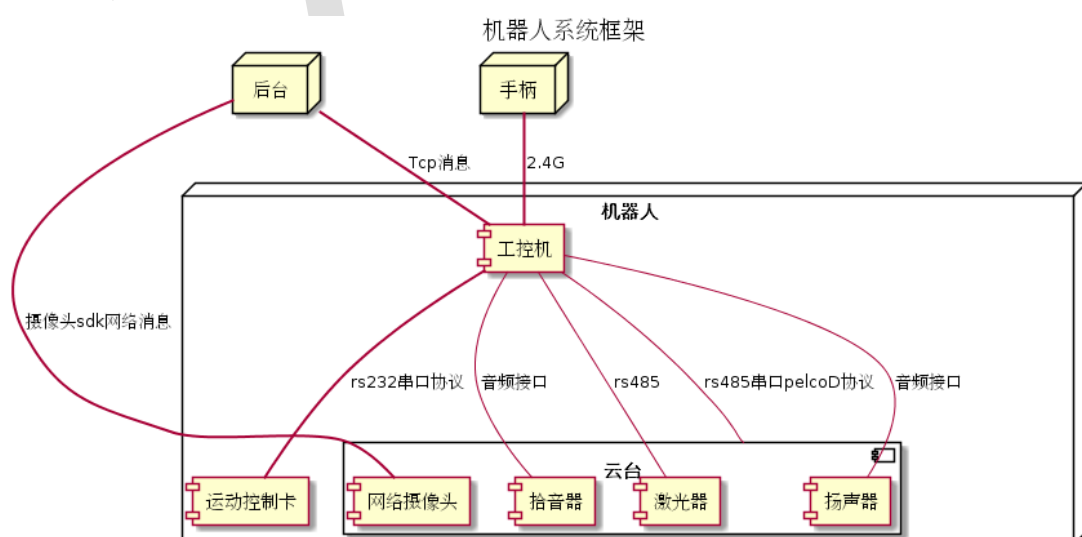
四轮驱动机器人通过控制左右驱动轮的转速实现转向。驱动轮转速不同的时候，即使无转向轮或者转向轮故障不动，车身也能实现旋转。

后台控制平台

后台系统采用主流的 ROS 架构，对机器人进行配置管理，任务管理，信息集成等，主要功能是集成机器人设备，协调各个设备的功能，完成探测和定位鸟的位置，驱赶鸟等特定任务。



各个模块的组成部分：



后台对摄像头进行控制，包括视频拍摄，抓图，视频录制，光学变倍，聚焦等功能；同时与工控机交互，通过工控机控制机器人的运动，激光器，扬声器，

及拾音器设备。

1、 首页设计

首页具有地图模块、视频模块、机器人手柄控制模块、机器人云台控制模块。

地图模块具备实时任务下发，机器人点位监控，机器人实时任务监控，路径监控，机器人路径规划，机器人运动速度及方向监控等；

视频模块应具备视频实时播放，停止，抓图，视频录制，回放，镜头拉近，镜头拉远等功能。

机器人手柄控制应具备控制机器人前进、后退、转弯等控制功能。

机器人云台控制应具备控制云台转动，以达到视频监控无死角，以及控制激光器及扬声器定向驱鸟的功能。

2、 权限管理模块

系统管理模块是 ROS 架构中比较常用的功能，比如用户管理，权限管理，告警模块等。管理人员需要通过后台管理系统，对机器人进行监控和管理。

用户管理模块：

用户管理模块应具备用户登录时的用户名密码管理，关联用户状态和权限，状态不正确的用户不能登录成功；

用户权限模块：

用户权限模块应具备用户可见页面的权限管理，同时还有对机器人操作的权限优先级管理，高优先级的用户可以抢占低优先级用户对机器人的操作权限，相同优先级的用户对机器人的操作权限采用先来先服务策略，不能抢占。

3、 系统基础数据管理模块

机器人管理：

通过机器人添加、删除、查询，可以管理机器人及机器人身上的设备硬件，设备 ip 配置，设备厂商等设备参数都可在里面查询和修改。

声音库管理：

声音名称，文件类型，修改时间，备注等。用户驱赶鸟类时播放。进一步可以做出针对不同鸟类播放不同的声音，以达到更好的驱鸟效果。

巡检点位管理：

机器人应该需要设置能够覆盖全站的点位，在任务模块规划点位，机器人每

到一个点位，需要停下，然后进行 360° 全方位扫描，定位鸟类位置；如果有鸟类，需要定向发送激光和声波驱鸟。

告警模块管理：

告警模块管理应具备用户订阅告警码管理，告警码管理。其中，用户订阅对应告警码后，如果有对应告警码上报，可以通过短信，页面等方式通知用户。

4、任务管理模块

任务管理：

可以按照覆盖面分为全站驱鸟，特殊区域驱鸟等多个不同覆盖面的巡检类型。同时，巡检可以制定按照时间触发的定时任务或者周期任务，让机器人定时的到制定的巡检点位执行驱鸟任务。

任务结果展示：

机器人巡检后，根据每个点位驱鸟时拍摄的视频或图片以及图像识别结果，进行历史数据保存，管理员可以查询驱鸟结果和后期经验管理分析。

电源系统

智能驱鸟巡检机器人电源系统包括充电房供电系统和便携式充电机，能够直接对机器人供电，同事对机器人本体锂电池充电。充电房是机器人充电和驻留的主要场所，当机器人检测到自身电量过低时，会自主导航返回充电房，机器人本体与充电桩自动对接并进行充电。

站内通信系统

变电站自追踪式巡检机器人网络通讯系统包括机器人与本地后台监控的通讯。机器人和本地后台监控采用无线通讯技术，在变电站内设置无线基站，保证变电站内无线信号全覆盖无盲区

3.2.3 鸟类探测系统

视觉识别技术

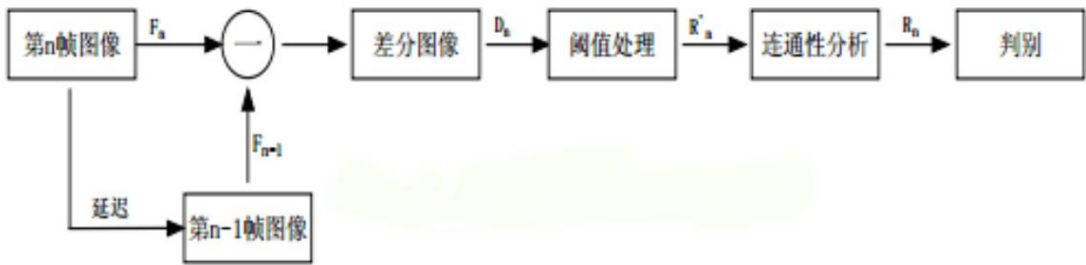
设计原理：

（一）基于帧间差分和深度学习技术的动态目标联合检测算法。

帧间差分法是一种通过视频信号检测运动目标的方法。

摄像机采集的视频序列具有连续性的特点。如果场景内没有运动目标，则连续帧的变化很微弱，如果存在运动目标，则连续的帧和帧之间会有明显地变化。

帧间差分法(Temporal Difference)就是借鉴了上述思想。由于场景中的目标在运动，目标的影像在不同图像帧中的位置不同。该类算法对时间上连续的两帧或三帧图像进行差分运算，不同帧对应的像素点相减，判断灰度差的绝对值，当绝对值超过一定阈值时，即可判断为运动目标，从而实现目标的检测功能。



两帧差分法示意图

帧间差分法和深度学习目标检测算法在驱鸟机器人视觉寻鸟应用场景中都有各自的不足，我们结合两种方法各自的特点，形成优势互补，提出了一种“基于帧间差分和深度学习技术的动态目标联合检测算法”，以满足视觉寻鸟应用场景中的对象检测。该联合算法为基于本应用场景的原创算法。具体步骤包括：

对帧间差分法的改进

单纯的帧间差分法需要摄像头的位置非常稳定。否则，如果摄像头位置发生了偏移，那么前后两帧之间背景图像的坐标也会发生位移，在进行帧间相减运算时必然会检出大量的移动物体，从而影响真正移动物体的目标检测。对帧间差分法的改进在于：使用 surf 算法检测出前后两帧之间对应的特征点，经过筛选和滤波之后，通过特征点坐标计算出两帧的背景图像之间发生的位移，从而消除两帧间因背景偏移而对差分法造成的干扰。如图所示：

帧间差分法定位出运动物体

通过帧间差分法定位出运动物体的位置，根据其轮廓形成矩形框。

运用深度学习对运动物体所在矩形框内的图像进行分类

帧间差分法直接获得了运动物体所在的矩形框，从而省去了常用深度学习目标检测算法中，使用多尺度滑动窗口对目标进行定位的过程（该过程需要进行大量的计算，是常用深度学习目标检测算法中耗时最长的步骤之一）。在得到了运动物体所在的矩形框之后，我们可以直接利用深度学习算法（例如卷积神经网络CNN）对矩形框内的图像进行分类，判断其是否为鸟类，从而得出目标检测结果。

广角与长焦镜头联合检测法

基于视觉寻鸟应用场景的上述特殊性，我们针对性地提出了广角与长焦镜头相结合的联合检测法。方法具体内容如下：

安装广角和长焦镜头

两种镜头的光轴应尽量保证平行。

标定长焦镜头视角在广角镜头视角中的相对位置

包括在不同放大倍数下，标定长焦镜头的中心点、四个边界顶点分别在广角镜头画面中所处的位置。

建立长焦镜头图像坐标与广角镜头图像坐标之间的映射关系

完成两个镜头坐标系之间的相互转换。

广角镜头用于发现目标，长焦镜头用于拉近观察

在广角镜头的图像中发现可疑目标后，控制云台将目标移动至长焦镜头的视角范围以内，以获取更大更清晰的目标图像。

视觉采集器的选择

基于视觉寻鸟应用场景的特殊性，视觉采集器必须要具备以下特点：

360° 全景覆盖和细节跟踪

采用一体化结构设计，能够兼顾整体和局部的监控，全景摄像机能够对场景进行全方位覆盖，球机能够对细节进行快速定位跟踪。

多场景智能应用

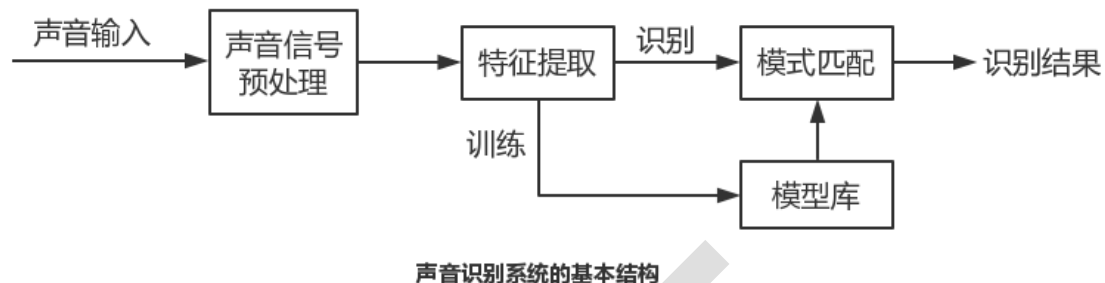
在多种使用场景中通过区域入侵等智能功能结合告警联动功能，实现对异常情况的智能检测、实时告警和信息采集。

声音识别技术

声音识别是以声音为研究对象，通过声音信号处理和模式识别让机器自动识别鸟类的声音。声音识别技术就是让机器通过识别和分析把语音信号转变为相应的机器人能够识别的信息技术。

1、基本原理

声音识别系统本质上是一种模式识别系统，包括特征提取、模式匹配、参考模式库等三个基本单元，它的基本结构如下图所示：



鸟类声音经过处理转换成电信号后加在识别系统的输入端，首先经过预处理，再根据不同鸟类的语音特点建立语音模型，对输入的语音信号进行分析，并抽取所需的特征，在此基础上建立声音识别所需的模板。而计算机在识别过程中要根据声音识别的模型，将计算机中存放的声音模板与输入的声音信号的特征进行比较，根据一定的搜索和匹配策略，找出一系列最优的与输入语音匹配的模板。然后根据此模板的定义，通过查表就可以给出计算机的识别结果。显然，这种最优的结果与特征的选择、声音模型的好坏、模板是否准确都有直接的关系。

2、识别方法

目前具有代表性的声音识别方法主要有动态时间规整技术（DTW）、隐马尔可夫模型（HMM）、矢量量化（VQ）、人工神经网络（ANN）、支持向量机（SVM）等方法。

（1）动态时间规整算法（Dynamic Time Warping, DTW）是在非特定人语音识别中一种简单有效的方法，该算法基于动态规划的思想，解决了声音长短不一的模板匹配问题，是声音识别技术中出现较早、较常用的一种算法。在应用DTW算法进行声音识别时，就是将已经预处理和分帧过的声音测试信号和参考声音模板进行比较以获取他们之间的相似度，按照某种距离测度得出两模板间的相似程度并选择最佳路径。

（2）隐马尔可夫模型(HMM)是声音信号处理中的一种统计模型，是由Markov链演变来的，所以它是基于参数模型的统计识别方法。由于其模式库是通过反复训练形成的与训练输出信号吻合概率最大的最佳模型参数而不是预先储存好的模式样本，且其识别过程中运用待识别声音序列与HMM参数之间的似然概率达到最大值所对应的最佳状态序列作为识别输出，因此是较理想的声音识别模型。

(3) 矢量量化 (Vector Quantization) 是一种重要的信号压缩方法。其过程是将若干个声音信号波形或特征参数的标量数据组成一个矢量在多维空间进行整体量化。把矢量空间分成若干个小区域, 每个小区域寻找一个代表矢量, 量化时落入小区域的矢量就用这个代表矢量代替。矢量量化器的设计就是从大量信号样本中训练出好的码书, 从实际效果出发寻找到好的失真测度定义公式, 设计出最佳的矢量量化系统, 用最少的搜索和计算失真的运算量实现最大可能的平均信噪比。

在实际的应用过程中, 人们还研究了多种降低复杂度的方法, 包括无记忆的矢量量化、有记忆的矢量量化和模糊矢量量化方法。

(4) 人工神经网络 (ANN) 是 20 世纪 80 年代末期提出的一种新的声音识别方法。其本质上是一个自适应非线性动力学系统, 模拟了人类神经活动的原理, 具有自适应性、并行性、鲁棒性、容错性和学习特性, 其强大的分类能力和输入—输出映射能力在声音识别中都很有吸引力。由于 ANN 不能很好地描述语音信号的时间动态特性, 所以常把 ANN 与传统识别方法结合, 分别利用各自优点来进行语音识别而克服 HMM 和 ANN 各自的缺点。近年来结合神经网络和隐含马尔可夫模型的识别算法研究取得了显著进展, 其识别率已经接近隐含马尔可夫模型的识别系统, 进一步提高了语音识别的鲁棒性和准确率。

(5) 支持向量机 (Support vector machine) 是应用统计学理论的一种新的学习机模型, 采用结构风险最小化原理 (Structural Risk Minimization, SRM), 有效克服了传统经验风险最小化方法的缺点。兼顾训练误差和泛化能力, 在解决小样本、非线性及高维模式识别方面有许多优越的性能, 已经被广泛地应用到模式识别领域。

3.2.4 鸟类驱离系统

目前常用的驱鸟的技术主要有电子声音、超声波、激光、物理方法、驱鸟剂等。

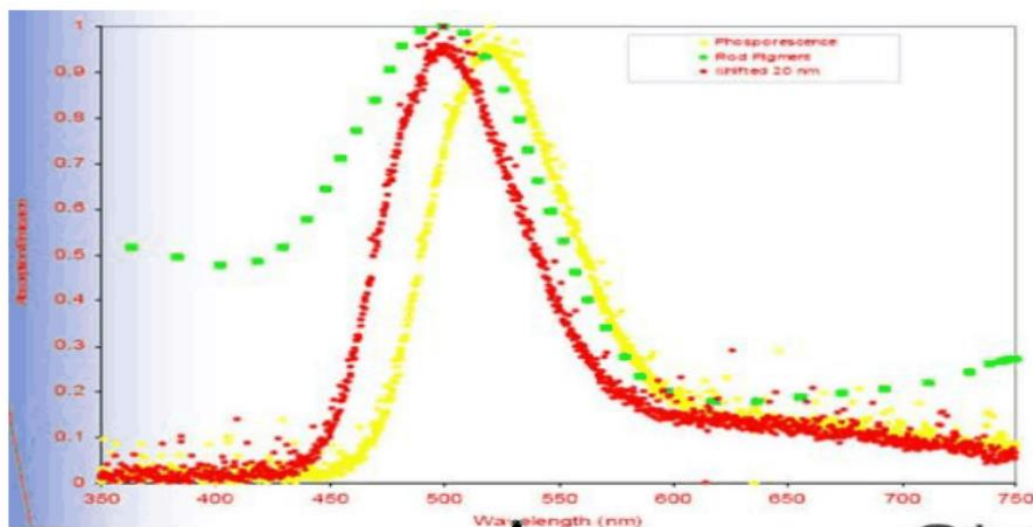
传统驱鸟技术存在如下问题：(1)保护区域有限，未能考虑鸟的自身适应性，只针对特定范围进行防范保护；(2) 针对性不强，未能得到有效的反馈信号，实现多方位驱鸟；(3) 欠缺智能，无法判别鸟的运动轨迹，实现跟踪驱鸟。传统驱鸟方式不仅在于劳动力成本问题，也在于高端智能化的机器人更加精确高效，将工作人员从繁重、危险、重复性劳动中解放出来。

激光驱鸟装置

1、工作原理：

	捕杀	化学药物	图案惊吓	煤气炮、驱鸟弹	仿生录音	超声波	激光式自动驱鸟装置
单价	低	低	低	适中	适中	高	高
作用范围	大	大	≤100米	≤100米	≤300米	≤200米	≤1700米
鸟类适应性	中	中	高	高	高	中	无
恶劣环境适应性	中	低	低	低	中	中	高
驱鸟效果	有限	一般	有限	一般	一般	一般	良好
安全性	差	差	高	差	高	中	高
维护成本	高	高	低	中	低	中	中
使用寿命	长期	半个月	半年	1~2年	1~2年	3年	6~8年
综合性价比	中	低	低	中	中	中	高

激光式自动驱鸟装置利用鸟类对波长为 532nm 的绿色光谱高度敏感的特征（见图中不同的虚线颜色代表不同的鸟类），使用经过扩束、准直后的直径 152mm、



鸟类对可见光谱的敏感曲线图

波长 532nm 的绿色激光束，持续不断地按照可编程路径扫射变电站及其周围区域，鸟类受到亮绿激光束的刺激，出于求生反应而飞离受保护区域。通过不断的循环扫描变电站而创建一个永久的危险区域，影响变电站及其附近鸟类赖以生存、栖息和觅食的生态环境，刺激鸟类寻找新的、安全的栖息地。从根本上预防和杜绝变电站鸟害事故的发生。

2、功能特性

（1）自动或手动扫描变电站及其周边区域

自动扫描：装置采集环境光照信息并自动设置激光输出功率，按照已设定的速度、路径、扫描方式每隔一段时间扫描变电站及其周围区域。装置在这种方式下可全天候工作，按照设定的参数自主工作，不受外界的影响。

手动扫描：当发现特定区域的飞鸟目标时，可人为设定或感兴趣的扫描区域。

（2）扫描方式、扫描速度及区域可编程控制

可通过主机显控软件界面人为设定扫描方式，扫描速度和扫描区域，仅需点击鼠标即可完成操作，实现驱鸟工作的简便化、动态化和具体化，从而使鸟类难以适应。

（3）单独组网或与鸟情探测系统联动工作

可选用设备的视频监控模块进行鸟情探测，实现设备的探测驱赶一体化，完

成设备单独组网工作，或与鸟情探测系统联动工作。

(4) 根据背景光照度，激光束光强能够自适应调节

每年的各月份，每天的各时段，自然环境的光照度不同，其变动范围大致在0~100,000lux。为了实现驱鸟效果，同时兼顾人眼安全，需要将激光束强度与环境光强度的比值控制在一定范围以内，因此设备需要激光束强度根据自然环境光强进行自动调节，白天光强，夜晚光弱。

(5) 人眼安全

采用以下技术保证激光扫描时人眼安全：

自适应光控技术：控制激光束与背景光对比度，不至于出现激光束在傍晚或清晨太亮而刺激人眼的情况发生；

激光扩束准直技术：保证远近距离光强基本一致，避免出现远距离光弱，而近距离激光太强而刺激人眼的情况发生；

激光光束匀质化技术：确保出射激光光束内功率密度均匀化；

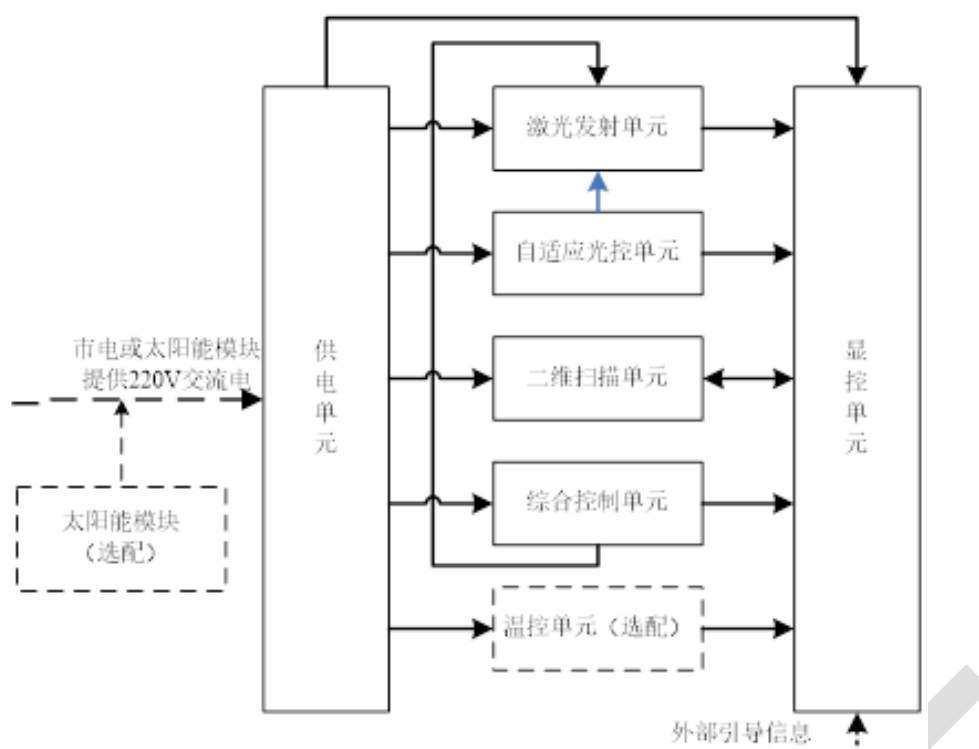
光束扫描限位技术：激光光束不会直接照射进入飞行员视线而影响飞机起降，且可随实际环境设置动态照射区域，确保激光不出区域，保障安全；

合理设置扫描速度：当人眼直对激光束观测时，激光光斑在眼睛中驻留时间较短（ ≤ 0.05 秒），可避免对人眼造成眩目或损伤；

设置醒目警示标识：扫描激光束架设高度 $\leq 1.5\text{m}$ ，且周围设置激光危险警示标志，防止人为故意直视扫描激光束。

3、设备组成

装置主要由激光发射单元、自适应光控单元、二维扫描单元、综合控制单元、温控单元、显控单元及供电单元等几部分组成，其组成如图所示。



(1) **激光发射单元**：主要由激光激励源、半导体泵浦(DPSS)绿激光器及其光学扩束整形模块等构成。激光激励源驱动 DPSS 激光器发射圆形激光光斑，经光学扩束整形模块变换后，出射特定直径及功率密度的准直扫描激光束；

(2) **自适应光控单元**：感应环境光照度，将光信号转换成电信号，经放大处理生成激光器模拟调制信号，用以调节激光输出功率，实现激光器发射功率自适应控制；

(3) **二维扫描单元**：装置运动执行机构，用于响应显控指令或其它控制信息，实现激光束俯仰、方位扫描。该单元采用两轴平台设计，主要由俯仰电机及其驱动控制电路、方位电机及其驱动控制电路以及传动结构组成；

(4) **综合控制单元**：装置控制核心，用于采集其他各单元状态信息，并根据外部控制指令控制各单元协调工作；

(5) **显控单元**：装置信息显示和动作控制单元，主要由便携式 PC 和显控软件构成，通过串口或网络接口完成激光发射单元、二维扫描单元的控制及信息显示，各单元的故障信息报警，并和其它信息装置接口；

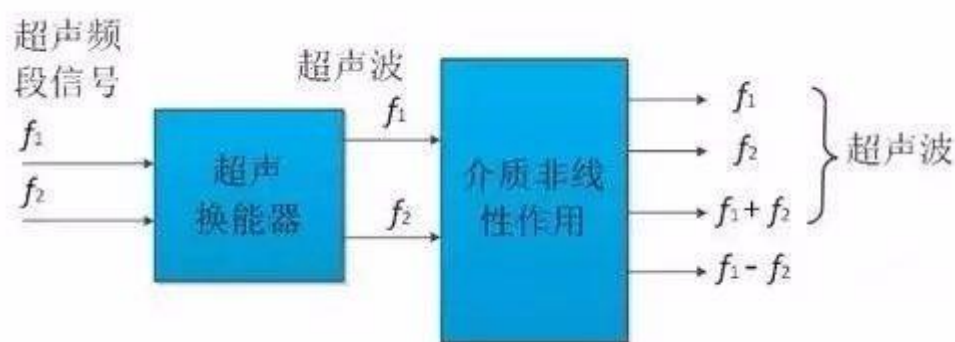
(6) **温控单元**：由温度传感模块、加热模块和制冷模块等几部份组成，温度传感模块感应装置箱体内部温度，当低于装置最低工作温度时，触发加热模块，

使箱体内部温度回升至装置正常工作温度，当高于装置最高工作温度时，触发制冷模块，使箱体内部温度降至装置正常工作温度；

定向声波驱鸟装置

（1）声频定向传播技术原理

基于超声的声频定向传播技术是一种可使声音以波束在一定方向传播的新声源技术，其基本原理是将可听声音信号调制到超声载波信号之上，并由超声换能器发射到空气中，不同频率的超声波在空气中传播的过程中，由于空气的非线性声学效应，这些信号会发生交互作用和自解调，进而产生频率为原超声频率之和（和频）与频率之差（差频）的新声波。若超声波选取合适，那么差频声波则可落在可听声区域。这样，借助超声波本身的高指向性，实现了声音定向传播的过程。



（2）定向声波装备性能简介

定向声波装备是一种高效的远程声波定向发射装置，利用高声压级换能器阵列实现高强度声波的远距离定向传播，通过高强度噪声刺激，对具有潜在威胁的鸟禽进行有效驱离。

主要技术参数指标：

- 1、最大声压级： $\geq 100 \pm 5 \text{dB@50 米}$
- 2、重 量： $\leq 6 \text{kg}$
- 3、最大传播距离： $\geq 100 \text{ 米}$
- 4、定向性能： $\pm 10^\circ @ 2 \text{KHz} / -3 \text{dB}$
- 5、供电方式：DC24V
- 6、防护等级：IP55
- 7、环境温度： $-20^\circ \text{C} \sim +70^\circ \text{C}$

8、相对湿度：5%~95%、有凝露（25℃时）

4 驱鸟系统策略设计

4.1 系统主要特点简介

单次驱鸟流程，全景摄像和探鸟雷达数据融合，输出鸟的探测信息，包括方位、距离、俯仰、速度信息。随后，后台根据方位和距离信息，计算驱鸟区域。后台控制中心依据方位、距离信息，依据高、中、低俯仰分类，选择合适的驱鸟设备。

驱鸟系统主要特点：

实时获得鸟类目标的距离、方位、速度、高度、运动轨迹等信息，可自动对鸟类大小进行判断分类；

实时采集与存储数据，具有强大的鸟类活动规律分析、统计图表显示和报告生成功能，适合掌握鸟类活动的迁徙、觅食、过冬、夜栖等的季节性、气象因素、活动区域等规律；

支持远程人工监控，便于人工操作驱鸟；

变电站的全面鸟情调研，评估不同鸟种对变电站的危险等级，并确定重点防治鸟种，收集分析鸟情信息，提供专业的鸟情调研报告，提供生态驱鸟的建议措施。

利用探鸟雷达针对变电站重点区域长期实时鸟情监测，确定不同季节及白天和夜间的重点防治鸟种，建立数据库，提供变电站长期的鸟情监测动态。

4.2 变电站不同场景驱鸟策略

(1) 群鸟活动情况

针对群鸟活动的情况，需要调研变电站鸟类活动规律，鸟类活动频繁的时段加强巡检驱鸟频次力度；鸟类活动较多的区域，可在机器人行进过程中，先使用驱鸟激光来回扫射，再针对性追踪驱鸟。根据群鸟活动具体情况，开

展不同的驱鸟策略；

(2) 鹰隼和喜鹊

鹰隼是单只活动，在捕猎小鸟时会飞进变电站，捕食成功后甚至会在变电站设备上进食，会引起设备短路；鹰隼张开翅膀也易引起短路。

(3) 大型水鸟

大型水鸟偶尔飞过变电站区域，其粪便会导致设备短路，其如果在设备上栖息，张开翅膀也会导致短路。非常危险，需提前预防驱离。

(4) 鸟类建巢

主要是喜鹊建巢，体积会比较大，直径可达 0.5 米；在建巢的过程中，喜鹊会刁着树枝、铁丝等建巢材料飞跃变电站区域，这些材料突然掉落或巢体本身都可能引起设备短路。

综上可设计工作模式：麻雀鸟群驱散方式/鹰隼大目标单点驱散方式/日常常规巡视模式/白天夜晚巡视模式/人员规避模式。

4、固定驱鸟设备和机器人联动

可在几个重点区域安装固定式驱鸟器，与机器人移动驱鸟相互配合，形成联动；

参考文档

项目主要参考的标准规范及文件：

GB 50174-2008	《电子信息系统机房设计规范》
GB 50217-2007	《电力工程电缆设计规范》
GB/T 14285-2006	《继电保护和安全自动装置技术规程》
GB/T 50062-2008	《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》
DL/T 5044-2014	《电力工程直流电源系统设计技术规程》
DL/T 5056-2007	《变电站布置设计技术规程》
DL/T 5056-2007	《变电所总布置设计技术规程》
DL/T 5223-2005	《高压直流换流站设计技术规定》
Q/GDW 1799.1-2013	《国家电网公司电力安全工作规程 变电部分》
Q / GDW 248.1-2008	《输变电工程建设标准强制性条文实施管理规程 第1部分：通则》
Q / GDW 248.4-2008	《输变电工程建设标准强制性条文实施管理规程 第4部分：变电站电气工程设计》
Q/GDW224-2008	《±800kV 换流站屏、柜及二次回路接线施工及验收规范》
JB/T 10825-2008	工业机器人产品验收实施规范
GB/T 7261-2008	继电保护和安全自动装置基本试验方法
GB 4208-2008	外壳防护等级（IP 代码）
GB 11291.1-2011	工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人
GB 11291.2-2013	机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求第2部分：机器人系统与集成
GB/T 12642-2013	工业机器人性能规范及其试验方法
GB/Z19397-2003	工业机器人电磁兼容性试验方法和性能评估准则指南
GB/T 2423.1-2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 A：低温
GB/T 2423.2-2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 A：高温
GB/T 2423.3-2006	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Cab:恒定

	湿热方法
GB/T 2423.4—2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Db 交变湿热
GB/T 2423.10—2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Fc:振动
GB/T17626.2—2006	电磁兼容试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
GB/T 17626.3—2006	电磁兼容试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
GB/T 17626.4—2008	电磁兼容试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
GB/T 17626.5—2008	电磁兼容试验和测量技术浪涌(冲击)抗扰度试验
GB/T 17626.8—2006	电磁兼容试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
GB/T 17626.9—2011	电磁兼容试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
GB/T17626.10—1998	电磁兼容试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验
GB/T 17626.6—2008	电磁兼容试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
GB/T17626.11—2008	电磁兼容试验和测量技术电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验
DL/T 283.1-2012	电力视频监控系统及接口 第1部分：技术要求
DL/T 664-2008	带电设备红外诊断应用规范
IEC 62351	电力系统运行数据和通讯安全标准
DL/T 860-2004	变电站通信网络和系统
GA/T 367-2001	视频安防监控系统技术要求
GB 50395-2007	视频安防监控系统工程设计规范
GA/T 75-1994	安全防范工程程序与要求
GB/T 2887-2011	电子计算机场地通用规范
GB 4798.4-2007	电工电子产品应用环境条件 第4部分：无气候防护场所使用
GB 50348-2004	安全防范工程技术规范
YD/T 5097-2005	3.5GHz 固定无线接入工程设计规范
GB 50057-2010	建筑物防雷设计规范
GB 14050-2008	系统接地的型式及安全技术要求
GBJ 232-1982	电气装置安装工程施工及验收规范
GB 4943-2001	信息技术设备的安全
JB/T 5750-2014	气象仪器防盐雾、防潮湿、防霉菌工艺技术要求

ITU-T H. 264 2009	视音频编解码标准
IEEE 802.3U	100BASE-TX 快速以太网接口标准
GB 191-2008	包装储运图示标志

